

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS BASADAS EN SIG PARA LA DELIMITACIÓN AUTOMÁTICA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

DOI: [10.35622/inudi.b.153](https://doi.org/10.35622/inudi.b.153)

Freddy Jumbo
Joselyn Franco
Camilly Pacheco
Erick Cañarte

Aplicación de herramientas basadas en SIG para la delimitación automática de cuencas hidrográficas

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.153>

Freddy Jumbo

<https://orcid.org/0000-0002-5200-7162>
fjumbo@utmachala.edu.ec

Joselyn Franco

<https://orcid.org/0009-0006-3190-3095>
jfranco9@utmachala.edu.ec

Camilly Pacheco

<https://orcid.org/0009-0007-3045-9014>
cpacheco5@utmachala.edu.ec

Erick Cañarte

<https://orcid.org/0009-0006-3355-6330>
ecanarte28@gmail.com



Aplicación de herramientas basadas en SIG para la delimitación automática de cuencas hidrográficas

Autores:

Freddy Aníbal Jumbo Castillo
Joselyn Katiuska Franco Avila
Camilly Yuliana Pacheco Ordoñez
Erick Antonio Cañarte Vega

Primera edición digital

Publicado en Puno, enero de 2026

Libro electrónico disponible en:

<https://editorial.inudi.edu.pe>

ISBN: 978-612-5130-67-9 (PDF)

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-15113

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.153>

Categoría: Libro de resultado de investigación científica.

CONSEJO EDITORIAL

Directora: Lic. Leydi Gabriela Ramos Ramos

Editor Jefe: Ing. Edson Efrain Sarmiento Quispe

Editores:

Dra. Bethzabe Cotrado Mendoza / Dra. Manuela Daishy Casa Coila / Dr. Edgar Estanislao Mancha Pineda / Dra. Luz Wilfreda Cusi Zamata / MSc. Rebeca Alanoca Gutiérrez / Dr. Wilson Gregorio Sucari Turpo / Dra. Yolanda Lujano Ortega / Dra. Sheyla Lenna Cervantes Alagón / Dra. Dometila Mamani Jilaja / Dr. Peregrino Melinton Lopez Paz / Dra. Nina Eleonor Vizcarra Herles / Mg. Lourdes Antonieta López Solano Cueva / Dr. Carlos Alfredo Castro Quispe / Dr. Edgar Darío Callohuanca Avalos / Dra. Diana Águeda Vargas Velásquez / MSc. Yésica Dominga Díaz Vilcanqui / Dra. Tania Carola Padilla Cáceres / Patty Samanta Aza Suaña.

Editado por:

Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.

Urb. Ciudad Jardín Mz. B3 Lt. 2, Puno – Perú

RUC: 20608044818

Email: editorial@inudi.edu.pe/info@inudi.edu.pe

Teléfono: +51 973668341

Sitio web: <https://editorial.inudi.edu.pe>

Publicado en Perú / Posted in Peru



Esta obra está bajo una licencia CC BY-NC-SA 4.0 DEED Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Evaluación de contenido: Esta obra ha sido evaluada por pares doble ciego, aprobada por el Consejo Editorial del Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú y editada bajo procedimientos que garantizan su normalización.

Los autores son moral y legalmente responsables de la información expresada en este libro, así como del respeto a los derechos de autor; por lo tanto, no comprometen en ningún sentido a la editorial.

Declaración conflictos de interés:

Los autores de esta publicación declaran la inexistencia de conflictos de interés de cualquier índole con instituciones o asociaciones comerciales.

Financiamiento:

Publicación autofinanciada.

Información adicional:

El libro presenta una metodología automatizada para la delimitación y codificación de cuencas hidrográficas mediante Sistemas de Información Geográfica y el método Pfafstetter, aplicada a la cuenca del río Jubones, aportando insumos técnicos para la gestión y planificación hídrica.



Director Ejecutivo

Dr. Wilson Gregorio Sucari Turpo

Directora Académica

Lic. Leydi Gabriela Ramos Ramos

Director de Investigación

Ing. Edson Efrain Sarmiento Quispe

Director de Innovación y Transferencia Tecnológica

Marcos German Ccari Laura

Revisores Pares Externos

Se encuentra en el siguiente enlace:

<https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/about/editorialTeam>

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme fortaleza, sabiduría y propósito.

A mi familia, por acompañarme con su amor, paciencia y fe inquebrantable durante todo este proceso.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|------------------------|----|
| ÍNDICE GENERAL | 5 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 9 |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | 10 |
| SINOPSIS | 12 |
| PRÓLOGO | 13 |

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

SISTEMAS DE INFORMACIÓN

| | |
|--|----|
| 1.1 Introducción a los Sistemas de Información | 17 |
| 1.2 Componentes fundamentales de un Sistema de Información | 18 |
| 1.3 Tipos de Sistemas de Información..... | 20 |
| 1.4 Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)..... | 22 |
| 1.4.1 Evolución histórica de los SIG | 23 |
| 1.4.2 Estructura y arquitectura de los SIG | 25 |
| 1.4.3 Componentes y funcionamiento de un SIG | 26 |
| 1.4.4 Modelos de datos espaciales: raster y vectorial..... | 28 |
| 1.4.5 Aplicaciones de los SIG en la planificación territorial y ambiental. | 31 |

CUENCA HIDROGRÁFICA

| | |
|--|----|
| 1.5 Definición | 33 |
| 1.6 Elementos estructurales de una cuenca hidrográfica | 34 |

1.7 Clasificación de cuencas (arreicas, criptorreicas, endorreicas, exorreicas) 39

1.8 Divisoria de cuenca o aguas: criterios altimétricos y métodos de delimitación 41

1.9 Importancia de la cuenca como unidad básica de planificación ambiental 43

1.10 Interrelación entre cuencas y sistemas socioeconómicos 45

MODELOS DIGITALES DE TERRENO (MDT) Y ELEVACIÓN (MDE)

1.11 Modelo Digital de Terreno (MDT): definición y fundamentos 47

1.12 Modelo Digital de Elevación (MDE) 47

1.13 Aplicaciones de los MDE en el análisis hidrológico y delimitación de cuencas 49

1.14 Tipos de MDE empleados en estudios hidrológicos 51

MÉTODOS PARA LA CLASIFICACIÓN Y ORDENACIÓN DE DRENAJES

1.15 Introducción a la clasificación y jerarquización de redes de drenaje 53

1.16 Método de Horton-Strahler 53

1.17 Método de Shreve: enfoque aditivo y estructura de flujo 57

1.18 Comparación entre métodos Horton-Strahler y Shreve 58

METODOLOGÍA PFAFSTETTER PARA LA DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 60

1.19 Fundamentos y características del método Pfafstetter 60

1.20 Tipos de unidades hidrográficas: cuenca, intercuenca y cuenca interna 61

1.21 Procedimiento de codificación y numeración Pfafstetter 62

1.22 Particularidades del método en cuencas endorreicas y complejas 65

| | | |
|--------|---|----|
| 1.23 | Implementación del método Pfafstetter en Sudamérica | 66 |
| 1.23.1 | Caso Sudamérica..... | 67 |
| 1.23.2 | Caso Bolivia | 68 |
| 1.23.3 | Caso Brasil..... | 69 |
| 1.23.4 | Caso Perú | 70 |
| 1.23.5 | Caso Ecuador | 74 |

CAPÍTULO II

DISEÑO METODOLÓGICO Y PROCEDIMIENTO

| | | |
|--------|---|----|
| 2.1 | Razones de la investigación..... | 78 |
| 2.2 | Objetivo de la investigación | 79 |
| 2.3 | Método, diseño y tipo de investigación..... | 80 |
| 2.3.1 | Ubicación Geográfica del área de estudio..... | 80 |
| 2.3.2 | Cartografía Base | 81 |
| 2.3.3 | Metodología..... | 82 |
| 2.3.4 | Obtención de datos SRTM (NASA)..... | 85 |
| 2.3.5 | Pre procesamiento del MDE..... | 87 |
| 2.3.6 | Dirección de flujo | 88 |
| 2.3.7 | Acumulación de flujo | 89 |
| 2.3.8 | Red de drenajes | 91 |
| 2.3.9 | Generación de cuencas | 91 |
| 2.3.10 | Vectorización y Codificación..... | 92 |
| 2.4 | Consideraciones éticas | 93 |
| 2.5 | Resultados de la investigación..... | 95 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 2.6 | Discusión de resultados de investigación | 100 |
|-----|--|-----|

CAPÍTULO III

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFLEXIONES

| | | |
|-----|---|-----|
| 3.1 | Conclusiones..... | 104 |
| 3.2 | Contribuciones | 108 |
| 3.3 | Implicaciones y aplicaciones | 109 |
| 3.4 | Limitaciones y áreas para futuras investigaciones | 110 |
| 3.5 | Recomendaciones..... | 111 |
| 3.6 | Reflexiones | 112 |
| | REFERENCIAS | 113 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Componentes fundamentales de un Sistema de Información | 20 |
| Tabla 2. Componentes, sub-elementos y funcionamiento de un SIG | 28 |
| Tabla 3. Comparativa de modelos de datos espaciales..... | 31 |
| Tabla 4. Elementos estructurales de una cuenca hidrográfica | 35 |
| Tabla 5. Clasificación de las cuencas..... | 40 |
| Tabla 6. Síntesis de métodos modernos para la delimitación altimétrica de divisorias de cuenca o aguas..... | 43 |
| Tabla 7. Leyes de Horton..... | 55 |
| Tabla 8. Comparación resumida de los métodos de jerarquización de redes de drenaje: Horton-Strahler versus Shreve..... | 59 |
| Tabla 9. Proceso de codificación Pfafstetter..... | 64 |
| Tabla 10. Unidades hidrográficas Sudamérica | 68 |
| Tabla 11. Unidades hidrográficas de Bolivia | 69 |
| Tabla 12. Unidades hidrográficas delimitadas caso Perú | 71 |
| Tabla 13. Niveles alcanzados según método Pfafstetter | 72 |
| Tabla 14. Número de cuencas delimitadas por el método Strahler | 73 |
| Tabla 15. Distribución de las Unidades Hidrográficas en el Ecuador | 76 |
| Tabla 16. Coordenadas de ubicación de la cuenca Jubones..... | 81 |
| Tabla 17. Coordenadas de los vértices del área de estudio seleccionada en el visor EarthExplorer | 86 |
| Tabla 18. Unidades hidrográficas o áreas drenaje obtenidas | 99 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|--|----|
| Figura 1. | Estructura Funcional de los Sistemas de Información..... | 18 |
| Figura 2. | Jerarquía Funcional de los Sistemas de Información | 21 |
| Figura 3. | Línea de tiempo de la evolución histórica de los SIG | 24 |
| Figura 4. | Capas de Información Geográfica: Raster y Vectorial | 29 |
| Figura 5. | Cuenca Hidrográfica..... | 34 |
| Figura 6. | Divisoria de cuenca o aguas en una cuenca específica | 36 |
| Figura 7. | Perfil longitudinal y funcional de las zonas estructurales de una cuenca hidrográfica | 38 |
| Figura 8. | Divisoria de cuenca o aguas..... | 42 |
| Figura 9. | Interrelación de la cuenca hidrográfica con los principales sectores socioeconómicos: ciudad, industria, agricultura y ecosistemas | 45 |
| Figura 10. | Modelo Digital de Elevación (MDE)..... | 49 |
| Figura 11. | Obtención tridimensional de Modelo Digital de Elevación (MDE) con el sensor ASTER a bordo del satélite Terra | 52 |
| Figura 12. | Ordenes de corriente Horton..... | 54 |
| Figura 13. | Clasificación de cursos fluviales Strahler..... | 56 |
| Figura 14. | Método Shreve de ordenación de los cauces..... | 57 |
| Figura 15. | Tipo de unidades hidrográficas | 62 |
| Figura 16. | Sentido de codificación horario..... | 63 |
| Figura 17. | Codificación de unidades hidrográficas | 65 |
| Figura 18. | Codificación unidades más altas del río principal | 65 |
| Figura 19. | Codificación de cuencas internas o endorreicas | 66 |

| | |
|---|----|
| Figura 20. Demarcaciones hidrográficas del Ecuador | 74 |
| Figura 21. Mapa de unidades hidrográficas en nivel 5 | 75 |
| Figura 22. Ubicación geográfica del área de estudio | 80 |
| Figura 23. Diagrama de la metodología | 83 |
| Figura 24. Fases del método Pfafstetter | 84 |
| Figura 25. Página de descarga de datos SRTM..... | 86 |
| Figura 26. Corrección de errores de tipo sumidero y picos | 87 |
| Figura 27. Forma de operación de la herramienta Flow Direction..... | 89 |
| Figura 28. Forma de operación de la herramienta Flow Accumulation | 90 |
| Figura 29. Proceso de codificación jerárquica de cuencas, intercuencas y cuencas internas..... | 93 |
| Figura 30. Proceso de codificación jerárquica de cuencas, intercuencas y cuencas internas..... | 95 |
| Figura 31. Comparación del mosaico SRTM correspondiente a la unidad hidrográfica 13944 | 96 |
| Figura 32. Dirección de flujo de la unidad hidrográfica 13944 | 96 |
| Figura 33. Umbral de acumulación y Red de drenajes de la unidad hidrográfica 13944 | 97 |
| Figura 34. Áreas de drenaje generadas mediante la herramienta Watershed . | 98 |
| Figura 35. Mapa de áreas de drenaje obtenidas | 99 |

SINOPSIS

La presente obra constituye una propuesta técnica y metodológica orientada a la delimitación automática de unidades hidrográficas mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la aplicación rigurosa del método Pfafstetter. El texto surge de una necesidad concreta: la carencia de información detallada sobre microcuencas en la cuenca del río Jubones, en el sur de Ecuador, situación que ha dificultado la planificación hídrica, la administración territorial y la gestión eficiente de los recursos hídricos.

El propósito fundamental del libro es codificar las unidades hidrográficas en nivel 6 de la cuenca 13944, generando productos cartográficos digitales estandarizados que sirvan como base para la toma de decisiones técnicas y administrativas en instituciones públicas. La metodología se sustenta en la combinación de análisis hidrológico, modelos digitales de elevación (MDE SRTM, resolución 30m) y herramientas SIG como ArcGIS, integrando procesos como dirección y acumulación de flujo, vectorización, y asignación jerárquica de códigos Pfafstetter.

El resultado principal es un conjunto de 9 unidades hidrográficas codificadas, formalizadas en formato Shapefile con sus respectivos metadatos, contribuyendo a fortalecer el marco técnico de la gestión integral de cuencas. La obra enfatiza la importancia de estandarizar metodologías a nivel nacional y regional, proponiendo la replicación del enfoque en otras áreas captación.

Este libro se establece como una herramienta de consulta imprescindible para profesionales, investigadores y tomadores de decisiones vinculados con la geoinformación.

PRÓLOGO

La gestión de los recursos hídricos constituye uno de los desafíos más relevantes para las sociedades contemporáneas, particularmente en territorios donde la presión sobre el agua se intensifica debido al crecimiento poblacional, la variabilidad climática y la transformación de los ecosistemas. En este contexto, la delimitación precisa de las unidades hidrográficas se erige como un requisito esencial para garantizar una planificación territorial sustentada en evidencia técnica, capaz de orientar políticas públicas y estrategias de desarrollo sostenible.

El presente libro ofrece una contribución significativa a este campo, al integrar la metodología Pfafstetter con las capacidades analíticas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los modelos digitales de elevación de alta resolución. El caso de la cuenca del río Jubones, en el sur de Ecuador, sirve como escenario de aplicación para demostrar la pertinencia de combinar metodologías científicas con herramientas tecnológicas que aseguren resultados estandarizados, reproducibles y de utilidad práctica para diferentes niveles de gestión institucional.

Más allá de su rigor técnico, la obra constituye un aporte académico que dialoga con experiencias regionales en Sudamérica y que refuerza la necesidad de armonizar los sistemas de codificación y clasificación de cuencas. De esta manera, el texto no solo enriquece el conocimiento especializado en geomática e hidrología, sino que también se proyecta como una guía para la formación de profesionales y la toma de decisiones en instituciones públicas y privadas.

El lector encontrará en estas páginas un recorrido estructurado, claro y meticuloso, que combina fundamentos teóricos, revisión crítica de literatura, metodología aplicada y resultados concretos. Se trata, en suma, de una obra que trasciende su origen como tesis de maestría para consolidarse como un referente editorial en la intersección entre geografía, tecnología y gestión ambiental, destinada a inspirar nuevas investigaciones y aplicaciones en diferentes cuencas del país y la región.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la humanidad ha experimentado una transformación profunda en la forma en que estudia y gestiona el territorio. Este cambio ha sido impulsado por el avance tecnológico, especialmente en el desarrollo y aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las posibilidades que brindan estas herramientas digitales han revolucionado tanto la investigación científica como el planeamiento de políticas públicas y la administración sostenible de los recursos naturales. A través de los SIG, se logra integrar bases de datos espaciales, imágenes satelitales, modelos digitales del terreno y algoritmos de análisis geoespacial, permitiendo estudiar con precisión compleja y dinámica la superficie terrestre y sus componentes.

La gestión del agua y la hidrología, pilares esenciales para la vida y el desarrollo sostenible, han sido ámbitos especialmente beneficiados por estos avances. Antes de los SIG, el análisis de cuencas y subcuencas dependía de técnicas manuales y metodologías tradicionales como Horton-Strahler y Shreve, las cuales, si bien fueron útiles en su contexto, presentaban importantes limitaciones en términos de estandarización y replicabilidad entre regiones o países. La necesidad de mapas hidrográficos comparables y una estructura lógica de subdivisión condujo, en los años ochenta y noventa, al desarrollo y difusión del método jerárquico de Pfafstetter, adoptado y promovido como la UICN y la Comunidad Andina de Naciones. La obtención de datos altimétricos de alta resolución, como los obtenidos por la Shuttle Radar Topography Mission (Erazo et al., 2018), ha permitido mejorar sustancialmente la delimitación, modelación y análisis de redes de drenaje, así como la simulación de procesos hidrológicos de gran complejidad bajo diferentes escenarios ambientales (Ruiz & Torres, 2010). Estas mejoras han tenido implicaciones directas en la planificación territorial, la toma de decisiones institucionales y la gestión comunitaria del agua, aportando fundamentos científicos y técnicos a la elaboración de políticas públicas adaptativas y multiescalares (Portuguez M., 2015).

La presente obra se inscribe en esta línea de innovación y rigor, proponiendo una metodología integral para la delimitación automática de microcuencas mediante el uso de SIG y datos SRTM, con aplicación específica en la unidad hidrográfica 13944, correspondiente a la cuenca del río Jubones en Ecuador. La cuenca del Jubones constituye un territorio estratégico donde los desafíos de gestión hídrica, presión demográfica y planificación sostenible se manifiestan de manera aguda, haciendo imprescindible el acceso a información geográfica fiable y de alta resolución.

A lo largo de los capítulos, el lector encontrará una revisión contextual y teórica del estado del arte en la delimitación de cuencas, un análisis de los métodos tradicionales y modernos, y la exposición detallada de un caso de estudio real, construido a partir de datos oficiales, herramientas libres y el marco metodológico Pfafstetter. El propósito es brindar respuestas a problemáticas prácticas como: ¿cuáles son los métodos que se utilizan para la delimitación de cuencas hidrográficas?, ¿cuáles son las unidades hidrográficas a delimitarse en la cuenca del río Jubones?, ¿qué codificación le corresponde a cada una de las unidades hidrográficas delimitadas?

Este libro aspira a ser una guía para investigadores, técnicos, gestores públicos y cualquier persona interesada en comprender y aplicar los SIG al manejo integral del agua y el territorio. Promete entregar fundamentos conceptuales, ejemplos ilustrativos basados en experiencias locales, y un enfoque metodológico capaz de responder a los desafíos de la gestión de cuencas en el siglo XXI, donde la sustentabilidad y la adaptabilidad son requisitos esenciales. Al finalizar la lectura, el lector contará con herramientas y criterios sólidos que le permitirán analizar, proponer y ejecutar intervenciones robustas y eficientes sobre el territorio, aportando así a la conservación, uso equitativo y planificación inteligente de los recursos hídricos.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

SISTEMAS DE INFORMACIÓN

1.1 Introducción a los Sistemas de Información

Los sistemas de información han evolucionado como el núcleo estructural de sociedades digitales, instituciones públicas y empresas del siglo XXI, transformándose en plataformas multidimensionales que habilitan la gestión integral de datos y el conocimiento. Un sistema de información puede definirse como el conjunto articulado de elementos humanos, tecnológicos y organizativos dedicados a la captura, procesamiento, almacenamiento, análisis y distribución de datos para la generación de información útil en la toma de decisiones y la mejora continua de los procesos institucionales (Fuster et al., 2018; Masaquiza-Moyolema et al., 2023).

En el entorno contemporáneo, los sistemas de información cumplen funciones cada vez más complejas: permiten la integración y análisis de grandes volúmenes de información en tiempo real, gestionan riesgos y oportunidades, y facilitan la articulación entre distintas áreas funcionales y niveles jerárquicos de una organización. Esta capacidad relacional y adaptativa, impulsada por la digitalización y el avance exponencial de las tecnologías, reviste especial importancia en contextos de alta incertidumbre, cambio acelerado y competencia global (Ayodeji Abatan et al., 2024; Masaquiza-Moyolema et al., 2023).

La arquitectura moderna de los sistemas de información combina infraestructuras físicas (equipos, redes, servidores), plataformas digitales (software, bases de datos y servicios en la nube), recursos humanos capacitados y estructuras de gobernanza que permiten definir políticas de acceso, seguridad, interoperabilidad y escalabilidad. Cada componente cumple una función vital: asegurar la calidad de datos, la eficiencia de procesos y la disponibilidad de la información pertinente en el momento oportuno (Ayodeji Abatan et al., 2024; Fuster et al., 2018)

Figura 1

Estructura Funcional de los Sistemas de Información



El impacto de los sistemas de información trasciende la gestión administrativa y financiera; es esencial en la planificación estratégica, la innovación y el desarrollo sostenible. En sectores como el medio ambiente, la salud, la educación y la industria, los sistemas de información proveen insumos clave para el diagnóstico, la toma de decisiones basadas en evidencia, la evaluación de políticas públicas y la optimización de recursos naturales y humanos (Díaz Andrade et al., 2023; El-Gayar & Fritz, 2006).

Particularmente, el campo ambiental ha innovado al integrar sistemas de información especializados para el monitoreo de ecosistemas, la gestión de recursos hídricos, la predicción y mitigación de impactos, y la promoción de modelos participativos de gobernanza y educación. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), por ejemplo, permiten visualizar, analizar y modelar el territorio mediante grandes volúmenes de datos georreferenciados y cartográficos, promoviendo la gestión responsable y el desarrollo sostenible a escala global (Díaz Andrade et al., 2023; El-Gayar & Fritz, 2006).

1.2 Componentes fundamentales de un Sistema de Información

Los sistemas de información adquieren su funcionalidad y valor a partir de la articulación de diversos componentes, cada uno con propiedades únicas y roles

específicos que, en conjunto, permiten transformar datos brutos en información estratégica para las organizaciones. La literatura especializada identifica cinco elementos fundamentales: hardware, software, datos, redes o telecomunicaciones y personas.

El **hardware** representa la infraestructura física sobre la que se sustentan las operaciones del sistema, incluyendo computadoras, servidores, dispositivos periféricos y unidades de almacenamiento. Sin una base tecnológica confiable, la eficiencia y seguridad del procesamiento y manejo de la información se verían afectadas (Monterrubio-Hernández, 2023). Paralelamente, el **software** engloba los programas y aplicaciones que gestionan tareas de captura, análisis, modelado y visualización de datos; este abarca desde sistemas operativos, hasta complejas herramientas de inteligencia empresarial y gestión documental, esenciales para personalizar el funcionamiento del sistema según los requerimientos del usuario y el entorno (Masaquiza-Moyolema et al., 2023).

El tercer componente, los **datos**, constituyen el insumo esencial del sistema de información: almacenan registros de hechos, transacciones y entidades sobre las cuales se fundamenta la producción de información significativa y la toma de decisiones informadas. La calidad, consistencia y disponibilidad de los datos determinan en gran medida el éxito del sistema en su contexto operativo (Fuster et al., 2018). En sincronía, las **redes** y **telecomunicaciones** posibilitan la conectividad, el acceso remoto, el trabajo colaborativo y la integración de los distintos dispositivos, permitiendo que la información circule de manera segura y eficiente entre usuarios locales y remotos (Masaquiza-Moyolema et al., 2023).

Finalmente, las **personas** aportan la dimensión cognitiva, operativa y estratégica: son los usuarios, analistas y gestores quienes diseñan, administran y explotan el sistema de información, influyendo directamente en su eficiencia, capacidad de innovación y adaptabilidad al cambio (Masaquiza-Moyolema et al., 2023; Monterrubio-Hernández, 2023).

Estos componentes se interrelacionan en un flujo lógico, donde cada uno aporta funciones esenciales para la conversión de datos en conocimiento y valor

organizacional. La Tabla 1 resume de manera estructurada, los componentes clave y sus principales características.

Tabla 1

Componentes fundamentales de un Sistema de Información

| Componente | Descripción | Función |
|----------------------------|--|--|
| Hardware | Infraestructura física (computadoras, servidores, periferia, almacenamiento) | Procesamiento y soporte físico de datos |
| Software | Programas y aplicaciones para captura, análisis y visualización de datos | Gestión digital de la información |
| Datos | Registros, transacciones y entidades almacenadas y procesadas en el sistema | Insumo para el análisis y toma de decisiones |
| Redes y telecomunicaciones | Sistemas de comunicación (internet, intranet, redes locales y remotas) | Conectividad e integración operativa |
| Personas | Usuarios, diseñadores, administradores y gestores | Interpretación, gestión y explotación |

1.3 Tipos de Sistemas de Información

La diversidad y especialización de los sistemas de información en las organizaciones modernas reflejan el notable desarrollo tecnológico y la evolución de las necesidades gerenciales, productivas y estratégicas en distintos sectores. Los tipos de sistemas de información, lejos de ser entidades estáticas, son el resultado de una sofisticada evolución que busca responder eficazmente a los desafíos inherentes al manejo, análisis y aprovechamiento del conocimiento en contextos operativos, tácticos y directivos (Fuster et al., 2018; Pazmiño Yépez et al., 2023).

La clasificación tradicional inicia con los **sistemas de procesamiento de transacciones (TPS)**, núcleo operativo de instituciones comerciales, industriales y públicas, que automatizan la captura y validación de datos de las transacciones recurrentes. Este tipo de sistema es fundamental en la logística diaria,

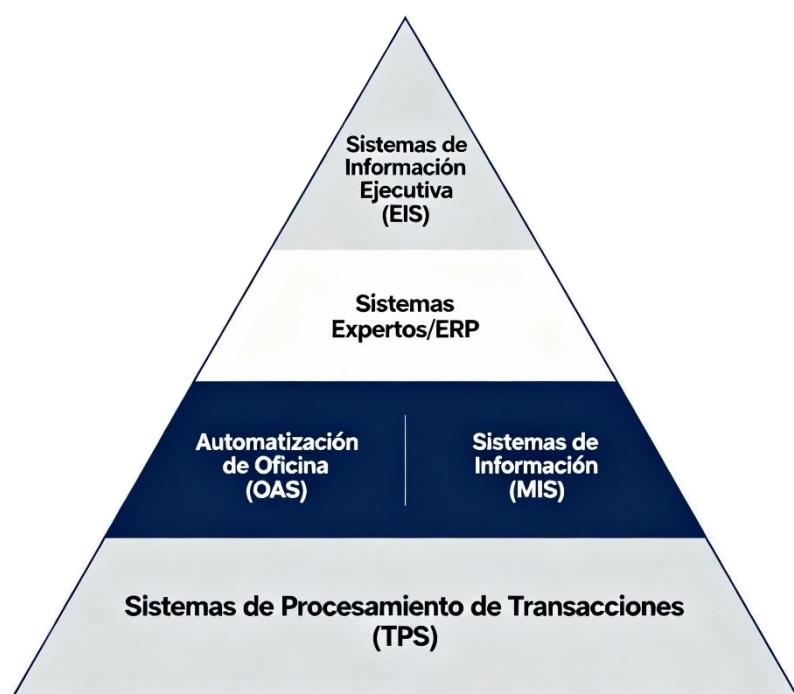
permitiendo la gestión eficiente de ventas, compras, nóminas, inventarios y otros procesos clave donde la precisión y velocidad resultan indispensables.

A medida que la información se requiere para la supervisión y control, emergen los sistemas de **automatización de oficina (OAS)**, cuyas aplicaciones van más allá del procesamiento transaccional para facilitar la gestión documental, la comunicación y el trabajo colaborativo. Estas plataformas abarcan desde procesadores de texto y hojas de cálculo hasta sistemas de videoconferencia y agendas electrónicas, constituyéndose en soportes imprescindibles del trabajo profesional y administrativo (Proaño Castro et al., 2018).

Los **sistemas de información gerencial (MIS)** representan el siguiente nivel de desarrollo, proporcionando a los directivos reportes, estadísticas y análisis agregados para la toma de decisiones tácticas. El valor de estos sistemas radica en el procesamiento y transformación de grandes volúmenes de datos transaccionales en información relevante y sintetizada para la gestión de operaciones en áreas funcionales específicas (Veli Rojas, 2017).

Figura 2

Jerarquía Funcional de los Sistemas de Información



Para apoyar la toma de decisiones en entornos complejos y cambiantes, se han desarrollado **sistemas de soporte a la decisión (DSS)**, capaces de integrar modelos matemáticos, simulaciones, inteligencia artificial y bases de datos extensas. Estas herramientas permiten comparar escenarios y proyectar alternativas para seleccionar la mejor opción, respondiendo así a la creciente incertidumbre que enfrentan las organizaciones (Fuster et al., 2018; Proaño Castro et al., 2018).

En la cúspide de la organización, los **sistemas de información ejecutiva (EIS)** brindan una visión estratégica global. Usando tableros de mando, indicadores clave y visualizaciones avanzadas, estos sistemas sintetizan tendencias, riesgos y oportunidades, dirigiendo el accionar de la alta dirección y facilitando la toma de decisiones alineadas con objetivos de largo plazo (Veli Rojas, 2017).

El avance tecnológico ha permitido el diseño e integración de sistemas expertos, que utilizan algoritmos sofisticados para emular el razonamiento humano y brindar soluciones especializadas, y sistemas empresariales integrados o ERP, que conectan e interrelacionan áreas funcionales como recursos humanos, compras, producción y ventas en una única plataforma actualizable y flexible, maximizando la eficiencia y la coherencia informativa (Proaño Castro et al., 2018).

1.4 Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema informático complejo e integrado que permite la recopilación, almacenamiento, gestión, interpretación, análisis y visualización de datos georreferenciados o espaciales. El SIG combina hardware, software, bases de datos, metodologías y talento humano para establecer relaciones entre elementos del mundo real y su representación digital, lo que posibilita el procesamiento simultáneo de información espacial (ubicaciones, coordenadas, polígonos, líneas) y atributos (rasgos o descripciones asociadas a los objetos territoriales). Esta integración de componentes convierte al SIG en una poderosa herramienta de apoyo para la toma de decisiones fundamentada, tanto en ámbitos científicos, académicos y técnicos, como en la

gestión pública y privada. A través de modelos espaciales, consultas complejas y generación de cartografía digital dinámica, los SIG permiten analizar problemas ambientales, urbanos, agrícolas y sociales bajo una visión sistémica y multidimensional (Arias, 2022; Kurniawati et al., 2020).

El desarrollo de los SIG ha significado un salto cualitativo respecto a los métodos tradicionales de análisis territorial y cartografía manual. Al posibilitar la superposición, comparación y modelización de diferentes capas de información espacial (como suelos, uso del suelo, redes hidrográficas, infraestructura, biodiversidad), el SIG habilita el estudio de patrones, tendencias, relaciones y escenarios futuros, incrementando la eficiencia y precisión en el manejo de recursos naturales, planificación urbana, gestión de riesgos y monitoreo del cambio ambiental. Su capacidad para integrar fuentes diversas (sensores remotos, GPS, bases de datos estadísticas o censales) refuerza la visión integradora y colaborativa, situando a los SIG como el eje transversal para proyectos multidisciplinarios y estrategias de desarrollo sostenible (Siabato, 2018; Zambrano Solís, 2024).

1.4.1 Evolución histórica de los SIG

La evolución histórica de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) está marcada por hitos trascendentales que reflejan la convergencia efectiva entre el avance científico, el desarrollo tecnológico y la necesidad creciente de gestionar la información espacial para el desarrollo territorial y la toma de decisiones ambientales. Los primeros antecedentes pueden encontrarse en los sistemas manuales utilizados por civilizaciones antiguas para registrar catastros, planos y cartografía rudimentaria, que se mantuvieron vigentes durante siglos hasta el advenimiento de la informática en el siglo XX (Zambrano Solís, 2024).

Figura 3

Línea de tiempo de la evolución histórica de los SIG



El punto de partida formal de los SIG se atribuye a Roger Tomlinson en Canadá, quien en 1963 diseñó el primer sistema informático para el inventario de recursos naturales, lo que marcó el inicio de la cartografía computarizada y sentó las bases metodológicas para la integración de datos espaciales y atributos descriptivos en una única plataforma digital (Siabato, 2018). Durante los años setenta y ochenta, el desarrollo de computadoras más potentes y el surgimiento de bases de datos espaciales permitieron la expansión paulatina de los SIG en universidades, agencias gubernamentales y empresas especializadas, extendiendo sus aplicaciones a la planificación urbana, gestión de recursos agropecuarios y estudios ambientales (Pucha-Cofrep et al., 2017).

Con la revolución digital de los años noventa y la llegada de internet, el acceso masivo a imágenes satelitales, GPS y softwares de código abierto impulsó la democratización del uso de SIG, convirtiéndolos en herramientas esenciales para la modelización, simulación y visualización dinámica del territorio en tiempo real. En la actualidad, la evolución continúa (impulsada por la inteligencia artificial, el Big Data y la interoperabilidad entre plataformas) permitiendo la integración de grandes volúmenes de datos multitemporales y multisensoriales, y consolidando a los SIG como sistemas fundamentales en la gestión sostenible y resiliente de los recursos geoespaciales (Zambrano Solís, 2024).

1.4.2 Estructura y arquitectura de los SIG

La estructura y arquitectura de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se fundamenta en la integración ordenada de distintos componentes tecnológicos y metodológicos, diseñados para garantizar la manipulación precisa, eficiente y segura de información espacial georreferenciada en escenarios complejos. Un SIG típico está compuesto por varios bloques esenciales. El hardware incluye computadoras, servidores, dispositivos de almacenamiento y periféricos de entrada y salida, que constituyen la base física para operar, procesar y visualizar grandes volúmenes de datos espaciales y atributos relacionados (Pérez-Guerra Gabriel Alberto, n.d.). El software, por su parte, provee los programas y algoritmos para la captura, gestión, procesamiento, análisis y representación cartográfica, facilitando la generación de mapas, superposición de capas, análisis topológico y modelado espacial (Mayorga et al., 2022).

Dentro de la arquitectura funcional, los SIG se estructuran en subsistemas o módulos especializados. El subsistema de datos es responsable de la entrada, almacenamiento y recuperación de información espacial y descriptiva; aquí se definen formatos, proyecciones, escalas y estructuras de metadatos esenciales para la integridad de los análisis (Zambrano Solís, 2024).

El subsistema de visualización o de creación cartográfica permite la representación gráfica de datos mediante mapas temáticos, leyendas personalizadas y herramientas de edición; es fundamental para la interpretación y la toma de decisiones informadas. Por otro lado, el subsistema de análisis espacial integra técnicas y modelos matemáticos para el estudio de relaciones y patrones geográficos, como distancias, conectividad, rutas óptimas o simulación de escenarios. Algunos enfoques recientes incorporan también un subsistema de gestión y control, el cual regula la interacción entre módulos, usuarios y flujos de trabajo, abarcando aspectos de seguridad, interoperabilidad y administración colaborativa.

Esta arquitectura modular y abierta hace posible la interoperabilidad con plataformas externas y el uso flexible de software propietario o libre, permitiendo

a los SIG adaptarse a numerosas aplicaciones científicas, comerciales y gubernamentales.

1.4.3 Componentes y funcionamiento de un SIG

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan un entorno tecnológico integral donde múltiples componentes trabajan de manera conjunta para convertir datos espaciales en información relevante, analítica y útil para diferentes áreas del conocimiento y la gestión territorial. La eficacia de un SIG depende no solo de su arquitectura interna, sino también de la calidad operativa y el flujo de interacciones entre sus elementos constitutivos (Mayorga et al., 2022; Zambrano Solís, 2024).

En primer lugar, el hardware engloba la plataforma física necesaria para la ejecución de las tareas SIG. Esto incluye computadoras de alto rendimiento, servidores robustos, sistemas de almacenamiento especializado y periféricos como escáneres o digitalizadores. Estos permiten procesar grandes volúmenes de datos, realizar simulaciones instantáneas y visualizar mapas complejos en diversas resoluciones (Zambrano Loor et al., 2023).

El software es el encargado de la lógica operativa y la interfaz de usuario. Comprende aplicaciones especializadas para captura, edición, transformación, análisis y visualización de información geográfica. Ejemplos de software SIG incluyen herramientas comerciales como ArcGIS y QGIS, que permiten automatizar flujos, personalizar consultas y generar productos cartográficos avanzados (Pucha-Cofrep et al., 2017).

En cuanto a los datos, estos se presentan en formatos vectoriales (puntos, líneas, polígonos), raster (imágenes, mapas de relieve) y tabulares (atributos alfanuméricos). La actualización, precisión y compatibilidad de estos datos es crucial para asegurar resultados confiables; además, el uso de metadatos y estructuras normalizadas facilita la interoperabilidad y el trabajo colaborativo en redes de usuarios (Mayorga et al., 2022).

El subsistema de procedimientos articula metodologías, reglas y estándares que orientan el flujo del trabajo. Incluye protocolos para la validación, limpieza, transformación y almacenamiento de información, asegurando el rigor científico y la reproducibilidad en análisis espaciales complejos.

La visualización cartográfica, por su parte, permite representar gráficamente la información procesada. A través de mapas temáticos, simbologías y leyendas personalizadas, los usuarios pueden interpretar patrones espaciales, evaluar tendencias y comunicar hallazgos de forma eficaz (Proaño Castro et al., 2018).

El subsistema de análisis espacial potencia las capacidades del SIG para modelar relaciones geográficas, determinar distancias, calcular rutas óptimas y simular escenarios ambientales. Estos procesos emplean algoritmos matemáticos y estadísticos que han evolucionado rápidamente con la inteligencia artificial y el machine learning en geociencias avanzadas (Masaquiza-Moyolema et al., 2023).

Finalmente, el aspecto de gestión y control implica la regulación del acceso a datos, la administración de usuarios y la interoperabilidad entre sistemas, lo que promueve el trabajo seguro, colaborativo y distribuido.

La Tabla 2 sintetiza los componentes, sub-elementos y funciones principales del funcionamiento de un SIG.

Tabla 2*Componentes, sub-elementos y funcionamiento de un SIG*

| Componente | Sub-elementos | Función o flujo operativo |
|----------------------------|---|--|
| Hardware | Computadoras, servidores, almacenamiento, escáneres digitalizadores | Procesamiento y visualización de datos geoespaciales |
| Software | Programas SIG (ArcGIS, Captura, gestión, análisis, QGIS), algoritmos de modelado y visualización de análisis, edición | |
| Datos | Vectorial, raster, tabular, metadatos | Entrada, almacenamiento, compatibilidad, actualización y consulta de datos |
| Procedimientos | Protocolos, flujos, estándares, validaciones | Transformación, integración, calidad y reproducibilidad de la información |
| Visualización Cartográfica | Mapas temáticos, leyendas, simbología, edición | Representación gráfica, interpretación y comunicación de resultados espaciales |
| Análisis Espacial | Modelos de distancias, rutas, simulaciones, IA geoespacial | Estudio y modelado de relaciones y patrones geográficos |
| Gestión y Control | Seguridad, administración de usuarios, interoperabilidad | Manejo seguro, colaboración y acceso distribuido a la información geoespacial |

1.4.4 Modelos de datos espaciales: raster y vectorial

En el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los modelos de datos espaciales son la base para representar, almacenar, analizar y visualizar información georreferenciada en un entorno digital. La elección del modelo de datos adecuado resulta crítica para el desempeño, la precisión y la aplicabilidad de los análisis espaciales (Zambrano Loor et al., 2023).

El modelo raster se caracteriza por la división del espacio geográfico en una matriz regular de celdas (píxeles), cada una con un valor numérico que

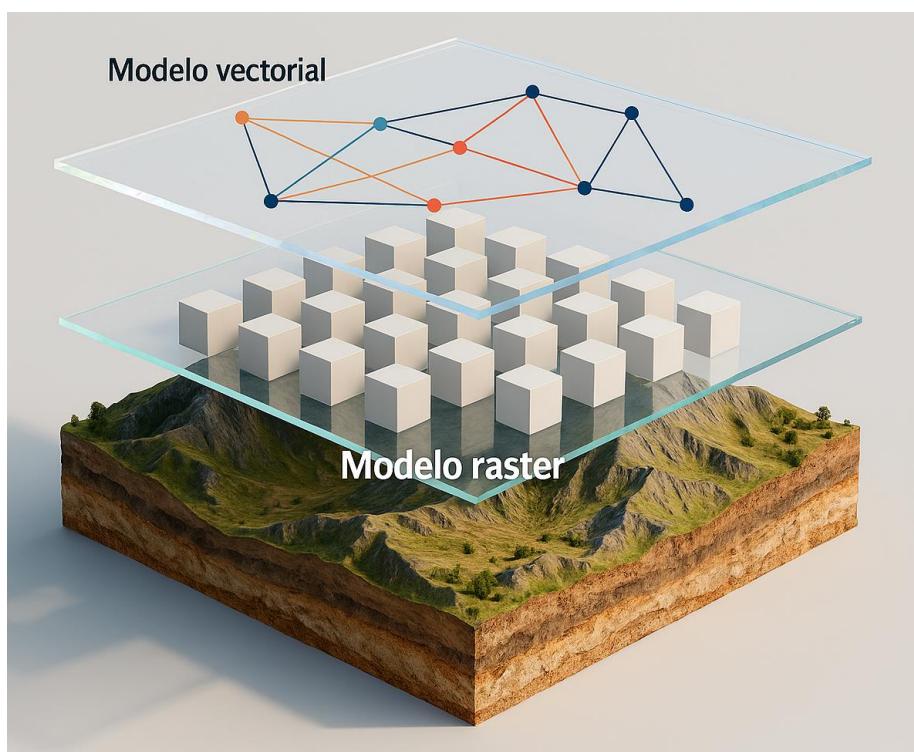
representa la magnitud de un atributo - por ejemplo, temperatura, altitud, humedad, reflectancia, uso del suelo o cobertura vegetal.

Este tipo de modelo es el preferido para representar superficies continuas y fenómenos ambientales que se modifican gradualmente en el espacio, como imágenes satelitales, modelos digitales de elevación (MDE) y mapas climáticos. Los datos raster facilitan procesos avanzados como clasificación supervisada y no supervisada, álgebra de mapas, interpolaciones, y permiten el manejo de grandes volúmenes de datos espaciales proveniente de sensores remotos (Carlos Guerrero Elemen, 2019).

El tamaño de celda (resolución espacial) es fundamental: cuanto más pequeña la celda, mayor el detalle y la precisión, pero también mayor el peso del archivo y el tiempo de procesamiento. Las operaciones habituales sobre raster incluyen filtros, análisis de terreno, cálculos de proximidad, zonificación y transformaciones matemáticas sobre cada píxel, permitiendo la integración fluida con tecnologías SIG y de percepción remota.

Figura 4

Capas de Información Geográfica: Raster y Vectorial



El modelo vectorial, por otro lado, representa entidades discretas del espacio mediante objetos geométricos básicos: puntos (ubicación única), líneas (carreteras, ríos, cables) y polígonos (parcelas, lagos, zonas urbanas). Cada objeto vectorial se asocia a una tabla de atributos con información complementaria: nombres, tipos, valores numéricos o categóricos, permitiendo consultas y análisis avanzados.

El vectorial posibilita análisis topológicos (relación entre entidades), edición precisa de geometrías, cálculos de distancias, rutas óptimas, áreas, perímetros y operaciones de superposición (union, intersección, diferencia). Es especialmente útil para aplicaciones que requieren alta precisión (catastro, planificación urbana, infraestructura) y edición personalizada de elementos espaciales (Carlos Guerrero Elemen, 2019).

Este modelo se almacena mediante formatos estándar como Shapefile, GeoJSON, KML, GPKG, entre otros, y admite la interoperabilidad entre distintas plataformas y software SIG. Los datos vectoriales son versátiles para la gestión, el monitoreo y la representación visual en mapas temáticos, diagramas y redes.

Ambos modelos, raster y vectorial, presentan ventajas y limitaciones según la naturaleza de la información y el objetivo del análisis. El raster destaca en el trabajo con superficies continuas y procesamiento masivo de datos ambientales; el vectorial, en el análisis lógico, la gestión de entidades discretas y la generación de productos cartográficos editables. Los SIG modernos permiten su integración en análisis híbridos, potenciando la flexibilidad y robustez en el manejo de datos geoespaciales (Lobo Montero et al., 2023).

Tabla 3*Comparativa de modelos de datos espaciales*

| Modelo | Principales aplicaciones | Ventajas | Limitaciones |
|-----------|--|---|--|
| Raster | Superficies continuas, variables ambientales | Procesamiento masivo, integración con sensores remotos, álgebra de mapas. | Gran tamaño de archivos, menor precisión en bordes y detalles |
| Vectorial | Catastro, redes, cartografía temática, edición personalizada | Precisión geométrica, edición flexible, análisis topológico. | Complejidad para modelar fenómenos continuos, mayor trabajo en grandes datasets. |

1.4.5 Aplicaciones de los SIG en la planificación territorial y ambiental

En el contexto de la planificación territorial, los SIG facilitan el análisis de la estructura urbana y rural, la identificación de áreas vulnerables, el diseño de corredores ecológicos, la delimitación de zonas protegidas, y la gestión de riesgos naturales como inundaciones o deslizamientos. Permiten la evaluación multifactorial de alternativas de ordenamiento territorial, el diseño de planes de desarrollo sustentable y la optimización de recursos para atender las necesidades de la población (Cervera Timaná et al., 2023).

En el ámbito ambiental, los SIG desempeñan un papel clave en el monitoreo de ecosistemas, el seguimiento de la evolución de la cobertura vegetal, el análisis de cambios en el uso del suelo, la gestión de recursos hídricos y la vigilancia de áreas protegidas (León-Brito et al., 2022). Facilitan la modelización de procesos ambientales complejos, permiten identificar fuentes de contaminación, y ayudan en la elaboración de escenarios de gestión sostenible ante el cambio climático y el crecimiento demográfico (Díaz & Acosta, 2019).

Además, gracias a su interoperabilidad y capacidad colaborativa, los SIG posibilitan la participación ciudadana en procesos de planificación, empoderando a comunidades para que aporten datos y propuestas, así como la

transparencia y eficiencia gubernamental (QGIS, 2021). Los SIG respaldan la toma de decisiones fundamentadas en evidencia y promueven políticas públicas adaptativas y eficaces, lo que resulta esencial para la construcción de territorios resilientes y la protección del patrimonio natural.

CUENCA HIDROGRÁFICA

1.5 Definición

La cuenca hidrográfica se define como un conjunto de tierras drenadas por un río principal y sus afluentes, conformada en las zonas de mayor relieve y delimitada por la divisoria de aguas, donde la precipitación y los escurrimientos superficiales confluyen para dar origen a los distintos cursos fluviales (Oliveira & Pereira, 2021).

En coherencia con esta definición, una cuenca puede entenderse como el espacio territorial en el que las aguas superficiales convergen hacia un punto común de drenaje. Esta perspectiva encuentra respaldo en Haz clic o pulse aquí para escribir texto., quien afirma que el ámbito de una cuenca hidrográfica debe entenderse como un espacio territorial natural que trasciende las fronteras político-administrativas internas de un país, así como los límites internacionales. De este modo, se subraya que la cuenca constituye una unidad natural de planificación y gestión ambiental, ajena a las divisiones impuestas por la organización política del territorio.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura destaca que en el área de drenaje de una cuenca se concentran no solo los recursos naturales, sino también la infraestructura, las comunidades y sus diversas actividades económicas (FAO, 2015). Esta interrelación de factores refuerza la importancia de la cuenca como unidad básica para comprender las dinámicas ecológicas, productivas y sociales que configuran el territorio (véase Figura 5).

Figura 5

Cuenca Hidrográfica



Nota. Adaptado de De La Cruz Vega et al. (2022).

1.6 Elementos estructurales de una cuenca hidrográfica

La estructura interna de una cuenca hidrográfica ha sido objeto de profundos estudios en los últimos años, dada su relevancia en la gestión ambiental y la planificación territorial. La comprensión integral de sus elementos estructurales demanda no solo el reconocimiento de sus componentes individuales, sino, la elucidación de las interrelaciones que emergen entre ellos y su entorno ambiental, geográfico y social.

La literatura destaca que una cuenca hidrográfica está conformada principalmente por varios elementos estructurales que determinan su dinámica y funcionalidad. Entre los más relevantes se encuentran la divisoria de aguas, las cabeceras y zonas altoandinas, el sistema de red de drenaje, el suelo y la litología, la cobertura vegetal y la biodiversidad, así como los componentes antrópicos y la infraestructura asociada.

Tabla 4*Elementos estructurales de una cuenca hidrográfica*

| Elemento estructural | Descripción, función principal y riesgos |
|-----------------------------|---|
| Divisoria de cuenca o aguas | Límite natural que determina la dirección del flujo hídrico; puede alterarse por geología o intervención humana, afectando el equilibrio hidrológico. |
| Zona alta (cabecera) | Fuente y reguladora de agua; su degradación por el cambio climático o uso agrícola causa erosión y disminución del caudal. |
| Zona media (valle) | Área fértil donde convergen tributarios y se desarrollan cultivos e infraestructura; una mala gestión provoca erosión y pérdida hídrica. |
| Zona baja (desembocadura) | Región de acumulación de agua y sedimentos; su deterioro reduce la biodiversidad y la capacidad ecológica de los humedales. |
| Red de drenaje | Sistema de cauces que define la respuesta hidrológica; su vulnerabilidad depende del orden, densidad y fenómenos extremos. |
| Suelo y litología | Determinan la infiltración, erosión y fertilidad; su degradación o contaminación afecta la estabilidad ecológica. |
| Cobertura vegetal | Regula infiltración y microclima; su pérdida o fragmentación altera la hidráulica y reduce la biodiversidad. |
| Elementos antrópicos | Infraestructura y actividades humanas influyen en la gestión hídrica; la urbanización descontrolada desequilibra el sistema. |

Nota. Adaptado de Alianza Jatun Sacha (2002).

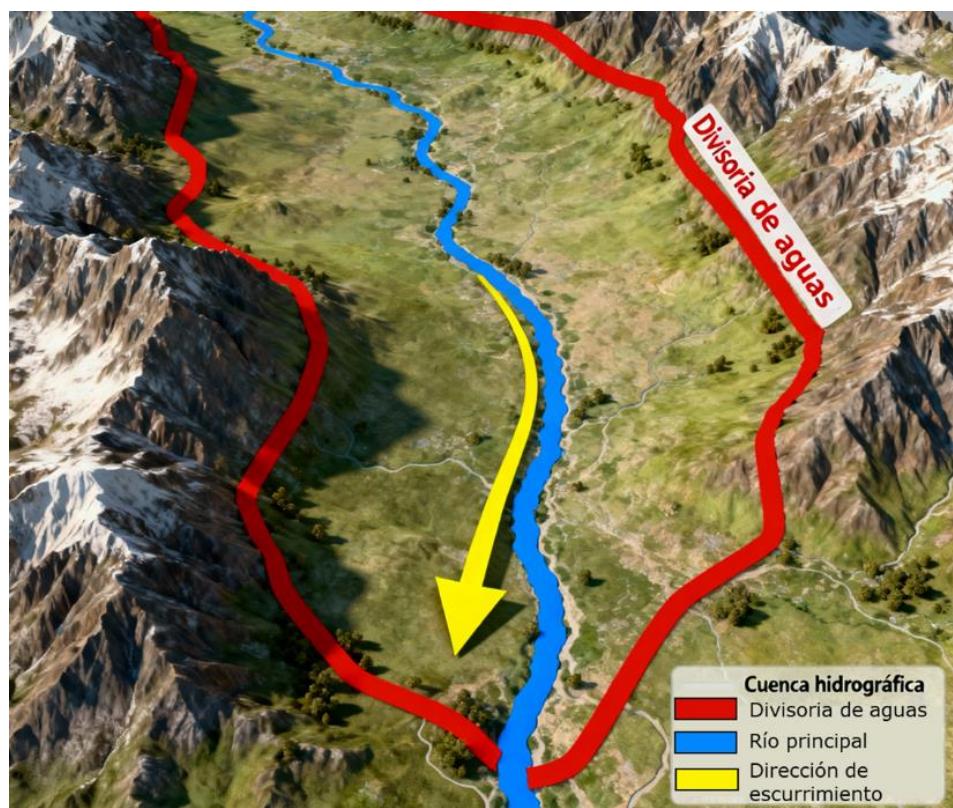
Cada uno de estos elementos aporta características particulares y funciones dentro del sistema hidrográfico, interactuando en formas que condicionan tanto la disponibilidad de recursos hídricos como la capacidad de manejo ambiental y territorial (Cerón Rincón & Ramírez Valencia, 2023). A continuación, se profundiza en la descripción y relevancia de cada uno de estos componentes.

En primer lugar, la **divisoria de cuenca o aguas** se configura como el límite fisiográfico esencial de la cuenca. Este perímetro, trazado por los puntos de mayor elevación que separan dos sistemas de drenaje, define el área en la que toda precipitación convergerá superficialmente hacia un único cauce principal.

La divisoria no es un límite fijo: fenómenos geológicos, el cambio de uso de suelo y el manejo de obras de ingeniería pueden modificar su posición a lo largo del tiempo, generando impactos significativos en la dinámica hídrica y en la conectividad biológica de las zonas altas con las regiones intermedias y bajas. La delimitación precisa de estas fronteras naturales, facilitada por modelos digitales de elevación y SIG, es hoy un requerimiento clave para los planes de ordenamiento territorial y prevención de fenómenos extremos como inundaciones y deslizamientos (Muñoz Marcillo et al., 2025).

Figura 6

Divisoria de cuenca o aguas en una cuenca específica



En el interior de la cuenca, las cabeceras o **zonas altoandinas** se identifican como áreas de producción hídrica y regulación ecológica. Aquí nacen los afluentes principales, alimentados por precipitaciones, nieve o deshielos, y sostenidos por una vegetación característica (bofedales, pajonales, páramos) que actúa como esponja natural, almacenando agua durante las lluvias para liberarla gradualmente en las épocas secas. La vulnerabilidad de estos ecosistemas,

expuestos a las presiones del cambio climático y de la expansión agropecuaria, convierte su manejo y restauración en un objetivo estratégico para la seguridad hídrica downstream. Según Tomé Tomé Hernández (2022), la degradación de cabeceras implica una reducción en la regularidad del caudal, aumento de la erosión y pérdida de biodiversidad.

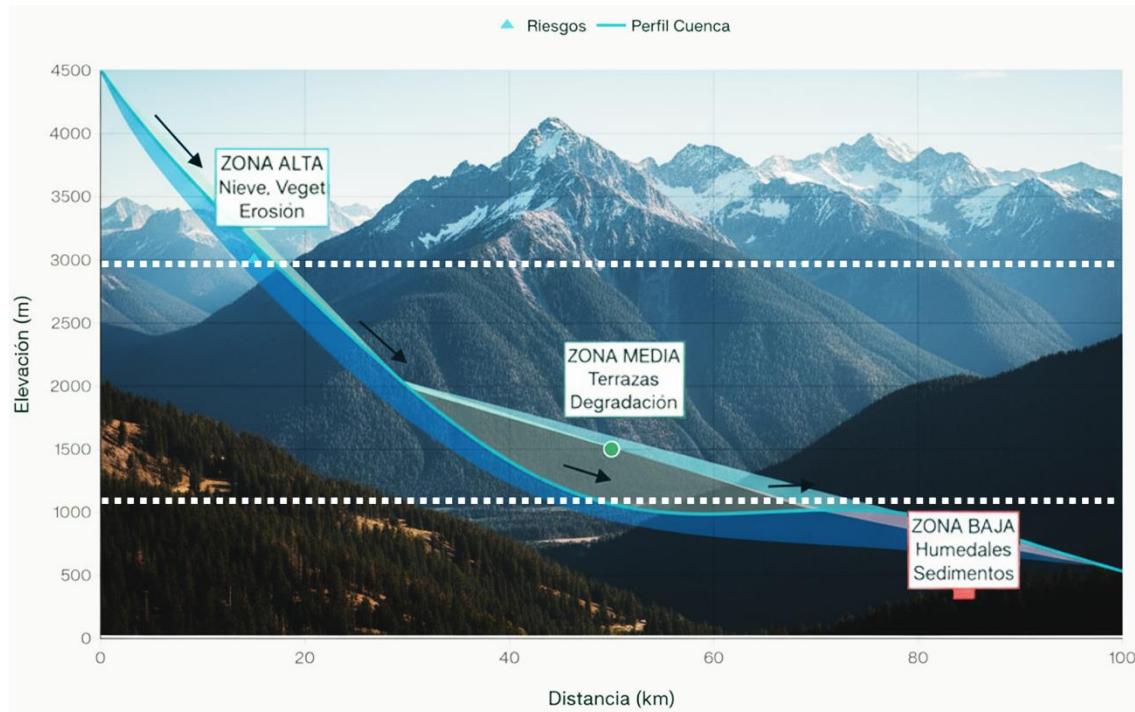
La **zona media** o de valle condensa la mayor interacción entre procesos geodinámicos, biológicos y sociales. Suele estar dominada por perfiles fluviales en equilibrio, presencia de terrazas y suelos agrícolas de alta fertilidad. Es en este ámbito donde convergen los principales tributarios, incrementando el volumen del cauce principal, y donde se sitúan muchas de las intervenciones humanas (pueblos, cultivos, infraestructura hidráulica) que, si no están bien gestionadas, pueden comprometer la integridad de la cuenca. Gaibor-Ontaneda & Molina-Torres (2025) resaltan la importancia del monitoreo permanente de la red de drenaje en estos espacios, así como la implementación de prácticas agrícolas conservacionistas y proyectos de restauración ribereña.

La **zona baja** o desembocadura de la cuenca adquiere relevancia como espacio de acumulación de sedimentos, nutrientes y agua. En su transición a lagos, lagunas, estuarios o mar, estas áreas regulan la calidad de los recursos hídricos a través de procesos de filtración, retención de contaminantes y amortiguación de caudales pico en fenómenos de crecida. La preservación y restauración de humedales y bosques de galería ha sido recomendada por los estudios de Muñoz Marcillo et al. (2025) como una medida efectiva para aumentar la resiliencia ecológica y proteger la biodiversidad acuática, ofreciendo además servicios ecosistémicos de alto valor social y económico.

A continuación, la Figura 7 presenta un perfil longitudinal técnico de la cuenca hidrográfica, en el que se distinguen claramente las zonas altoandinas o cabeceras, la zona media de valle y la zona de desembocadura, indicando el sentido del flujo hídrico desde las partes altas hacia las bajas, a través de flechas.

Figura 7

Perfil longitudinal y funcional de las zonas estructurales de una cuenca hidrográfica



El diseño y funcionamiento de la **red de drenaje** (cauce principal, afluentes y ramificaciones) reflejan la madurez hidrológica de la cuenca. Los análisis modernos integran el cálculo de parámetros como el orden de corriente, la densidad y la frecuencia de los ramales, el coeficiente de sinuosidad y los índices de bifurcación, permitiendo desarrollar mapas de vulnerabilidad y escenarios de respuesta ante eventos extremos. La dinámica del drenaje se ve influenciada por la estructura del relieve, los ciclos climáticos y las intervenciones sobre la cobertura vegetal y el suelo (Tomé Hernández, 2022).

En lo que respecta al **suelo y la litología**, se reconoce que la textura, profundidad, materia orgánica y composición química son determinantes de la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua, así como de los procesos de escorrentía y erosión. Suelos degradados, compactados o contaminados no solo disminuyen el rendimiento ecológico del sistema, sino que elevan el riesgo de pérdidas masivas de suelo fértil y deterioro de la calidad de agua en las zonas bajas Gaibor-Ontaneda & Molina-Torres (2025). Todo plan de restauración debe partir de un

diagnóstico detallado de los perfiles edáficos y su relación con el régimen hídrico local.

La **cobertura vegetal** es el principal agente de mitigación de la erosión, contribuye a la regulación del microclima y facilita la infiltración de las precipitaciones. La fragmentación de bosques, la conversión de áreas naturales a usos agrícolas o urbanos y la pérdida de conectividad ecológica repercuten de modo inmediato en la funcionalidad hidráulica y biológica de la cuenca. Evaluaciones recientes subrayan la necesidad de corredores biológicos y estrategias de manejo adaptativo que permitan al paisaje responder a variaciones estacionales y a disturbios de origen antrópico y natural (Tomé Hernández, 2022).

Por último, los **elementos antrópicos** (asentamientos, infraestructuras, caminos y usos productivos) influyen cada vez más en la estructura, funcionamiento y futuro de la cuenca. La urbanización acelerada, la falta de control sobre vertidos y la sobreexplotación de acuíferos constituyen factores de estrés que pueden alterar de forma irreversible el equilibrio hidrológico.

Las políticas de participación comunitaria, la educación ambiental y la inclusión de criterios socioeconómicos en la toma de decisiones son aspectos de la máxima relevancia actual para la gestión integrada de estos sistemas (Cerón Rincón & Ramírez Valencia, 2023; Maldonado Santana et al., 2023).

1.7 Clasificación de cuencas (arreicas, criptorreicas, endorreicas, exorreicas)

La clasificación de las cuencas hidrográficas, tal como ha sido propuesta por Cervera Timaná et al. (2023), constituye un pilar para el análisis ambiental y el manejo sostenible del territorio, pues permite comprender el destino y el comportamiento hidrológico de los sistemas fluviales en función del recorrido y la evacuación final de las aguas. El criterio base considera cómo interactúan las precipitaciones dentro del relieve, la organización de la red de drenaje y la conectividad interna y externa de cada unidad territorial.

Tabla 5*Clasificación de las cuencas*

| Tipo | Descripción |
|---------------|---|
| Arreicas | No logran drenar a un río, mar o lago, sus aguas se pierden por evaporación o infiltración sin llegar a formar escurrimiento subterráneo. |
| Criptorreicas | Su red de drenaje superficial no tiene un sistema organizado y corren como ríos subterráneos. |
| Endorreicas | Sus aguas drenan a un embalse o lago sin llegar al mar. |
| Exorreicas | Las vertientes conducen las aguas a un sistema mayor de drenaje como un gran río o mar. |

Nota. Adaptado de Maldonado Santana et al. (2023).

Las **cuencas arreicas** se encuentran en regiones donde el déficit hídrico es marcado y los procesos de evaporación y filtración superficial predominan sobre la formación de cauces permanentes. En estos territorios de naturaleza frecuentemente árida y salina, la mayoría del agua se pierde antes de construir un flujo superficial significativo; el paisaje observa la presencia de suelos desérticos, salares y áreas de vegetación dispersa, siendo muy habituales los episodios de escorrentía efímera que no generan cuerpos de agua durables. La dinámica interna de estos sistemas limita el acceso directo al recurso hídrico y condiciona de manera particular la biodiversidad y las actividades humanas.

En contraste, las **cuencas criptorreicas** presentan una red hidrográfica superficial fragmentada y desorganizada, donde el agua tiende a desplazarse mayormente por vías subterráneas a través de rocas kársticas y zonas de elevada porosidad. El relieve está marcado por dolinas, sumideros y cavernas, resultando en paisajes donde los ríos desaparecen bajo tierra para reaparecer a distancia como manantiales o resurgencias.

En las **cuencas endorreicas**, el sistema de drenaje se orienta hacia embalses, lagos o salares internos, sin conexión directa con el mar ni ríos mayores. El agua se acumula en cuerpos lacustres cuyo volumen varía según el balance entre

precipitaciones, infiltración y evaporación, generando ecosistemas vulnerables, pero de alto valor ecológico y cultural. Estos sistemas suelen mantener ciclos estacionales de inundación y sequía que determinan la productividad y la diversidad biológica en las áreas de almacenamiento interno.

Las **cuencas exorreicas** configuran el modelo funcional más extendido a escala global, al presentar redes fluviales bien jerarquizadas y continuas que conducen las aguas desde los nacimientos en las vertientes hasta sistemas más amplios, grandes ríos o directamente el mar. Estos territorios permiten la circulación activa del agua, el transporte de sedimentos y nutrientes, y la integración de procesos ecológicos, productivos y sociales de gran escala, siendo esenciales para la vida, el desarrollo y la economía de regiones enteras.

El régimen hídrico está sujeto a variaciones estacionales y al impacto de actividades humanas, por lo que su gestión requiere estrategias interinstitucionales y políticas públicas basadas en criterios científicos y de sostenibilidad.

1.8 Divisoria de cuenca o aguas: criterios altimétricos y métodos de delimitación

Tal como se abordó en la sección 1.2 dedicada a los elementos estructurales de una cuenca hidrográfica, la divisoria de cuenca o divisoria de aguas representa el límite fisiográfico esencial que define y separa dos sistemas de drenaje independientes. De acuerdo con Aumassanne Carolina Manuela & Gaspari Fernanda Julia (2023), este límite se materializa en la cadena de puntos de mayor elevación del relieve, desde donde se organiza el escurrimiento superficial, lo que en este trabajo se representa de forma esquemática en la Figura 8.

Figura 8

Divisoria de cuenca o aguas



Nota. Adaptado de Ríos et al. (2013).

La determinación precisa de este perímetro es fundamental para la gestión y el ordenamiento ambiental, tanto en la planificación de recursos hídricos como en la prevención y control de fenómenos extremos como inundaciones y movimientos de masa. Fenómenos naturales tales como la erosión, la tectónica y el cambio de uso del suelo, junto a intervenciones antrópicas como la construcción de presas o infraestructura vial, pueden alterar la configuración y eficacia de la divisoria, demandando un monitoreo y actualización permanentes mediante métodos digitales.

Actualmente, los métodos recomendados para delimitar la divisoria de cuenca integran el análisis de modelos digitales de elevación, la interpretación automatizada de curvas de nivel, el cálculo de pendiente, y la aplicación de algoritmos de flujo y acumulación en ambientes SIG (Ríos et al., 2013). A través de estos procedimientos, es posible extraer redes de drenaje, identificar

subcuenca y mapear con alta precisión los límites naturales de las áreas de escurrimiento.

La siguiente tabla sintetiza los criterios altimétricos y métodos predominantes de delimitación empleados en la literatura científica actual.

Tabla 6

Síntesis de métodos modernos para la delimitación altimétrica de divisorias de cuenca o aguas

| Criterio/Método | Descripción técnica | Ventajas principales |
|------------------------------------|--|-------------------------------------|
| Identificación altimétrica | Detección de crestas y máximos mediante datos topográficos y altitudinales | Método sencillo, aplicable en campo |
| Modelo Digital de Elevación | Uso de DEM (SRTM, ASTER, LiDAR) y algoritmos para mapear altura y relieve | Automatización, alta precisión |
| Algoritmos SIG de flujo-acumulado. | Cálculo del escurrimiento superficial, subcuenca y red de drenaje | Precisión, versatilidad espacial |
| Hidroprocesamiento DEM | Mejoras al modelo de terreno para corregir errores y mejorar continuidad del drenaje | Adecuado en zonas montañosas |

La tendencia contemporánea promueve el uso combinado de estos métodos, fortaleciendo la precisión en el análisis del territorio y facilitando tanto el manejo ambiental como la gestión racional del recurso hídrico.

Este principio físico, ha evolucionado rápidamente gracias a la incorporación de tecnologías de mapeo digital y análisis espacial, cuya relevancia será tratada en detalle en los Bagajes Teóricos posteriores dedicados a Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Modelos Digitales de Elevación (MDE).

1.9 Importancia de la cuenca como unidad básica de planificación ambiental

La cuenca hidrográfica representa la unidad esencial y estratégica en la planificación ambiental, pues constituye el marco espacial donde se integran, regulan y gestionan de manera coherente todos los procesos ecológicos,

hidrológicos y socioeconómicos que condicionan la salud y el funcionamiento del territorio. Su importancia radica en que la delimitación física de la cuenca recolecta y organiza los flujos de agua, energía, nutrientes y materia, permitiendo entender el espacio como un sistema dinámico, interdependiente y conectado.

Desde la perspectiva de la planificación, la cuenca posibilita la identificación de zonas sensibles o prioritarias para la conservación, restauración, uso productivo o protección frente a fenómenos extremos. Permite articular la gestión del agua con las dinámicas propias del paisaje, optimizando la distribución y aprovechamiento del recurso hídrico, minimizando la erosión y garantizando la conectividad entre ecosistemas. Este enfoque facilita la coordinación de acciones y la toma de decisiones multisectoriales considerando los flujos, procesos y servicios ecosistémicos que trascienden los límites político-administrativos tradicionales (Maldonado Santana et al., 2023).

La unidad de cuenca convierte la planificación en una tarea sistematizada y adaptativa, donde las herramientas técnicas (como los modelos digitales de elevación y los sistemas de información geográfica) ofrecen soporte eficaz para el monitoreo, la identificación de amenazas y la priorización de intervenciones. Además, la cuenca es el espacio funcional para orientar proyectos de restauración hidrológica, desarrollo sostenible, educación ambiental, gestión de aguas residuales y ordenamiento territorial con una visión estratégica, conectada y resiliente al cambio climático (Muñoz Marcillo et al., 2025).

En síntesis, trabajar con la cuenca como unidad básica impulsa una gestión ambiental preventiva, eficaz y racional, optimizando recursos y potenciando la sostenibilidad ambiental y social. La revisión reciente destaca que integrar la planificación en torno al sistema de cuenca favorece la resiliencia ecológica, promueve la equidad en el acceso a los servicios hídricos y fortalece la gobernanza ambiental a escala local y regional.

1.10 Interrelación entre cuencas y sistemas socioeconómicos

La interrelación entre las cuencas hidrográficas y los sistemas socioeconómicos es fundamental para comprender cómo las dinámicas naturales del territorio influyen y son influenciadas por las actividades humanas, el desarrollo económico y el bienestar social. Las cuencas no solo funcionan como unidades ecológicas que regulan los mecanismos de captación, almacenamiento y distribución del agua, sino que también son plataformas en las que se desarrolla la vida productiva, urbana y rural de las comunidades (Rijalba-Palacios, 2024).

La articulación entre planificación ambiental y gestión socioeconómica es clave: el estado de la cuenca impacta directamente en la disponibilidad y calidad de recursos hídricos, la productividad agrícola, industrial y urbana, y la seguridad frente a riesgos naturales. A su vez, las actividades humanas como cultivos, industria, urbanización, turismo y minería tienen efectos sobre el ciclo hídrico, la erosión, la biodiversidad y la sostenibilidad del territorio (FAO, 2023).

Figura 9

Interrelación de la cuenca hidrográfica con los principales sectores socioeconómicos: ciudad, industria, agricultura y ecosistemas



Los estudios recientes indican que una planificación eficaz solo es posible si se reconoce este vínculo profundo entre las características biofísicas y los sistemas sociales y económicos. Modelos como el de gestión integrada de cuencas promueven la inclusión de actores locales, el diseño de políticas públicas participativas, y la implementación de estrategias de adaptación que consideran simultáneamente los factores ecológicos, económicos y culturales, para fortalecer la resiliencia regional y la equidad en el acceso a los servicios ambientales (Muñoz Marcillo et al., 2025).

En las cuencas urbanas, por ejemplo, la presión sobre los recursos hídricos exige intervenciones en infraestructura, educación ambiental y conservación para mitigar el impacto negativo de la expansión poblacional y productiva. En cuencas rurales, las oportunidades de desarrollo sostenible, ordenamiento territorial y reducción de pobreza dependen directamente de la capacidad de la comunidad para generar consensos y modelos de gestión que armonicen el uso de recursos con la conservación del entorno (FAO, 2023).

Esta visión destaca a la cuenca como el espacio ideal para articular los intereses ambientales con los socioeconómicos, maximizar los beneficios de los servicios ecosistémicos y evitar los conflictos por el uso del agua, el suelo y la biodiversidad.

MODELOS DIGITALES DE TERRENO

(MDT) Y ELEVACIÓN (MDE)

1.11 Modelo Digital de Terreno (MDT): definición y fundamentos

El Modelo Digital de Terreno (MDT) es una representación matemática de las características topográficas del relieve terrestre, fundamental en los sistemas de información geográfica modernos y en la geociencia aplicada. Según (Felicísimo, 1994), un MDT se estructura a partir de celdas numéricas en una matriz regular, donde cada celda almacena información espacial de una variable cuantitativa y continua. Es decir, el MDT puede registrar valores como temperatura, presión o, de manera predominante, altitud. Cuando se modela exclusivamente la variable de elevación, el resultado es un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), utilizado ampliamente para análisis morfológicos, hidrológicos y en estudios de accesibilidad y riesgos.

Los MDT permiten simular de forma precisa la superficie del terreno, facilitando cálculos de pendientes, orientaciones, visibilidad, flujos de agua y delimitación de cuencas, entre otros procesos. Portilla et al. (2023) enfatizan que, al partir de coordenadas tridimensionales (x, y, z), el MDT traduce la complejidad del relieve en datos organizados que pueden procesarse y analizarse desde diferentes perspectivas y aplicaciones.

Tanto el MDT como el MDE se basan en el modelo de datos raster, donde cada celda o píxel representa la ubicación geográfica de un dato y su magnitud, lo que facilita el almacenamiento, manejo y visualización eficiente de grandes superficies geográficas. La resolución espacial del MDT está determinada por el tamaño de la celda: a menor tamaño, mayor precisión y detalle, aunque también se incrementa el volumen de procesamiento requerido.

1.12 Modelo Digital de Elevación (MDE)

El Modelo Digital de Elevación (MDE) es una herramienta cartográfica y de análisis espacial que representa matemáticamente la altitud del terreno mediante una matriz regular de valores, capturando la variabilidad del relieve de forma continua y precisa (Sarría, 2004).

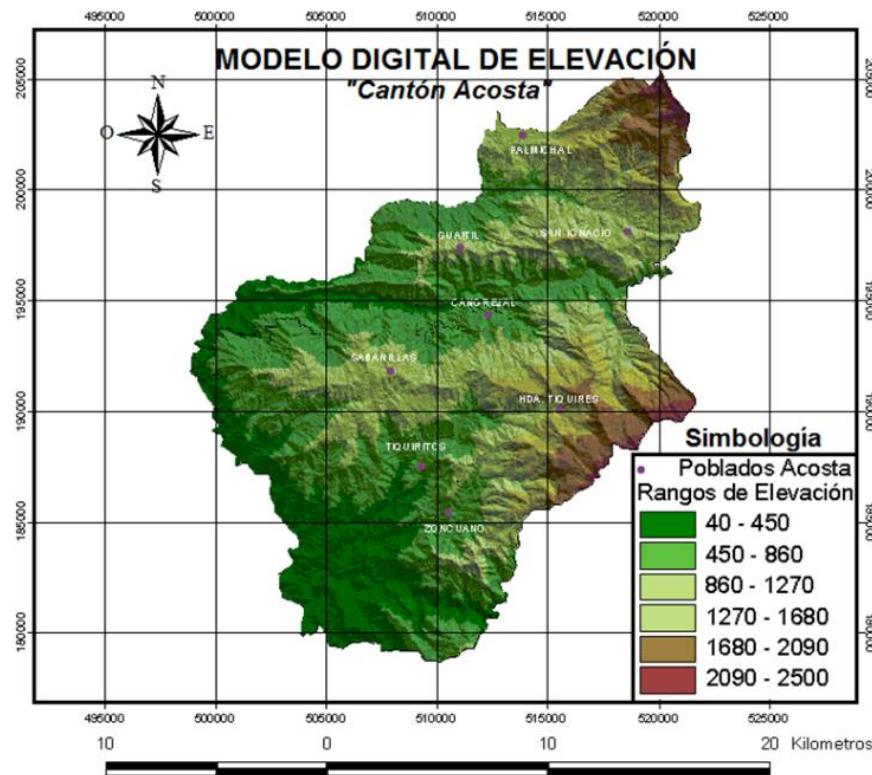
Se genera a partir de datos altimétricos recopilados por diferentes métodos, como levantamientos topográficos convencionales, sensores remotos, tecnología LiDAR, imágenes de radar, fotogrametría aérea y mediciones con GPS diferencial. Gracias a los avances tecnológicos, hoy es posible obtener MDEs de alta resolución, adecuados para estudios locales, regionales o globales.

El MDE, al estar basado generalmente en el modelo de datos raster, permite procesar automáticamente miles de registros de altura y generar visualizaciones tridimensionales que simulan la superficie terrestre y sus características geomorfológicas.

Estos modelos no solo reflejan la elevación de la corteza terrestre, sino que también pueden representar otros fenómenos si se disponen los datos suficientes, como mapas de profundidad (batimetría) o superficies urbanas.

Figura 10

Modelo Digital de Elevación (MDE)



Nota. Adaptado de Sáenz León & Monge Rodríguez (2021).

Por su versatilidad y precisión, es indispensable en el desarrollo de modelos hidrológicos, diseño de infraestructuras, cartografía científica y estudios de impacto ambiental, constituyendo un insumo clave para la toma de decisiones y el diseño de políticas públicas fundamentadas en el conocimiento científico del territorio.

1.13 Aplicaciones de los MDE en el análisis hidrológico y delimitación de cuencas

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) han revolucionado las metodologías de análisis hidrológico y la delimitación de cuencas hidrográficas en estudios geográficos y ambientales. Su capacidad para simular el relieve terrestre con alto detalle ha permitido una representación más precisa y automatizada de procesos naturales complejos (Hernández Martínez & Ferrari, 2022).

Las aplicaciones de los MDE abarcan un extenso espectro interdisciplinario que incluye la geografía, la hidrología, la ecología, la cartografía, la ingeniería civil y la gestión del territorio. Entre las aplicaciones más destacadas, (Cimbaro & Chiarito, 2022) señalan:

- Generación de curvas de nivel: Los MDE permiten la extracción automática de curvas que representan la altitud constante, facilitando visualizaciones detalladas de la topografía y base para numerosos cálculos derivados.
- Generación de mapas de pendiente y mapas en relieve: Es posible calcular automáticamente los grados de inclinación de cada celda y, por tanto, modelar zonas de escorrentía, erosión, deslizamientos o accesibilidad geográfica.
- Planificación de vuelos 3D, rectificación geométrica y proyectos de ingeniería: Los MDE son esenciales en la planificación de trayectorias seguras en aeronáutica, así como en la corrección geométrica de imágenes y el diseño de grandes infraestructuras, túneles y represas.
- Corrección topográfica en gravimetría: Permiten ajustar mediciones de gravedad para compensar las variaciones inducidas por el relieve.
- Delimitación automática de cuencas y redes de drenaje: Uno de los aportes más relevantes es la posibilidad de identificar los límites de cuencas hidrográficas, generar mapas de acumulación de flujo, simular escorrentía superficial y calcular volúmenes hídricos, optimizando la gestión de recursos y la prevención de riesgos ambientales.
- Trazado de perfiles topográficos, cálculos de volúmenes y evaluación ambiental: Los MDE posibilitan analizar el perfil longitudinal de terrenos, realizar mediciones precisas de volúmenes excavados o rellenados y aplicar algoritmos para la detección de zonas de riesgo o impacto ambiental potencial.

La utilización de MDE en análisis hidrológico ha permitido automatizar procesos que antes eran manuales y aproximados, ganando en precisión, reproducibilidad y eficiencia en la gestión sustentable de las cuencas y del medio ambiente.

1.14 Tipos de MDE empleados en estudios hidrológicos

En la actualidad, múltiples fuentes de Modelos Digitales de Elevación (MDE) se emplean en estudios hidrológicos y ambientales por su disponibilidad, resolución y precisión, atendiendo a las necesidades de cada proyecto y a las particularidades del área de estudio.

Uno de los MDE más difundidos es el **SRTM** (Shuttle Radar Topography Mission). Brubacher et al. (2012), esta misión topográfica liderada por la NASA generó un conjunto global de datos altimétricos obtenidos por radar durante un vuelo espacial en 2000. El SRTM cubre el 80% del territorio mundial, entre los paralelos 60° norte y 56° sur, con una malla de 1 arco-segundo (30 m) en latitud y longitud. Inicialmente se liberaron datos con resolución espacial de 90 metros y, posteriormente, en 2014, la NASA dispuso la versión de 30 metros para uso público global, lo que incrementó el potencial de aplicaciones en hidrología, cartografía y modelado ambiental. El refinamiento geoestadístico de este modelo originó el proyecto TOPODATA para Brasil.

Otro modelo relevante es el **ASTER** (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), sensor a bordo del satélite Terra. Sus subsistemas incluyen VNIR (visible e infrarrojo cercano), SWIR (infrarrojo de onda corta) y TIR (infrarrojo térmico). El MDE ASTER se obtiene a partir de las bandas 3N (nadir) y 3B (backward), permitiendo extraer modelos relativos y absolutos, con precisiones que oscilan entre 7 y 10 metros dependiendo del uso de puntos de control (Jumbo Castillo, 2015). El modelo permite generar mapas topográficos hasta escala 1:50,000, aplicaciones hidrográficas, ortorectificación de imágenes, geomorfología, entre otros.

Figura 11

Obtención tridimensional de Modelo Digital de Elevación (MDE) con el sensor ASTER a bordo del satélite Terra



El sensor **LiDAR** (Light Detection and Ranging) constituye la tecnología de mayor resolución y precisión actualmente disponible. LiDAR utiliza un haz láser para medir la distancia al suelo, generando nubes de puntos tridimensionales que se transforman en MDE con resolución desde centímetros hasta un metro. Esta tecnología es indispensable en estudios detallados de microcuencas, análisis urbanos, monitoreo de cambios topográficos y modelado de vegetación.

Por último, el ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) es un sensor radar japonés, cuyas imágenes permiten generar MDE útiles para zonas húmedas, densamente vegetadas y regiones tropicales donde otras tecnologías presentan limitaciones. ALOS PALSAR proporciona datos altimétricos de muy buena resolución para aplicaciones agrícolas, forestales e hidrológicas.

Cada uno de estos MDE presenta ventajas y limitaciones en función de la resolución espacial, cobertura, precisión vertical y disponibilidad, por lo que la elección óptima dependerá de los objetivos y contexto del estudio hidrológico.

MÉTODOS PARA LA CLASIFICACIÓN Y ORDENACIÓN DE DRENAJES

1.15 Introducción a la clasificación y jerarquización de redes de drenaje

La clasificación y jerarquización de redes de drenaje es un aspecto fundamental para la comprensión de la estructura fluvial en cualquier cuenca hidrográfica. Esta tarea permite detectar patrones de ramificación, identificar los afluentes principales y secundarios, y establecer jerarquías precisas entre los diferentes segmentos de la red (Gaibor-Ontaneda & Molina-Torres, 2025; Maldonado Santana et al., 2023). Mediante estas técnicas, es posible analizar la dinámica del flujo de agua, realizar simulaciones hidrogeomorfológicas y desarrollar modelos predictivos para eventos hidrológicos extremos.

Entre los métodos más empleados para la ordenación de redes de drenaje destacan el método de Horton–Strahler y el método de Shreve. El primero se fundamenta en reglas jerárquicas que asignan órdenes sucesivos a los cursos fluviales en función de sus confluencias, facilitando la interpretación numérica y visual de la ramificación fluvial (Strahler, 1957). Por otro lado, el método de Shreve propone un enfoque aditivo, en el cual cada segmento de la red suma el número de afluentes que lo alimentan, permitiendo cuantificar la magnitud del flujo acumulado en cualquiera de sus ramas (Shreve, 1966).

La integración de estos métodos en estudios hidrológicos apoyados por Modelos Digitales de Elevación y Sistemas de Información Geográfica ha incrementado la precisión en el análisis y gestión de cuencas, posibilitando la evaluación comparativa de redes, la identificación de zonas críticas de inundación y la planificación óptima de recursos hídricos (INEGI, 2010).

1.16 Método de Horton–Strahler

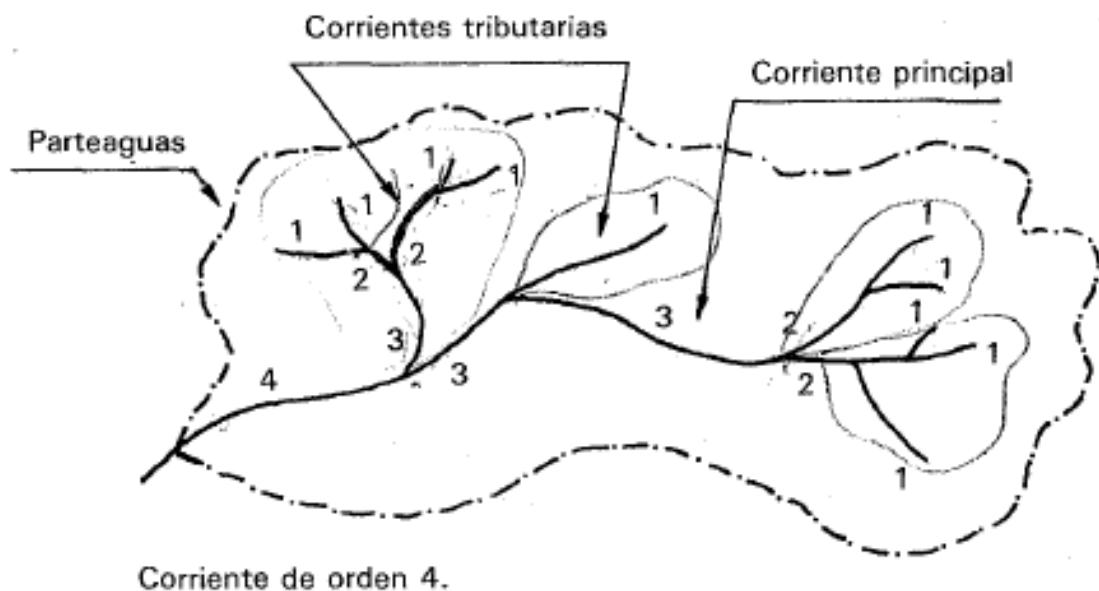
Horton propuso en 1945 un esquema para ordenar los cursos de agua de una cuenca, conocido como sistema de órdenes de corriente, mediante el cual los cauces más pequeños y sin afluentes se identifican como corrientes de primer orden. Cuando dos tramos de primer orden confluyen generan un cauce de segundo orden, y la unión de dos corrientes de segundo orden da lugar a una de

tercer orden, repitiéndose esta regla de forma sucesiva hasta cubrir toda la red de drenaje de la cuenca.

El orden de los ríos se relaciona con la cantidad de afluentes dentro de la cuenca, y gráficamente se representa en la Figura 12.

Figura 12

Ordenes de corriente Horton



Nota. Obtenido de Molina (2007).

Las leyes de composición de drenaje establecidas por Horton, se encuentran detalladas en la tabla 7.

Tabla 7*Leyes de Horton*

| Leyes De Horton | Descripción |
|---|---|
| Ley de número de orden disminuye siguiendo aproximadamente una progresión geométrica inversa, donde el primer término corresponde a los cursos de primer orden y la razón está asociada al índice de bifurcación. | En una cuenca dada, la cantidad de cauces de cada |
| Ley de longitud de cursos: Segunda ley de Horton. | La longitud media de los cauces aumenta con el orden de la corriente y se aproxima a una progresión geométrica directa, cuyo primer término es la longitud promedio de los cursos de primer orden. |
| Ley de gradiente de cauces: Tercera ley de Horton. | El gradiente medio de los cursos de agua tiende a reducirse a medida que aumenta el orden, describiendo una progresión geométrica inversa cuyo término inicial es la pendiente media de los cauces de primer orden. |
| Cuarta ley de composición del drenaje. Ley de áreas de cuencas fluviales. | El área media de las subcuencaas asociadas a cada orden de corriente crece aproximadamente como una progresión geométrica directa, tomando como primer término el área promedio de las cuencas de primer orden. |

En 1957, Strahler introdujo una modificación al esquema de órdenes de corriente propuesto originalmente por Horton, precisando una serie de reglas para la jerarquización de los tramos fluviales. En este enfoque, todo cauce que nace en una fuente o en un punto terminal de la red y que no recibe aportes de otros tributarios se clasifica como corriente de primer orden, es decir, como el nivel inicial dentro de la red de drenaje.

Cuando dos segmentos del mismo orden i se unen en un nudo interior, originan el segmento de orden superior $i+1$ aguas abajo. Cuando se unen dos corrientes de orden ω , crean una corriente de orden $\omega+1$.

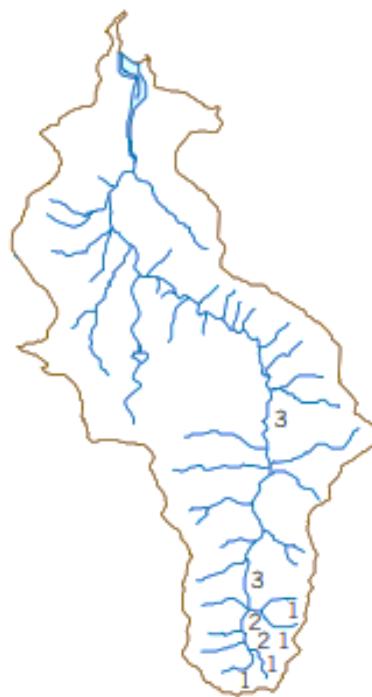
Cuando se unen dos tramos de distinto orden en un nudo interior, dan lugar a un tramo que conserva el mayor de las órdenes. Cuando se unen dos tramos de distinto orden, el orden del segmento resultante es el máximo orden de los segmentos que lo preceden. Cuando a una corriente se une otra de menor orden, la primera continúa y conserva su número de orden.

El orden de la cuenca ω , es el de la corriente de mayor orden.

Gráficamente se representa el método de Strahler en la Figura 13.

Figura 13

Clasificación de cursos fluviales Strahler



Nota. Obtenido de Almeida & Soares (2003).

En el enfoque de Strahler, retomado Gregory & Wallingford (1973), los cauces de primer orden se definen como aquellos que no reciben tributarios y drenan directamente las laderas hacia la red principal, asumiendo una única salida para la cuenca. Cuando confluyen dos corrientes de igual jerarquía, por ejemplo, dos cauces de orden 1, el tramo resultante adquiere el orden inmediatamente superior (orden 2); del mismo modo, la unión de dos cursos de orden 2 genera uno de orden 3, y esta regla se aplica sucesivamente al resto de la red de drenaje.

Pucha-Cofrep et al. (2017) menciona que la clasificación Horton-Strahler, asigna un número de orden a cada curso de agua, lo cual refleja el grado de ramificación o bifurcación de una cuenca hidrográfica. El orden de segmentos de una cuenca depende mucho de la escala del mapa (Ríos et al., 2013).

1.17 Método de Shreve: enfoque aditivo y estructura de flujo

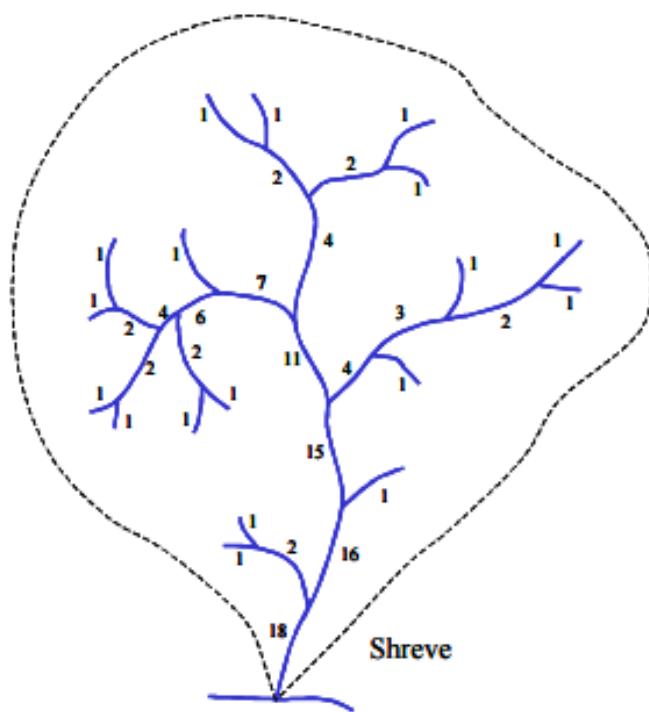
En el método de Shreve, la importancia de cada tramo de la red se define a partir del número de corrientes que lo alimentan y de la configuración topológica y geomorfológica del sistema fluvial.

Shreve (1966) plantea que todos los cursos que actúan como tributarios iniciales se consideran de primer orden y, en cada confluencia, la magnitud del cauce resultante es igual a la suma de las magnitudes de los tributarios que llegan a ese punto; de esta forma se distinguen segmentos externos, localizados entre una fuente y un nodo, y segmentos internos, comprendidos entre dos nodos consecutivos dentro de la red.

En la Figura 14 se muestra gráficamente el método de ordenación de cauces de Shreve.

Figura 14

Método Shreve de ordenación de los cauces



Nota. Obtenido de Almeida & Soares (2003).

La aportación de Shreve radica en la posibilidad de modelar digitalmente la red hidrográfica, identificar de manera precisa los cauces con mayor capacidad de transporte de agua y analizar la influencia de cada tributario en el sistema

general. Esto resulta especialmente relevante en cuencas complejas o en estudios hidrológicos avanzados, donde la identificación del flujo dominante y de los canales principales es fundamental para la gestión y conservación de los recursos hídricos (Mesa Sánchez, 2018).

Según Mesa Sánchez (2018) con el sistema de Shreve, se consigue que los distintos cursos adquieran órdenes superiores en función del número de tributarios que poseen.

1.18 Comparación entre métodos Horton-Strahler y Shreve

El método de Horton-Strahler, basado en principios jerárquicos, asigna órdenes a los cursos de agua de manera recursiva según la convergencia de afluentes de igual nivel. Cada segmento nace como primer orden, y al unirse dos de igual orden se genera uno de categoría superior, conservando el mayor orden cuando confluyen segmentos de diferente nivel (Strahler, 1957). Este método refleja la estructura ramificada de la red y está orientado principalmente al análisis geomorfológico y de patrones de bifurcación de las cuencas (Ríos et al., 2013).

En contraste, el método de Shreve adopta un enfoque aditivo. Todos los afluentes se consideran de primer orden, y el valor del orden en cada segmento resulta de sumar el número de tributarios que confluyen en él, sin importar su nivel jerárquico. De este modo, los canales principales adquieren órdenes superiores según la magnitud total de afluentes, lo que permite cuantificar la capacidad de transporte de agua en cada tramo de la red (Shreve, 1966).

La principal diferencia radica en que Horton-Strahler representa la jerarquía y ramificación de la red, siendo útil en estudios de morfología fluvial y ordenación territorial, mientras que Shreve favorece el análisis funcional y cuantitativo del sistema hídrico, facilitando la identificación de canales de mayor flujo y relevancia hidrológica dentro de la cuenca (Legarda Burbano & Viveros Zarama, 1996).

Tabla 8

Comparación resumida de los métodos de jerarquización de redes de drenaje: Horton-Strahler versus Shreve

| Característica | Horton-Strahler | Shreve |
|------------------------------|---|--|
| Enfoque | Jerárquico | Aditivo |
| Asignación de órdenes | Por confluencia de afluentes de igual nivel | Por suma de todos los tributarios |
| Valor inicial | Cada tramo sin afluentes es primer orden | Todos los afluentes son primer orden |
| Segmentos de diferente orden | Conserva el mayor de los órdenes precedentes | Suma de órdenes de todos los tributarios |
| Representa | Ramificación de la red fluvial | Magnitud de flujo acumulado |
| Aplicación principal | Geomorfología, cartografía, estructura de cuencas | Hidrología, análisis funcional de flujo |
| Ventaja principal | Claridad en jerarquía y estructura | Reflejo directo de caudal y acumulación de afluentes |

Ambos métodos son complementarios: Horton-Strahler aporta claridad en la estructura geomorfológica del drenaje, mientras que Shreve enfatiza la magnitud de los flujos y la acumulación de caudales. La elección entre uno y otro dependerá de los objetivos específicos del análisis y de las características de la red hídrica bajo estudio.

METODOLOGÍA PFAFSTETTER PARA LA DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

1.19 Fundamentos y características del método Pfafstetter

El método Pfafstetter es una técnica de clasificación jerárquica y codificación de cuencas hidrográficas que ha cobrado relevancia internacional por su rigurosidad y eficiencia en la gestión de recursos hídricos. Según Gomes y Barros (2011), este método se fundamenta en la topología del terreno, permitiendo definir y jerarquizar las cuencas a partir de la estructura real del sistema de drenaje, lo que contribuye a una gestión más precisa y controlada de las áreas hidrográficas. La tendencia actual es considerar el método Pfafstetter como un estándar internacional en la delimitación y codificación de cuencas, dadas sus ventajas frente a esquemas convencionales (Aguirre Núñez, 2011).

Aguirre Núñez (2011) destaca que el enfoque Pfafstetter es simultáneamente numérico, topológico y natural, ya que emplea criterios geográficos y matemáticos para dividir el territorio en “unidades hidrográficas”. Estas se definen por las líneas divisorias de aguas y se agrupan jerárquicamente según el tamaño de sus áreas de drenaje, facilitando la organización y el análisis espacial del territorio en relación a sus cursos de agua.

Otro elemento distintivo, mencionado por Jumbo Castillo, Novillo Vicuña, et al. (2024), es la integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la delimitación operativa de cada cuenca y la asignación automática de códigos únicos. Los SIG permiten aprovechar la precisión de los datos topográficos y automatizar la jerarquización, agilizando los procesos de análisis y gestión.

De acuerdo con Stein (2018), las principales características del método Pfafstetter son las siguientes:

- El sistema es eminentemente jerárquico y basa la delimitación de unidades en los puntos de confluencia de ríos o en la desembocadura en el océano.
- Cada unidad hidrográfica es identificada con un código Pfafstetter exclusivo, generado a partir de su localización y relación dentro del sistema jerárquico.
- El esquema de codificación es eficiente y compacto: utiliza el número mínimo necesario de dígitos para la representación de cada nivel de jerarquización, haciendo que la longitud del código sea proporcional al nivel de detalle exigido.

En suma, el método Pfafstetter ofrece una base moderna y estandarizada para la organización, análisis y gestión de cuencas hidrográficas, facilitando la interoperabilidad internacional y optimizando recursos en proyectos de ordenamiento territorial y manejo hídrico.

1.20 Tipos de unidades hidrográficas: cuenca, intercuenca y cuenca interna

Según Aguirre Núñez (2011), la aplicación de la metodología Pfafstetter permite identificar tres tipos fundamentales de unidades hidrográficas dentro de una región: cuenca, intercuenca y cuenca interna. Cada una de estas unidades responde a criterios específicos de captación y drenaje, facilitando la organización y gestión racional de los recursos hídricos.

La **cuenca** constituye el área de captación que no recibe caudal de ninguna otra unidad hidrográfica, pero sí contribuye con flujo a otras zonas de drenaje aguas abajo, principalmente a través del curso del río principal. Estas áreas se caracterizan por poseer las mayores superficies de captación, acumulando y canalizando el agua que, eventualmente, se dirige hacia otras cuencas o desembocaduras Stein (2018).

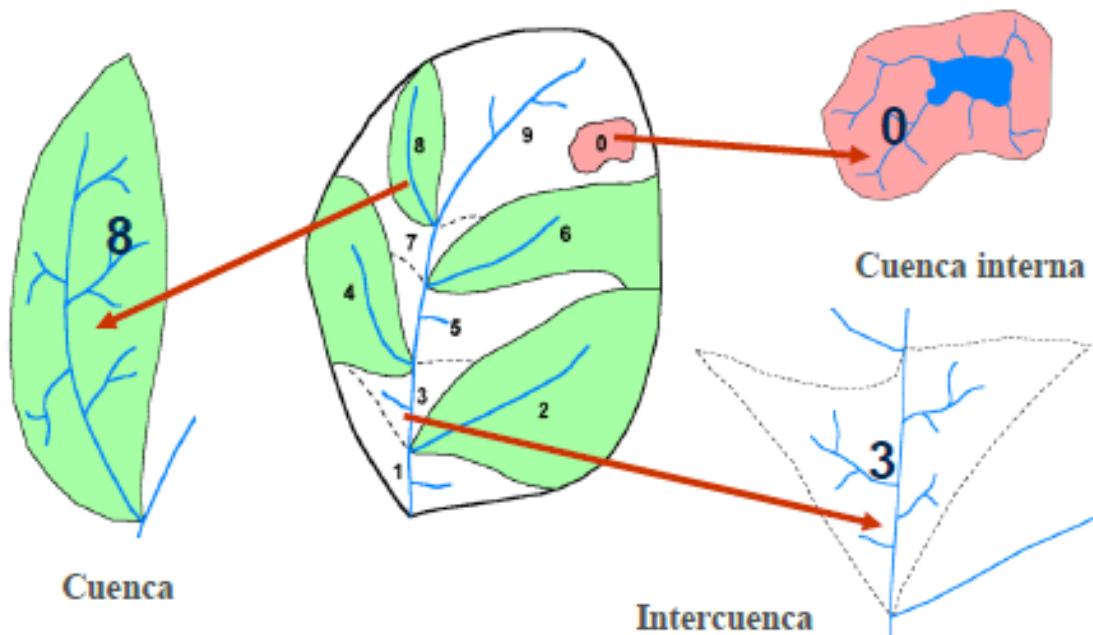
La **intercuenca** se define como el área de captación situada entre dos cuencas de tributarios sucesivos. Su función es la de servir como unidad de tránsito dentro del sistema de drenaje principal; recibe aportes de caudal provenientes de unidades localizadas aguas arriba y los conduce hacia las áreas ubicadas aguas

abajo. La intercuenca facilita el paso de la escorrentía entre distintas partes del sistema hidrológico.

Por último, la **cuenca interna** corresponde al área de drenaje que no recibe flujo de otras unidades, ni contribuye con caudal hacia otras áreas de captación. Normalmente, estas regiones cuentan con un cuerpo de agua que retiene el flujo en su interior y no lo transfiere a otros sistemas de drenaje, formando sistemas cerrados o endorreicos dentro del territorio analizado.

Figura 15

Tipo de unidades hidrográficas



Nota. Obtenido de INRENA (2007).

La representación gráfica de estos tres tipos de unidades puede apreciarse en la Figura 15 INRENA (2007), donde se observa la disposición y función de cada una en relación con el sistema hidrográfico total.

1.21 Procedimiento de codificación y numeración Pfafstetter

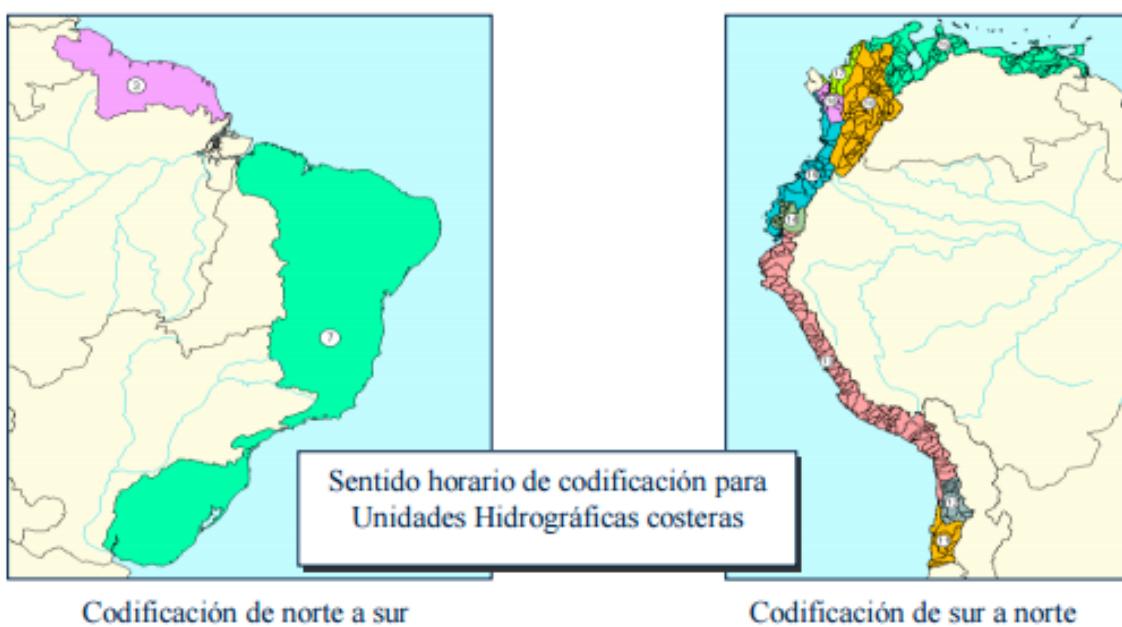
Gaspari et al. (2013) señalan que, en el método Pfafstetter, el proceso de codificación comienza identificando el cauce principal de la red, definido como aquel asociado al mayor aporte de área de drenaje dentro del sistema hidrográfico. Este esquema establece que en cada nivel jerárquico se distinguen

nueve unidades hidrográficas básicas y, de manera eventual, una décima unidad cuando existe una cuenca interna o cerrada, tal como se describe para Sudamérica por (Corrales Andino & Ochoa López, 2018).

Londoño Arango (2001) indica que la numeración de los códigos se realiza siguiendo la dirección desde la desembocadura hacia las cabeceras, es decir, de aguas abajo a aguas arriba, respetando además la orientación general de la vertiente: de norte a sur en aquellas cuencas que vierten hacia un mar situado al este y de sur a norte cuando drenan a un mar occidental. En el caso de los países de la Comunidad Andina, donde las principales cuencas desembocan en el océano Pacífico, esta convención de codificación puede observarse esquemáticamente en la Figura 16.

Figura 16

Sentido de codificación horario



Nota. Obtenido de INRENA (2007).

A continuación, se estructura en la Tabla 9, el procedimiento necesario para codificar a las unidades hidrográficas.

Tabla 9*Proceso de codificación Pfafstetter*

| Secuencialidad | Descripción |
|----------------|---|
| 1 | Identificación del curso del río principal. |
| 2 | Determinación de las cuatro unidades hidrográficas de tipo cuenca, que son las cuatro unidades de mayor área, que confluyen al río principal y se enumeran o codifican con los dígitos pares 2, 4, 6 y 8. |
| 3 | Las cinco áreas restantes, son las denominadas intercuenca y se codifican con los dígitos impares 1, 3, 5, 7 y 9. |

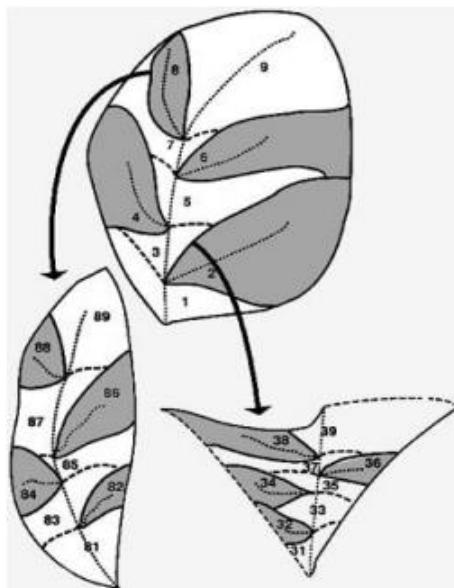
Nota. Obtenido de Aguirre Núñez (2011).

Gaspari et al. (2013) indican que las cuencas e intercuenca identificadas en una primera etapa de aplicación del método Pfafstetter pueden volverse a subdividir aplicando el mismo criterio jerárquico, siempre que la escala y el nivel de detalle de la cartografía de base lo permitan, tal como también señala (Stein, 2018).

En el caso de una unidad codificada inicialmente como cuenca 8, su desagregación interna origina los códigos de cuencas 82, 84, 86 y 88, mientras que las áreas intermedias se numeran como intercuenca 81, 83, 85, 87 y 89, esquema que se representa en la Figura 17.

Figura 17

Codificación de unidades hidrográficas



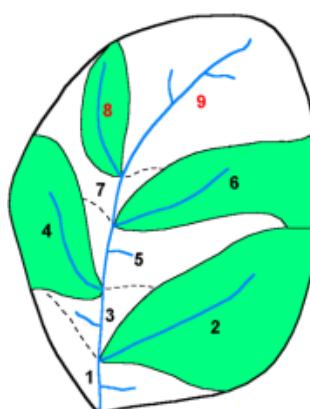
Nota. Obtenido de INRENA (2007).

1.22 Particularidades del método en cuencas endorreicas y complejas

Una de las particularidades del método Pfafstetter se manifiesta en la asignación de códigos a las dos unidades ubicadas en la zona de cabecera de la cuenca. En este caso, la unidad que concentra la mayor superficie de aporte se identifica con el dígito 9, mientras que la unidad contigua de menor área drenada recibe el código 8, tal como se ilustra esquemáticamente en la Figura 18.

Figura 18

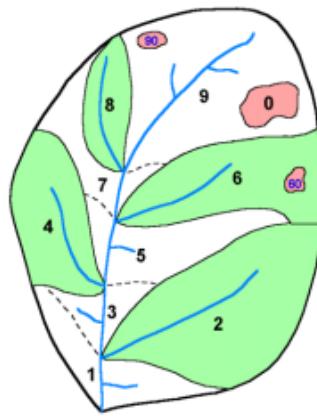
Codificación unidades más altas del río principal



Nota. Obtenido de INRENA (2007).

INRENA (2007) señala que, cuando la unidad hidrográfica a codificar incluye una o varias cuencas internas o endorreicas, la de mayor extensión superficial se identifica con el dígito 0, mientras que las restantes se integran cartográficamente a las cuencas o intercuenas vecinas. Esta forma específica de codificación de cuencas internas se representa de manera esquemática en la Figura 19.

Figura 19
Codificación de cuencas internas o endorreicas



Nota. Obtenido de INRENA (2007).

1.23 Implementación del método Pfafstetter en Sudamérica

La metodología Pfafstetter ha sido incorporada de manera oficial en varios países de Sudamérica, entre ellos Bolivia, Brasil y Perú, como base para la delimitación jerárquica de unidades hidrográficas. En el caso boliviano, Stein (2018) señala que su adopción se formalizó mediante un acuerdo entre el Viceministerio de Cuencas y la UICN, con el propósito de generar unidades codificadas al menos hasta el nivel 5.

El informe conjunto elaborado por la UICN y la Comunidad Andina en 2008 indica que Brasil aprobó el uso del método Pfafstetter a través de la Resolución N.º 32-2003 del Consejo Nacional de Recursos Hídricos, empleándolo posteriormente en la formulación de su Plan Nacional de Recursos Hídricos (Pérez-Campomanes & Iannacone, 2020). En Perú, la Resolución Ministerial N.º 033-2008-AG oficializó la delimitación y codificación de unidades hidrográficas

con este método, marcando un hito en la modernización de la gestión del agua en el país (Ruiz & Torres, 2010).

Respecto a Ecuador, Legarda Burbano & Viveros Zarama (1996) sostienen que la adopción del enfoque Pfafstetter respondió a la necesidad de contar con información actualizada y homogénea sobre unidades hidrográficas. Posteriormente, la Secretaría del Agua emitió en 2011 la Resolución N.º 245, mediante la cual se aprueba la metodología Pfafstetter y el mapa oficial de cuencas hasta el nivel 5 a escala 1:250 000, lo que consolidó su uso como referencia nacional para la planificación y los estudios de caso que se presentan en las secciones siguientes.

1.23.1 Caso Sudamérica

En 2008, la UICN, en coordinación con la Comunidad Andina de Naciones, publicó un informe final en el que se presenta la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de Sudamérica hasta el nivel 3, elaborada a escala 1:1 000 000 mediante la aplicación del método Pfafstetter. El propósito de la delimitación tuvo como finalidad, la búsqueda de alternativas que apoyen la planificación, conservación y gestión sostenible de los recursos naturales del territorio y de los recursos hídricos.

Ruiz & Torres (2010) indican que la delimitación de las unidades hidrográficas de Sudamérica se llevó a cabo empleando la base de datos y cartografía del proyecto Hydrological Data and Maps based on Shuttle Elevation Derivatives at Multiple Scales (HydroSHEDS), con una resolución espacial aproximada de 15 segundos de arco, equivalente a unos 460 m. La secuencia metodológica aplicada incluyó la generación del modelo digital del terreno, su depuración y optimización, el cálculo de la dirección y acumulación de flujo, la reclasificación de la acumulación para definir la red de drenaje, la delimitación de cuencas y, finalmente, la conversión vectorial de las unidades hidrográficas obtenidas.

Pérez-Campomanes & Iannacone (2020) reportan que la superficie total delimitada para Sudamérica asciende a 17 733 179 km², habiéndose definido

unidades hidrográficas hasta el nivel 3 para las principales vertientes continentales: Amazonas, Paraná, Orinoco y Tocantins. La síntesis numérica de estos resultados se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10

Unidades hidrográficas Sudamérica

| Nivel de delimitación | Unidades hidrográficas obtenidas |
|------------------------------|---|
| 1 | 10 |
| 2 | 93 |
| 3 | 801 |
| Total: | 904 |

Nota. Adaptado de Aguirre Núñez (2011).

1.23.2 Caso Bolivia

Crespo et al. (2007) explica que el proceso de delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de Bolivia respondió a la necesidad de contar con una base de información de cuencas formulada con criterios homogéneos para todo el país. Para este propósito se adoptó la metodología Pfafstetter, mediante la cual las cuencas fueron subdivididas jerárquicamente hasta el nivel 4, utilizando como insumos principales el mapa hidrográfico y de microcuencas derivado del modelo digital de drenaje Hydro-1k, la cartografía hidrográfica del IGM a escala 1:100 000 y el mapa de clasificación de cuencas desarrollado en Brasil.

El proceso de delimitación se realizó en función a las directrices del método Pfafstetter y básicamente se cumplieron las siguientes etapas: Análisis de cartografía base, dirección de flujo, acumulación de flujo, umbral de acumulación y división de cuencas.

Los resultados del estudio se pueden apreciar en la Tabla 11.

Tabla 11

Unidades hidrográficas de Bolivia

| Nivel de delimitación | Unidades hidrográficas obtenidas |
|------------------------------|---|
| 1 | 3 |
| 2 | 7 |
| 3 | 31 |
| 4 | 85 |
| Total: | 126 |

Nota. Adaptado de Crespo et al. (2007).

1.23.3 Caso Brasil

De acuerdo con Aguirre Núñez (2011), la aplicación de técnicas de geoprocесamiento resulta fundamental en los estudios de delimitación de cuencas hidrográficas, como se evidenció en el caso del río Piancó en Brasil. En dicho trabajo, la metodología se estructuró en cuatro etapas principales: corrección de depresiones del modelo digital de elevación, cálculo de la dirección de flujo, obtención de la acumulación de flujo y delimitación final de las cuencas, empleando como insumo básico un MDE SRTM con resolución espacial de 30 m.

En otro estudio, (Jumbo Castillo, 2015) identificó 29 subcuencas en la cuenca del río Jacuípe a partir de imágenes SRTM de 90 m de resolución. Para clasificar los cursos de agua y definir las unidades hidrográficas se utilizó la jerarquía de drenajes de Strahler, dentro de un procedimiento que contempló levantamiento de información, establecimiento de criterios de delimitación, verificación en campo y elaboración del producto cartográfico final, con el objetivo de delimitar subcuencas de séptimo y octavo orden.

Por su parte, la Agencia Nacional de Aguas de Brasil ANA (2012) delimitó la cuenca del río Verde Grande utilizando cartografía base a escala 1:1 000 000. En este caso, el método Pfafstetter se integró como parte central de la metodología general para definir las áreas de captación, siguiendo cuatro fases: preparación

de la información vectorial y generación del MDE, preprocesamiento para asegurar la coherencia hidrológica del modelo, delimitación de las cuencas según Pfafstetter y análisis de consistencia de los resultados obtenidos.

En el análisis de la cuenca del río Verde Grande se resalta el papel del tratamiento previo de la cartografía vectorial como paso clave para construir el modelo digital de elevación mediante el interpolador TOPOGRID. Este estudio tuvo como objetivo principal apoyar acciones orientadas a la protección y conservación de los recursos hídricos de la zona.

1.23.4 Caso Perú

De acuerdo con INRENA (2007), las cuencas hidrográficas constituyen la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos en el Perú, razón por la cual se procedió a delimitar las unidades hidrográficas del país a escala 1:1 000 000. Para este trabajo se integró información de la carta nacional topográfica digital, imágenes Landsat ETM realizadas (bandas 7-4-2) con resolución aproximada de 14,25 m, el modelo digital de elevación SRTM de la NASA del año 2000 y los datos del proyecto HydroSHEDS, siguiendo los lineamientos del método Pfafstetter para la codificación.

La metodología para determinar las áreas de drenaje combinó una fase de delimitación manual-digital con un procedimiento automático implementado en ambiente SIG. En esta segunda etapa se aplicó de manera secuencial la generación del MDE, el cálculo de la dirección y de la acumulación de flujo, la definición de un umbral de acumulación para extraer la red de drenaje, la asignación de códigos Pfafstetter, la disolución de polígonos y la conversión de datos ráster a formato vectorial de cuencas, cuyos resultados se sintetizan en la Tabla 6.

Tabla 12*Unidades hidrográficas delimitadas caso Perú*

| Unidad Hidrográfica | Nivel 2 | Nivel 3 | Nivel 4 | Nivel 5 | Nivel 6 | Nivel 7 | Nivel 8 | Total |
|----------------------------------|----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------|--------------|
| Región hidrográfica 0 | 1 | 6 | 43 | 101 | | | | 151 |
| Región hidrográfica 1 | 1 | 9 | 75 | 571 | 185 | 156 | 36 | 1,033 |
| Región hidrográfica 4 (Amazonas) | 2 | 6 | 30 | 214 | 18 | | | 270 |
| Total | 4 | 21 | 148 | 886 | 203 | 156 | 36 | 1,454 |

Nota. Obtenido de Ruiz & Torres (2010).

En el trabajo realizado por Stein (2018), se utilizaron los métodos de Pfafstetter y Strahler para la delimitación y codificación de las cuencas hidrográficas del Perú, localizadas en las cordilleras Blanca, Huallanca, Huayhuash, Raura, La Viuda, Central, Huagoruncho, Huaytapallana y Chonta. Con la metodología Pfafstetter se delimitaron las cuencas e intercuencas en nivel 7, mientras que con las directrices de Strahler se identificaron a las cuencas, subcuencas y microcuencas.

El proceso metodológico de delimitación de unidades hidrográficas, se rigió con base en las siguientes etapas: Generación del MDE, generación del modelo de sombra, generación de la jerarquía de afluentes según Strahler, generación de cuencas Pfafstetter y Strahler.

La cartografía base del proceso de delimitación fue: El MDE SRTM de 90m de resolución espacial, las imágenes satelitales Landsat, Aster y Spot, las unidades hidrográficas en nivel 4 del Perú, las curvas de nivel, la red hídrica y las lagunas a escala 1:100,000, así como la cobertura glaciar del primer inventario de glaciares del Perú.

Los resultados obtenidos de la delimitación de 22 cuencas hidrográficas, basados en la metodología Pfafstetter se pueden apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13*Niveles alcanzados según método Pfafstetter*

| Cuencas | Cordilleras | Niveles Obtenidos | Código | Área (Km2) |
|-----------------|---|-------------------|---------|-------------------|
| Mantaro | Chonta, Central, La Viuda, Huaytapallana | 5, 6, 7 | 4996989 | 34,363.18 |
| Pachitea | Huagoruncho | 5, 6, 7 | 4992999 | 28,495.62 |
| Pampas | Chonta | 5, 6, 7 | 4998999 | 23,113.04 |
| Santa | Blanca | 5, 6, 7 | 1376999 | 11,596.51 |
| Ica | Chonta | 6, 7 | 1375529 | 7,301.87 |
| Anapati | Huaytapallana | 6, 7 | 4995899 | 1,545.58 |
| Alto Marañón | Huagoruncho, La Viuda, Raura | 6, 7 | 4989999 | 21,553.68 |
| Perené | Huaytapallana | 6, 7 | 4995449 | 18,254.15 |
| Pisco | Chonta | 6, 7 | 1375299 | 4,208.74 |
| Cañete | Central | 6, 7 | 1375499 | 6,017.34 |
| Huaura | Raura, La Viuda, Huayhuash | 6, 7 | 1375699 | 4,310.91 |
| Alto Huallaga | Huagoruncho, La Viuda | 6, 7 | 4984999 | 30,275.86 |
| Pativilca | Huallanca, Huayhuash, Raura | 6, 7 | 1375899 | 4,577.23 |
| Chicama | Blanca | 6, 7 | 1377299 | 4,493.73 |
| Crisnejas | Blanca | 6, 7 | 4989829 | 4,909.68 |
| Mala | Central | g6 | 1375529 | 2,319.70 |
| San Juan | Chonta | 7 | 1375329 | 3,335.43 |
| Topara | Chonta | 7 | 1375349 | 616.96 |
| Chillón | La Viuda | 7 | 1375569 | 2,210.51 |
| Rímac | La Viuda | 7 | 1375549 | 3,485.35 |
| Moche | Blanca | 7 | 1377169 | 2,115.41 |
| Chancay- Haural | La Viuda | 7 | 1375589 | 3,046.36 |
| Total | | | | 222,146.84 |

Nota. Adaptado de Cerón Rincón & Ramírez Valencia (2023).

Mientras que con el método de Strahler, se delimitaron 23 cuencas hidrográficas obteniéndose los resultados que se estructuran en la Tabla 14.

Tabla 14*Número de cuencas delimitadas por el método Strahler*

| Cuencas | Cordilleras | Cuencas obtenidas | Subcuencas obtenidas | Microcuencas obtenidas | Área (Km2) |
|----------------|--|-------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| Anapati | Huaytapallana | 1 | 21 | 11 | 1,545.58 |
| Cañete | Central | 1 | 51 | 198 | 6,017.34 |
| Chancay-Huaral | La Viuda | 1 | 24 | 66 | 3,046.36 |
| Chicama | Blanca | 1 | 2 | 5 | 4,493.73 |
| Chillón | La Viuda | 1 | 63 | 59 | 2,210.51 |
| Alto Huallaga | Huagoruncho, La Viuda | 1 | 112 | 47 | 30,275.86 |
| Huaura | Raura, La Viuda, Huayhuash | 1 | 38 | 66 | 4,310.91 |
| Ica | Chonta | 1 | 21 | 8 | 7,301.87 |
| Lurín | Central | 1 | 12 | 6 | 1,633.80 |
| Mala | Central | 1 | 19 | 11 | 2,319.70 |
| Mantaro | Chonta, Central, La Viuda, Huaytapallana | 1 | 109 | 282 | 34,363.18 |
| Alto Marañón V | Huagoruncho, La Viuda, Raura | 1 | 60 | 105 | 21,553.68 |
| Moche | Blanca | 1 | 24 | 12 | 2,115.41 |
| Omas | Central | 1 | 14 | 1 | 1,111.11 |
| Páchitea | Huagoruncho | 1 | 19 | 22 | 28,495.62 |
| Pampas | Chonta | 1 | 69 | 73 | 23,113.04 |
| Pativilca | Huallanca, Huayhuash, Raura | 1 | 57 | 46 | 4,577.23 |
| Perené | Huaytapallana | 1 | 21 | 119 | 18,254.15 |
| Pisco | Chonta | 1 | 23 | 22 | 4,208.74 |
| Rímac | La Viuda | 1 | 21 | 54 | 3,485.35 |
| San Juan | Chonta | 1 | 30 | 24 | 3,335.43 |
| Santa | Blanca | 1 | 40 | 311 | 11,596.51 |
| Topara | Chonta | 1 | 8 | 0 | 616.96 |
| Total | | 23 | 858 | 1,548 | 219,982.07 |

Nota. Adaptado de Cerón Rincón & Ramírez Valencia (2023).

1.23.5 Caso Ecuador

Con el objetivo de mejorar la gestión de los recursos hídricos, en el año 2010 mediante acuerdo nro. 2010-66 de la Secretaría del Agua, se establece delimitar las demarcaciones hidrográficas de Mira, Esmeraldas, Manabí, Guayas, Jubones, Puyango-Catamayo, Napo, Pastaza y Santiago. En total 9 demarcaciones, las mismas que se pueden apreciar en la Figura 20.

Figura 20

Demarcaciones hidrográficas del Ecuador

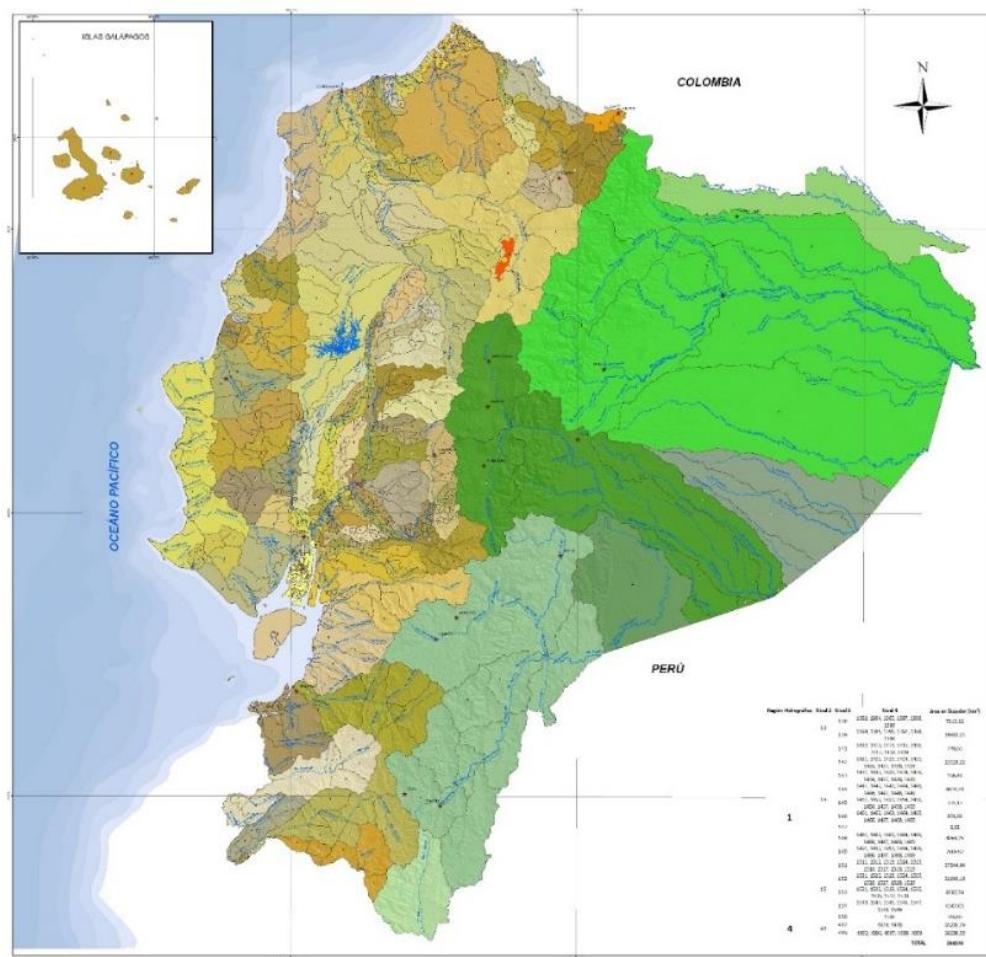


Nota. Obtenido de Yáñez et al. (2017).

BOE Ministerio Medio Ambiente (2007) mediante resolución ministerial nro. 2011-245, resuelve en el artículo 1: Aprobar la metodología Pfafstetter y oficializar el mapa de delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador a escala 1: 250,000 hasta el nivel 5, el cual se puede observar en la Figura 21.

Figura 21

Mapa de unidades hidrográficas en nivel 5



vectorial se consideraron las siguientes actividades: Conversión a polígonos, conversión a líneas y polígonos de unidades hidrográficas.

Como resultado del proceso se obtuvieron 734 unidades hidrográficas en nivel 5. La distribución por regiones hidrográficas y niveles se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15

Distribución de las Unidades Hidrográficas en el Ecuador

| Región hidrográfica | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 | Nivel 4 | Nivel 5 |
|-------------------------------|----------|----------|-----------|------------|------------|
| Región hidrográfica 1 | 1 | 3 | 16 | 117 | 711 |
| Región hidrográfica Amazona 4 | 1 | 1 | 2 | 6 | 23 |
| Total | 2 | 4 | 18 | 123 | 734 |

Nota. Obtenido de Yáñez et al. (2017).

CAPÍTULO II

DISEÑO METODOLÓGICO Y PROCEDIMIENTO

2.1 Razones de la investigación

La delimitación y codificación jerárquica de unidades hidrográficas dentro de la cuenca del río Jubones, específicamente en la unidad hidrográfica 13944, evidencia la transición de metodologías analógicas hacia procesos automatizados sustentados en Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten una gestión más eficiente y precisa del territorio, especialmente en el ámbito de recursos hídricos (INRENA, 2007; Yáñez et al., 2017). Tradicionalmente, la interpretación de cartas topográficas y métodos como los de Horton-Strahler y Shreve arrojaron resultados dispares, condicionados por escalas, métodos y disponibilidad de herramientas en cada país de la región. Esta heterogeneidad condujo a la adopción y oficialización de la metodología Pfafstetter, que actualmente constituye el estándar en Sudamérica para la codificación y jerarquización de cuencas (Pérez-Campomanes & Iannacone, 2020).

En Ecuador, el proceso de optimización de la gestión hídrica impulsado por la Secretaría del Agua estableció la división del territorio en demarcaciones y la actualización cartográfica al nivel cinco para unidades hidrográficas, siguiendo la normativa internacional. Sin embargo, esta delimitación resulta insuficiente para las exigencias administrativas y técnicas de la gestión moderna, pues la carencia de microcuenca y códigos de mayor detalle genera debilidades institucionales, limitando la toma de decisiones, el desarrollo de proyectos y la distribución equitativa del recurso hídrico a nivel local (Yáñez et al., 2017).

En este contexto, la investigación se justifica por la necesidad de avanzar en la subdivisión y codificación hasta el nivel seis (equivalente a microcuenca) mediante la integración de técnicas SIG y el modelo de elevación SRTM, proceso esencial para la generación de bases de datos geográficas robustas, la estandarización de registros técnicos y la respuesta eficiente ante solicitudes de uso de agua, monitoreo ambiental y planificación de conservación, en la unidad hidrográfica 13944 (Rodríguez et al., 2006).

Derivado de lo anterior, la investigación se articula en torno a tres interrogantes centrales:

En primer lugar, ¿cuáles son los métodos que se utilizan para la delimitación de cuencas hidrográficas?, lo que permitirá comparar enfoques tradicionales con técnicas modernas y establecer el marco teórico adecuado para la zona de estudio. En segunda instancia, la pregunta ¿cuáles son las subunidades hidrográficas que conforman la unidad 13944 dentro de la cuenca del río Jubones? orienta el trabajo hacia la identificación precisa de las entidades espaciales y administrativas relevantes para la gestión institucional. Finalmente, la interrogante ¿qué codificación le corresponde a cada una de las unidades hidrográficas delimitadas? aborda la necesidad de contar con un sistema estandarizado y replicable que sustente las tareas operativas y analíticas, fortaleciendo el trabajo institucional y la interoperabilidad regional (INRENA, 2007).

2.2 Objetivo de la investigación

El objetivo general de la investigación es delimitar y codificar jerárquicamente la unidad hidrográfica 13944, perteneciente a la cuenca del río Jubones, mediante la aplicación del método Pfafstetter y técnicas SIG, con el fin de fortalecer la gestión, administración y conservación de los recursos hídricos a escala local.

Para alcanzar dicho propósito, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los principales métodos empleados en la delimitación de cuencas y microcuencas hidrográficas, con énfasis en la metodología Pfafstetter.
- Delimitar las subunidades hidrográficas que conforman la unidad 13944 utilizando datos del modelo de elevación SRTM y herramientas SIG.
- Asignar la codificación jerárquica correspondiente a cada subunidad hidrográfica delimitada conforme al modelo Pfafstetter y la normativa nacional vigente.

2.3 Método, diseño y tipo de investigación

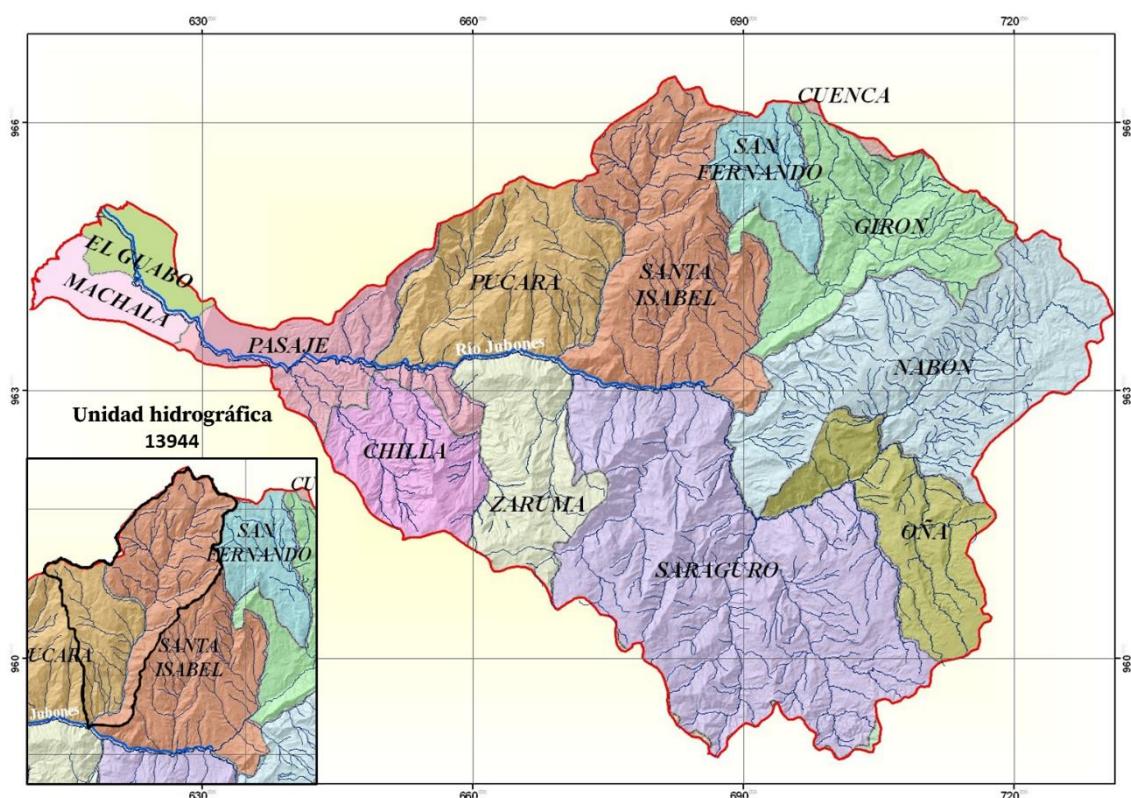
2.3.1 Ubicación Geográfica del área de estudio

La unidad hidrográfica 13944 forma parte de la cuenca del río Jubones, ubicada en la demarcación hidrográfica Jubones, al sur del Ecuador. Esta demarcación se extiende a lo largo de las provincias de Azuay, El Oro y Loja, constituyendo una de las principales cuencas de la vertiente del océano Pacífico. Su área de drenaje comprende aproximadamente 4.285 km², con elevaciones que varían desde los 4.000 m s. n. m. en la cordillera occidental de los Andes hasta el nivel del mar en su desembocadura en el canal de Jambelí.

La ubicación geográfica de la unidad hidrográfica 13944, dentro de la cuenca del río Jubones y su relación con los principales cantones de las provincias que la comprenden, se ilustra en la Figura 22.

Figura 22

Ubicación geográfica del área de estudio



La unidad 13944, objeto de este estudio, se localiza en el sector centro-oriental de la cuenca del Jubones, ocupando parte de los cantones Pucará y Santa Isabel, en

la provincia del Azuay, y extendiéndose parcialmente hacia zonas de Zaruma y Pasaje, en la provincia de El Oro. Esta unidad presenta características topográficas propias del relieve andino medio, con pendientes marcadas y una red de drenaje de tipo dendrítico, controlada principalmente por afluentes de corto recorrido que confluyen hacia el cauce principal del río Jubones.

La cuenca del Jubones representa un sistema hidrológico de gran contraste morfoclimático: su parte alta se caracteriza por ecosistemas montanos húmedos, mientras que su zona baja incluye ambientes semiáridos como el Desierto del Jubones, donde la escasa precipitación y la erosión configuran un paisaje de laderas secas y suelos frágiles.

A modo de referencia, las coordenadas métricas WGS84 zona 17 sur, de localización de la cuenca del río Jubones (donde se ubica la unidad hidrográfica 13944), se detallan en la Tabla 16.

Tabla 16

Coordenadas de ubicación de la cuenca Jubones

| Orientación | X | Y |
|-------------|---------|-----------|
| Norte | 682,099 | 9,664,777 |
| Sur | 686,645 | 9,588,782 |
| Este | 730,820 | 9,638,668 |
| Oeste | 612,048 | 9,643,330 |

2.3.2 Cartografía Base

La delimitación de la unidad hidrográfica 13944 se fundamenta en la cartografía oficial establecida por la Secretaría del Agua del Ecuador, la cual, mediante resolución ministerial Nro. 2011-245, dispone el uso de información de cuencas hidrográficas hasta nivel 5 según la metodología Pfafstetter (BOE Ministerio Medio Ambiente, 2007). Para avanzar al nivel 6 (microcuenca), se emplean insumos técnicos derivados del modelo de elevación HydroSHEDS, que integra datos de relieve y dirección de flujo, esenciales para el trazado automatizado y la jerarquización por técnicas SIG.

El banco de información cartográfica de la demarcación hidrográfica incluye:

- Mapas vectoriales de unidades hidrográficas nivel 5 y 6,
- Demarcaciones hidrográficas oficiales,
- Capas temáticas derivadas del HydroSHEDS y su matriz de direcciones de flujo.

Como soporte adicional, se dispone de cartografía del IGM a escala 1:50,000 (ríos simples, ríos dobles, curvas de nivel y puntos acotados), útil para la validación geomorfológica y la correlación espacial con entidades hidrológicas secundarias. Estos recursos cartográficos y datos sirven como referencia fundamental para la delimitación y codificación jerárquica precisa de la unidad hidrográfica 13944 que constituye el área de estudio.

2.3.3 Metodología

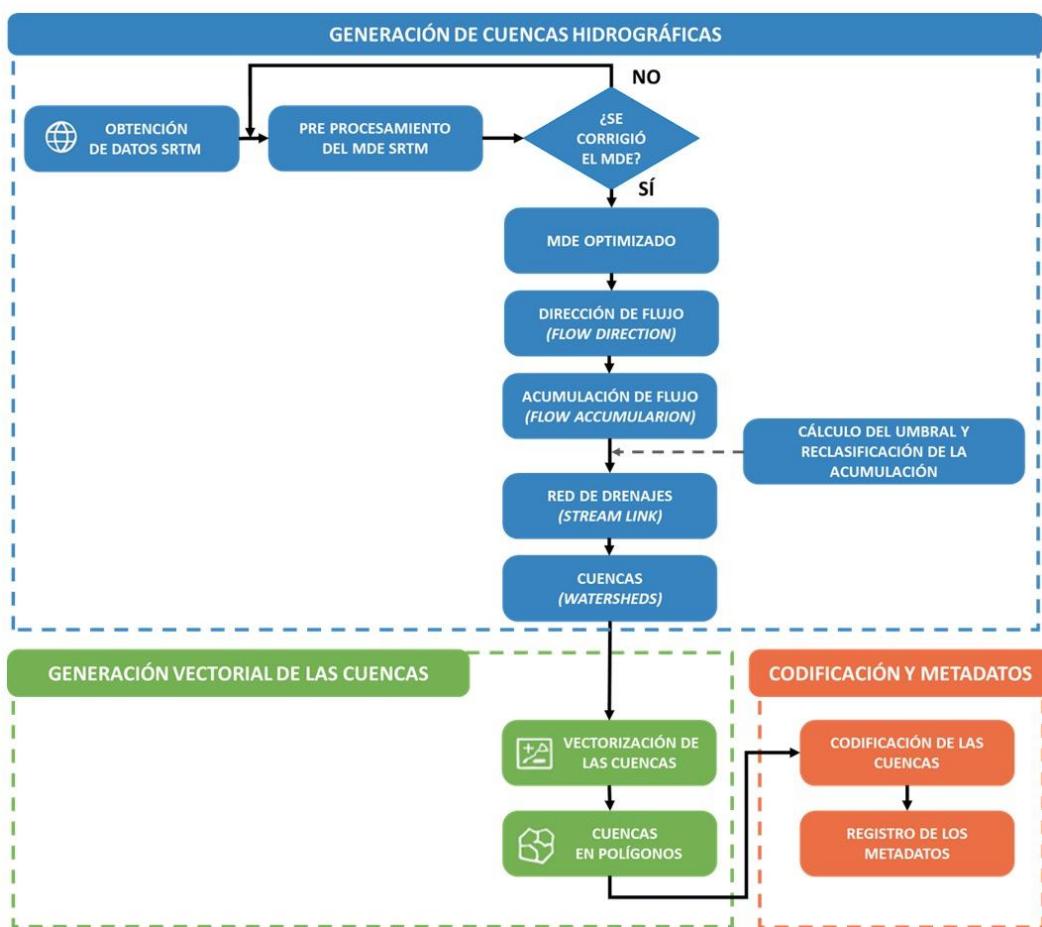
En los últimos años, se han elaborado varios trabajos relacionados con la delimitación de unidades hidrográficas, destacándose los estudios realizados por Yáñez et al. (2017), Almeida & Soares (2003), Corrales Andino & Ochoa López (2018), Londoño Arango (2001), Aguirre Núñez (2011), Lucio Legarda Burbano (1996), Mesa Sánchez (2018), INEGI (2010), GREGORY & WALLINGFORD (1973), ANA (2012) cuyo objetivo fue obtener las áreas de drenaje o captación para varias cuencas hidrográficas, con el fin de mejorar la gestión de los recursos hídricos. Por ejemplo, ANA (2012), realizaron el proceso para la delimitación de 23 unidades hidrográficas del Perú, utilizando los métodos de Pfafstetter y Strahler.

La revisión crítica de los diferentes enfoques permitió definir las fases generales del proceso de delimitación que se aplica en la presente investigación para la unidad hidrográfica 13944. Las etapas fundamentales son: generación de cuencas hidrográficas, vectorización geométrica, codificación jerárquica y documentación mediante metadatos. Durante la generación, se realiza la obtención y preprocesamiento de datos SRTM, determinación de dirección de flujo, acumulación de flujo y el cálculo de umbral para la red de drenajes, seguido por el delineamiento de áreas de captación (watersheds).

La metodología utilizada para la delimitación y codificación jerárquica de la unidad hidrográfica 13944 se presenta de manera esquemática en el diagrama de la Figura 23.

Figura 23

Diagrama de la metodología



Nota. Adaptado de Rosas (2009).

Para cumplir con el propósito de la investigación, se seleccionó la **metodología Pfafstetter** utilizada por Stein (2018), De Amorim Teixeira et al. (2022), los cuales plantean la delimitación y codificación de cuencas, por medio de imágenes obtenidas a través de sensores remotos. La cartografía base sobre la cual surge la necesidad de la subdivisión, oficialmente se generaron bajos los principios del método Pfafstetter Stein (2018). La elección de la normativa metodológica, además se sustenta en la disposición oficial de su uso para la delimitación de

unidades hidrográficas del territorio ecuatoriano BOE Ministerio Medio Ambiente (2007).

Para cada método de delimitación de cuencas hidrográficas; Pfafstetter y los basados en la ordenación de drenajes (Horton-Strahler y Shreve) los resultados finales son diferentes, aún si la zona de estudio es la misma (Jumbo Castillo, Zea Ordóñez, et al., 2024). Esto se debe a que los lineamientos o principios que caracterizan a cada metodología, analizan de diferente manera la distribución espacial de los cursos de agua en una unidad hidrográfica.

Figura 24

Fases del método Pfafstetter



Existe una tendencia hacia la estandarización de las unidades hidrográficas en varios países, al respecto IDEAM (2013) manifiesta que el método Pfafstetter es una normativa de codificación de cuencas reconocida a nivel continental. Con la metodología se pueden obtener varios niveles de delimitación, si la escala de la cartografía y resolución espacial del MDE lo permiten, así lo demuestran los resultados obtenidos por Stein (2018), en el cual se alcanzaron los niveles 1, 2, 3 y 4 para Bolivia. Según INEGI (2010), la información geográfica generada sobre el

territorio requiere ser documentada utilizando metadatos, con el fin de facilitar su uso y búsqueda. Estas tareas se incorporan como parte del proceso metodológico de la investigación, las cuales se basan en las directrices del Perfil Ecuatoriano del Metadato (INEGI, 2010).

Se seleccionaron las herramientas para la generación automática de cuencas hidrográficas basadas en técnicas de SIG, según (Alves Sobrinho et al., 2010), en la ejecución de las tareas para la determinación de áreas de captación o unidades hidrográficas, es elemental el aporte de las herramientas de análisis espacial y modelado hidrológico. Estas utilidades basan su ejecución en técnicas de geoprocесamiento (Cecílio et al., 2013). Alianza Jatun Sacha (2002), menciona que, en el proceso de delimitación de cuencas, es fundamental el orden de ejecución y los resultados de cada una de las siguientes técnicas: Dirección de flujo (Flow direction), acumulación de flujo (flow accumulation), red de drenajes (stream link) y cuencas (watersheds).

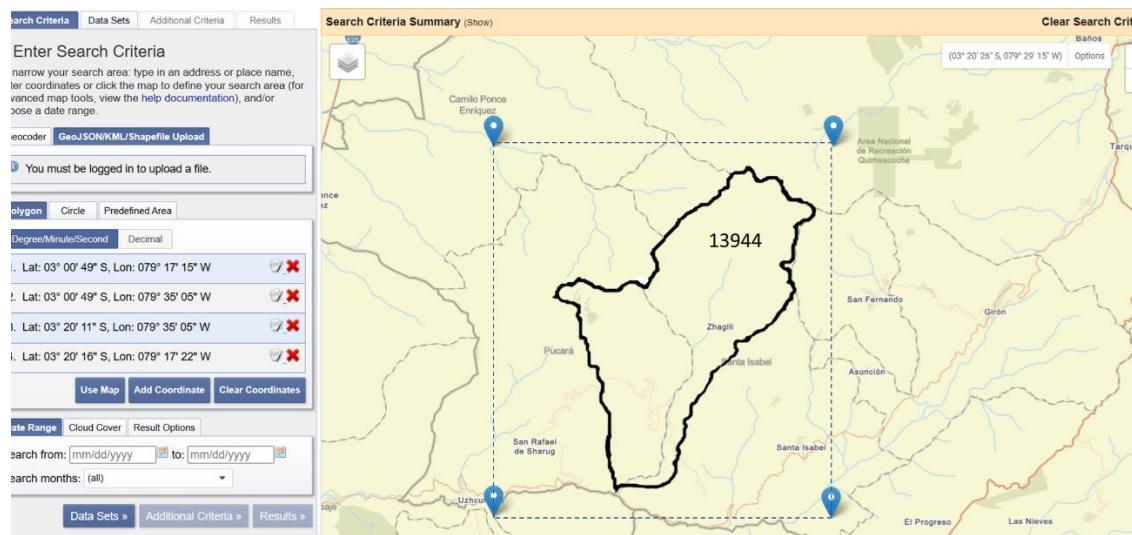
Es importante el aporte de los estudios anteriormente señalados, porque contribuyen con la delimitación de las unidades hidrográficas planteada en esta investigación, y con ello al objetivo de lograr una correcta toma de decisiones en la gestión y administración de los recursos hídricos. A continuación, se detalla a cada una de las etapas principales, con sus respectivos argumentos y parámetros.

2.3.4 Obtención de datos SRTM (NASA)

Para la delimitación precisa de la unidad hidrográfica 13944, se emplearon datos SRTM con una resolución espacial de 30 m, descargados desde la plataforma EarthExplorer de la USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). La Figura 25 muestra la interfaz gráfica utilizada para seleccionar y obtener los datos requeridos.

Figura 25

Página de descarga de datos SRTM



Nota. Obtenido de EarthExplorer (2025).

En el visor de descarga de la plataforma EarthExplorer se definieron los límites espaciales de la unidad hidrográfica 13944, lo cual permitió seleccionar y descargar únicamente el área requerida para el análisis.

Las coordenadas geográficas empleadas para delimitar el área de estudio se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17

Coordenadas de los vértices del área de estudio seleccionada en el visor EarthExplorer

| Orden | Latitud | Longitud |
|-------|-------------|-------------|
| 1 | 03°00'49" S | 79°15'15" O |
| 2 | 03°01'49" S | 79°15'15" O |
| 3 | 03°20'16" S | 79°17'22" O |
| 4 | 03°20'16" S | 79°27'15" O |

Especificadas las coordenadas en el visor, el siguiente paso consistió en seleccionar el tipo de dato a descargar, lo cual se logró a través de la pestaña *Data Sets>Digital Elevation>SRTM>SRTM 1 Arc-Second Global*. Los resultados fueron desplegados en la pestaña *Results* permitiendo la descarga en tres formatos BIL, DTED o GeoTIFF.

2.3.5 Pre procesamiento del MDE

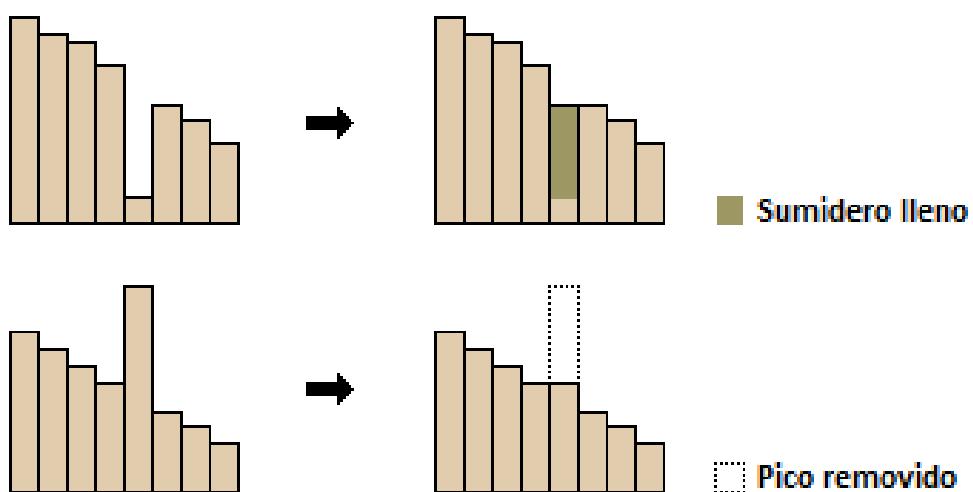
La fase de pre procesamiento, está determinada por dos tareas específicas las cuales son: Creación del mosaico de las imágenes SRTM y la exclusión de valores incorrectos presentes en el MDE. El mosaico, generado mediante la herramienta Mosaic To New Raster (Data Management Tools > Raster > Raster Dataset > Mosaic To New Raster) de ArcGIS, permitió integrar todos los fragmentos SRTM en un solo archivo, abarcando la totalidad del área de la unidad hidrográfica 13944.

Según Mayorga et al. (2022), la topografía del área del terreno influye significativamente sobre la calidad de los datos del modelo de elevación. Es decir que sobre terrenos escarpados o montañosos la incidencia de errores puede ser mayor, por lo cual es esencial corregir las imperfecciones que contenga el MDE.

La primera tarea de pre procesamiento del MDE, consiste en corregir la presencia de las zonas sin datos o vacías (“*NoData*”), los cuales deben rellenarse utilizando métodos de interpolación (Yáñez et al., 2017). Jumbo Castillo (2015), menciona que los errores del MDE derivado de los datos SRTM se denominan sumideros. El procedimiento para el llenado de sumideros y la depuración de picos, se muestra gráficamente en la Figura 26.

Figura 26

Corrección de errores de tipo sumidero y picos



Nota. Obtenido de Oliveira & Pereira (2021).

(Torres, 2007) manifiesta que la utilización del algoritmo de relleno de sumideros, genera datos digitales de elevación que corrigen las depresiones existentes en el MDE y optimiza el proceso para la generación de direcciones de flujo de agua.

Una de las formas de eliminar los valores “*NoData*”, es utilizando estadísticas focalizadas aplicando el método del vecino próximo, con un radio de celdas vecinas que se determinan en función del área a llenar, sin embargo, previamente se deberá reclasificar el raster MDE en dos valores 0 y 1, siendo este último valor el cual representa al número de pixeles “*NoData*” existentes en el área de interés.

El recurso a través del cual se realiza el procedimiento es *Spatial Analyst Tools>Map Algebra>Raster Calculator*. Mientras que la depuración de picos y sumideros, se obtiene mediante la herramienta *Arc Hydro Tools>Terrain Preprocessing>DEM Manipulation>Fill Sinks*.

La aplicación de técnicas y herramientas en el pre procesamiento, tienen como fin la optimización del MDE, de manera que permita el despliegue lógico y secuencial de los cursos de agua o escorrentía superficial.

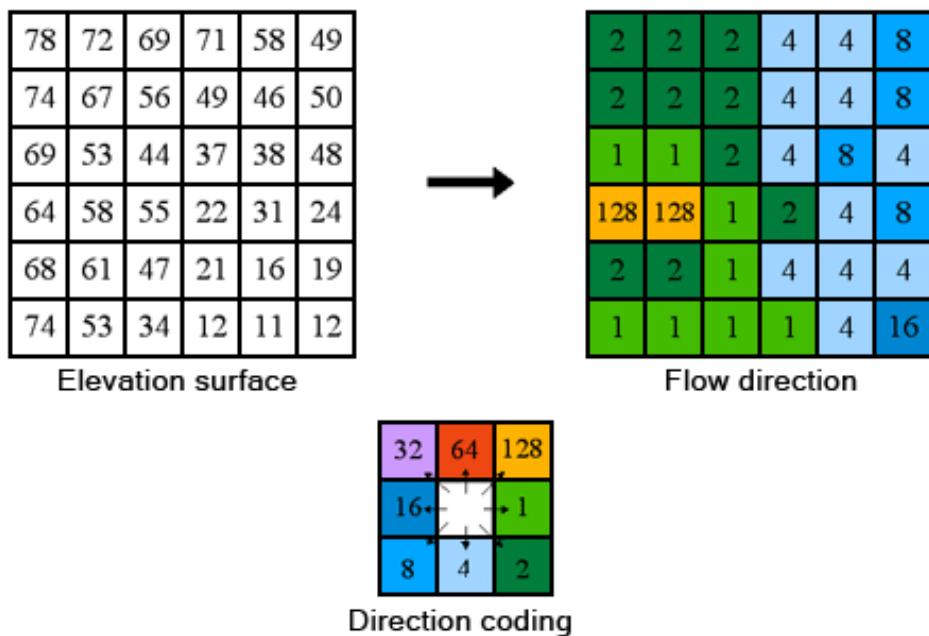
2.3.6 Dirección de flujo

Esta etapa consiste en crear un mapa raster de las direcciones de flujo. Aumassanne Carolina Manuela & Gaspari Fernanda Julia (2023) sostienen que la dirección de flujo, se determina a partir de las relaciones hidrográficas entre los diferentes puntos del perímetro de la cuenca y considerando las características del terreno. Según IDEAM (2013), el mapa de dirección de flujo se calcula con base en las celdas vecinas e indica la dirección de caída más pronunciada en función a la pendiente de inclinación.

La dirección de flujo en ArcGIS, se obtiene a través del recurso *Spatial Analyst>Hidrology>Flow Direction*. La Figura 27, muestra la forma de operación de la herramienta.

Figura 27

Forma de operación de la herramienta *Flow Direction*



Nota. Obtenido de Wang et al. (2022).

En la ilustración anterior, *elevation surface* es el archivo de entrada del MDE depurado, y *flow direction* es el archivo resultante de la dirección de flujo.

2.3.7 Acumulación de flujo

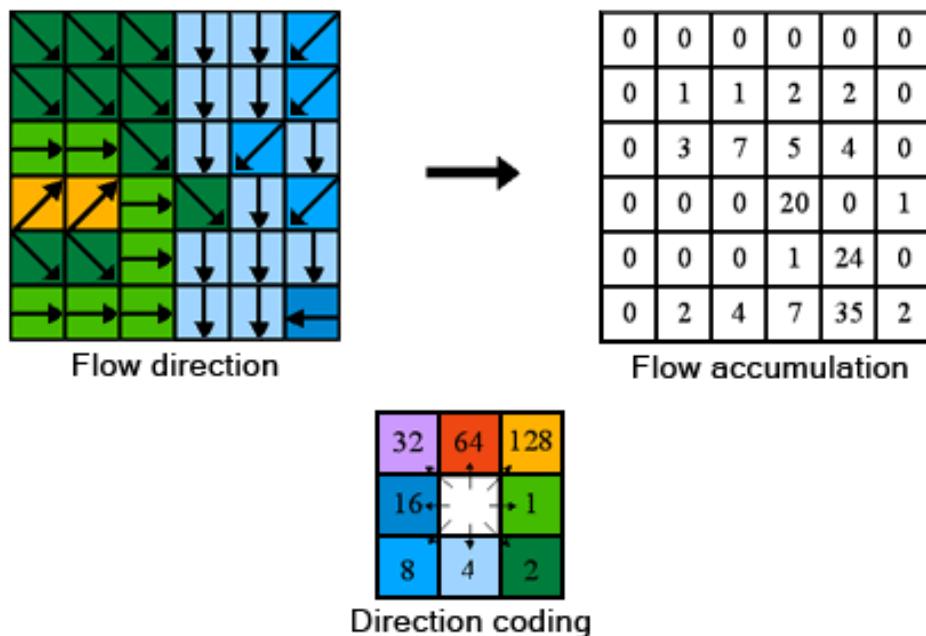
El mapa de acumulación de flujo se obtiene a partir del mapa de dirección de flujo. Según Jorquera et al. (2012) la acumulación de flujo se refiere a la red hidrográfica, la cual proporciona una nueva matriz con los valores específicos de acumulación de agua de cada pixel.

La acumulación de flujo está basada en la cantidad de celdas que fluyen hacia cada celda, donde el valor resultante de un pixel son todos los píxeles que aguas arriba le drenan. La acumulación de flujo en ArcGIS, se obtiene a través de la herramienta *Spatial Analyst>Hidrology>Flow Accumulation* (Wang et al., 2022).

La lógica de funcionamiento de la herramienta *flow accumulation*, es representada a través de la Figura 28; donde *flow direction* es la dirección de flujo y *flow accumulation* es el resultado de la acumulación de flujo.

Figura 28

Forma de operación de la herramienta Flow Accumulation



Nota. Obtenido de Wang et al. (2022).

Según el criterio de (Jumbo Castillo, 2015), el cálculo del umbral “[...]es un procedimiento iterativo de ensayo y error; siendo la manera más sencilla de determinar el umbral de acumulación adecuado para obtener los tributarios necesarios”.

La determinación del umbral de acumulación, permite identificar el curso del río principal y los cuatro aportantes, considerando que basta con que aparezca un pixel, para ser considerado como afluente tributario. El cálculo del umbral se efectúa utilizando como base el tema de acumulación de agua. En ArcGIS se lo realiza desde la ventana *Layer Properties>Symbology>Classified>Classify*, donde se especifica la clasificación en dos rangos o clases, aplicando el método *Natural Breaks - Jenks*; el primero va de 1 a N valor calculado por la herramienta, y el segundo del N valor al número máximo que alcanza la acumulación de flujo.

Es importante manifestar que el valor N, es con el cual se deben realizar los ensayos utilizando la opción *Classify>Break Value*, donde se modifica el primer valor y se aceptan los cambios realizados. En la visualización, el primer rango es

el que no debería aparecer por lo cual se le asignará *No Color*, mientras que al segundo se le asignará un color a conveniencia.

Esta etapa concluye con la generación del tema de reclasificación de la acumulación, el cual almacenará los rangos establecidos del cálculo del umbral y sus clases definidas. Este proceso en ArcGIS se realiza mediante la opción *Spatial Analyst Tools>Reclass>Reclassify*, donde se establecerán para el primero y segundo rango los valores de 0 y 1 sucesivamente, siendo escencial únicamente el segundo rango, ya que identifica a los cursos de agua principales (Pérez-Campomanes & Iannacone, 2020).

2.3.8 Red de drenajes

Esta etapa consiste en obtener la red de drenaje categorizada que corresponda a la categoría 1, de la reclasificación de la acumulación de flujo realizado en la fase anterior. Según la Pérez-Campomanes & Iannacone (2020), el proceso relacionado con la generación de la red de drenajes, es escencial para la determinación de las unidades de hidrográficas.

(Cecílio et al., 2013), manifiestan que la herramienta *Stream Link* permite asignar los valores a cada tramo de la red de drenajes. En ArcGIS el procedimiento se realiza ejecutando *Spatial Analyst Tools>Hydrology>Stream Link*.

2.3.9 Generación de cuencas

Vitorino et al. (2022) manifiesta que la delimitación de las cuencas, se cumple procesando los mapas de dirección y acumulación de flujo, donde el área de cada cuenca hidrográfica corresponde a la cantidad de celdas que son procesadas en el MDE. Esto es corroborado por el criterio expuesto de la UICN Sur y la SGCAN en el año 2010, quienes mencionan que, para la generación automática de las cuencas hidrográficas, se requiere de la dirección de flujo y la red de cursos de aguas obtenida a partir del mapa de la acumulación de flujo.

Según el criterio de Vitorino et al. (2022) la generación automática de cuencas en ArcGIS, se obtiene a través del recurso *Spatial>Analyst Tools>Hydrology>Watershed*. Conforme a lo mencionado en el párrafo anterior,

para el proceso se requieren los archivos de la dirección de flujo y de la red de drenaje.

2.3.10 Vectorización y Codificación

La vectorización de las cuencas es el proceso de pasar de formato raster a vector (puntos, líneas o polígonos), con el cual se obtiene el tema final de los polígonos de las unidades hidrográficas delimitadas en formato Shapefile. Según (Jumbo Castillo, 2015), la conversión a formato vector de las cuencas delimitadas, es una técnica sencilla que se cumple aplicando el siguiente paso:

- **Conversión de raster a polígono:** El archivo raster de la generación de las cuencas (*watersheds*) es el insumo requerido para realizar la conversión a polígono. Este procedimiento en ArcGIS se realiza con la herramienta *Conversion Tools>From Raster>Raster To Polygon*.

La asignación de la codificación a cada unidad hidrográfica es un procedimiento jerárquico: se otorgan códigos únicos acorde con el nivel de detalle delimitado, progresando hacia subdivisiones más finas conforme aumenta el nivel de jerarquización. Previo al proceso de codificación, es imprescindible identificar el río principal para cada unidad, ya que el sistema Pfafstetter establece que la codificación debe ser realizada desde la desembocadura hacia la naciente.

De Amorim Teixeira et al. (2022) mencionan que la codificación Pfafstetter se basa en dos principios: La jerarquización de las unidades hidrográficas según el área de drenaje y el reconocimiento previo de la red hidrográfica de las cuatro cuencas principales, a las cuales se les asignan los números pares 2, 4, 6 y 8, mientras que a las intercuencas les corresponden los números impares 1, 3, 5, 7 y 9. En caso que existan cuencas internas se codifican con el número 0.

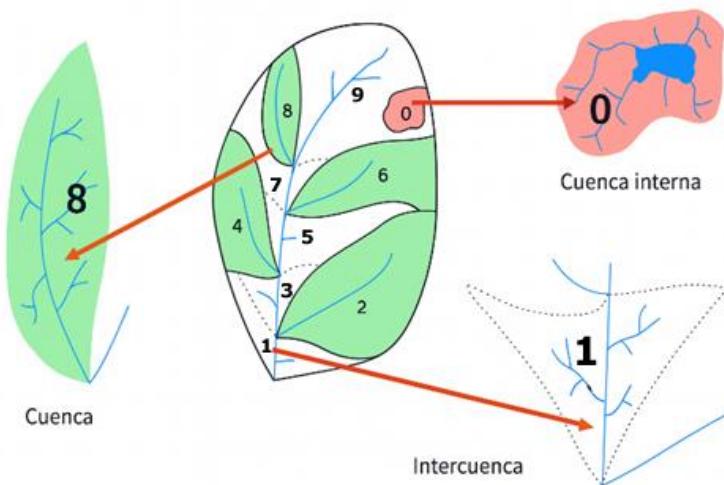
La asignación de los códigos para las cuencas e intercuencas se debe realizar en sentido horario, sobre el tema de polígonos de las unidades hidrográficas resultantes de la vectorización (INEGI, 2010).

Jumbo Castillo, Zea Ordóñez, et al. (2024) señala que el registro de los códigos debe efectuarse sobre la tabla de atributos del tema de polígonos de las cuencas,

la cual deberá disponer de los campos necesarios para almacenar los códigos Pfafstetter en los diferentes niveles, así como el nombre y el área. La tabla de atributos puede ser de estructura de tipo relacional o única. Las tablas de tipo relacional restringen la redundancia de datos debido que se encuentran relacionadas por un campo común y su diseño requiere de conocimientos apropiados en base de datos, mientras que en las de estructura única, los campos son creados en la misma tabla y no existen restricciones.

Figura 29

Proceso de codificación jerárquica de cuencas, intercuencas y cuencas internas



En ArcGIS el proceso de codificación se realiza en forma tabular, seleccionando cada unidad hidrográfica y registrando el código en la tabla de atributos.

2.4 Consideraciones éticas

La presente investigación se sustenta en altos estándares de integridad científica, garantizando la transparencia y la veracidad de los datos presentados. Se evita en todo momento la fabricación, falsificación o manipulación de información, así como el uso indebido de resultados; del mismo modo, se han respetado los derechos de autor mediante la debida citación y reconocimiento de todas las fuentes consultadas y utilizadas, siguiendo las normas internacionales de propiedad intelectual.

El autor declara explícitamente la ausencia de conflictos de intereses de tipo financiero, personal o profesional que puedan comprometer la objetividad o imparcialidad de los resultados y conclusiones alcanzados. De producirse alguno de estos conflictos, se haría pública su existencia y alcance específico en la sección correspondiente del documento.

Respecto al consentimiento informado y la privacidad, la investigación no ha implicado experimentación directa con seres humanos ni acceso a datos sensibles, pero de haberse presentado tal circunstancia, se habría procedido con la obtención del consentimiento informado y el cumplimiento estricto de normas de confidencialidad y protección de datos personales, en concordancia con la legislación vigente y la ética académica.

En cuanto al uso responsable de animales y recursos naturales, el trabajo se enmarca en el estudio de información secundaria y el análisis de ecosistemas mediante datos territoriales geoespaciales, sin provocar alteraciones ni daños directos a la fauna, la flora o el ambiente. De haber sido necesario algún tipo de muestreo en campo, se habrían seguido las normativas internacionales para el bienestar animal y la conservación del entorno, obteniendo los permisos y autorizaciones pertinentes.

El reconocimiento de aportes ajenos constituye asimismo un principio rector: se da crédito adecuado a colaboradores, asesores, instituciones y a todos los trabajos previos en los cuales se sustentan tanto la metodología empleada como las bases teóricas y técnicas.

Se evita en todo momento el plagio, y para ello se recurre a la citación directa e indirecta, indicando siempre la fuente de ideas y resultados. Asimismo, se evita el autoplagio, no reutilizando sin referencia partes sustanciales de otros trabajos previamente desarrollados por el autor.

Finalmente, la presentación de resultados se realiza con objetividad, equidad y rigor, evitando cualquier tipo de interpretación tendenciosa, exagerada o inapropiada. Los datos y hallazgos son presentados de manera clara y

transparente, garantizando la reproducción y evaluación independiente por parte de otros investigadores interesados.

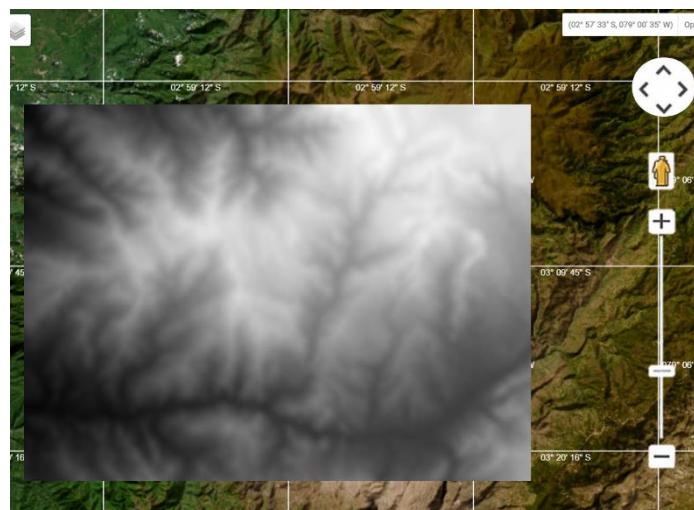
2.5 Resultados de la investigación

En la Figura 30 se visualizan los rasters obtenidos de la base de datos de la NASA, en formato GeoTIFF y con resolución espacial de 30 metros, utilizados como insumo principal en la generación del Modelo Digital de Elevación (MDE) para la unidad hidrográfica analizada. Estos datos permitieron dar continuidad al proceso de codificación jerárquica de cuencas, intercuenas y cuencas internas según la metodología definida.

Cabe señalar que en esta figura únicamente se representa el relieve del área de estudio, siendo la identificación de cuencas, intercuenas y cuencas internas producto de análisis y procesamiento hidrológico subsiguiente.

Figura 30

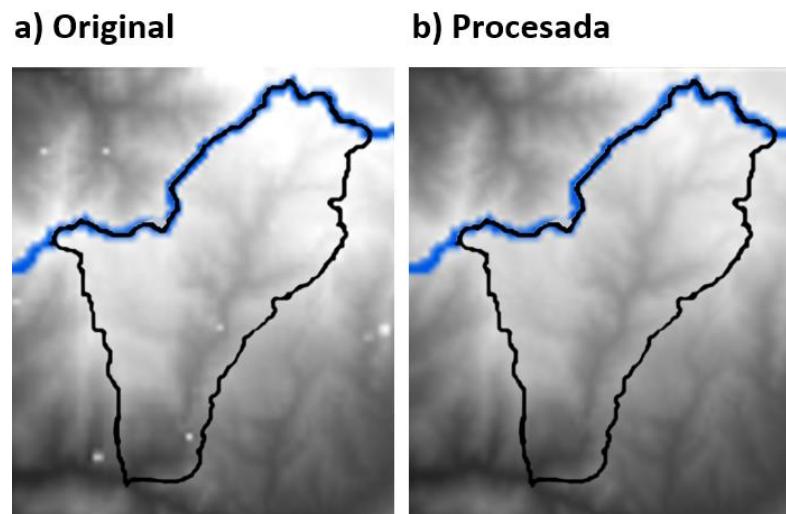
Proceso de codificación jerárquica de cuencas, intercuenas y cuencas internas



A partir de los datos SRTM previamente descargados, se construyó un mosaico raster que abarca la totalidad del área de interés correspondiente a la unidad hidrográfica 13944. Este mosaico fue sometido a un proceso de mejora, que incluyó la corrección de valores ausentes (NoData) y el ajuste de elevaciones extremas con el fin de garantizar la continuidad topográfica del modelo. El MDE resultante, debidamente optimizado, se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Comparación del mosaico SRTM correspondiente a la unidad hidrográfica 13944



En la Figura 32, se puede apreciar el mapa de dirección de flujo correspondiente a la unidad hidrográfica 13944. Cada celda contiene el valor de dirección hacia su vecino con máxima pendiente. La dirección de flujo se generó, a partir del MDE optimizado en el proceso anterior.

Figura 32

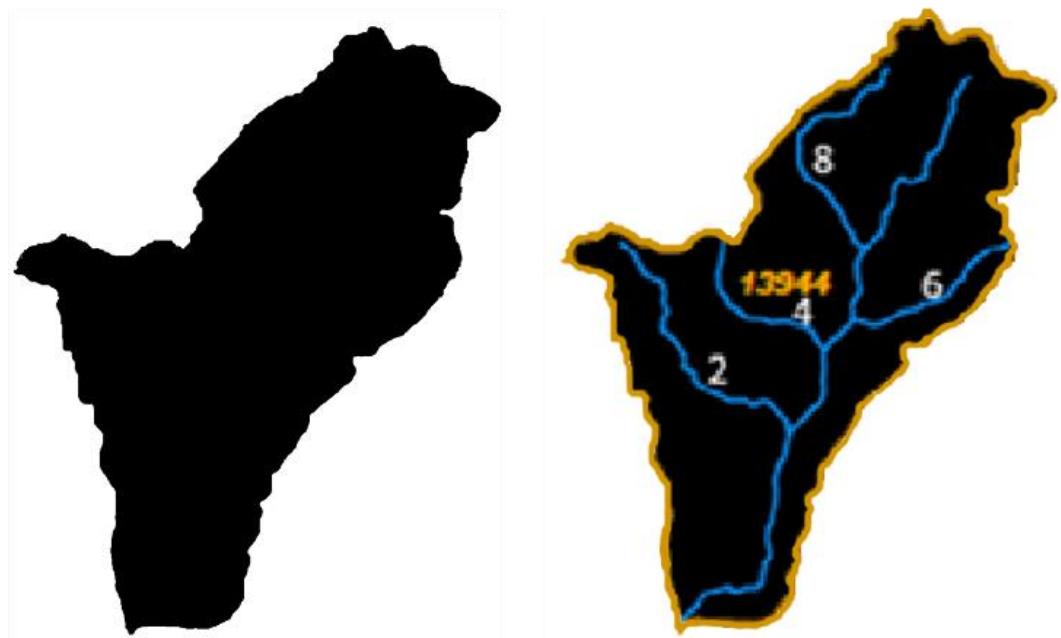
Dirección de flujo de la unidad hidrográfica 13944



A través de diversas etapas de ajuste y validación, se estableció que el umbral de acumulación para la unidad hidrográfica 13944 corresponde a 24000 unidades de precipitación. Este valor facilitó la diferenciación y delimitación de los canales asociados a los flujos de escorrentía, conformando así las áreas de drenaje de quinto orden, de acuerdo a la jerarquía hidrológica del modelo empleado. En la Figura 33 se presenta en conjunto tanto el umbral de acumulación como la red de drenajes, donde es posible observar la disposición espacial del cauce principal junto a cuatro afluentes de notable relevancia hidrológica. En línea con el sistema jerárquico de codificación, los cursos principales identificados con dígitos pares (2, 4, 6 y 8) representan las unidades hidrográficas de nivel 6 tipo cuenca, las cuales reúnen las áreas de captación más extensas del sistema.

Figura 33

Umbral de acumulación y Red de drenajes de la unidad hidrográfica 13944



Las áreas de captación correspondientes a la unidad hidrográfica 13944 fueron delimitadas aplicando la herramienta Watershed del módulo Hydrology de ArcGIS, proceso cuyo resultado se expone en la Figura 34. Dicho procedimiento se sustentó en el análisis de datos obtenidos a partir de los modelos de dirección y acumulación de flujo, lo que permitió identificar con exactitud los límites topográficos que delimitan las distintas unidades de drenaje del sistema.

Figura 34

Áreas de drenaje generadas mediante la herramienta Watershed

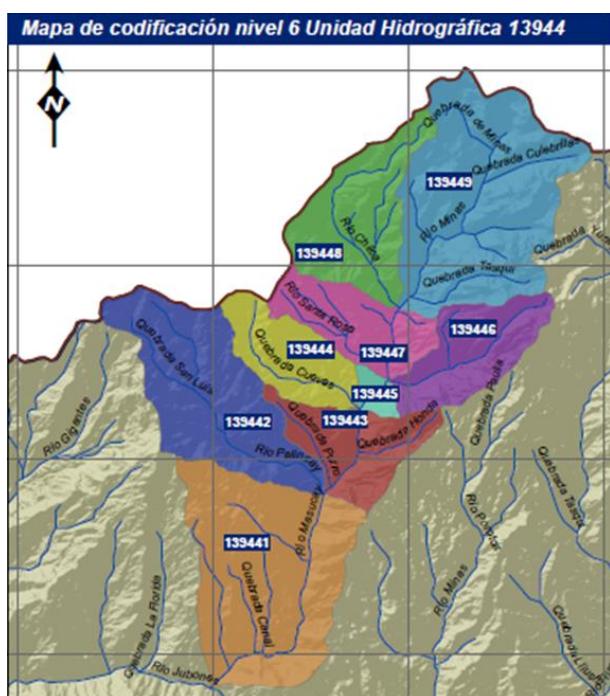


Durante el proceso de delimitación aplicado a la unidad hidrográfica 13944, se identificaron un total de nueve subunidades hidrológicas, clasificadas jerárquicamente en cuatro cuencas y cinco intercuencas, conforme a la metodología de codificación implementada. Cada unidad fue asignada con una extensión numérica derivada del código principal 13944, generando las siguientes denominaciones: 139441 a 139449. Esta estructura de codificación refleja la subdivisión interna de la unidad madre y permite una representación sistemática de los dominios de captación. La correspondencia completa entre los códigos asignados y el tipo de unidad se resume en la Tabla 18.

Tabla 18*Unidades hidrográficas o áreas drenaje obtenidas*

| Nivel 6 | Nombre | Tipo | Área Km ² | Área ha. |
|---------|----------------------------|-------------|----------------------|----------|
| 139441 | Unidad Hidrográfica 139441 | Intercuenca | 77.51 | 7,751.22 |
| 139442 | Unidad Hidrográfica 139442 | Cuenca | 56.01 | 5,600.94 |
| 139443 | Unidad Hidrográfica 139443 | Intercuenca | 26.67 | 2,667.08 |
| 139444 | Unidad Hidrográfica 139444 | Cuenca | 23.69 | 2,368.76 |
| 139445 | Unidad Hidrográfica 139445 | Intercuenca | 4.2 | 419.71 |
| 139446 | Unidad Hidrográfica 139446 | Cuenca | 28.06 | 2,806.34 |
| 139447 | Unidad Hidrográfica 139447 | Intercuenca | 25.27 | 2,527.32 |
| 139448 | Unidad Hidrográfica 139448 | Cuenca | 37.93 | 3,793.48 |
| 139449 | Unidad Hidrográfica 139449 | Intercuenca | 82.14 | 8,213.74 |

La Figura 35 presenta el mapa de codificación de las unidades hidrográficas delimitadas para la unidad 13944, facilitando la identificación visual de cuencas e intercuenca y permitiendo validar la estructura jerárquica de cada polígono según la sistematización de la Tabla 18.

Figura 35*Mapa de áreas de drenaje obtenidas*

2.6 Discusión de resultados de investigación

La delimitación automatizada de la unidad hidrográfica 13944 empleando SIG y la metodología jerárquica de Pfafstetter, sobre la base de un MDE SRTM corregido y optimizado, permitió superar los desafíos comúnmente asociados a métodos manuales y a la baja resolución cartográfica tradicional. El resultado más significativo fue la identificación precisa y la codificación de nueve subunidades jerárquicas de nivel 6, lo que evidencia la capacidad del abordaje para discriminar dominios de captación en un entorno fisiográficamente complejo.

El tratamiento exhaustivo de los datos de elevación, con la corrección de valores “NoData”, interpolaciones cuidadas y la aplicación de algoritmos de suavizado para eliminar sumideros y picos, incidió positivamente en la calidad del modelo, minimizando sesgos y errores acumulativos. Esto se reflejó en una representación realista y coherente de la red de drenaje, condición indispensable para la jerarquización posterior conforme al método Pfafstetter.

Los resultados obtenidos muestran que, en la zona de estudio, el umbral de acumulación óptimo (24,000 unidades) fue un parámetro clave para discriminar de manera precisa la red de drenaje real respecto al fondo topográfico; este valor emergió de un proceso iterativo calibrado tanto con ensayos técnicos como con validación visual y contrastación cartográfica. La coherencia geomorfológica de los límites derivados se verificó mediante comparación con cartografía de referencia (IGM 1:50,000) y en campo, evidenciando la correspondencia entre afloramientos, pendientes, cambios en cobertura vegetal y las líneas de divisoria delimitadas automáticamente.

Un aspecto innovador de este trabajo reside en el registro detallado de atributos y metadatos normados de cada polígono mediante la estructura ISO-19115, lo cual garantiza trazabilidad, interoperabilidad institucional y potencial para actualización/mantenimiento futuro. El desarrollo de esta base de datos digital jerarquizada representa un insumo estratégico no sólo para la gestión hídrica puntual, sino también para el planeamiento integral de riesgos, la valoración

ambiental, la evaluación de servicios ecosistémicos y el monitoreo del cambio climático en la subcuenca.

Desde la perspectiva técnica, la metodología SIG+Pfafstetter mostró eficacia y capacidad de replicación, pero también se hallaron limitaciones operativas en subunidades vecinas de baja altitud o con topografía plana, donde los algoritmos de acumulación y dirección de flujo pierden sensibilidad frente a microrelieves áridos o áreas con procesos hidrológicos difusos. A futuro, será necesario complementar la aproximación con modelos hidráulicos específicos o información LiDAR para afinar delimitaciones en terrenos con escaso gradiente.

La experiencia en la unidad 13944 ratifica que la eficiencia del proceso depende fundamentalmente de la calidad del insumo altimétrico y el cuidado en el preprocesamiento digital. El buen desempeño alcanzado, atribuido tanto a la resolución del SRTM como a la técnica robusta de depuración, permitió eliminar sumideros ficticios, perfeccionar las líneas divisorias y reducir la incertidumbre asociada a la propagación de errores en las etapas siguientes. Comparado con aportes convencionales, esto significa menos tiempo invertido, mayor fidelidad espacial y menor dependencia del juicio experto o de manuales, aspecto vital para la institucionalización y transferencia de capacidades en los organismos técnicos regionales.

Las fortalezas locales del método en la unidad 13944 (relieve bien definido, red dendrítica, clara relación entre drenaje y fisiografía) permiten afirmar que esta región es idónea para modelos hidrológicos predictivos o sistemas de alerta temprana, aprovechando la precisión en la delimitación de áreas de contribución y la integración de registros históricos de caudal y precipitación. Además, la base de datos poligonal resultante es compatible con sistemas nacionales (Ministerio de Ambiente y Energía, INAMHI) y redes internacionales de monitoreo, aportando al repositorio continental de información hidrográfica bajo estándares globales.

A nivel metodológico y de gestión, este estudio demuestra que la delimitación automática y codificada de microcuenca no sólo es factible sino deseable,

incrementando la capacidad institucional para abordar retos de gobernanza hídrica, protección ambiental, planificación participativa, y evaluación de impactos de usos presentes y futuros. Aporta también una línea base técnica para la delimitación legal futura, en contraste con cartografías generales o métodos subjetivos bajo los cuales se han manejado antiguos catastros hidrográficos en el país.

CAPÍTULO III

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFLEXIONES

3.1 Conclusiones

Las conclusiones presentadas en este libro parten de la base conceptual, normativa y metodológica establecida en el Capítulo 1. Dicho capítulo cumple una función introductoria estratégica, pues no sólo contextualiza los grandes desafíos de la gestión moderna de cuencas hidrográficas en el marco nacional e internacional, sino que expone la evolución histórica y metodológica que ha experimentado el sector hídrico en los últimos años. A través de un análisis comparativo de los métodos tradicionales y modernos de delimitación de cuencas, el libro demuestra por qué es fundamental incorporar enfoques estandarizados, tecnología SIG y sistemas de codificación jerárquica como el método Pfafstetter para lograr una gestión eficiente, equitativa y replicable de los recursos hídricos. El encuadre proporcionado permite valorar, a lo largo de toda la obra, cómo las prácticas y ejercicios presentados en los capítulos posteriores no son actividades aisladas, sino respuestas a una necesidad colectiva de modernización institucional, fundamentación técnica y apropiación social del territorio y el agua.

Además, el proceso investigativo permitió el estudio de casos reales de delimitación de cuencas hidrográficas para Sudamérica, Perú y Ecuador, aplicando las directrices del método Pfafstetter, con lo cual se logró fortalecer las bases cognitivas, a través de la revisión de las técnicas empleadas, datos utilizados y resultados obtenidos.

En el contexto de las preguntas de investigación planteadas, para la práctica “Aplicación del método Pfafstetter y SIG en el trazado de áreas de drenaje superficial en la unidad hidrográfica 13944, cuenca del río Jubones, Ecuador”, los resultados alcanzados permiten responderlas de manera clara y fundamentada.

Para la primera pregunta, sobre los métodos utilizados para la delimitación de cuencas hidrográficas, se concluye que los enfoques tradicionales (Horton-Strahler y Shreve) aportan una visión valiosa basada en la jerarquía fluvial, pero la metodología Pfafstetter resulta superior para los fines de gestión multiescalar y estandarización, ya que integra la estructura de la red principal y las áreas de

captación más relevantes, asegurando resultados comparables y adaptables para la planificación territorial.

Respecto a la segunda pregunta, el proceso permitió identificar y delimitar en detalle las subunidades hidrográficas que conforman la 13944. El resultado consistió en nueve unidades hidrográficas de nivel 6: cuatro cuencas y cinco intercuencas, codificadas sistemáticamente y mapeadas conforme a los parámetros del método Pfafstetter. Este logro proporciona una visión clara sobre la estructura espacial interna de la unidad, facilitando la gestión institucional y la focalización de intervenciones o monitoreo ambiental.

En relación con la tercera pregunta, sobre la codificación de las unidades hidrográficas delimitadas, la investigación demuestra que el esquema de codificación jerárquica basado en Pfafstetter no solo facilita la organización y el análisis de las áreas de captación, sino que también asegura la interoperabilidad, la trazabilidad y la actualización constante de la información. Cada polígono identificado recibió un código único que refleja tanto su pertenencia jerárquica como su relación funcional con otras unidades. Esta estructura impulsa la interoperabilidad de la información, la integración en sistemas institucionales de gestión hídrica y la actualización dinámica de bases de datos geográficas, asegurando que la 13944 cuente con herramientas operativas para la administración y toma de decisiones efectivas.

Como se mencionó anteriormente, el enfoque metodológico seleccionado fue la metodología Pfafstetter de la Secretaría del Agua, aprobada para su aplicación en el Ecuador conjuntamente con el mapa de la delimitación de unidades hidrográficas. En función a la revisión de los fundamentos teóricos, se definieron las etapas de la metodología, sobre la cual se sustenta la delimitación y codificación de la unidad hidrográfica 13944 en nivel 6 de la cuenca del río Jubones.

Las etapas específicas definidas para la metodología fueron: Obtención de datos SRTM (NASA), pre procesamiento del MDE, dirección de flujo, acumulación de flujo, cálculo del umbral y reclasificación de la acumulación, red de drenajes,

generación de cuencas, vectorización y codificación. Los resultados de cada fase fueron exitosos, siendo elemental el uso del MDE del proyecto SRTM, el cual proporciona ventajas significativas, en comparación con la generación del modelo de elevación, a partir de la información de curvas de nivel del IGM, afectada además por los errores de topología en su estructura.

Sin embargo, en el MDE seleccionado se depuraron los errores o valores “NoData” de fuente, aplicando métodos de interpolación del vecino cercano. Para ello se utilizaron estadísticas focalizadas, las cuales pueden cambiar dependiendo del espacio o número de pixeles que se necesiten corregir.

En el caso particular de la unidad hidrográfica 13944, la delimitación de subunidades permitió identificar y clasificar de manera precisa nueve dominios internos de nivel 6, resultado directo del análisis morfométrico y el modelado digital de terreno. Estas subunidades, codificadas conforme a la normativa Pfafstetter, se distribuyeron en cuatro cuencas y cinco intercuencas, con superficies que van desde 4,20 km² hasta 82,14 km², lo que evidencia la heterogeneidad topográfica y la diversidad de regímenes hidrológicos en el área de estudio.

La codificación jerárquica aplicada, con arquitectura basada en el código madre 13944 y sus extensiones numéricas hasta el cuarto dígito, posibilitó una organización clara y replicable de la información, donde cada unidad delimitada refleja su relación jerárquica y espacial con respecto al sistema de drenaje principal y secundario. Esta estructura resulta esencial tanto para la gestión administrativa como para el análisis hidrológico y territorial, ya que facilita la consulta y el seguimiento de cada polígono, su identificación en campo y su integración en bases de datos institucionales.

El proceso de clasificación de unidades tipo cuenca (códigos pares: 139442, 139444, 139446, 139448) e intercuenca (códigos impares: 139441, 139443, 139445, 139447, 139449) responde a los principios jerárquicos del método Pfafstetter, garantizando una sistematización compatible con las normativas nacionales y con potencial para interoperar a nivel regional. Además, la virtualización

espacial de los resultados permite validar *in situ* los límites y ajustar los parámetros umbral de acumulación o corrección digital, optimizando la correspondencia entre los dominios teóricos y las condiciones geomorfológicas reales.

Gracias a esta subdivisión, la unidad 13944 dispone ahora de insumos críticos para la planificación local del recurso hídrico, la evaluación de amenazas como inundaciones o erosión, el diseño de sistemas de alerta temprana, la focalización de programas de conservación de fuentes y la gestión del acceso equitativo al agua en todas sus comunidades. La caracterización y codificación precisa de cada dominio contribuye, adicionalmente, a la transparencia y efectividad de sistemas participativos como el *Inventario Participativo de Recursos Hídricos (IPRH)* y fortalece la gestión social de los recursos naturales.

La delimitación precisa de las subunidades hidrográficas de nivel 6 en la unidad 13944 constituye un avance clave para la gestión hídrica y territorial del área de estudio. Al actualizar y normalizar la información geográfica de la unidad 13944 con base en técnicas SIG, se facilita no solo la planificación y ejecución de proyectos de aprovechamiento y conservación, sino también la toma de decisiones efectiva y la asignación equitativa de recursos hídricos a escala local.

Cada cuenca e intercuenca identificada y codificada permite asociar directamente a las comunidades asentadas en su superficie de captación, posibilitando su inclusión en procesos participativos tales como talleres de capacitación, monitoreo ambiental y programas de manejo sostenible del agua. El desglose jerárquico favorece la transparencia, el acercamiento con los usuarios y la implementación de modelos de gestión social, que consideran las particularidades y necesidades de cada territorio delimitado dentro de la 13944.

El establecimiento de códigos únicos y el registro de metadatos para cada área de drenaje, conforme a la normativa vigente de la Secretaría del Agua, asegura la trazabilidad y localización de la información, beneficiando la actualización y optimización de sistemas institucionales como el *Inventario Participativo de Recursos Hídricos (IPRH)*. Estos datos fortalecen la operatividad del sistema de

autorizaciones y la gestión de solicitudes para el uso y aprovechamiento de agua, impactando positivamente en la gobernanza local.

La microcuenca como unidad mínima de análisis y gestión, reconocida y aplicada en la 13944, facilita el diagnóstico hidrológico a corto, mediano y largo plazo, y es coherente con los lineamientos del Plan Nacional de Recursos Hídricos. Gracias a la automatización y precisión de los métodos empleados, el tiempo invertido en la generación de cartografía y en el levantamiento de información se reduce considerablemente respecto a enfoques convencionales, incrementando la eficiencia técnica y administrativa.

El libro reconoce que, si bien existe una notable robustez técnica en la automatización de la delimitación y codificación de cuencas, persisten desafíos en terrenos de baja pendiente o planicie, donde la metodología requiere ajustes o el apoyo de técnicas complementarias. También señala la importancia del trabajo interdisciplinario y el aprendizaje continuo ante los retos de integración tecnológica, normativa y conocimiento local.

En conclusión, la experiencia obtenida con la delimitación y codificación en la 13944 destaca la potencia de los SIG y el modelo Pfafstetter para la gestión ambiental y territorial, proporcionando una base sólida para actividades institucionales, comunitarias y futuras investigaciones orientadas a la optimización y gobernanza sostenible del agua en el ámbito local y regional.

3.2 Contribuciones

Esta investigación aporta al campo científico al introducir y validar una secuencia metodológica innovadora que integra la normativa Pfafstetter con el uso avanzado de Sistemas de Información Geográfica y modelos digitales de elevación (SRTM). La aplicación rigurosa de esta metodología, combinada con el preprocesamiento digital y la adaptación al contexto fisiográfico local, ha permitido delimitar y codificar de manera precisa y estandarizada las microcuenca del río Jubones, superando así las limitaciones de los enfoques clásicos que carecían de operatividad y replicabilidad internacional.

Uno de los principales logros reside en la generación de una base cartográfica detallada y una codificación jerárquica de unidades hidrográficas, útiles no solo para la gestión técnica y administrativa del recurso hídrico sino también transferibles a otras cuencas y regiones. La investigación resalta la importancia del tratamiento de errores en los datos SRTM y el ajuste metodológico fino, consolidando procedimientos que pueden ser replicados por otras instituciones públicas o proyectos académicos enfocados en la gestión de agua.

Asimismo, el estudio promueve la transferencia tecnológica y el fortalecimiento institucional al documentar un modelo operativo que integra metadatos bajo normativa internacional, sistemas de codificación escalable y herramientas SIG modernas. Este marco metodológico y técnico tiene potencial de impacto para la planificación, la toma de decisiones y la generación de conocimiento aplicado sobre los recursos hídricos a nivel nacional y regional.

Por último, la originalidad de combinar técnicas de SIG con normativas internacionales y la generación de un producto cartográfico interoperable posiciona esta investigación como referente en el avance de la gestión integral de cuencas, proporcionando a la ciencia herramientas concretas para el análisis multiescalar y la gobernanza territorial del agua.

3.3 Implicaciones y aplicaciones

Las implicaciones y aplicaciones de este estudio son amplias tanto a nivel técnico como institucional y social. En primer lugar, la delimitación y codificación jerárquica de microcuencas generada a partir de la metodología Pfafstetter proporciona una base fundamental para la gestión integrada y multiescalar de los recursos hídricos. Esta información facilita la toma de decisiones informadas para la planificación de obras, intervenciones en el territorio y distribución equitativa del agua, optimizando el trabajo de instituciones como la Secretaría del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados.

A nivel de aplicación práctica, los resultados permiten actualizar y organizar el Inventario Participativo de Recursos Hídricos (IPRH) y mejorar los sistemas de

autorizaciones de uso de agua, fortaleciendo los procesos técnicos y administrativos de manejo de cuencas. Además, la identificación precisa de superficies y códigos de captación favorece el acercamiento con las comunidades, quienes pueden participar activamente en la gestión social del recurso hídrico y en actividades educativas orientadas a la conservación de fuentes y caudales.

Desde una perspectiva más amplia, estos insumos fortalecen la elaboración de planes y políticas públicas de conservación, monitoreo ambiental y resiliencia ante el cambio climático, aportando una visión territorial basada en datos confiables y replicables. La estandarización y registro de metadatos permiten transferir, compartir y reutilizar la información en diferentes áreas, convirtiéndose en un instrumento valioso tanto para futuras investigaciones como para la gestión operativa local, nacional y hasta transfronteriza de los recursos hídricos.

3.4 Limitaciones y áreas para futuras investigaciones

Entre las principales limitaciones de esta investigación destaca la imposibilidad de aplicar el método Pfafstetter para subdividir o delimitar zonas de baja altitud y relieve plano. Esta restricción es inherente a la lógica jerárquica del método y limita la obtención de microcuencas en áreas donde no existen puntos de drenaje fácilmente identificables. Además, el proceso depende en gran medida de la calidad de los datos altimétricos SRTM y de los procedimientos de corrección aplicados, lo que puede afectar la precisión de los resultados en entornos de vegetación densa, alta montaña o cobertura irregular.

Para futuras investigaciones, se recomienda explorar metodologías complementarias que permitan abordar con mayor eficacia la delimitación en terrenos planos o con baja pendiente, así como comparar el desempeño del método Pfafstetter con alternativas de software libre y otros modelos hidrológicos. Sería de gran interés ampliar el análisis a otras regiones hidrográficas del país, evaluar el impacto real de la nueva codificación en la gestión hídrica institucional y profundizar en la integración de los resultados con sistemas de información utilizados en políticas públicas y gestión social del

recurso agua. También resulta relevante seguir trabajando en el perfeccionamiento del manejo y depuración de los datos MDE, de manera que se garantice la máxima fidelidad y replicabilidad de los análisis geoespaciales aplicados a diferentes realidades físicas y ambientales.

3.5 Recomendaciones

Se propone que la Demarcación Hidrográfica Jubones oficialice y difunda el nuevo nivel de delimitación entre los GAD, la Mancomunidad o Consorcio de la cuenca del río Jubones, las entidades del Gobierno Central y los diferentes usuarios, poniendo énfasis en la comprensión del código asignado a cada unidad hidrográfica. Una vez adoptada formalmente esta codificación, se abre la posibilidad de avanzar hacia la delimitación del nivel 7 mediante la metodología Pfafstetter y de completar el nivel 6 en las demás cuencas de la demarcación, empleando como insumo principal el MDE de 30 m de resolución.

Resulta conveniente extender este tipo de ejercicios al resto de cuencas del país, de modo que se consolide el Plan Nacional de Recursos Hídricos y se refuerzen las capacidades de las distintas demarcaciones hidrográficas. La nueva cartografía deberá incorporar atributos temáticos acordes con la estructura de campos definida en los niveles base de delimitación y contar con metadatos completos para los archivos vectoriales, siguiendo normas internacionales como la ISO 19115.

En la Demarcación Jubones, los procesos de gestión más sensibles están vinculados al manejo del agua; por ello, la codificación de las unidades hidrográficas se convierte en una herramienta clave para relacionar fuentes hídricas con sus áreas de aporte. Se recomienda adoptar de manera operativa la codificación Pfafstetter en las actividades institucionales y, cuando corresponda, actualizar el banco de datos de usos de agua con los códigos del nivel 6.

Con base en los resultados del estudio, es pertinente formular programas y proyectos orientados a la protección de los recursos naturales de la cuenca, articulados a las competencias de cada nivel de gobierno, de forma que se

favorezca un desarrollo sostenible y se mejoren las condiciones de vida de la población. Entre las aplicaciones futuras que pueden apoyarse en la delimitación obtenida destacan la modelación hidrológica, la elaboración de balances hídricos, el diseño de campañas de aforo y la evaluación del estrés hídrico.

3.6 Reflexiones

Durante el desarrollo de este trabajo, como equipo de investigación enfrentamos una serie de retos técnicos y organizativos que exigieron colaboración constante y una comunicación efectiva. Uno de los desafíos más significativos fue unificar criterios y enfoques respecto a la depuración y tratamiento de los datos digitales, especialmente ante la diversidad de experiencias y especialidades presentes en el grupo. Esta diversidad, lejos de ser un obstáculo, enriqueció el proceso, permitiendo que cada integrante aportara soluciones novedosas a los problemas encontrados.

La investigación nos permitió reconocer la importancia de la integración entre la tecnología SIG, la normativa específica y el conocimiento local del territorio; así como la necesidad de adaptarnos a escenarios cambiantes, validar los resultados entre pares y mantener una actitud abierta al aprendizaje continuo. Nos sorprendió positivamente el potencial transformador del trabajo en equipo interdisciplinario, que no solo facilitó el rigor técnico exigido, sino que favoreció la mirada crítica y propositiva sobre la gestión de los recursos hídricos.

A lo largo del proceso, aprendimos que la investigación científica requiere tanto precisión como flexibilidad, y que los logros alcanzados cobran mayor valor cuando contribuyen a la construcción de conocimiento compartido y al fortalecimiento de capacidades institucionales y comunitarias. Esperamos que los resultados presentados no solo sirvan como referencia técnica, sino que inspiren a otros equipos a continuar explorando, adaptando y perfeccionando las metodologías para el manejo sostenible del agua en diferentes contextos.

REFERENCIAS

- Aguirre Núñez, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *REDESMA*, 5(1), 11-13. https://aquabook.irrigacion.gov.ar/files/upload/contenidos/10_2/CuencaIntegradaRRHH-Sudamerica.pdf
- Alianza Jatun Sacha. (2002). *Sistema hídrico, subsistema hídrico, cuencas, subcuenca, microcuenca*. Universidad de Azuay. <https://gis.uazuay.edu.ec/descargas/promsa/metadatos/f-hidrografia.pdf>
- Almeida, A. C. de, & Soares, J. V. (2003). Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. *Revista Árvore*, 27(2), 159-170. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622003000200006>
- Alves Sobrinho, T., Oliveira, P. T. S., Rodrigues, D. B. B., & Ayres, F. M. (2010). Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola*, 30(1), 46-57. <https://doi.org/10.1590/s0100-69162010000100005>
- ANA. (2012). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú: Memoria descriptiva*. Dirección De Conservación Y Planeamiento De Los Recurso Hídricos. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/597>
- Arias, F. C. (2022). Estadística Espacial: Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica. *Revista Cartográfica*, 105, 137-139. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i105.1388>
- Aumassanne Carolina Manuela, & Gaspari Fernanda Julia. (2023). Conceptos para manejo integrado de cuencas. Caso de estudio: río Colorado, Argentina. *Boletín Geográfico*, 45, 1-21. <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/geografia/article/view/4489>

Ayodeji Abatan, Mojisola Abimbola Adeyinka, Enoch Oluwademilade Sodiya, Boma Sonimitiem Jacks, Ejike David Ugwuanyi, Onyeka Henry Daraojimba, & Oluwaseun Augustine Lottu. (2024). The role of IT in sustainable environmental management: A global perspective review. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(1), 1874–1886. <https://doi.org/10.30574/ijrsa.2024.11.1.0288>

BOE Ministerio Medio Ambiente. (2007). Real Decreto 125 / 2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas. *BOE 3 Febrero*.

Brubacher, J. P., de Oliveira, G. G., Guasselli, L. A., & Luerce, T. D. (2012). Avaliação de bases SRTM para extração de variáveis morfométricas e de drenagem. *Geociencias*, 31(3), 381–393. https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/31_3/Art_06_Brubacher_et_al.pdf

Cecílio, R. A., Coutinho, L. M., Xavier, A. C., Moreira, M. C., Zanetti, S. S., & De Oliveira Garcia, G. (2013). Delimitação de bacia hidrográfica em região montanhosa a partir de diferentes modelos digitais de elevação. *Semina: Ciencias Agrarias*, 34(5), 2007–2024. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2007>

Cerón Rincón, L. E., & Ramírez Valencia, E. (2023). Actividad microbiana en suelos y sedimentos en el sistema Córdoba Juan Amarillo, Bogotá D. C. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(136), 349–362. [https://doi.org/10.18257/raccefyn.35\(136\).2011.2517](https://doi.org/10.18257/raccefyn.35(136).2011.2517)

Cervera Timaná, O. L., Lorrén Palomino, Á. A., & Ruiz Pico, Á. A. (2023). Método del Índice de Vulnerabilidad Sísmica Usando el Sistema de Información Geográfica, Una Aplicación a Escala Urbana. *Revista Politécnica*, 52(1). <https://doi.org/10.33333/rp.vol52n1.10>

Cimbaro, S. R., & Chiarito, E. (2022). El Instituto Geográfico Nacional: identidad, soberanía y territorio. *Ciencia, Tecnología y Política*, 5(9), 082. <https://doi.org/10.24215/26183188e082>

Corrales Andino, R. E., & Ochoa López, V. L. (2018). Teledetección y SIG, Herramientas de Gestión en la adaptación al Cambio Climático, Cuenca Alta del Río Goascorán, Honduras. *Ciencias Espaciales*, 10(1), 177-197. <https://doi.org/10.5377/ce.v10i1.5820>

Crespo, Á., Van Damme, P., & Zapata, M. (2007). Clasificación de Cuencas de Bolivia según la metodología de Pfafstetter. *Revista Boliviana De Ecología Y Conservación Ambiental*, 22, 69-76.

De Amorim Teixeira, A., Silva, A. M., Pruski, F. F., Davis, C., Roig, H. L., & Diniz, N. C. (2022). Improvements on the Pfafstetter basin coding system proposal. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 27. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220210120>

Díaz, A., & Acosta, D. (2019). Mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el distrito de San Miguelito, Panamá, incorporando herramientas de sistema de información geográfica. *I+D Tecnológico*, 15(1), 59-70. <https://doi.org/10.33412/itd.v15.1.2100>

Díaz Andrade, A., Tarafdar, M., Davison, R. M., Hardin, A., Techatassanasoontorn, A. A., Lowry, P. B., Chatterjee, S., & Schwabe, G. (2023). The importance of theory at the Information Systems Journal. *Information Systems Journal*, 33(4), 693-702. <https://doi.org/10.1111/isj.12437>

EarthExplorer. (2025). USGS: Visor de descarga de datos. <http://Earthexplorer.Usgs.Gov>

El-Gayar, O. F., & Fritz, B. D. (2006). Environmental management information systems (EMIS) for sustainable development: A conceptual overview. *Communications of the Association for Information Systems*, 17, 756-784. <https://doi.org/10.17705/1cais.01734>

- Erazo, B., Bourrel, L., Frappart, F., Chimborazo, O., Labat, D., Dominguez-Granda, L., Matamoros, D., & Mejia, R. (2018). Validation of satellite estimates (Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM) for rainfall variability over the Pacific slope and Coast of Ecuador. *Water (Switzerland)*, 10(2), 213. <https://doi.org/10.3390/w10020213>
- FAO. (2015). *Food Wastage Footprint & Climate Change*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7fffcf9-91b2-4b7b-bceb-3712c8cb34e6/content>
- FAO. (2023). *El estado de la alimentación y la agricultura: Gestión integrada de los recursos hídricos*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/beed00a6-0caf-42f9-8fd9-fedc2a5cb19b/content>
- Felicísimo, A. M. (1994). *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y Aplicaciones en las Ciencias Ambientales*. Pentalfa Ediciones.
- Fuster, H. G., Guitart, I., María, H. J., José, J., & Rodríguez, R. (2011). *Fundamentos de sistemas de información*. Universitat Oberta de Catalunya
- Gaibor-Ontaneda, B. J., & Molina-Torres, M. V. (2025). Gestión de cuencas hídricas urbanas y su impacto en derechos ambientales y culturales en Ecuador. *MQRInvestigar*, 9(1), e309. <https://doi.org/10.56048/mqr20225.9.1.2025.e309>
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., & Besteiro, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. <https://doi.org/10.35537/10915/27877>
- Gregory, K. J., & Walling, D. E. (1973). *Drainage basin form and process - a geomorphological approach*. John Wiley & Sons.

Guerrero Elemen, C. A. (2019). El Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. *Revista Geográfica*, 157, 109–133. <https://www.revistasipgh.org/index.php/regeo/article/view/214>

Hernández Martínez, D., & Ferrari, L. (2022). Modelado espacial del potencial de energía solar en México a partir de Modelo Digital de Elevaciones ASTGTM V3. *Terra Digitalis*, 6(2), 1–9. <https://doi.org/10.22201/igg.25940694e.2022.2.102>

IDEAM. (2013). *Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/MEMORIAS-MAPA-ZONIFICACION-HIDROGRAFICA.pdf>

INEGI. (2010). *Red hidrográfica edición 2.0. Cuenca R. Lacantún. Región H. Grijalva - Usumacinta*. Biblioteca Digital de Mapas. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825006945>

INRENA. (2007). *Delimitación y Codificación de Cuencas Hidrográficas en el Perú*. http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrajobo/SG_REG_EMAB_IX_dt%203_Ax3.pdf

Jorquera, E., F Weber, J., & M Reyna, S. (2012). Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada. *1º Encuentro de Investigadores En Formación En Recursos Hídricos, October 2014*. <https://acortar.link/LTEzAr>

Jumbo Castillo, F. A. (2015). Delimitación automática de microcuencas utilizando datos SRTM de la NASA. *Enfoque UTE*, 6(4), 81–97. <https://doi.org/10.29019/efoqute.v6n4.80>

Jumbo Castillo, F. A., Novillo Vicuña, J. P., Honores Tapia, J. A., & Cárdenas Villavicencio, O. E. (2024). Aplicación de técnicas de SIG en la codificación de áreas de captación de la unidad hidrográfica 13946. *REVISTA ODIGOS*, 5(1), 69–86. <https://doi.org/10.35290/ro.v5n1.2024.1138>

- Jumbo Castillo, F. A., Zea Ordóñez, M. P., Redrován Castillo, F. F., & Valarezo Pardo, M. R. (2024). Uso de herramientas de SIG en la definición de áreas de drenaje de la unidad 13949 - Río León. *Journal of Science and Research*, 9(2), 81–96. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/3086>
- Kurniawati, U. F., Handayeni, K. E., Nurlaela, S., Idajati, H., Firmansyah, F., Pratomoadmojo, N. A., & Septriadi, R. S. (2020). Pengolahan Data Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) di Kecamatan Sukolilo. *SEWAGATI*, 4(3). https://www.researchgate.net/publication/350092352_Pengolahan_Data_Berbasis_Sistem_Informasi_Geografis_SIG_di_Kecamatan_Sukolilo
- Legarda Burbano, L., & Viveros Zarama, M. (1996). La importancia de la hidrología en el manejo de cuencas hidrográficas. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 14(1), 33–51. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6191602>
- León-Brito, A. L., Bustamante-López, C., & Dulce-Sotolongo, L. B. (2022). Sistema de información geográfica para la planificación de expediciones marinas en el archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Revista Ciencias Marinas Y Costeras*, 37-58. <https://doi.org/10.15359/revmar.14-2.3>
- Lobo Montero, P., Lapuente Alvarez, C., & Rodríguez González, A. (2023). Sistema de Información Geográfica para el Análisis del Turismo (SIGTUR). *Revista de Estudios Turísticos*, 142, 57-71. <https://doi.org/10.61520/et.1421999.822>
- Londoño Arango, C. (2001). *Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales, caracterización, administración*. Universidad de Tolima.
- Maldonado Santana, C., Franco-Billini, C., & Jáuregui-Haza, U. J. (2023). Gestión integrada de las cuencas hidrográficas: hacia un nuevo paradigma en la gobernanza del agua. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 6(2), 67-101. <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i2.2951>
- Masaquiza-Moyolema, J. R., Romero-Fernández, A. J., Fernández-Villacres, G. E., & Acosta-Espinoza, J. L. (2023). Sistemas de información para la gestión

de recursos informáticos. *Ingenium et Potentia*, 5(9), 69–80.
<https://doi.org/10.35381/i.p.v6i9.2619>

Mayorga, A., Pazos, M., & Uvidia, M. (2022). Sistemas de información geográfica aplicados a la topografía. *Opuntia Brava*, 11(4), 370-374.
https://www.researchgate.net/publication/340476954_Sistemas_de_informacion_geografica_aplicados_a_la_topografia

Mesa Sánchez, O. J. (2018). Cuatro modelos de redes de drenaje. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(165), 379-391. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.641>

Molina, S. D. R. (2007). *Metodología para el Análisis Hidrológico de cuencas rurales de pequeñas dimensiones*. UNAM.

Monterrubio-Hernández, E. (2023). Componentes de un sistema informático. *Publicación Semestral*, 5(9), 25–27.
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ixtlahuaco/article/view/10403/9949>

Muñoz Marcillo, J. L., Medranda Zambrano, J., Calderon Cedeño, J., & Paz Lopez, J. (2025). Servicios ecosistémicos de cuencas hidrográficas en zonas urbanas y rurales: beneficios ambientales y socioeconómicos clave para el desarrollo sostenible. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(2), 2770–2785. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i2.3797>

Oliveira, E. N. de, & Pereira, E. L. S. (2021). Bacias hidrográficas. En *Compêndio Amazônico: Noções sobre Meio Ambiente*. Atena Editora.
<https://doi.org/10.22533/at.ed.12721220326>

Pazmiño Yépez, S. A., Carriel Sevillano, R. P., & Mosquera Viejó, J. L. (2023). Importancia de los sistemas de información para tomar mejores decisiones empresariales. *ConcienciaDigital*, 6(1), 87-101.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i1.2442>

- Pérez-Campomanes, G., & Iannacone, J. (2020). Impacto del cambio climático en la disponibilidad de las aguas superficiales en Sudamérica. *Paideia XXI*, 10(1), 173-202. <https://doi.org/10.31381/paideia.v10i1.2981>
- Pérez-Guerra, G. A., Sosa-Franco, I., Machado-García, N., & Ruiz-Pérez, M. E. (2023). Herramientas SIG, revisión de sus fundamentos, tipos y relación con las bases de datos espaciales. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 32(3). <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1747>
- Portilla, O., Leiva, C., Luna, M., & Sinde, I. (2023). Evaluación de los modelos digitales de terreno y geopotenciales en el Ecuador. *La Granja*, 38(2), 59-81. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25907>
- Porto, M. F. A., & Porto, R. L. L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, 22(63), 43-60. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142008000200004>
- Portuguez M., D. M. (2015). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del Río Siguas utilizando Geoinformática. *Anales Científicos*, 76(2), 324-329. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.797>
- Proaño Castro, M. F., Orellana Contreras, S. Y., & Martillo Pazmiño, I. O. (2018). Los sistemas de información y su importancia en la transformación digital de la empresa actual Information systems and their importance in the digital transformation of the current company. *Espacios*, 39(45), 3-7. <https://www.revistaespacios.com/a18v39n45/18394503.html>
- Pucha-Cofrep, F., Fries, A., Cánovas-García, F., Oñate-Valdivieso, F., González-Jaramillo, V., & Pucha-Cofrep, D. (2017). *Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS*. Ediloja Cia. Ltda.
- QGIS. (2021). *Bienvenidos al proyecto Qgis*.
- Rijalba-Palacios, P. (2024). Relaciones entre recurso hídrico y ecosistemas: análisis y propuesta de gestión. *European Public and Social Innovation Review*, 9, 1-15. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-676>

- Ríos, E., Avalos Cotler, H., González-Mora, I. D., Pineda, R., & Galindo Alcántar, A. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión* (1st ed.). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/Cuencas_final_2014.pdf
- Rodríguez, E., Morris, C. S., & Belz, J. E. (2006). A global assessment of the SRTM performance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(3), 249–260. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.3.249>
- Rosas, L. (2009). *Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas: Caso Ecuador*. UICN SUR. https://www.academia.edu/15728688/Manual_de_Procedimientos
- Ruiz, R., & Torres, H. (2010). *Manual De Procedimientos De Delimitación Y Codificación De Unidades Hidrográficas*. Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia. <https://www.bivica.org/file/view/id/767>
- Sáenz León, S., & Monge Rodríguez, J. M. (2021). Análisis de las condiciones de emprendimiento en los distritos de San Ignacio y Sabanillas del Cantón de Acosta en Costa Rica. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 33(3), 68–84. <https://doi.org/10.37815/rte.v33n3.881>
- Sarría, F. A. (2004). *SIG aplicados al análisis y cartografía de riesgos climáticos*. Universidad de Murcia.
- Shreve, R. L. (1966). Statistical Law of Stream Numbers. *The Journal of Geology*, 74(1), 17–37. <https://doi.org/10.1086/627137>
- Siabato, W. (2018). Sobre la evolución de la información geográfica: Las bodas de oro de los sig. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(1). <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.69500>
- Sleyther Arturo De La Cruz Vega, Cristian Milton Mendoza Flores, Pablo Adrián Pezo Morales, Kevin Arturo Ascoc Flores, Teresa Marianella Gonzales Moncada, & Hans Mejía Guerrero. (2022). Hidrología: Capítulo 5

Delimitación de una cuenca con ArcGIS. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 546–561. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1906

Stein, J. L. (2018). An Enhanced Pfafstetter Catchment Reference System. *Water Resources Research*, 54(12), 9951–9963. <https://doi.org/10.1029/2018WR023218>

Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913–920. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>

Tomé Hernández, G. (2022). Caracterización morfométrica de la cuenca del río Huitzilac, Puebla, México. *Boletín Geográfico*, 44(1), 41–55. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/344/3443321005/>

Torres, T. G. (2007). *Geotecnologias na geração do divisor de bacias hidrográficas: um instrumento para a política de recursos hídricos* [Universidade Federal de Mato Grosso do Sul]. Repositorio UFMS. <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/1508>

Veli Rojas, D. D. (2017). *Sistemas de información gerencial: manuales autoformativos interactivos*. Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/4268>

Vitorino, D. C. F. R., Morais, A. de A., & Cardoso, W. M. (2022). Utilização de Técnicas de Geoprocessamento como Suporte à Análise da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Tanque, MG. *Research, Society and Development*, 11(8). <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30486>

Wang, M., Wang, Y., Duan, L., Liu, X., Jia, H., & Zheng, B. (2022). Estimating the pollutant loss rate based on the concentration process and landscape unit interactions: a case study of the Dianchi Lake Basin, Yunnan Province, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(51), 77927–77944. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19696-9>

Yáñez, L., Franco, P., Bastidas, W., & Córdova, V. (2017). Resumen del plan nacional de gestión integrada e integral de los recursos hídricos y de las cuencas y microcuencas hidrográficas de Ecuador. *Aqua-LAC*, 9(2), 124-132. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373226>

Zambrano Loor, J. A., Calderón Vélez, A. L., Loor Santos, M. L., & Barreiro Cedeño, C. D. (2023). Sistemas de información geográfica en redes de distribución: un análisis de su implementación en la elaboración de proyectos. *Revista Suplemento CICA Multidisciplinario*, 7(15), 73-99. <https://doi.org/10.60100/scicam.v7i015.93>

Zambrano Solís, M. J. (2024). La Revolución de la Inteligencia Artificial en los Sistemas de Información Geográfica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(5), 10196-10217. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14405

Este libro se terminó de publicar en la editorial

**Instituto Universitario
de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú**



ISBN: 978-612-5130-67-9



9 786125 130679