



Estimación de la diversidad morfométrica en el resguardo indígena Kankuamo, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia.

Estimation of morphometric diversity in the Kankuamo indigenous reserve, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia.

Javier Javier Estrada-Romero¹, Fabio Enrique Carrillo-Bolaño², Dino Carmelo Manco-Jarava³,
 Carlos David Soriano-Arias⁴, Leonardo José Vergel-Herrera⁵, María Isabel Marín-Cerón⁶
^{1,2,4,5}Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar - Colombia
³Universidad de La Guajira, Maicao - Colombia
⁶Universidad EAFIT, Medellín - Colombia

Recibido: 12 de diciembre de 2024.

Aceptado: 20 de abril de 2024.

Publicado: 01 mayo de 2025.

Resumen- Este estudio se centra en la estimación de la diversidad morfométrica en el área de influencia directa del resguardo indígena Kankuamo, ubicado al sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), Colombia, y que alberga aproximadamente 17,000 habitantes. Dada su posición en la SNSM, este territorio presenta una alta geodiversidad, entendida como la cantidad de elementos abióticos por unidad de área, incluyendo geología, geomorfología, hidrología y pedología. Este imponente sistema montañoso costero abarca tres departamentos y es la fuente de numerosos ríos y tributarios que originan cuencas hidrográficas de gran importancia, como las del río Guatapurí y del río Badillo, las cuales influyen directamente en el resguardo Kankuamo.

A través de la utilización de índices morfométricos, se realizó la estimación de la diversidad mediante algoritmos en el software ArcGIS y el Modelo de Elevación Digital (DEM), relacionando índices como la amplitud de relieve (Ar), la frecuencia de corriente (Fu), la densidad de drenaje (Dd), el índice de humedad topográfica (TWI), el gradiente de pendiente (Sg) y el índice de disección (Di) en las cuencas del territorio, lo que permitió cuantificar y espacializar la diversidad morfométrica del área. La estimación de la diversidad morfométrica se presenta como una herramienta fundamental para la gestión integral del paisaje, facilitando a las comunidades el aprovechamiento sostenible de la diversidad natural del territorio.

Se sugiere incluir en su Plan de Vida (Plan de Desarrollo) de las comunidades indígenas, la planificación y gestión de los recursos naturales presentes, así como designar áreas que funcionen como geo-sitios, las cuales poseen características de importancia en la historia bio-geo-cultural del resguardo. Esta información podrá contribuir a la generación de empleo para la población a través de la gestión del geoturismo.

Palabras clave: geodiversidad, geoturismo, índices morfométricos, resguardo indígena kankuamo.

Abstract— This study focuses on the estimation of morphometric diversity in the area of direct influence of the Kankuamo indigenous reservation, located southeast of the Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), Colombia, and home to approximately 17,000 inhabitants. Given its position in the SNSM, this territory has a high geodiversity, understood as the amount of abiotic elements per unit area, including geology, geomorphology, hydrology and pedology. This imposing coastal mountain system spans three departments and is the source of numerous rivers and tributaries that originate watersheds of great importance, such as the Guatapurí and Badillo rivers, which directly influence the Kankuamo resguardo.

Through the use of morphometric indices, diversity was estimated using algorithms in ArcGIS software and the Digital Elevation Model (DEM), relating indices such as relief amplitude (Ar), stream frequency (Fu), drainage density (Dd), topographic humidity index (TWI), slope gradient (Sg) and dissection index (Di) in the territory's watersheds, which allowed quantifying and spatializing the morphometric diversity of the area. The estimation of morphometric diversity is presented as a fundamental tool for the integrated management of the landscape, facilitating the sustainable use of the natural diversity of the territory by the communities.

It is suggested to include in their Life Plan (Development Plan) of the indigenous communities, the planning and management of the natural resources present, as well as to designate areas that function as geo-sites, which possess characteristics of importance in the bio-geo-cultural history of the resguardo. This information could contribute to the generation of employment for the population through the management of geotourism.

Keywords: geodiversity, geotourism, morphometric indices, kankuamo indigenous reserve.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: dinomancojaraba@gmail.com (Dino Carmelo Manco Jaraba).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad de Santander.

Como citar este artículo: J. J. Estrada-Romero, F. E. Carrillo-Bolaño, D. C. Manco-Jarava, C. D. Soriano-Arias, L. J. Vergel-Herrera y M. I. Marín-Cerón, "Estimación de la diversidad morfométrica en el resguardo indígena Kankuamo, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia", Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, vol. 13, no. 2, pp. 01-07 2025, doi: [10.15649/2346030X.4109](https://doi.org/10.15649/2346030X.4109)

I. INTRODUCCIÓN

El término geodiversidad representa la riqueza y complejidad de la composición geológica y geomorfológica de la Tierra, y juega un papel fundamental en la comprensión de la historia y evolución del planeta. Abarca desde la diversidad de rocas y minerales hasta las formas del relieve y los procesos geológicos que han moldeado el paisaje a lo largo del tiempo [1]. La geología no solo es un componente esencial para la biodiversidad, ya que influye en la formación de hábitats y ecosistemas, sino que también desempeña un papel crucial en la provisión de recursos naturales como agua, minerales y suelos fértiles. Por lo tanto, es perentorio reconocer y valorar la geodiversidad como parte integral del patrimonio natural [2].

En cuanto a los geoparques y geositios, se enfatiza la relevancia de identificar y proteger estos lugares como una forma de preservar el patrimonio geológico y fomentar el turismo sostenible. Este enfoque ayuda a conservar la diversidad geológica y a educar al público sobre su importancia [3]. La valoración del geopatrimonio se realiza a través de la identificación de geositios clave, la evaluación de su estado de conservación y la implementación de medidas de protección. Estas acciones no solo preservan el patrimonio geológico, sino que también promueven el turismo sostenible y la educación ambiental [4].

La geodiversidad no solo es esencial para la comprensión de la Tierra, ya que contribuye a la biodiversidad y a la provisión de servicios ecosistémicos, sino que también ha ganado importancia en el ámbito geo-turístico, permitiendo a visitantes (turistas y nativos) disfrutar de los recursos naturales expresados en geoformas, paisajes kársticos, litología, entre otros, lo que contribuye al dinamismo socioeconómico, cultural e identidad territorial [5]-[8]. El geoturismo es una modalidad turística enfocada en la apreciación y comprensión de los aspectos geológicos del entorno, y ha emergido como un fenómeno significativo en la industria del turismo. Este "turismo de la geología y el paisaje" resalta su enfoque en los recursos geológicos y paisajes terrestres únicos [9].

La interpretación geológica desempeña un papel crucial en el geoturismo al proporcionar información sobre la formación geológica, la historia de la Tierra y los procesos que han dado forma al paisaje. Este aspecto educativo contribuye a la experiencia del visitante y a la preservación de los sitios geoturísticos [9].

En este contexto, definimos la diversidad morfométrica como la variación en la forma, tamaño y características espaciales de las características físicas dentro de un paisaje, terreno o contexto biológico determinado. En geología o geografía, implica analizar diferentes formas del terreno, como montañas, valles, ríos y costas, basándose en sus propiedades geométricas (por ejemplo, pendiente, elevación, curvatura). Este concepto es importante para comprender cómo los sistemas físicos y biológicos interactúan con su entorno, y contribuye a debates más amplios sobre biodiversidad, geodiversidad y ecología del paisaje.

El Resguardo Indígena Kankuamo, ubicado en la Sierra Nevada de Santa Marta, presenta una gran geodiversidad [10] entendida esta como la diversidad de elementos abióticos por unidad de área (p.e. diversidad geológica, geomorfológica, hidrológica y pedológica), modelado por el clima que da como resultado una asombrosa belleza paisajística. La presente investigación tiene como objetivo estimar la diversidad morfométrica a través de índices morfométricos del resguardo indígena Kankuamo, en la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia).

II. LOCALIZACIÓN

El territorio indígena Kankuamo se encuentra ubicado en la zona sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), en el departamento del Cesar (Colombia), dentro de la cuenca hidrográfica de los ríos Badillo y Guatapurí. Limita al norte con el departamento de La Guajira, al sur con el municipio de Valledupar, al este con el municipio de San Juan del Cesar, y al oeste con el municipio de Pueblo Bello (Figura 1).

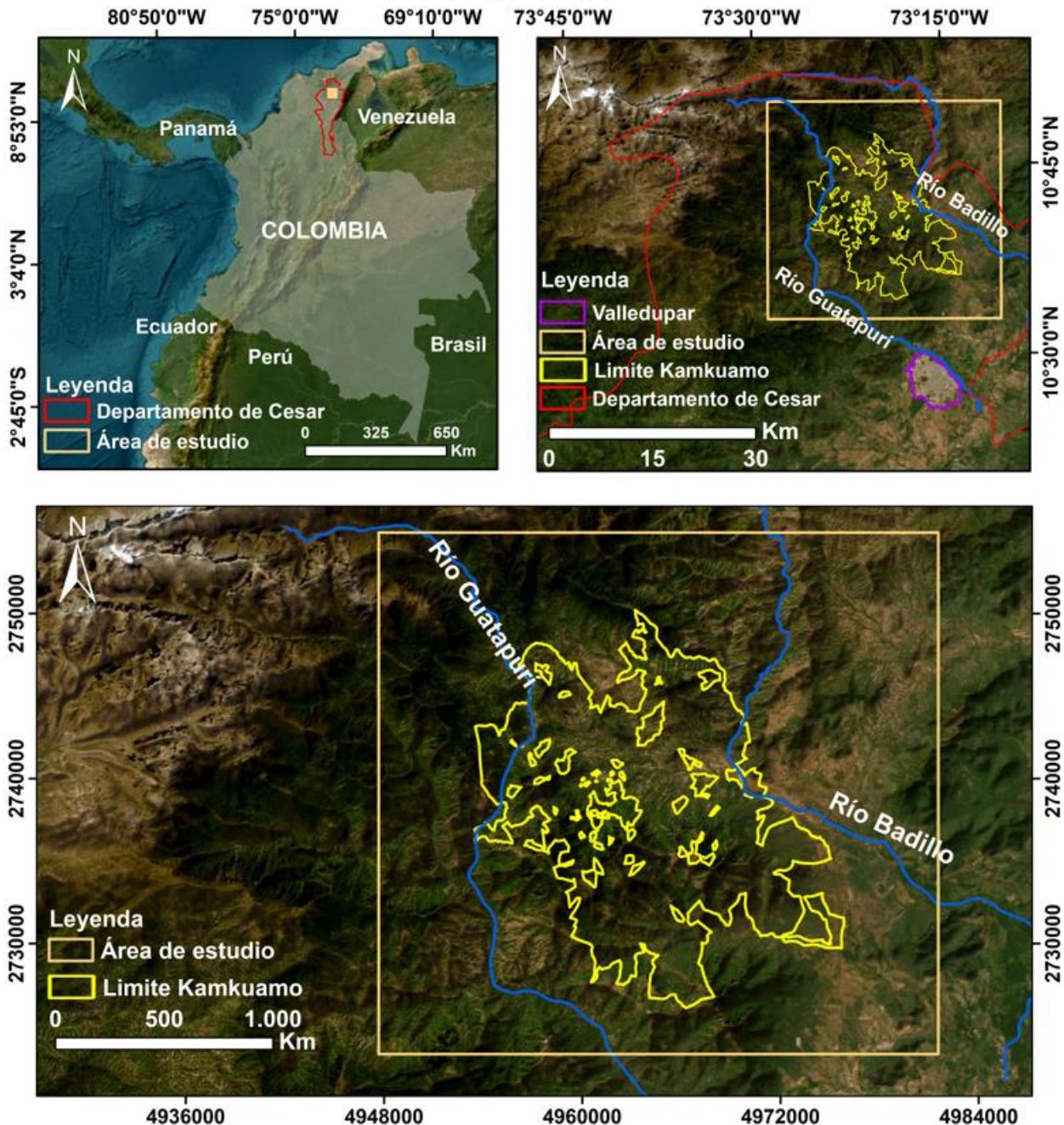


Figura 1: Localización del área de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

III. METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTOS

Inicialmente, se realizó una revisión histórica documental en diferentes bases de datos académicas y científicas. Posteriormente, se estimó la diversidad morfométrica mediante el método de índices morfométricos según [10] modificado de [11], utilizando la herramienta ArcGIS 10.8.2, a través del cálculo de índices geomorfométricos como: amplitud de relieve (Ar), gradiente de pendiente (Sg), frecuencia de corriente (Fu), densidad de drenaje (Dd), índice de humedad topográfica (TWI) e índice de disección (Di). Cabe resaltar que los índices geomorfométricos que mostraron interdependencia de las capas del conjunto de datos de entrada, a partir de la matriz de correlación, fueron utilizados en la clasificación.

Una vez clasificadas las variables morfométricas, se extrajeron del modelo de elevación digital (DEM) de ALOS PALSAR [12] con una resolución de 12.5 m por píxel (proyección CTM-12). La información geomorfométrica se obtuvo a partir de los índices Sg y Di [13], [14]; la morfotectónica a partir del índice Ar [15], [16]; y otros índices complementarios como Dd, Fu y TWI, que se caracterizaron por proporcionar información hidrológica, características geomorfológicas y morfotectónicas [10], [17].

La amplitud de relieve (Ar) indica la diferencia máxima de elevación dentro de áreas unitarias [18], y evalúa la tectónica activa, desplazamientos verticales recientes [19] y erosión fluvial [20]. Para este índice, se seleccionó un área de 1 km². Ar se determinó restando del DEM max (cada celda de salida contiene el máximo de las celdas de entrada dentro de la extensión de la celda) el DEM min (cada celda de salida contiene el mínimo de celdas de entrada dentro de la extensión de la celda), dentro de una cuadrícula de celdas de 1 × 1 km [10], [20].

La frecuencia de corriente (Fu) evalúa el número total de segmentos de corriente en el área de la cuenca [21]. Este índice se calculó en ArcGIS utilizando la herramienta "densidad del núcleo" dentro de un área de búsqueda de 2 km, definida por los investigadores, para la red de drenaje estudiada [17]. La densidad de drenaje (Dd) determina la longitud total del afluente en relación con el área de la cuenca [21]. El índice de humedad topográfica (TWI) evalúa la humedad del suelo y la saturación de la superficie, influenciada por los cambios de la posición de la pendiente, como la caída o recepción de pendientes [22]. El gradiente de pendiente (Sg) muestra el cambio en la elevación entre cada celda y sus vecinas [23]. El índice de disección (Di) es la relación entre el relieve absoluto y el relieve relativo, e indica el grado de degradación o erosión vertical [24].

Finalmente, se normalizaron las variables restando y sumando los valores máximos y mínimos de cada índice. La sumatoria de estas normalizaciones resultó en un mapa de geodiversidad, clasificado con base en el método de clasificación automatizado de ArcGIS (natural breaks) [23], generando cinco clases: muy baja, baja, media, alta y muy alta diversidad morfométrica.

IV. RESULTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

La caracterización de los diferentes aspectos y formas del relieve del territorio, como el relieve relativo, gradiente de pendiente, frecuencia de corriente, densidad de drenaje, índice de humedad topográfica e índice de disección, es fundamental para comprender las causas y el origen de las formas del paisaje, aspectos que controlan los patrones de erosión y los procesos geomorfológicos en la zona.

Las características hidrológicas del área están representadas por los índices TWI, Fu y Dd. La cuenca del Río Badillo presentó valores altos (19.118) según el índice TWI, con geformas de tipo valle en "V", ostentando incisión y relieves moderados con alta humedad. La cabecera del Río Guatapurí mostró valores más bajos (9.5) según el índice TWI, debido a su relieve alto y la presencia de rocas ígneas (impermeables). El índice Fu indicó que los valores más altos (1) se encuentran en la cabecera del Río Guatapurí, lo que refleja una dinámica fluvial activa, con unidades impermeables, altos relieves y tributarios que dominan las áreas de mayor erosión. El índice Dd mostró valores bajos (0.296) en la cabecera del Río Badillo, evidenciando una red de drenaje gruesa, bajo relieve y presencia de rocas permeables.

El índice Sg presentó valores altos (6) en las zonas escarpadas de la cabecera del Río Guatapurí, y valores bajos (1) en las zonas planas de la cuenca del Río Badillo. El índice Di mostró valores altos (2.026) en las cabeceras de los ríos Guatapurí y Badillo, indicando una topografía escarpada y un alto grado de erosión. Los valores bajos (0.200) se encontraron en las confluencias de los ríos Guatapurí y Badillo con el Río Cesar, representadas en zonas planas de acumulación aluvial y baja erosión. El índice Ar (Figura 2F) indicó levantamientos verticales originados durante la evolución de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), representados por altos valores (1524.28) en zonas elevadas.

La mayor diversidad de índices morfométricos se encuentra en las cabeceras de los ríos Guatapurí y Badillo, con estimaciones de diversidad morfométrica alta y muy alta, representando el 30% del área total del territorio. La diversidad morfométrica media corresponde a lomeríos y pequeños valles, con un 32% del área total. La diversidad baja y muy baja está asociada a zonas planas cubiertas por depósitos cuaternarios, y ocupa un 38% del área total.

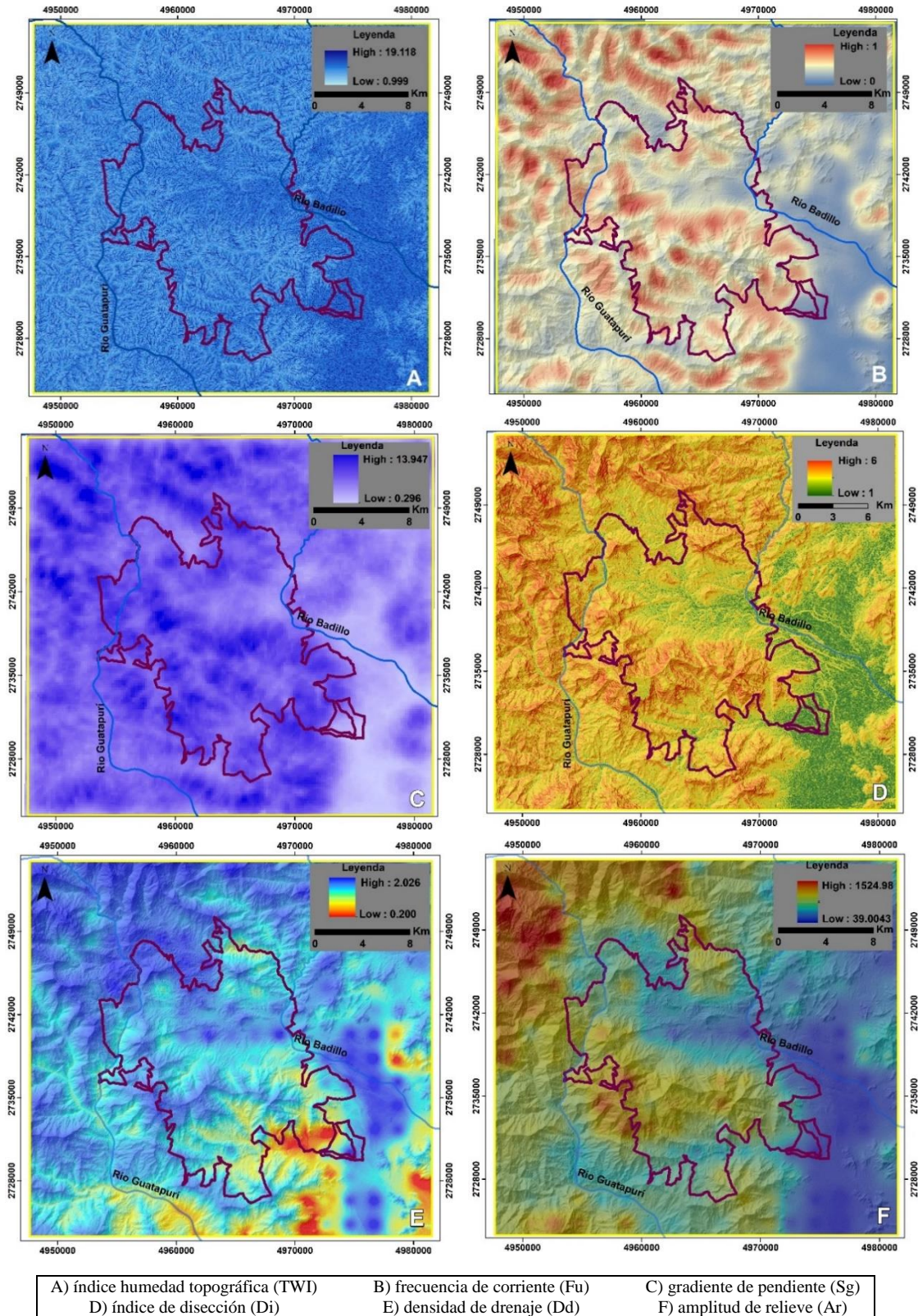


Figura 2: Mapas de índices morfométricos.
 Fuente: Autores.

El mapa de diversidad morfométrica (Figura 3) contempla la incidencia de cada uno de los índices geomorfométricos, hidrológicos y morfotectónicos de la zona. Indicando que el territorio Kankuamo, corresponde a un paisaje granítico, modelado por la hidrología, y la tectónica. La cuenca de los ríos Guatapuri y Badillo presenta la mayor diversidad (alta y muy alta), representada en un 30% del área total, exhibiendo la mayor cantidad de componentes abióticos. La diversidad media, que corresponde al 32% del área total, se encuentra en lomeríos y pequeños valles. La diversidad baja y muy baja, que abarca el 38% del área total, está asociada a zonas planas cubiertas por depósitos cuaternarios.

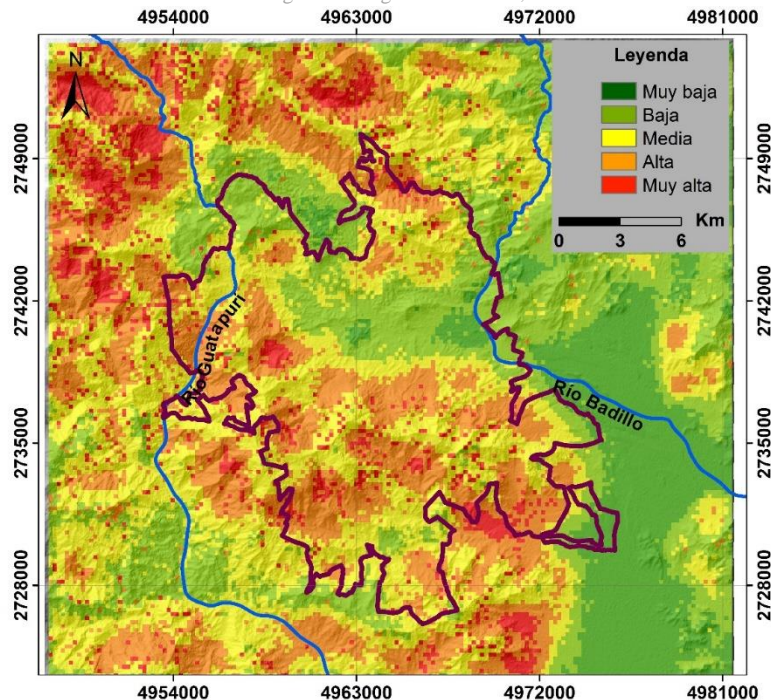


Figura 3: Mapa de diversidad por índices morfométricos.
Fuente: Autores.

Finalmente, la estimación de la diversidad a partir de índices morfométricos proporciona medidas cuantitativas para caracterizar diversos aspectos del relieve, como la rugosidad del terreno, la distribución de las alturas y la forma de las cuencas hidrográficas. La combinación de estos índices genera un mapa que visualiza la diversidad del territorio. Este tipo de mapas es útil en diversas aplicaciones, como la gestión ambiental, la planificación del uso del suelo, la conservación de la biodiversidad y la evaluación de riesgos naturales, ya que proporcionan información detallada sobre la configuración del terreno y sus características.

V. CONCLUSIONES

La metodología aplicada para estimar la diversidad a través de índices morfométricos ha demostrado ser una herramienta cuantitativa valiosa para caracterizar el territorio indígena Kankuamo. Los índices seleccionados permitieron visualizar diferentes aspectos geomorfológicos, hidrológicos y tectónicos que conforman el paisaje, brindando información útil para la planificación territorial y la gestión ambiental.

Las cuencas de los ríos Guatapurí y Badillo, ubicadas en las cabeceras de la Sierra Nevada de Santa Marta, presentan la mayor geodiversidad, concentrando el 30% del área total con alta y muy alta estimación. Estas áreas, asociadas a relieves escarpados, alta erosión y actividad tectónica, requieren de estrategias de manejo que consideren su vulnerabilidad a los fenómenos de remoción en masa y su valor como recursos abióticos.

Los índices hidro-geomorfológicos como TWI, Fu y Dd reflejan la interacción entre el relieve y la red hidrológica, destacando diferencias significativas en la disponibilidad de humedad y permeabilidad de las rocas en las cuencas de los ríos Badillo y Guatapurí. Estas características hidrológicas influyen en la formación del paisaje y en la distribución de la geodiversidad, lo que debe ser considerado en la gestión integrada de cuencas y en la conservación de recursos hídricos.

El alto grado de diversidad morfométrica identificado en las cabeceras de los ríos Guatapurí y Badillo ofrece un importante potencial para el desarrollo del geoturismo, una modalidad que podría generar ingresos y fomentar el desarrollo local. No obstante, es esencial que este tipo de actividades turísticas sean planificadas de manera sostenible para proteger el patrimonio geológico y minimizar el impacto sobre el ambiente y las comunidades.

Los mapas de diversidad morfométrica generados a partir de la combinación de índices morfométricos proporcionan una visión detallada de la estructura del terreno, lo que los convierte en herramientas útiles para la planificación del uso del suelo, la mitigación de riesgos naturales y la conservación de la biodiversidad. Estos resultados pueden servir como una base sólida para la toma de decisiones por parte de las autoridades locales y entidades gubernamentales.

Aunque la estimación de la diversidad a partir de índices morfométricos proporciona un marco científico sólido, es crucial complementar esta aproximación con estudios que incluyan la dimensión cultural e histórica del territorio. La participación de las comunidades indígenas Kankuamas en la gestión del paisaje es fundamental para garantizar un manejo sostenible y respetuoso con su cosmovisión, que integre tanto los aspectos abióticos como los valores culturales.

En conclusión, este estudio resalta la importancia de la geodiversidad y la diversidad morfométrica en la comprensión del territorio y su potencial para contribuir al desarrollo socioeconómico y la conservación ambiental. La información obtenida ofrece una base para mejorar la planificación territorial y fortalecer la gestión del patrimonio natural y cultural del resguardo indígena Kankuamo.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los editores de la revista por sus comentarios. F. Carrillo agradece al programa docotoral de la Universidad Benito Juárez, proyecto en el cual se apoyó la presente investigación. M.I.M agradece el apoyo del programa de becas posdoctorales en Diplomacia científica de Minciencias 2023-2024.

VII. REFERENCIAS

- [1] M. Gray, "Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature," *Choice Rev. Online*, vol. 51, no. 11, pp. 51-6193-51-6193, 2014, doi: [10.5860/choice.51-6193](https://doi.org/10.5860/choice.51-6193).
- [2] E. Reynard and J. Brilha, *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*. 2018. doi: [10.1016/C2015-0-04543-9](https://doi.org/10.1016/C2015-0-04543-9).
- [3] J. Palacio-Prieto, "Geositios, geomorfositos y geoparques; importancia, situación actual y perspectivas en México," *Investig. Geográficas*, vol. 0, no. 82 SE-GEOGRAFÍA FÍSICA, p. 24, Apr. 2013, doi: [10.14350/riig.32817](https://doi.org/10.14350/riig.32817).
- [4] G. Martínez Miranda, "Identificar, caracterizar y evaluar sitios geoculturales. Trabajo de campo en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta," *Investig. Geográficas*, vol. 0, no. 97 SE-TRABAJO DE CAMPO, Nov. 2018, doi: [10.14350/riig.59799](https://doi.org/10.14350/riig.59799).
- [5] C. Ríos-Reyes, D. Manco-Jaraba, and O. Castellanos-Alarcón, "Geotourism potential and challenges of the coastal region around Santa Marta (Colombia): A novel strategy for socioeconomic development," *Cuad. Geogr. Rev. Colomb. Geogr.*, vol. 30, no. 1, 2021, doi: [10.15446/rcdg.v30n1.81239](https://doi.org/10.15446/rcdg.v30n1.81239).
- [6] D. Manco-Jaraba, C. Ríos Reyes, and Ó. Castellanos Alarcón, "Geotourism potential and challenges in the Archipelago of San Andrés, Providencia, and Santa Catalina (Colombia)," *Tur. y Soc.*, vol. 34, pp. 67-110, 2023, doi: [10.18601/01207555.n34.03](https://doi.org/10.18601/01207555.n34.03).
- [7] D. Manco-Jaraba, Y. Navarro-Becerra, E. Rojas-Martínez, and R. Mindiola-Gil, "Manantial de Cañaverale: una estrategia novedosa para el desarrollo socioeconómico del sur de La Guajira (Colombia), a través de la geoeducación, geoturismo y geoconservación," *Rev. Ambient. agua, suelo y aire*, vol. 13, no. 1, pp. 1-12, 2022, [Online]. Available: <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2718/3938>.
- [8] E. Jacobo-Gómez, Y. Vega-Mendoza, D. Manco-Jaraba, and L. Castañeda-Vega, *GEOTURISMO: Una alternativa estratégica para la gestión de destinos turísticos sostenibles en el departamento de La Guajira, Colombia*. Riohacha, Colombia, 2022.
- [9] D. Newsome and R. K. Dowling, *Geotourism: The Tourism of Geology and Landscape*. 2010.
- [10] J.F. Zapata-Herrera, C. González-Tejada, S. Restrepo-Moreno, M.I. Marín-Cerón. The territory as a victim: Geological assessment applied to analyzing the impact of Colombia's armed conflict on Geo-Bio Megadiversity at the Sierra Nevada de Santa Marta. *Escubed's Special Issue Geomorphology and land-use change 2024 (in edition)*.
- [11] A. V. Argyriou, A. Sarris, and R. M. Teeuw, "Using geoinformatics and geomorphometrics to quantify the geodiversity of Crete, Greece," *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 51, pp. 47-59, 2016, doi: [10.1016/j.jag.2016.04.006](https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.04.006).
- [12] Alaska Satellite Facility, "ASF Data Search Vertex," ASF Data Search Vertex - Earth Data.
- [13] J. S. Jenness, "Calculating landscape surface area from digital elevation models," *Wildl. Soc. Bull.*, vol. 32, no. 3, 2004, doi: [10.2193/0091-7648\(2004\)032\[0829:clsafd\]2.0.co;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2004)032[0829:clsafd]2.0.co;2).
- [14] M. D. Rowberry, "A comparison of three terrain parameters that may be used to identify denudation surfaces within a GIS: A case study from Wales, United Kingdom," *Comput. Geosci.*, vol. 43, pp. 147-158, 2012, doi: [10.1016/j.cageo.2011.09.016](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.09.016).
- [15] S. Ciccacci, "Geomorfologia quantitativa e morfoneotettonica dell'area di Morlupo-Castelnuovo di Porto nei Monti Sabatini (Lazio)," *Geogr. Fis. e Dinam. Quat.*, pp. 197-206, 1988.
- [16] V. H. Toudeshki and M. Arian, "Morphotectonic analysis in the Ghezel Ozan river basin, NW Iran," *J. Geogr. Geol.*, vol. 3, no. 1, pp. 258-277, 2011.
- [17] M. Kouli, F. Vallianatos, P. Soupios, and D. Alexakis, "Gis-based morphometric analysis of two major watersheds, Western Crete, Greece," *J. Environ. Hydrol.*, vol. 15, pp. 1-17, 2007.
- [18] G. Ciotoli et al., "Morphological and geochemical evidence of neotectonics in the volcanic area of Monti Vulsini (Latium, Italy)," *Quat. Int.*, vol. 101-102, no. 1, 2003, doi: [10.1016/S1040-6182\(02\)00093-9](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00093-9).
- [19] F. Troiani and M. Della Seta, "The use of the Stream Length-Gradient index in morphotectonic analysis of small catchments: A case study from Central Italy," *Geomorphology*, vol. 102, no. 1, 2008, doi: [10.1016/j.geomorph.2007.06.020](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.020).
- [20] M. Della Seta, M. Del Monte, P. Fredi, and E. Lupia Palmieri, "Quantitative morphotectonic analysis as a tool for detecting deformation patterns in soft-rock terrains: a case study from the southern Marches, Italy / Analyse morphotectonique quantitative dans une province lithologique enregistraant mal les déformations : les Marches méridionales, Italie," *Géomorphologie Reli. Process. Environ.*, vol. 10, no. 4, 2004, doi: [10.3406/morfo.2004.1224](https://doi.org/10.3406/morfo.2004.1224).
- [21] R. E. Horton, "Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology," *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 56, no. 3, 1945, doi: [10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2).
- [22] R. Sørensen, U. Zinko, and J. Seibert, "On the calculation of the topographic wetness index: Evaluation of different methods based on field observations," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 10, no. 1, 2006, doi: [10.5194/hess-10-101-2006](https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006).
- [23] ESRI, "ArcGis Desktop Help in ArcMap utility".
- [24] S. Singh and A. Dubey, *Geoenvironmental Planning of Watersheds in India*. Chugh, 1994.
- [25] D. Castañeda, M. Valencia, M. (2020). Cuantificación de la geodiversidad en la cuenta de los ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo; PNNN Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y Serranía del Perijá (SP). Trabajo dirigido de grado Geología, Universidad EAFIT. Medellín.