

Aplicación de técnicas de SIG en la codificación de áreas de captación de la unidad hidrográfica 13946

Application of GIS techniques in the encoding of catchment areas for hydrographic unit 13946

Fecha de recepción: 2023-11-25 • Fecha de aceptación: 2024-01-15 • Fecha de publicación: 2024-02-10

Freddy Aníbal Jumbo Castillo¹

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

fjumbo@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5200-7162>

Johnny Paul Novillo Vicuña²

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

jnovillo@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4915-3441>

Joofre Antonio Honores Tapia³

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

jhonores@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8612-3025>

Oscar Efrén Cárdenas Villavicencio⁴

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

ocardenas@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6570-8040>

RESUMEN

Los Sistemas de Información (SI) experimentaron cambios en los últimos años, entre los que además de datos temáticos procesan información geográfica, también conocidos como Sistemas de Información Geográfica (SIG), desempeñando un papel fundamental en la toma de decisiones. Estas herramientas permiten la integración y análisis de datos desde diversas fuentes, brindando una visión integral y detallada del entorno geográfico. La investigación propone aplicar técnicas de SIG utilizando el método Pfafstetter y software de SIG que permitan la segmentación y codificación de las áreas de captación de la unidad hidrográfica 13946, la que pertenece a la cuenca denominada Jubones. La metodología seleccionada clasificó jerárquicamente las zonas de captación y la gestión efectiva de los recursos disponibles. La aplicación de las técnicas de SIG según las directrices de la metodología seleccionada, obtuvo 9 subáreas de captación, codificadas así: 139461, 139462, 139463, 139464, 139465, 139466, 139467, 139468 y 139469. Además, se obtuvo el archivo digital en formato shapefile, actualizado con sus respectivos metadatos, el cual servirá de base para gestión y optimización de las tareas que ejecutan los usuarios en la gestión de los recursos hídricos. El producto obtenido de la investigación permite replicar el proceso desarrollado en otras áreas de captación.

PALABRAS CLAVE: sistemas de información geográfica, nivel del mar, estudio hidrográfico, software

ABSTRACT

Information Systems (IS) have undergone significant changes in recent years, among which are those that, in addition to processing thematic data, also process geographic information, also known as Geographic Information Systems (GIS), which play a fundamental role in decision-making. These tools allow the integration and analysis of data from various sources, providing a comprehensive and detailed view of the geographic environment. The research aims to apply GIS techniques using the Pfafstetter method and GIS software that allow the segmentation and encoding of the catchment areas of hydrographic unit 13946, which belongs to the basin called Jubones. The selected methodology allowed for the hierarchical classification of the catchment zones and effective management of available resources. With the application of GIS techniques according to the guidelines of the selected methodology, 9 encoded catchment sub-areas were obtained as follows: 139461, 139462, 139463, 139464, 139465, 139466, 139467, 139468, and 139469. Additionally, the digital file in updated shapefile format with its respective metadata was obtained, which will serve as a basis for the management and optimization of the tasks executed by users in the management of water resources. The product obtained from the research allows replicating the developed process in other catchment areas.

KEYWORDS: information systems, digital elevation model, hydrographic unit, GIS software

Introducción

La evolución cognitiva enfocada en el espacio utilizando SIG se presenta como una herramienta poderosa dentro de los SI para manejar información, tanto espacial, como temática en varias áreas de aplicación, que con base en el criterio de Hernández et al. (2012) se clasifican en diversas categorías según su propósito y funcionalidades. Se distinguen tres tipos principales: los Sistemas de Información Transaccionales (SIT), que se centran en el procesamiento y registro de transacciones diarias de una organización; los Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones (SAD), que proporcionan herramientas para el análisis y la generación de informes para apoyar la toma de decisiones gerenciales, y los Sistemas de Apoyo a la Empresa (SAE), que integran diversas funciones y procesos de una organización para facilitar la coordinación y colaboración entre departamentos.

Los SIG son parte de los SAD y se aplican en diversos campos, tales como: catastro, geoposicionamiento, portales web de información tabular y espacial, así como la hidrología y su aplicación en el estudio y segmentación de las áreas de captación. En épocas anteriores, la segmentación de áreas de captación se realizaba a partir de la interpretación de cartografías impresas, aplicando métodos tradicionales denominados Horton – Stralher y Shreve e incluso manuales sobre la carta impresa, siguiendo la orientación de las curvas de nivel, lo cual requería mayor tiempo y presupuesto.

De acuerdo con Meléndez de la Cruz (2019) la segmentación de unidades o cuencas trasciende la simple delimitación del límite natural del área de captación. Este enfoque no solo abarca las dinámicas internas de las áreas de captación, sino también las interacciones que tienen lugar dentro de ellas, lo cual resulta esencial para la planificación y la toma de decisiones relacionadas con los recursos naturales de la zona. Para Acosta et al. (2016) las áreas de captación o drenaje representan unidades naturales que permiten coordinar procesos de gestión para un desarrollo integral y sostenible.

El uso de herramientas informáticas en la segmentación de áreas de drenaje ha suplantado el enfoque convencional que implicaba realizar esta tarea de manera manual sobre la cartografía impresa, lo que ha conducido a una reducción significativa de esfuerzos y una mayor eficiencia en el uso de recursos. El proceso para la generación de áreas de captación se ha potenciado en respuesta al notable crecimiento experimentado en los últimos años por los SIG, lo cual ha derivado en la creación de nuevas herramientas diseñadas específicamente para abordar estudios en territorio. Por su parte, Guevara (1987) enfatiza en que los SIG han evolucionado en sintonía con los avances tecnológicos, dotando al *software* de nuevas capacidades para la manipulación y análisis de información, lo cual conlleva a la adaptación de las necesidades y perspectivas del usuario, así como a la naturaleza del problema a resolver.

Diversas investigaciones orientadas a la delimitación de áreas de captación han empleado como fuente principal de información, los datos proporcionados por la misión *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), los cuales son obtenidos mediante técnicas de interferometría radar, convirtiéndose en un recurso esencial para una amplia gama de aplicaciones en el ámbito de la

investigación y análisis en SI, que pueden ser desarrolladas con base en las versiones de 3 y 1 segundo de arco; es decir, 30 y 90 metros de resolución espacial. En este campo de estudio se reconocen los aportes significativos realizados por Magacho et al. (2022) Oliveira y Pereira (2021), Rover et al. (2020), Acosta et al. (2016) y Alves et al. (2010).

El procesamiento de los datos requiere de la aplicación de un método. El método Pfafstetter es una técnica ampliamente utilizada para la codificación de áreas de captación (Juárez, 2016). Este enfoque se basa en la idea de representar la red de drenaje como una jerarquía de segmentos codificados con números enteros. Esta codificación se realiza considerando criterios topológicos y de las características del área de captación, lo que permite una representación eficiente y estructurada. Según Vorosmarty et al. (2000) el método Pfafstetter ha demostrado ser útil en la gestión y análisis de datos hidrográficos a diversas escalas.

La unidad hidrográfica 13946 del río Rircay, es una de las más representativas en la cuenca alta del río Jubones, debido a las actividades que allí se realizan. La ausencia de información detallada sobre la segmentación de unidades de drenaje incide directamente en las tareas de gestión y conservación de los recursos hídricos, por lo cual el objetivo de esta investigación es aplicar técnicas de SIG utilizando el método Pfafstetter, modelo de datos SRTM y *software* de SIG, que permita la segmentación y codificación de las áreas de captación de la unidad hidrográfica 13946. Los resultados esperados permitirán la actualización de los repositorios de información.

Metodología

La investigación del presente trabajo es de tipo aplicada, la cual se enfoca en la aplicación práctica de teorías y técnicas para resolver problemas específicos. En este marco se utiliza el método Pfafstetter para la segmentación de áreas de captación, subrayando su componente práctico.

Otros métodos utilizados en el desarrollo de la investigación son los siguientes:

- *Método de Análisis-Síntesis*: aporta una comprensión profunda y holística de la unidad hidrográfica del río Rircay, permitiendo descomponer los elementos de la cuenca y luego integrarlos en un modelo cohesivo. Este enfoque no solo mejora la comprensión de la dinámica de la cuenca, sino que también respalda una gestión más efectiva y sostenible de sus recursos hídricos y ecosistemas.
- *Método de Modelación*: se aplicará para simular los procesos hidrológicos dentro de la unidad hidrográfica, para tal propósito se utiliza el *software* SIG y datos del MDE, permitiendo crear modelos digitales que predicen el comportamiento del agua en la cuenca bajo diferentes condiciones.
- *Método Descriptivo*: es esencial en el estudio, dado que permite detallar y documentar las características de las áreas de captación resultantes, mediante este enfoque se realiza una observación minuciosa y un registro exhaustivo de los resultados obtenidos.

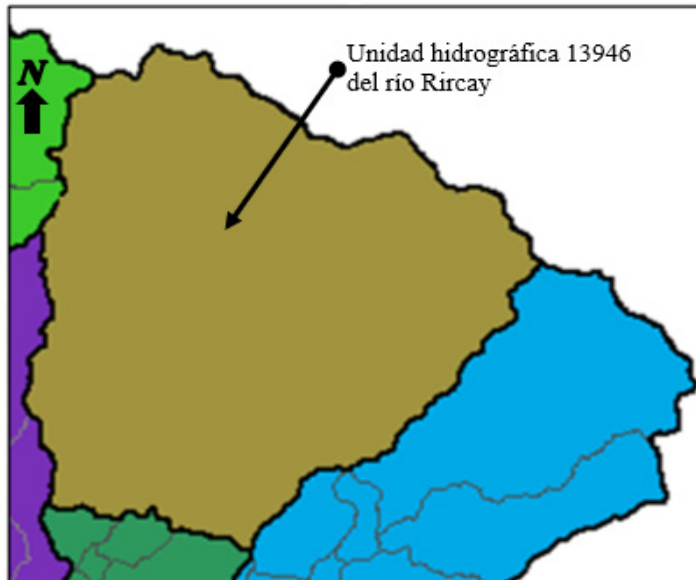
A continuación se describe el proceso metodológico requerido para la investigación:

2.1. Ubicación geográfica

La unidad hidrográfica 13946 del río Rircay está ubicada en la parte alta de la cuenca del río Jubones, como se puede apreciar en la *Figura 1*. Su extensión territorial es de 829,31 km² y abarca los cantones de Girón, San Fernando y parte de Nabón y Santa Isabel.

Figura 1

Unidad Hidrográfica 13946 del río Rircay



2.2 Datos base

Los datos base para la investigación son: área de captación o unidad hidrográfica 13946 del río Rircay, Modelo Digital de Elevación (MDE) a 30m de resolución espacial y archivos *shapefile* del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50.000.

2.3 Método Pfafstetter

El proceso de segmentación de áreas de captación se realizará de acuerdo con los principios del método Pfafstetter, el cual, según de Amorim Teixeira et al. (2022) enfatiza en 3 términos: cuenca, intercuenca y cuenca interna, los cuales se definen a continuación:

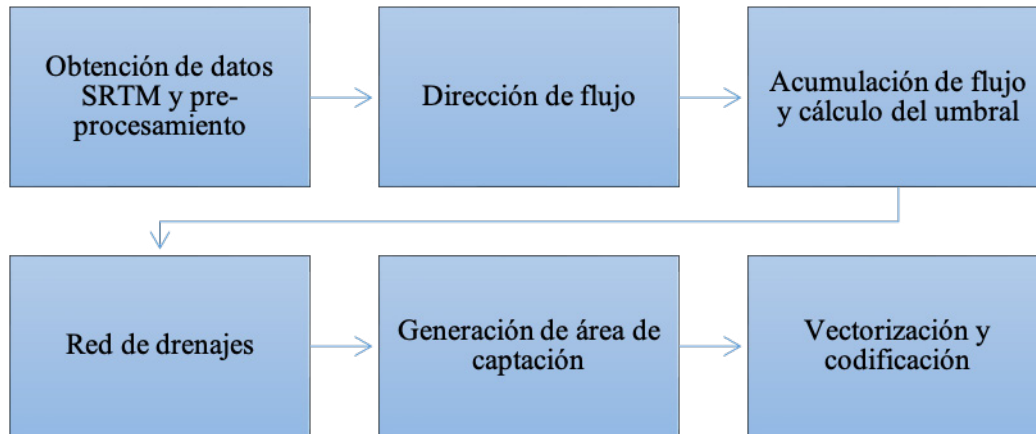
- **Cuenca:** según Autoridad Nacional del Agua (2021) una cuenca hidrográfica se define como el área de drenaje que contribuye al flujo de agua en un punto específico a lo largo de un curso de agua.
- **Intercuenca:** la intercuenca es la región geográfica que actúa como una barrera física entre dos cuencas hidrográficas adyacentes (Goigochea, 2012).

- **Cuenca interna:** se refiere a un área de drenaje independiente que no contribuye con caudal a otra área de captación (Juarez, 2016)

La metodología Pfafstetter, de acuerdo con el criterio de Jumbo (2015) se estructura con base en las siguientes etapas (Ver Figura 2):

Figura 2

Etapas del Método Pfafstetter



Las etapas del método se ejecutaron en *software* SIG ArcGIS 10.8. A continuación se describe cada una de ellas:

- **Obtención de datos SRTM y pre-procesamiento:** los datos SRTM con una resolución espacial de 30 metros corresponden al MDE del área de interés y se encuentran accesibles para su descarga por medio del sitio web <http://earthexplorer.usgs.gov/>. En el visor se detallan las coordenadas de ubicación área de estudio, asociada con la unidad hidrográfica 13946.

El proceso de pre-procesamiento implica la corrección de irregularidades originadas en el Modelo Digital de Elevación (MDE) provenientes de la fuente original. Esto incluye **áreas sin datos o áreas «NoData»**, las cuales, según de Souza Silva et al. (2023) requieren ser corregidas mediante métodos de interpolación. Además, la calidad de los datos SRTM puede ser afectada por la presencia de picos y sumideros, como señalan Sabino et al. (2017) . Las imperfecciones en el modelo de datos pueden resultar en errores en el mapa de la dirección del flujo.

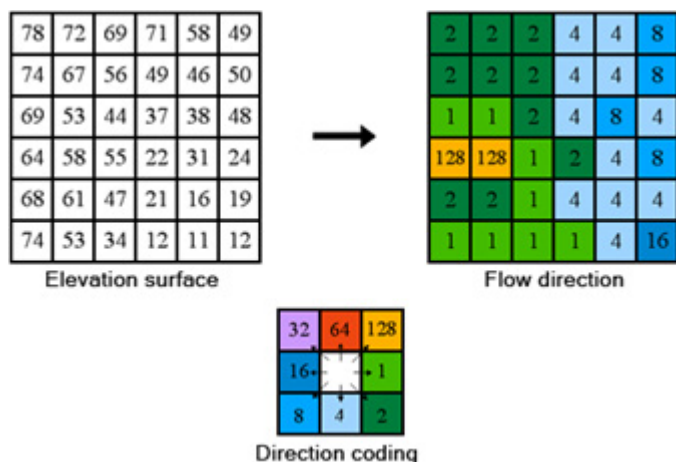
Para eliminar la presencia de valores NoData en el modelo se utiliza estadísticas focales. Esta tarea puede ser ejecutada utilizando la herramienta “ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Map Algebra>Raster Calculator”. Luego, se procede a corregir las elevaciones más altas y más bajas utilizando la herramienta “Spatial Analyst>Hidrology>Fill”.

- **Dirección de flujo:** en esta fase se genera un raster que contiene las direcciones de flujo de las celdas adyacentes, las cuales se determinan considerando las inclinaciones del

terreno. Según Rover et al. (2020) estas orientaciones de flujo reflejan las conexiones hidrológicas entre distintos puntos de una cuenca fluvial. La dirección de flujo se obtiene por medio del recurso “ArcToolbox>Spatial Analyst>Hidrology>Flow Direction”, lo cual se puede apreciar en la *Figura 3*.

Figura 3

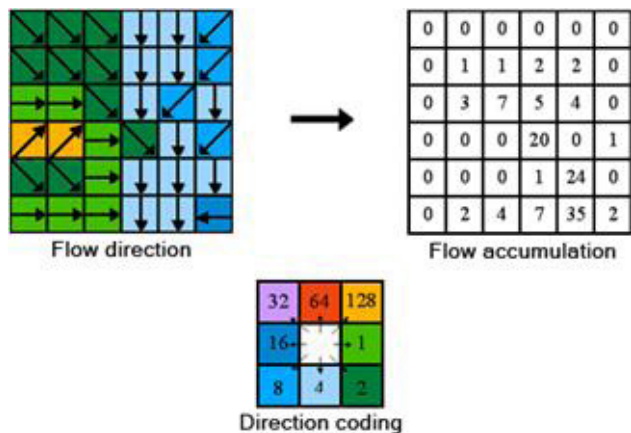
Procedimiento de Cálculo de la Dirección de Flujo



- Acumulación de flujo y cálculo del umbral:** la acumulación de flujo se refiere al proceso que determina qué celdas contribuyen al flujo hacia una celda específica, y esto se determina a partir de la dirección del flujo. Como señalan Muller et al. (2019) la acumulación de flujo en una celda se calcula sumando los valores de acumulación de flujo de las celdas adyacentes que desembocan en ella. La acumulación de flujo se obtiene por medio del recurso “ArcToolbox>Spatial Analyst>Hidrology>Flow Accumulation”, lo cual se puede apreciar en la *Figura 4*.

Figura 4

Procedimiento de Cálculo de la Acumulación de Flujo



La siguiente etapa implica el cálculo del umbral. Según MMMaA & VRHR (2010) este proceso implica el uso de un mapa de acumulación de flujo y la determinación del número mínimo de celdas que conforman el curso de agua, lo cual equivale al umbral. De acuerdo con IDEAM (2013) este cálculo se logra mediante un proceso iterativo de prueba y error, que permite identificar el nivel de acumulación que distingue al afluente principal y a cuatro contribuyentes adicionales. Los resultados de este cálculo proporcionan información sobre cuatro unidades de drenaje clasificadas como cuencas, y cinco clasificadas como intercuencas. Las primeras representan las áreas de drenaje y acumulación de flujo más extensas según la metodología Pfafstetter.

En el *software* ArcGIS, el procedimiento implica ir a la ventana “Layer”, luego seleccionar “Properties”, después “Symbology”, y posteriormente elegir “Classified” y “Classify”. En esta etapa, se establece una clasificación en dos grupos o categorías utilizando el método de “Natural Breaks - Jenks”. El primer grupo abarca valores desde 1 hasta un valor (N) calculado por la herramienta, mientras que el segundo grupo va desde el valor (N) hasta el valor máximo alcanzado por la acumulación de flujo. El valor (N) es crucial para los ensayos y se especifica a través de la opción “Classify” y “Break Value”. Una vez completado el cálculo del umbral, se procede a la reclasificación de los resultados obtenidos utilizando la herramienta “Reclassify” en la sección “ArcToolbox” y luego “Spatial Analyst Tools”. Aquí, se asigna el valor 0 al primer grupo y el valor 1 al segundo grupo. El segundo grupo es esencial para la siguiente etapa del proceso, ya que contiene información sobre los afluentes principales (MMMaA & VRHR, 2010).

- **Red de drenajes:** la creación de la red de sistemas de drenaje es esencial para establecer los límites de las cuencas hidrográficas. En esta etapa, el paso principal implica reorganizar la acumulación de flujo, donde se asigna un valor de 1 al rango más alto, como se determinó en la fase previa del proceso.

El proceso se lleva a cabo a través de la herramienta Stream Link, accesible desde la caja de herramientas ArcToolbox, específicamente en la sección de Spatial Analyst Tools y luego Hydrology. Según la perspectiva de Acosta et al. (2016) Stream Link asigna identificadores únicos a las partes de una red de drenaje que están entre los puntos de intersección. Con base en el criterio de Oliveira y Pereira (2021) estos enlaces o “links” son los segmentos de la red de drenaje que conectan dos contribuyentes de manera consecutiva.

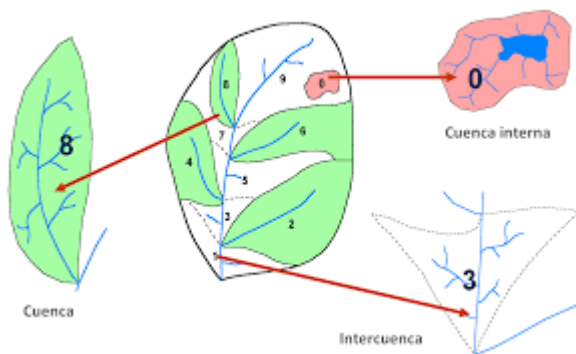
- **Generación de cuencas:** de acuerdo con el criterio de Amorim Teixeira et al. (2022) la creación de las áreas de drenaje o captación se lleva a cabo por medio del uso del mapa de dirección y acumulación de flujo, y este procedimiento se realiza empleando la herramienta “ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Hydrology>Watershed”. Una “Watershed” se define como la zona geográfica que contribuye con el flujo de agua que drena dentro de ella y fluye hacia un punto de salida específico.
- **Vectorización y codificación:** la etapa de vectorización implica la conversión de las cuencas, inicialmente en formato de cuadrícula (raster), en representaciones gráficas basadas en vectores. Esta fase marca el cierre del proceso metodológico y produce un

archivo *shapefile* que contiene los polígonos que delimitan las unidades hidrográficas. Siguiendo las pautas establecidas por la Autoridad Nacional del Agua (2021) es necesario ejecutar la herramienta “ArcToolbox” en el *software* GIS ArcGIS, específicamente la opción “Conversion Tools”, luego “From Raster” y finalmente “Raster To Polygon” para llevar a cabo este proceso.

La delimitación de las cuencas hidrográficas o áreas de captación según el método de Pfafstetter implica una estructura jerárquica que emplea una secuencia de diez dígitos para representar tanto el área de drenaje como los cursos de agua. Rover et al. (2020) manifiestan que los códigos pares (2, 4, 6 y 8) son asignados a las cuatro cuencas principales que abarcan las áreas de drenaje más extensas. Por otro lado, las intercuenas están asociadas con cinco unidades de drenaje de menor tamaño y se les asignan los dígitos 1, 3, 5, 7 y 9. Esta clasificación es respaldada por Autoridad Nacional del Agua (2021) quien añade que, en presencia de intercuenas, estas se identifican con el dígito 0, como se puede apreciar en la *Figura 5*.

Figura 5

Procedimiento de Codificación Pfafstetter



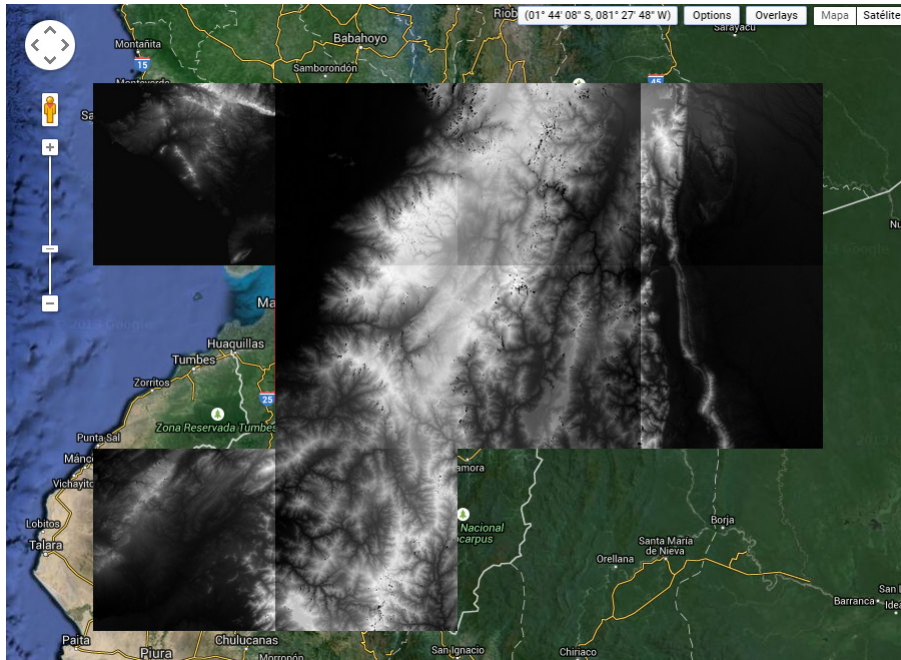
La codificación de las áreas de captación comienza desde el punto de salida del agua (la desembocadura) y se avanza en dirección contraria hacia el punto de origen del flujo de agua (la naciente de la cuenca). En ArcGIS se asigna el código numérico específico a cada unidad hidrográfica dentro de la tabla de atributos del archivo vectorial *shapefile*, que representa las unidades o áreas de captación delimitadas.

Resultados

Se obtuvieron las imágenes rasters en formato GeoTIFF a 30m de resolución espacial, lo cual se puede apreciar en la *Figura 6*.

Figura 6

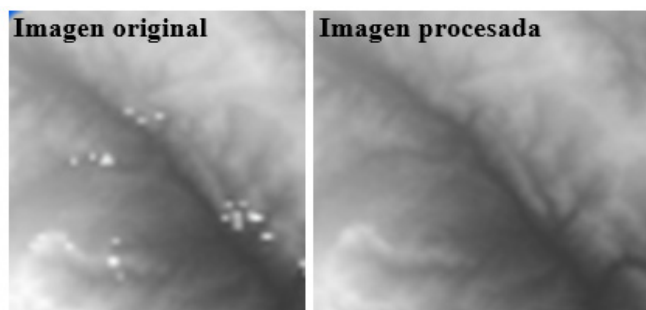
Obtención de Datos SRTM



Con base en los datos descargados se generó el mosaico de imágenes correspondiente al área de interés de la unidad hidrográfica 13946, las imágenes cubrían la totalidad del territorio. En la *Figura 7* se visualiza el MDE optimizado, el cual ha sido procesado para eliminar valores de ausencia de datos (“NoData”), así como para corregir elevaciones máximas y mínimas.

Figura 7

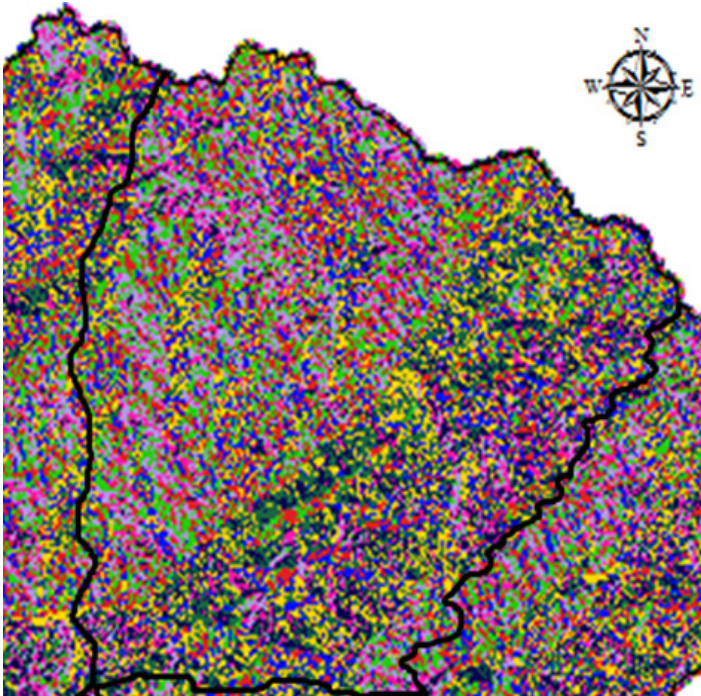
Imagen Procesada



En la *Figura 8* se puede apreciar el mapa de dirección de flujo de la unidad hidrográfica 13946. Cada celda almacena la dirección que apunta hacia su vecino con la mayor inclinación. Esta dirección de flujo se derivó del MDE optimizado durante la etapa previa del proceso.

Figura 8

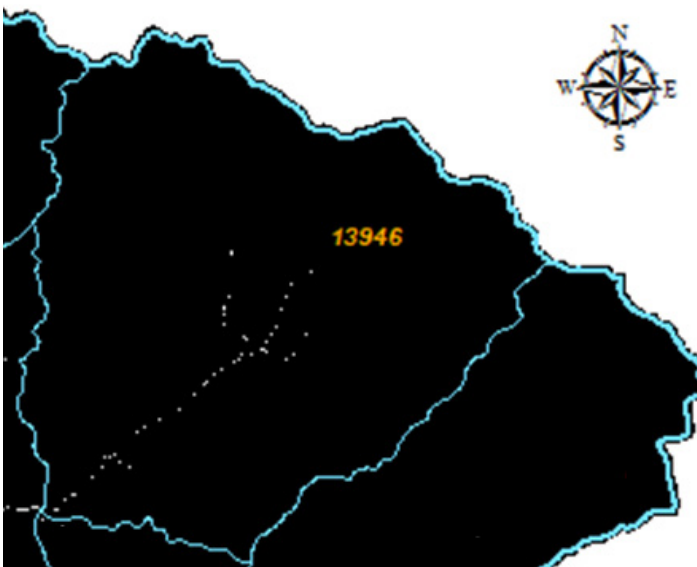
Dirección de Flujo



Después de un proceso de iteración y ajuste se logró establecer el umbral de acumulación de la unidad hidrográfica 13946, el cual es de 111.560 unidades de precipitación. Estos valores delimitan los conjuntos de canales que están relacionados con las áreas de flujo de agua de quinto nivel.

Figura 9

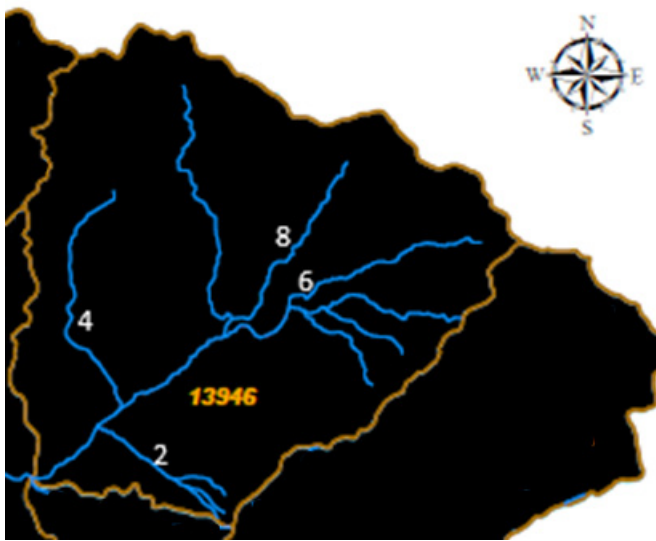
Umbral de Acumulación



En la *Figura 10* se presenta el mapa detallado de la red de drenaje, donde se destacan tanto el curso principal de agua como los cuatro afluentes significativos de la unidad hidrográfica 13946. Los drenajes etiquetados con números pares corresponden a las unidades hidrográficas de tipo cuenca.

Figura 10

Red de Drenajes



En la *Figura 11* se estructura el mapa de las áreas de captación delimitadas en la unidad hidrográfica 13946.

Figura 11

Unidades Hidrográficas Delimitadas



La delimitación de la cuenca 13946 arrojó como resultado 9 unidades hidrográficas en nivel 6, de las cuales 4 corresponden a tipo cuenca y 5 a intercuenca. Los códigos asignados a las nuevas unidades delimitadas son: 139461, 139462, 139463, 139464, 139465, 139466, 139467, 139468 y 139469. La codificación de las unidades hidrográficas en nivel 6 se establecieron en función al código 13946 del nivel 5, lo cual se puede apreciar de forma detallada en la *Tabla 1*.

Tabla 1

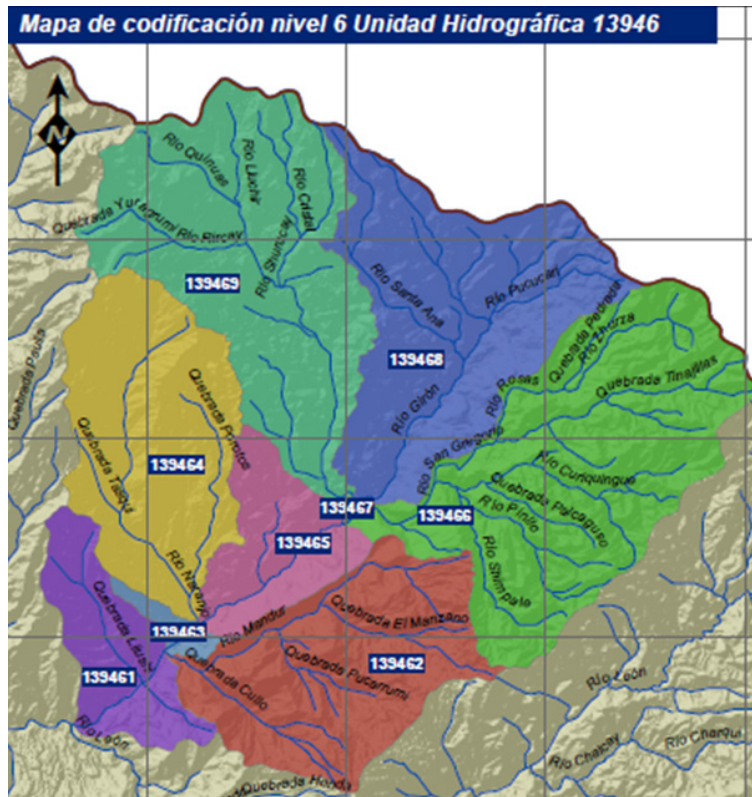
Unidades Hidrográficas Obtenidas

CUENCA	NIVEL 6	NOMBRE 6	TIPO	ÁREA Km ²	ÁREA Ha.
Unidad Hidrográfica 13946	139461	Unidad Hidrográfica 139461	Intercuenca	48.82	4,882.06
	139462	Unidad Hidrográfica 139462	Cuenca	113.20	11,320.49
	139463	Unidad Hidrográfica 139463	Intercuenca	7.22	722.20
	139464	Unidad Hidrográfica 139464	Cuenca	115.42	11,541.53
	139465	Unidad Hidrográfica 139465	Intercuenca	47.24	4,724.40
	139466	Unidad Hidrográfica 139466	Cuenca	183.36	18,336.02
	139467	Unidad Hidrográfica 139467	Intercuenca	0.78	77.67
	139468	Unidad Hidrográfica 139468	Cuenca	146.47	14,646.82
	139469	Unidad Hidrográfica 139469	Intercuenca	166.80	16,680.34

La codificación establecida para las cuencas o áreas de captación delimitadas se representa gráficamente en la *Figura 12*. En el mapa se pueden identificar a las unidades tipo cuenca e intercuenca, así como gráficamente apreciar la codificación definida para cada unidad hidrográfica, con base en lo detallado en la *Tabla 1*.

Figura 12

Unidades Hidrográficas Delimitadas



Conclusiones

En la actualidad, el uso de la tecnología informática permite reducir costos y esfuerzos, por lo cual la innovación en instituciones públicas o privadas es fundamental, dado que en el ámbito nacional se carece de información geográfica detallada sobre las unidades hidrográficas o áreas de captación. Por lo cual este trabajo resolvió esta necesidad al enfocarse en la unidad hidrográfica 13946. La elección de la metodología Pfafstetter, el modelo de datos y el *software* SIG se basó en estudios previos realizados por varios investigadores que sustentaron el trabajo desarrollado.

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron datos altimétricos de alta resolución y cartografía validada de la cuenca del Jubones. Se utilizó el MDE de menor resolución; sin embargo, se encontraron errores y datos faltantes en la parte alta de la unidad hidrográfica, lo que requirió un proceso de optimización que implicó la interpolación de valores dentro de un radio específico.

La obtención de las áreas de captación o unidades hidrográficas se realizó utilizando el MDE SRTM, prescindiendo la necesidad de generar un modelo de elevación a partir de curvas de nivel, con lo cual se evitan errores topológicos. La herramienta Hydrology del *software* ArcGIS se utilizó en el proceso automatizado de generación de unidades hidrográficas, sirviendo de base en el cálculo del umbral de acumulación, lo cual permitió identificar los cursos de agua

principales y sus afluentes. Esto permitió la identificación de las 9 unidades hidrográficas, que en territorio representan espacios de mayor nivel de detalle, lo cual contribuye a la gestión efectiva y distribución equitativa de los recursos disponibles. La codificación asignada a cada una es la siguiente: 139461, 139462, 139463, 139464, 139465, 139466, 139467, 139468 y 139469, siendo las de tipo cuenca con una área de 558,45 km², aquellas que ocupan mayor parte del territorio de la unidad 13946 del río Rircay, mientras que las de tipo intercuenca con un área de 270,86 km² representan un menor espacio de extensión territorial.

Cada área de captación se codificó siguiendo un estándar específico, y los resultados se almacenaron en un archivo *shapefile*. Las áreas de captación obtenidas permiten una mayor estandarización de las unidades hidrográficas, de acuerdo con los lineamientos establecidos por Ministerio del Ambiente. El proceso de delimitación de áreas de captación puede aplicarse a otros espacios utilizando *software* SIG.

Las áreas de captación resultantes son valiosas para la gestión operativa y estratégica en las entidades que requieren de esta información. El resultado de la investigación es un aporte significativo para la actualización de los sistemas de autorizaciones de uso de agua. Además, esta información es esencial para evaluar la ocupación del territorio, el uso actual de la tierra y las tendencias de cambio, lo que puede respaldar la formulación de proyectos de conservación de fuentes hídricas en los cantones que abarca la unidad hidrográfica 13946.

Referencias

- Acosta, D., Camarena, A., Chang, A., Díaz, A., Fuller, E., González, C., y Tejedor De León, A. (2016). Uso de software para el procesamiento de imágenes digitales para la definición de cuencas hidrográficas. *Revista de Iniciación Científica*, 2(1), 12-18. <https://core.ac.uk/reader/234019640>
- Alves, T., Oliveira, P., Rodrigues, D., y Ayres, F. (2010). Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola*, 30(1). <https://doi.org/10.1590/s0100-69162010000100005>
- Autoridad Nacional del Agua. (2021). *Marco metodológico de criterios técnicos para la identificación, delimitación y zonificación de cabeceras de Cuenca*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4893>
- de Amorim Teixeira, A., Moreira, A., Falco, F., Davis, C., Llacer, H., y Costa, N. (2022). Improvements on the Pfafstetter basin coding system proposal. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 27. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220210120>
- de Souza Silva, L., Monteiro, A., de Matos, J., Schwaickart, T., Rizzi, E., Lopes, G., Francisco de França, R., Tarlé, T., Bezerra, A., y Queiroz, Gabriel. (2023). Uso do sistema de informações geográficas para caracterização e análise morfométrica em bacias hidrográficas: estudo de caso Do Rio Goiana, Pernambuco, Brasil. *Revista Geociências - UNG-Ser*, 21(2). <https://doi.org/10.33947/1981-741x-v21n2-5034>
- Goigochea, J. (2012). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas en el ámbito del Alto Huallaga* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/549>
- Guevara, J. (1987). Guía para la implementación de un SIG para la planificación regional y nacional. In *Conferencia Latinoamericana sobre informática en Geografía*. Ed. UNED, (pp. 57-67).
- Hernández, C., Lyon, D., Pérez, A., Nebiolo, G., García, J., y Sosa, L. (2012). *Tipos de Sistemas de Información TPS, MIS, DSS y ESS*. Sistema de Procesamiento de Transacciones, Universidad Simón Bolívar.
- IDEAM. (2013). *Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, Bogotá*. Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM.
- Juárez, M. (2016). *Delimitación de la cuenca y unidades hidrográficas del Arroyo La Encantada Saltillo Coahuila Mediante el Método Pfafstetter* [Tesis de Grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].
- Jumbo, F. (2015). Delimitación automática de microcuencas utilizando datos SRTM de la NASA. *Enfoque UTE*, 6(4), 81-97. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n4.80>

- Magacho, H., Telles, W., y Bedo, M. (2022). Pré-processamento de dados para Modelos Hidrológicos com o algoritmo k-Medoids: O caso do Rio Pomba. In *Anais Estendidos do XXXVII Simpósio Brasileiro de Bancos de Dados*, (pp. 1-6). SBC. https://doi.org/10.5753/sbbd_estendido.2022.21835
- Meléndez de la Cruz, J. (2019). La identificación de las cabeceras de cuencas hidrográficas: métodos y aplicaciones. *Investigaciones Sociales*, 22(40), 111-120. <https://doi.org/10.15381/is.v22i40.15890>
- MMAyA., y VRHR (2010). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Bolivia. Metodología Pfafstetter*. https://www.bivica.org/files/delimitacion-unidades-hidrograficas_resumen.pdf.
- Muller, Y., Rolim, F., y Noronha, F. (2019). Ottocodificação e análise altimétrica e da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Pelotas na divisa entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. *Geographia Meridionalis*, 4(2), 227-245. <https://doi.org/10.15210/gm.v4i2.14202>
- Oliveira, E., y Pereira, E. (2021). Bacias hidrográficas. In: F. R. Pinto. *Compêndio Amazônico: Noções sobre Meio Ambiente*. Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.12721220326>
- Rover, L., Cavalcante, C., y Lira, F. (2020). Ottocodificação de pequenas bacias hidrográficas na Amazônia. *Revista de Estudos Ambientais*, 22(1), 15-23. <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2020v22n1p15-23>
- Sabino, H., Vasques, G., Dart, R., y Hernani, L. (2017). Delimitação de microbacias hidrográficas a partir de um ponto de exutório específico (POUR POINT) utilizando dados SRTM. In: A. Perez Filho y R. R. Amorin (Orgs.). *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*. UNICAMP. Instituto de Geociencias. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2130>
- Vorosmarty, C., Fekete, B., Meybeck, M., & Lammers, R. (2000). Global system of rivers: Its role in organizing continental land mass and defining land-To-Ocean linkages. *Global Biogeochemical Cycles*, 14(2). <https://doi.org/10.1029/1999GB900092>

Copyright (2024) © Freddy Aníbal Jumbo Castillo, Johnny Paul Novillo Vicuña, Joofre Antonio Honores Tapia y Oscar Efrén Cárdenas Villavicencio



Este texto está protegido bajo una licencia internacional [Creative Commons](#) 4.0.

Usted es libre para Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato — y Adaptar el documento — remezclar, transformar y crear a partir del material—para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla las condiciones de Atribución. Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) – [Texto completo de la licencia](#)