

Revista **GEOGRÁFICA VENEZOLANA**

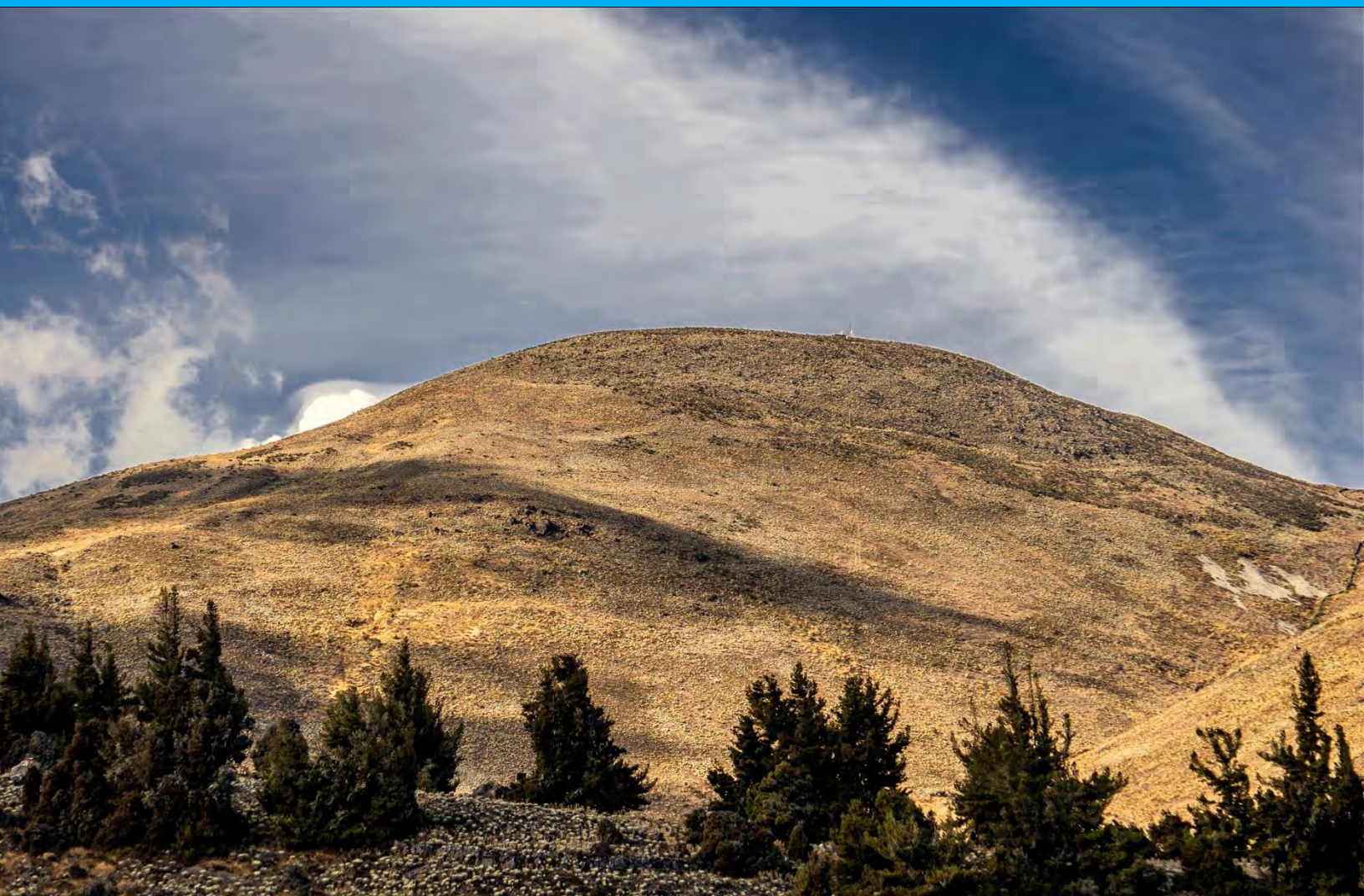
/ISSNe 2244-8853
<https://doi.org/10.53766/RGV>



Volumen

66(2) 2025

julio-diciembre



**INSTITUTO DE GEOGRAFÍA Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES
'ANTONIO LUIS CÁRDENAS COLMENTER'**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

MÉRIDA, VENEZUELA



AUTORIDADES

RECTOR

Mario Bonucci Rossini

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Manuel Aranguren

VICERRECTORA ACADÉMICA

Patricia Rosenzweig

SECRETARIO

Manuel Morocoima (E)

DECANO FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Julio Quintero (E)

DIRECTOR INSTITUTO DE GEOGRAFÍA Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES

Josué H. Araque Méndez

DIRECTORA ESCUELA DE GEOGRAFÍA

Angely Nathaly Molina Peña

EDITORA RESPONSABLE

Delfina Trinca Figuera (ULA–Ve)

EDITOR ASOCIADO

Enrique Gómez Acosta (ULA–Ve)

SECRETARIA EDITORIAL

Consuelo Vargas

IMAGEN DE PORTADA: Montaña de páramo merideño,
Andes centrales de Venezuela. Diciembre, 2024
Autor: Henry Ramírez

COMITÉ EDITORIAL

André-Louis Sanguin (Sorbona–Fr)

Andrés Rojas Salazar (ULA–Ve)

Blanca Ramírez Velázquez (UAM–Mx)

Daniel Hiernaux-Nicolas (UAQ–Mx)

Gustavo Buzai (UNLU–Ar)

Horacio Capel (UniB–Es)

Jhon W. Montoya (UNAL–Co)

Joaquín Farinós Dasi (UV–Es)

José Rojas López (ULA–Ve)

Lorenzo López Trigal (Unileon–Es)

Luis Felipe Cabrales Barajas (UDG–Mx)

Maria Laura Silveira (UBA–Ar)

María Adélia de Souza (USP–Br)

Mónica Colombara (ISFD41/DGCyE–Ar)

Nubis Pulido (ULA–Ve)

Raúl Estévez (ULA–VE)

Rogelio Altez (UCV–Ve)

MIEMBROS HONORARIOS

Luis Aguilar (ULA–Ve)

Ceres Boada Jiménez (ULA–Ve)

María Teresa Delgado de Bravo (ULA–Ve)

Rosa Estaba (UCV–Ve)

Irma Guillén (ULA–Ve)

Orlando Gutiérrez (ULA–Ve)

Carmen Rivero (UCV–Ve)

Elías Méndez (ULA–Ve)

Luisa Molina (ULA–Ve)

Carlos Muñoz (ULA–Ve)

Rosa Ramírez (ULA–Ve)

Jóvito Valbuena (ULA–Ve)

Todos los derechos reservados. El contenido de esta revista está protegido por la Ley. No puede ser reproducida, ni registrada o transmitida por cualquier medio de recuperación de información sin el permiso previo, por escrito, de los editores. © 2024. Universidad de Los Andes. <https://doi.org/10.53766/RGV>. ISSNp 1012-1617. Depósito legal [p] pp 195902ME658. ISSN e 2244-8853. Depósito legal [e] ppi 2012ME4104. La Revista Geográfica Venezolana, posee acreditación del Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico, Tecnológico y de las Artes. Universidad de Los Andes, Venezuela (CDCHTA-ULA). Este número ha sido publicado gracias al apoyo de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Todos los documentos publicados en esta revista se distribuyen bajo una Licencia Creative Commons Atribucion-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Todo el proceso editorial (envío, procesamiento y publicación) es gratuito.

Descripción. La *Revista Geográfica Venezolana* es el órgano divulgativo del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Publica investigaciones en todos los campos de la Geografía y ciencias afines, bajo la modalidad de artículos. En la sección de Notas y Documentos se presentan resultados parciales de investigaciones, informes técnicos, revisiones históricas, reflexiones y propuestas teóricas metodológicas de interés científico. Igualmente, en la sección Bibliografía Crítica, se ofrecen reseñas de obras consideradas de interés para los lectores. Todos los artículos (y documentos que así lo requieran) se someten a arbitraje bajo el sistema doble ciego y verificación por plagio. Las opiniones son responsabilidad de los autores. Esta revista está dirigida a profesionales (investigadores y docentes) del campo de la geografía y ciencias relacionadas. Se rige por los principios establecidos por la COPE.

Ventas Venta directa de cada número: desde el volumen VIII hasta el 55(1): 100,0 Bs.; desde el volumen 55(2) versión digital (CD Rom): 200,0 Bs.

Envío de trabajos. Información acerca de cómo elaborar artículos se ofrece en las páginas finales de cada número en el punto 'Instrucciones a los Autores'. También en: www.saber.ula.ve/regeoven. Los trabajos deberán ser enviados por correo electrónico a: regeoven@gmail.com. Contacto con Secretaría: E-mail: regeoven@ula.ve Teléfono: + 58 274 2401612.

Indización. La *Revista Geográfica Venezolana* está indizada en: Abstracts Journal (Referativnyi Zhurnal-Rusia), Academic OneFile, Dialnet; Emerging Sources Citation Index (ESCI); Geobase, Geodate Base, Geographical Abstracts (Human Geography and Physical Geography), Informe Académico, International Development Abstracts, Latindex-Catálogo V1.0, MIAR (Matriz de Información y Análisis de Revista), Periódica (UNAM, México), Redalyc, Revencyt (código RVR 005), Revistas Saber ULA, SCImago Journal Rank (Indicador de impacto de publicaciones periódicas), homologada en Publindex (Colombia), Scopus y WoS.

2025. VOLUMEN 66. DOS NÚMEROS POR AÑO

2025. VOLUME 66. DUAS EDIÇÕES POR ANO

2025. VOLUME 66. NUMBER OF ISSUES PER YEAR 2

<https://doi.org/10.53766/RGV>

www.saber.ula.ve/regeoven

Scope. The *Revista Geográfica Venezolana* is the official journal of the Institute of Geography and Natural Resources Conservation. The journal publishes high quality original research on all aspects of the geographical science and related fields. The topics covered include papers, notes or short communications and books review. All contributions are sent to at least two referees (peer review) and plagiarism check. The opinions are responsibility of the authors. Intended readership: Researchers and scientist in geography and related fields. Follow the principles established by COPE

Prices. Local prices: until volume 55(1): 100,0 Bs.; per issue until volume 55(2) CD Rom: 200,0 Bs.

Written submission. Information about written submission is available at each issue of the journal in Instructions to the Authors. All papers must be sent by email to: regeoven@gmail.com. Secretariat's contacts: E-mail: regeoven@ula.ve. Phone: + 58 274 2401612.

Indexation. The journal is abstracted and indexed in: Abstracts Journal (Referativnyi Zhurnal-Rusia), Academic OneFile, Dialnet; Emerging Sources Citation Index (ESCI); Geobase, Geodate Base, Geographical Abstracts (Human Geography and Physical Geography), Informe Académico, International Development Abstracts, Latindex-Catálogo V1.0, MIAR (Matriz de Información y Análisis de Revista), Periódica (UNAM, México), Redalyc, Revencyt (código RVR 005), Revistas Saber ULA, SCImago Journal Rank homologate in Publindex (Colombia), Scopus and WoS.

ARTÍCULOS

ARTIGOS / PAPERS

273-289 Alexander Vergara, Dustin Tahisin Gómez-Rodríguez y Ehyder Mario Barbosa Pérez

Innovación tecnológica en la interpretación de riesgos naturales: aplicación de productos fotogramétricos digitales

Inovação tecnológica na interpretação de ameaças naturais: aplicação de produtos fotogramétricos digitais

Technological innovation in the interpretation of natural hazards: application of digital photogrammetric products

290-308 Giancarlo Alciaturi, María del Pilar García-Rodríguez y Virginia Fernández

Mapping a rice región in South America using Geo Big Data and Sentinel 2

Mapeo de uma região arrocerá en Sudamérica utilizando Geo Big Data y Sentinel 2

Mapeamento de uma região de arroz na América do Sul usando Geo Big Data e Sentinel 2

309-328 Luis Francisco Balza-Moreno y Erika Melanyela Ramírez Roa

Áreas de restricción para la expansión urbana de la ciudad de Pregonero, estado Táchira, Venezuela, 2023

Áreas de restrição para a expansão urbana da cidade de Pregonero, estado de Táchira, Venezuela

Restriction areas for the urban expansion of the city of Pregonero, estado Táchira, Venezuela, 2023

329-347 Rogelio Bernal-Morales, José Pedro Juárez-Sánchez, Benito Valverde-Ramírez, Ignacio Ocampo-Fletes y María de los Ángeles Velasco-Hernández

Impacto del cambio climático en el periodo de crecimiento del maíz en el oriente de Puebla, México

Impacto das mudanças climáticas na estação de cultivo de milho no leste de Puebla, México

Impact of climate change on the growing season of maize in eastern Puebla, Mexico

348-364 Lemy Bran-Piedrahita, Alejandro-Valencia-Arias, Lucía Palacios-Moya y Daniel Cardona-Valencia

Metodologías que orientan las investigaciones sobre procesos de desarrollo e innovación social

Metodologías que orientam a pesquisa sobre inovação social e processos de desenvolvimento

Methodologies that guide research on development processes and social innovation

365-377 Moisés Gonçalves do Carmo, Jesse Alves Batista e Elaine Lima da Fonseca

Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e do estado nutricional de algodoeiro, município de Vilhena, estado de Rondônia, Brasil

Variabilidade espacial de atributos químicos del suelo y estado nutricional del algodón, municipio de Vilhena, estado de Rondônia, Brasil

Spatial variability of soil chemical attributes and nutritional status of cotton, municipality of Vilhena, Rondônia State, Brazil

378-397 José Luis Muñoz Marcillo, Cristopher Cesar Caisa Melendrez, Grace Tatiana Páez-Barrera & Theofilos Toulkeridis

Multi-temporal analysis of change in land use and deforestation in the Los Ilinizas Ecological Reserve, Andean Ecuador

Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo y deforestación en la Reserva Ecológica Los Ilinizas, Ecuador andino

Análise multitemporal da mudança no uso da terra e do desmatamento na Reserva Ecológica Los Ilinizas, Equador andino

398-415 Diego Arcesio Rodríguez Martínez y Sergio Andrés Laiton

Metodología para la detección de plásticos a través de sensores remotos, Bocas de Ceniza, Barranquilla, Colombia

Metodologia para a detecção de plásticos por meio de sensoriamento remoto, Bocas de Ceniza, Barranquilla, Colômbia

Methodology for the detection of plastics through remote sensing, Bocas de Ceniza, Barranquilla, Colombia

EDITORIAL

267-270

Delfina Trinca Figuera

Una mirada al territorio

Uma olhada ao território

Looking at the territory

416-437 **Andrés Felipe Bautista Vargas**

La perspectiva territorial en procesos de restauración ecológica participativa. Lago de Tota, Boyacá, Colombia
A perspectiva territorial nos processos participativos de restauração ecológica. Lagoa de Tota, Boyacá, Colombia
The territorial perspective in participatory ecological restoration processes. Tota Lake, Boyacá, Colombia

438-454 **Abdiel Menchaca Aguilar, José Pedro Juárez-Sánchez, Benito Valverde-Ramírez, Ángel Bustamante González y Gustavo Ramírez Valverde**

Competitividad en empresas rurales de México. Caso de la industria de ónix y mármol, estado de Puebla, municipio de Tecali de Herrera
Competitividade em empresas rurais no México. Caso da indústria de ônix e mármore, estado de Puebla, município de Tecali de Herrera
Competitiveness in rural enterprises in Mexico. Case of the onyx and marble industry, Puebla State, Tecali of Herrera Municipality

455-466 **Jackeline Coromoto Peña Suárez, Marisela Sánchez Ávila, Jesús Alberto Torres Hoyer, Ricardo Picón Rodríguez, Wilmer José Barreto y Roberto José Torres Hoyer**

Método de Elementos Finitos para el análisis de la falla de Boconó en Mesa de Los Indios, estado Mérida, Venezuela
Método dos Elementos Finitos para análise da falha de Boconó em Mesa dos Índios, estado de Mérida, Venezuela
Finite Element Method for analysis of the Boconó Fault in Mesa de los Índios, Mérida State, Venezuela

467-488 **José Luis Sánchez-Cortez, José Luis Palacio-Prieto, Quetzalcóatl Orozco-Ramírez, Emmeline Rosado-González, Norma López-Castañeda y Xóchitl Ramírez-Miguel**

Aportes para la contextualización y relevancia internacional del Geopatrimonio del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, México
Contribuições para a contextualização e relevância internacional do Geopatrimônio do Geoparque Mundial da UNESCO Mixteca Alta, México
Contributions to the contextualization and international relevance of the Geoheritage of the UNESCO World Geopark Mixteca Alta, México

NOTAS y DOCUMENTOS *NOTAS e DOCUMENTOS /* *NOTES and DOCUMENTS*

491-502 **Esteban Figueroa Navarrete**

Geografías morales: interfaz disciplinario entre la geografía y la ética desde el concepto de justicia
Geografias morais: interface disciplinar entre geografia e ética a partir do conceito de justiça
Moral Geographies: disciplinary interface between Geography and Ethics from the concept of justice

503-515 **Mayra Medina**

La Participación en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)
Participação na Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)
Participation in Integrated Water Resources Management (IWRM)

BIBLIOGRAFÍA CRÍTICA *REVISÃO BIBLIOGRAFICA /* *BOOKS REVIEW*

518-521 **Gastón Gaete Coddou**

Tendencias recientes de pobreza y desigualdad América Latina y el Caribe: octubre 2024
Tendências recentes de pobreza e desigualdade na América Latina e no Caribe: Outubro de 2024
Recent Trends in Poverty and Inequality Latin America and the Caribbean: October 2024

522- 527 **Índice Acumulado**

EDITORIAL



Una mirada al territorio

Uma olhada ao território

Looking at the territory

Delfina Trinca Figuera Editora responsable <https://orcid.org/0000-0001-7878-3840>

El concepto de territorio es uno de los más preciados de la ciencia geográfica. Sin embargo, su origen, al igual que el de paisaje, no está dentro de nuestra disciplina. El paisaje está estrechamente relacionado con la pintura de la Edad Media, pues se le asocia con las representaciones visuales de un lugar. Es recién en el siglo XIX cuando se comienza utilizar en el contexto de la geografía moderna, restringiéndose su uso a describir y mostrar la fisonomía de la tierra, pero también la representación de los resultados de la intervención de los seres humanos. Por el contrario, la etimología del término territorio proviene del latín: *territorium* (la raíz *terri* remite a la tierra y el sufijo *torium* al lugar dónde se desarrolla la acción, bien sea jurídica, política, militar). De allí que su uso inicial se relacione con el 'terror'; es decir, se refiere a quienes detentan el derecho de aterrorizar. Parece entonces que la noción de territorio está históricamente ligada con relaciones de poder y de dominación.

Se podría sustentar que el término territorio se utiliza, lato sensu, para referirse a aquellas porciones de la superficie terrestre sobre las que un grupo humano políticamente organizado, históricamente ha tomado posesión, por lo que estarían sujetas a relaciones de poder. A pesar de que el nexo con el poder y la dominación es parte constitutiva desde su origen, hoy se puede afirmar que la noción de territorio es multidimensional, polisémica, lo cual se traduce en que se puede abordar desde diversas y múltiples perspectivas.

Es esta misma naturaleza compleja la que nos faculta para aseverar que en la actualidad su uso se ha banalizado. Vemos que su difusión en las ciencias sociales es generalizada y está ampliamente incorporado en análisis sociológicos, antropológicos, históricos, políticos, además de los propios de la Geografía, pero también es utilizado en variadas administraciones públicas cuando en más de alguna de sus políticas este figura. Lo que se observa es un uso indiscriminado y poco cuidadoso de este concepto.

Este uso generalizado del 'territorio' ha ido desplazando, progresivamente a otros conceptos, igualmente caros a la geografía, como región, paisaje, espacio geográfico, como eje articulador de la enseñanza de la nuestra disciplina. A pesar de lo afirmado, vale advertir que los conceptos tienen contenidos diferentes para cada disciplina; esta variación en la forma de interpretarlo se relaciona con el propio desarrollo histórico de cada una de ellas; pero insistimos, parte del problema está en el cómo se le utiliza, por lo general, sin tener en más de una oportunidad, el necesario cuidado de su procedencia teórica.

En muchas ocasiones se hace referencia al territorio desde una perspectiva en la que prima lo social, restándole parte de su contenido conceptual, el cual viene dado por sus atributos, derivados de su apropiación: *limite*, relativo a su competencia; *exclusividad*, lugar del grupo social que se lo ha apropiado, e *identidad*, relación de ese mismo grupo con su entorno. Hay que aceptar que dependiendo del enfoque teórico-epistemológico en el que se ubique el investigador, el contenido conceptual varía. Y esto se entiende por cuanto cada modernidad tienen propia historia y esta nos

conduce a no dejar de lado que los conceptos y las teorías -y sus críticas- también la tienen. La historia de este concepto nos dice que se asocia con los cambios de enfoques, corrientes, teorías, de los que la geografía no es ajena.

Asumiendo entonces que los conceptos son productos de su propio tiempo histórico, se puede decir que una primer aproximación se relaciona con la emergencia de la geopolítica (fines del siglo XIX y primera mitad del XX). Así, el territorio es entendido tanto como soporte (suelo, terreno, sustrato) como jurisdicción, lo que incluye la noción de delimitación. Se constituye en el soporte fisiográfico de los nacientes Estados nacionales, ya que facilita la descripción de los límites y fronteras que separan a unos de otros. El Estado es el actor principal y es a través de su análisis que se da la aproximación al territorio. En el caso de la ciencia geográfica, en especial de la humana, uno de sus principales exponentes lo fue Friedrich Ratzel, entre otras cosas, por su concepto de espacio vital, el cual refiere al área necesaria para la propia subsistencia de una nación, su autosuficiencia económica, y su seguridad (ejercicio de la soberanía). En consecuencia, el territorio es el resultado histórico de la repartición de la superficie terrestre entre un conjunto de sociedades que luchan por su control. Para las distintas sociedades, entonces, el territorio es un pedazo de la superficie terrestre necesario para su subsistencia, seguridad e identidad.

En general, estos enfoques iniciales pasan de un aproximación contemplativa y descriptiva de la superficie de la tierra (primeras décadas del siglo XIX), a otra en la que el territorio es asumido como la unidad orgánica de la nación y con una influencia importante de las tesis darwinistas y positivistas; acá, también el Estado es el principal actor, siendo su abordaje marcado por una clara orientación ratzeliana, pero también geoestratégica y militarista. Es oportuno citar dentro de esta línea de pensamiento de corte jurisdiccional a Jean Gottmann, geógrafo francés, con su conocido texto 'El significado del Territorio' (1973); entiende al territorio como una extensión espacial de la jurisdicción de un gobierno, por lo que es la conexión ideal entre espacio y política.

Más adelante, pero sobre todo a partir de los años 70 del pasado s. XX, estos enfoques se ven, en muchas ocasiones, sobrepasados, por otras orientaciones en las que el territorio deja de ser visto como soporte de las acciones humanas y su conceptualización va a incluir ideas tales como que debe ser entendido como producto y condición de las relaciones de producción aludiendo de manera explícita a teorías de inspiración marxista, pero también definido por relaciones de poder multiescalares, lo cual favorece ampliar su alcance explicativo que permite visualizar territorios, territorialidades y usos en distintas dimensiones, articulados en variadas escalas. Luego, a estas miradas se incorporan otras aproximaciones que involucran elementos inmateriales que expresan diferentes formas de apropiación en términos materiales (económico y social) e intangibles como la cultura y lo político-jurídico

Ya fines del s. XX, se puede observar que el concepto de territorio reasume una posición central en las ciencias humanas, pero no tanto como concepto que tenga su razón explicativa en el materialismo-histórico, sino que en su conceptualización hay mayor espacio para una perspectiva humanista y cultural, pero aún con cierta influencia marxista.

Llegados a este punto de la reflexión cabe preguntarse: ¿cuándo 'el territorio' se transforma cualitativamente en espacio? Es común observar cómo ambos términos pueden y han sido utilizados

de manera indistinta, sin detenerse muchas veces a precisar que se entiende por cada uno de ellos. Es usual que en la praxis cotidiana del mundo académico y mucho más en el profesional, esta necesaria precisión, aparentemente no es importante; se asume que hablar de espacio es lo mismo que hablar de territorio. Sin embargo, esto no es así.

Desde el momento en que un grupo humano se apropia de un pedazo de la superficie terrestre, ese recorte de manera continua va siendo modificado, transformado al incorporarle objetos que responde a sus necesidades. Desde esta perspectiva, el territorio es el que le da origen al espacio: es la organización de los objetos creados por los seres humanos en comunión con los naturales los que le dan vida al espacio; es decir, la sociedad realizada en objetos geográficos, cuya esencia concretiza a la realidad en movimiento: el presente, siendo el ayer y la posibilidad del mañana. Es pensar en el espacio geografico como un 'hibrido', sin separar el mundo natural por un lado y el social por otro.

Sin duda entonces todo territorio presenta una determinada organización espacial, con objetos creados para cumplir funciones, cambiantes a través del tiempo, siendo en consecuencia estas últimas las que nos ayudan a explicar, o mejor comprender, por qué un territorio se nos presenta (materialidad) de una u otra forma. Esto nos obliga a no olvidar que todo territorio nos muestra a través de su paisaje, una configuración territorial, con distintos tiempos históricos: pasado, presente y tendencialmente el futuro.

Infelizmente, en los últimos tiempos nos hemos encontrado con un uso poco cuidadoso del concepto de territorio. Es común observar que las definiciones sobre el territorio no muestren mayor elaboración, banalizándolo, en consecuencia, remitiéndolo, tácitamente, a nociones como lugar, local o como lo contrario de natural.

Somos de la opinión de que es absolutamente necesario retomar las discusiones que permitan, en la medida de lo posible, precisiones en torno a las nociones que utilizamos; la tendencia de nuestros días parece ser que es el contexto el que guía el uso de los conceptos, en particular el de territorio, por lo que muchas veces no nos detenemos a reflexionar sobre ellos. Y esto debería ser objeto de nuestro interés.



ARTÍCULOS

ARTIGOS/PAPERS

Innovación tecnológica en la interpretación de riesgos naturales: aplicación de productos fotogramétricos digitales

Inovação tecnológica na interpretação de ameaças naturais:
aplicação de produtos fotogramétricos digitais

Technological innovation in the interpretation of natural hazards:
application of digital photogrammetric products

Alexander Vergara¹, Dustin Tahisin Gómez-Rodríguez² y Ehyder Mario Barbosa Pérez³

¹ Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Centro de Investigaciones de Información Geográfica (CIAF)

² Universitaria Agustiniana, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

³ Corporación Universitaria Minuto de Dios, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Bogotá, Colombia

laalexvergara@gmail.com; dustin.tgr@gmail.com; e.barbosa01@gmail.com

Vergara: <https://orcid.org/0000-0002-2910-6760>

Gómez: <https://orcid.org/0000-0001-5359-2300>

Barbosa: <https://orcid.org/0000-0001-5105-4496>

Resumen

En respuesta a la necesidad de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), Colombia, de estimar y desarrollar cartografía temática para riesgos de inundaciones y deslizamientos a escala 1:25,000, se elaboró una propuesta metodológica para la transición de procesos interpretativos analógicos a digitales. Esta iniciativa ha producido resultados que han permitido interpretaciones más ágiles y confiables en comparación con las técnicas tradicionales, alineándose con los avances en tecnología geoespacial. La propuesta incorporó el uso de productos fotogramétricos digitales como ortofotomosaicos, modelos digitales de terreno (DTM), visualización 3D a través de software especializado y anaglifo. Estos recursos no solo han mejorado significativamente el proceso interpretativo, sino que también han apoyado la validación mediante visitas de campo. Esta actividad ha sido optimizada utilizando tabletas y aplicaciones geoespaciales accesibles, mejorando notablemente la calidad de la información generada.

PALABRAS CLAVE: anaglifo; geomorfología modelos digitales de elevación (MDE) morfometría; deslizamientos de tierra; ortofotomosaicos.

Resumo

Em resposta à necessidade da Corporação Autônoma Regional do Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), Colômbia, de estimar e desenvolver cartografia temática para riscos de inundações e deslizamentos em escala 1:25.000, foi elaborada uma proposta metodológica para a transição de processos interpretativos analógicos para digitais. Essa iniciativa gerou resultados que possibilitam interpretações mais ágeis e confiáveis em comparação com as técnicas tradicionais, alinhando-se aos avanços da tecnologia geoespacial. A proposta incorporou o uso de produtos fotogramétricos digitais, como ortofotomosaicos, modelos digitais de terreno (MDT), visualização 3D através de softwares especializados e anáglifos. Esses recursos não apenas melhoraram significativamente o processo interpretativo, mas também apoiaram a validação por meio de visitas de campo. Essa atividade foi otimizada com o uso de tablets e aplicativos geoespaciais acessíveis, melhorando significativamente a qualidade das informações geradas.

PALAVRAS-CHAVE: anaglifo; geomorfologia; modelos digitais de elevação (MDE); morfometria; deslizamentos de terra; ortofotomosaicos.

Abstract

In response to the need of the Regional Autonomous Corporation of the Center of Antioquia (CORANTIOQUIA), Colombia, to estimate and develop thematic cartography for flood and landslide risks at a 1:25,000 scale, a methodological proposal was developed to transition from analog to digital interpretative processes. This initiative has yielded results that enable faster and more reliable interpretations compared to traditional techniques, aligning with advancements in geospatial technology. The proposal incorporated the use of digital photogrammetric products such as orthophotomosaic, digital terrain models (DTMs), 3D visualization through specialized software, and anaglyphs. These resources have significantly improved the interpretative process and supported validation through field visits. This activity has been further optimized by using tablets and accessible geospatial applications, significantly enhancing the quality of the information generated.

KEYWORDS: anaglyph; geomorphology; digital elevation models (DEM); morphometry; landslides; orthophotomosaic.

1. Introducción

La gestión de riesgos naturales es un desafío crítico en muchas regiones del mundo, especialmente en áreas propensas a fenómenos como inundaciones y deslizamientos de tierra. En Colombia, la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA) enfrenta la necesidad urgente de desarrollar herramientas efectivas para la identificación y mitigación de estos riesgos, dado el impacto significativo que tienen en la seguridad y el bienestar de las comunidades locales (Kakavas y Nikolakopoulos, 2021; Quintero *et al.*, 2018; Mendivelso, 2008; Farr *et al.*, 2007).

En este contexto, el presente estudio se propuso identificar la necesidad de estimar y desarrollar cartografía temática para riesgos de inundaciones y deslizamientos a una escala de 1:25.000. La metodología propuesta busca facilitar la transición de procesos interpretativos analógicos a digitales, aprovechando los avances en tecnologías geoespaciales. La incorporación de productos fotogramétricos digitales, como ortofotomosaicos, modelos digitales de terreno (DTM) y visualización 3D, representa un avance significativo en la capacidad de análisis y representación de la información geográfica (Grohmann, 2018; Carvajal, 2012; Florinsky, 2016; Penna *et al.*, 2014).

La utilización de estas herramientas no solo mejora la precisión y la calidad de la información, sino que también permite una interpretación más ágil y confiable de los datos. Esto es fundamental para la elaboración de mapas que reflejen de manera precisa la vulnerabilidad de las áreas afectadas y los factores que contribuyen a la ocurrencia de desastres naturales. En efecto, la integración de tecnologías como tabletas y aplicaciones geoespaciales accesibles optimiza el proceso de validación de la información a través de visitas de campo, lo que resulta en una mayor calidad de los datos recopilados (Benito, 2008; Coelho y Nunes, 2007).

Este estudio no solo busca generar cartografía temática, sino también contribuir a la sensibilización de las comunidades sobre los

riesgos que enfrentan y fomentar una cultura de prevención. Al proporcionar a las autoridades locales y a los planificadores territoriales herramientas efectivas para la toma de decisiones, se espera que se logren avances significativos en la gestión de riesgos y en la planificación territorial en la región (Carvajal, 2012; Di Girolamo, 2008; Lerma, 2002).

En consecuencia, la investigación se enmarca en un contexto de creciente necesidad de innovación tecnológica en la interpretación de amenazas naturales, con el objetivo de mejorar la capacidad de respuesta ante desastres y promover un desarrollo sostenible en CORANTIOQUIA. A través de la implementación de la metodología propuesta, se espera no solo identificar los desafíos actuales, sino también sentar las bases para futuras investigaciones y acciones en la gestión de riesgos en la región.

2. Área de estudio

El área para la cual se desarrolló la cartografía temática de riesgos de inundación y movimientos en masa corresponde a la zona norte de la jurisdicción de CORANTIOQUIA (FIGURA 1). Esto incluye los municipios de Caucaasia, Nechí, Tarazá, Cáceres, El Bagre, Angostura, Yarumal, Amalfi, Zaragoza, Valdivia, Anorí, Segovia, Campamento, Briceño y Guadalupe, pertenecientes a la cuenca baja de los ríos Cauca y Nechí. El área total de cobertura es de 1.500.000 hectáreas, equivalentes a 100 hojas a escala 1:25.000 (Cheng *et al.*, 2018; CORANTIOQUIA, 2016-2019; Moore *et al.*, 1991).

3. Metodología y métodos

Para la estimación y desarrollo de cartografía temática para riesgos de inundaciones y deslizamientos en el área de estudio (FIGURA 1), se implementó una metodología que combina técnicas avanzadas de fotogrametría digital con un enfoque sistemático de análisis geoespacial. Esta metodología se estructuró en varias etapas clave, cada una diseñada para maximizar la precisión y la utilidad de los datos obtenidos.

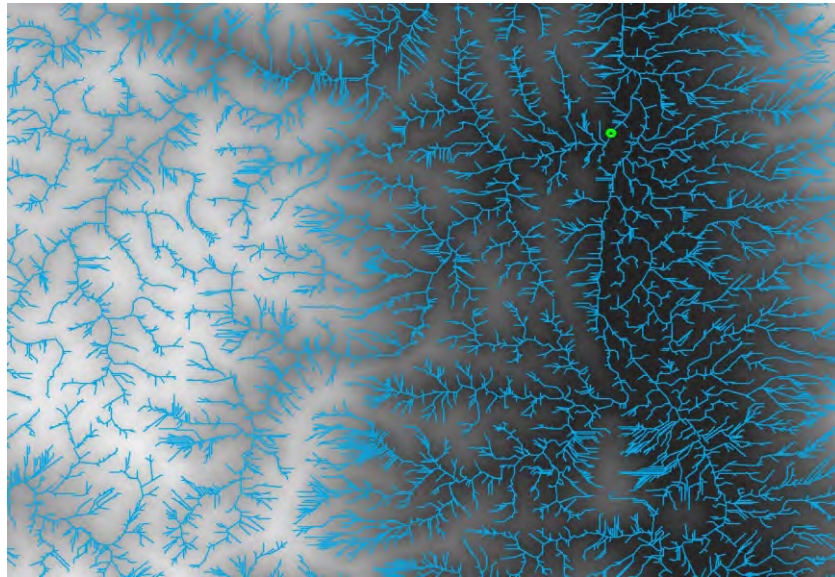


FIGURA 2. Despliegue de la red de drenaje utilizando la caja de herramientas de hidrología de *ArcMap* 10.
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), 2013



FIGURA 3. Transición de ráster de elevación a ráster de dirección de flujo. Fuente: ESRI, 2014



FIGURA 4. Transición de un ráster de dirección de flujo a un ráster de acumulación de flujo. Fuente: ESRI, 2014

Asimismo, para corroborar la información obtenida a través de los métodos digitales, se llevaron a cabo visitas de campo. Durante estas visitas, se realizaron observaciones directas y se recolectaron datos adicionales sobre las condiciones del terreno, la morfología y los

procesos geológicos presentes. El uso de dispositivos móviles y aplicaciones geoespaciales facilitó la captura de datos en tiempo real, mejorando la calidad y la precisión de la información recopilada (FIGURAS 5, 6 y 7), (Gesch, 2018;).

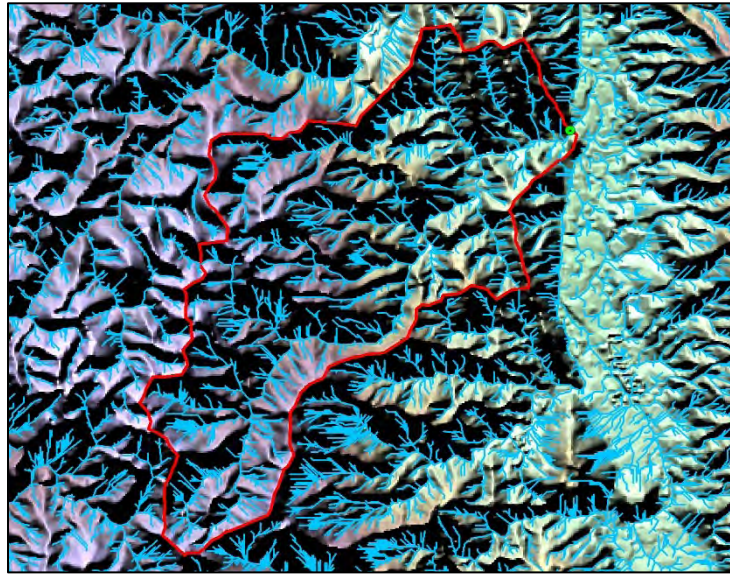


FIGURA 5. DTM con sombreado y la subcuenca determinada utilizando la caja de herramientas Hidrología en ArcMap 10.x. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), 2013

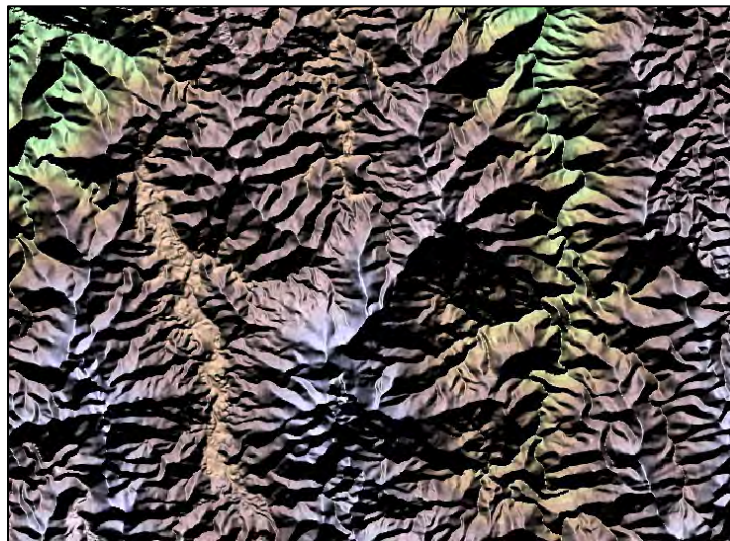


FIGURA 6. Modelos de sombra e hipsométricos derivados del DEM. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), 2013

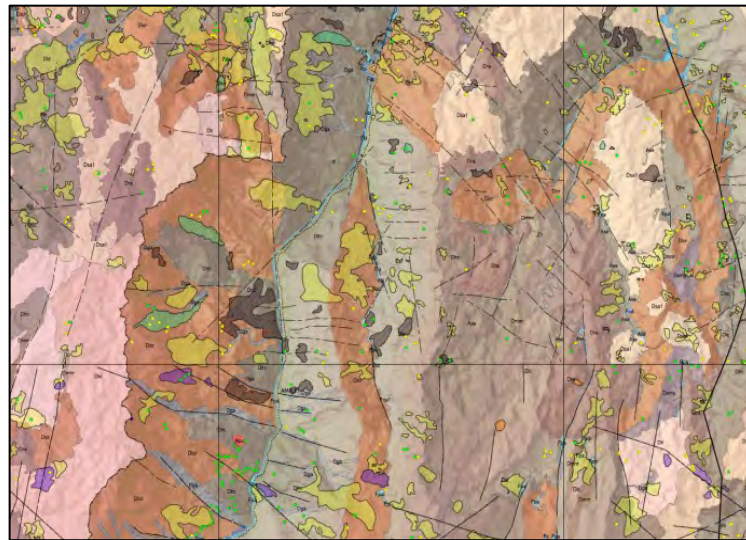


FIGURA 7. Cartografía geomorfológica generada a partir de la DTM. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), 2013

Finalmente, se elaboraron mapas temáticos que representan los riesgos de inundaciones y deslizamientos en la región. Estos mapas no solo sirven como herramientas de referencia para la gestión de riesgos, sino que también son

recursos valiosos para la planificación territorial y la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales (FIGURAS 8 y 9), (Kakavas y Nikolakopoulos, 2021; García *et al.*, 2018; Grohmann, 2018).



FIGURA 8. Reconocimiento de un evento de eliminación masiva en ortofotomosaico. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), 2013

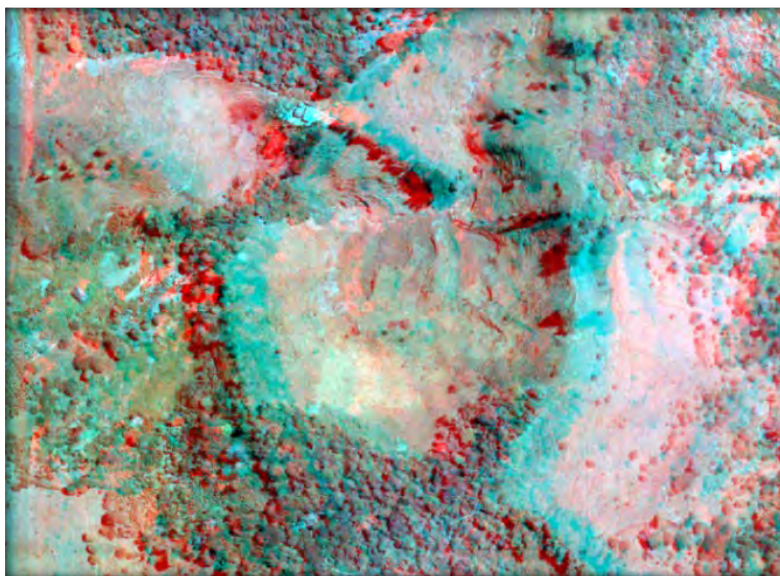


FIGURA 9. Reconocimiento de un evento de eliminación masiva en la imagen anaglífica. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), 2013

Esta metodología integral no solo optimiza el proceso de generación de cartografía temática, sino que también establece un marco para la aplicación de tecnologías geoespaciales en la gestión de desastres, contribuyendo a la resiliencia de las comunidades en CORANTIOQUIA.

3.1 Zonas prioritarias

Las zonas prioritarias en cuanto a la ocurrencia de movimientos en masa y fenómenos de inundación correspondieron a los municipios de Caucasia, Nechí, El Bagre y Zaragoza.

3.2 Datos, software y equipos utilizados

Dado que este documento tiene como objetivo demostrar la aplicabilidad de productos fotogramétricos y técnicas dedicadas a procesos como la interpretación geomorfológica, el movimiento de masas, la morfometría y el modelado hidráulico, entre otros, solo se citan materiales y métodos de esta naturaleza. Adicionalmente, diversos insumos complementan los procesos de generación cartográfica para los temas abordados.

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron los siguientes datos:

- ✓ Fotografías aéreas digitales del sensor IGAC *Vexcel Ultracam D* con 0,3 metros de resolución espacial.
- ✓ Archivos de aerotriangulación.
- ✓ Modelos Digitales del Terreno en formato vectorial CAD (Diseño Asistido por Ordenador) a escala 1:10.000.

El software utilizado para el proyecto incluyó:

- ✓ *Erdas Imagine 2011*: Una suite de fotogrametría que incluye *Lps*, *Stereo Analyst* y *ErMapper* para el procesamiento digital de imágenes.
- ✓ *CAD MicroStation Pro600*: Se utiliza para procesos de restitución fotogramétrica.
- ✓ *ArcGIS-ArcMap 10.x*: Para capturar y almacenar información interpretada en bases de datos espaciales.
- ✓ *Avenza PDF Maps*: Se utiliza para actividades de control de campo.

Además, los equipos de visualización estereoscópica, procesamiento de datos y almacenamiento de información comprendieron estaciones fotogramétricas equipadas con sistemas *RealD*, sistemas *Z-Screen*, gafas polarizadas pasivas y estaciones de trabajo de

rango medio o computadoras con capacidades de procesamiento múltiple.

4. Resultados

4.1. Delimitación de cuencas hidrológicas

La delimitación de las cuencas hidrológicas se llevó a cabo a través de una serie de actividades metódicas:

4.1.1 Estudio de la zona aportadora

Esta fase comenzó con la generación de un ráster que representaba la dirección del flujo, utilizando la herramienta Dirección de flujo de la extensión *Spatial Analyst* en *ArcMap*. La incorporación de ubicaciones para entidades que faciliten la determinación del área de la cuenca, como las estaciones hidrometeorológicas fue un paso posterior.

4.1.2 Análisis y determinación de redes de drenaje

Aunque existe la disponibilidad de redes de drenaje en formato vectorial como líneas de corte, los procesos requirieron la aplicación de herramientas SIG, en particular la extensión *Spatial Analyst* en *ArcMap 10*. Este requerimiento se deriva de la necesidad crítica de realizar la caracterización hidrológica del modelo de superficie, que depende del análisis de la dirección del flujo hacia y desde cada celda (Florinsky, 2016).

La integración de estas herramientas y metodologías permitió una comprensión integral de la dinámica hidrológica dentro del área de estudio, lo que en última instancia mejoró la precisión de las evaluaciones de riesgo de inundación y el modelado de los procesos de transporte de agua y sedimentos (Gesch, 2018; García *et al.*, 2018).

4.1.3 Delimitación de cuencas: análisis de acumulación de caudales

Otro paso en la delimitación de las cuencas fue el análisis de la acumulación de caudales. Para ello, se obtuvo un ráster en el que las celdas con caudal concentrado permitieron la identificación de canales y arroyos. Las celdas con valores superiores a cero indicaban la presencia de

acumulación de flujo, mientras que las celdas con un valor almacenado de cero representaban puntos de elevación más altos y ayudaban a identificar las divisiones de las cuencas hidrográficas (Kakavas y Nikolakopoulos, 2021).

4.1.4 Delimitación de cuencas

Finalmente, para la delimitación de la cuenca, se deben considerar los puntos de salida conocidos. Con el apoyo de productos anteriores, estos puntos generaron automáticamente el ráster para la cuenca de estudio base. Los algoritmos de procesamiento para dicha zonificación son generalmente similares tanto en el software propietario como en el de código abierto. En este caso, se utilizaron *Arc Hydro* de *ArcGIS* e *Hydrology* de *ArcMap* versión 10.x, empleándose específicamente la herramienta *Watershed* en esta última. Del mismo modo, la delimitación de la cuenca hidrológica se basa en la suma de ciertas variables. Dada la naturaleza y precisión de los datos, y la correcta aplicación de los procesos mínimos requeridos, esto facilita la obtención de resultados fiables. El interés estadístico en esto como base para los procedimientos de modelación hidráulica dirigidos a la predicción debería resultar en valores de baja incertidumbre (Ishtiaque y Rahman, 2020; González y Viveen, 2020).

4.2 Generación cartográfica y condicionantes del terreno

La generación cartográfica para el análisis de los factores condicionantes del terreno ha mejorado considerablemente con la adopción del Modelo Digital del Terreno (MDT), el cual ha facilitado diversas actividades vinculadas a los estudios geoespaciales. Siguiendo las directrices metodológicas establecidas por el ITC en 1992, se procedió inicialmente a la elaboración de un mapa geomorfológico, apoyado por cartografía geológica y geomorfológica temática, así como por técnicas avanzadas de interpretación estereoscópica y procesamiento digital de imágenes ópticas y multispectrales.

Tradicionalmente, la obtención de parámetros morfométricos, tales como pendiente, orientación y curvaturas (verticales y

horizontales), se basaba en el uso de cartografía básica, fotografías aéreas analógicas y herramientas óptico-mecánicas, como estereoscopios de espejo y barras de paralaje. Con el tiempo, se incorporaron productos derivados de tecnologías más avanzadas como el *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), con una resolución de 30 metros. No obstante, la disponibilidad de MDTs más precisos, en combinación con los avances en las tecnologías de información geográfica, ha enriquecido significativamente los proyectos cartográficos, mejorando la precisión de los productos fotogramétricos (González y Viveen, 2020).

Aunque en muchos casos los procesos de cartografía temática ambiental no enfatizan la alta precisión espacial, la incorporación de fuentes de datos de alta calidad, ya sea por la escala final o por los atributos inherentes a los datos, ha incrementado la fiabilidad de los productos resultantes. El Modelo Digital de Elevación (DEM) se ha convertido en un recurso clave, no solo por su mayor resolución espacial, sino también por superar los requerimientos mínimos de adquisición en términos de precisión (Boulton y Stokes, 2018; Di Girolamo, 2008).

4.2.1 DTM como entrada para el análisis y generación de cartografía geomorfológica

Para la interpretación de las unidades geomorfológicas que sustentan el mapa de peligrosidad, se empleó el DTM fotogramétrico. A partir de este DTM se generaron modelos de sombras y tintes hipsométricos, lo que hizo más claro el proceso deductivo del terreno en cuanto a la delimitación de las formas del terreno. Los usuarios de estos productos han descubierto que la iluminación oblicua, que brilla desde un ángulo moderado entre el horizonte y el cenit, y desde el noroeste, proporciona imágenes más intuitivas de la forma del terreno (Florinsky, 2016; Kennelly, 2008). Los modelos de sombra ofrecen una clara ventaja para la interpretación geomorfológica.

4.2.2 Análisis y generación de cartografía de peligro de deslizamiento mediante ortofotomosaicos, DTM, anaglifos y estaciones fotogramétricas

La generación de cartografía en estudios geoespaciales, especialmente en el análisis de deslizamientos de tierra, implica el uso de productos fotogramétricos como herramienta fundamental. Sin embargo, la evaluación y consolidación de la información existente en bases de datos robustas es igualmente esencial para alcanzar los objetivos de las misiones corporativas. En la creación de mapas de densidad de procesos de deslizamiento, factores condicionantes y susceptibilidad del terreno, el Modelo Digital del Terreno (DTM) juega un papel clave. No obstante, la interpretación estereoscópica se vuelve crucial para la identificación precisa de deslizamientos de tierra, incluyendo distintas formas y zonas de susceptibilidad. Los productos fotogramétricos digitales derivados que se emplean incluyen modelos digitales de sombras, hipsométricos, ortofotos, ortofotomosaicos y anaglifos, apoyados por estaciones fotogramétricas, lo que permite una mayor precisión en los resultados (González y Viveen, 2020; Grohmann, 2018).

Para la creación de mapas de densidad de deslizamientos, además de los datos históricos proporcionados por instituciones como CORANTIOQUIA, DAPARD, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el IDEAM y el INVÍAS, es fundamental la interpretación de productos como ortofotos, ortofotomosaicos y anaglifos a través de estaciones fotogramétricas. Estos productos aprovechan las ventajas de la estereoscopia para un análisis más detallado. Entre los beneficios del uso combinado del DTM, ortofotomosaicos y anaglifos en estas tareas se destacan la posibilidad de cargar y procesar en cualquier software GIS, una referencia espacial definitiva dentro del bloque fotogramétrico, la capacidad de visualización 3D sin necesidad de estaciones fotogramétricas, y la generación de escenarios completos a escalas como 1:25.000.

Sin olvidar, que los procesos de control de calidad, verificación y validación también se optimizan mediante el uso de estos insumos fotogramétricos, basándose en las definiciones clásicas de deslizamientos de Van Zuidam (1985) y Varnes (1978), lo que refuerza la precisión de los estudios realizados.

4.3 Metodología para la interpretación

El proceso de interpretación se llevó a cabo utilizando las herramientas de captura y digitalización proporcionadas por el software *ArcMap* de ArcGIS y *Stereo Analyst* de Erdas. Para el primero, se utilizó el ortofotomosaico, y el requisito de visualización estereoscópica se cumplió con el anaglifo del mismo producto. Ambos conjuntos de datos se proporcionaron en un formato de mapa a escala 1:25.000, lo que permitió a los intérpretes lograr un mayor rendimiento y una visión general completa. En este último caso, el trabajo se llevó a cabo en un entorno puramente estereoscópico utilizando

bloques fotogramétricos ajustados. Ambos enfoques permitieron el almacenamiento directo en una Geodatabase (GDB), una base de datos espacial específica del software ArcGIS, que se creó previamente a partir de la clasificación de eventos de movimiento en masa a partir de registros históricos de la zona (Ishtiaque y Rahman, 2020).

Dado que la interpretación y la digitalización se realizaron directamente en el GDB, los atributos de los eventos identificados se registraron simultáneamente durante el proceso de interpretación, como se muestra en la TABLA 1.

TABLA 1. Clasificación de movimientos y atributos mínimos según la definición del BGF. Fuente: Proyecto IGAC-CORANTIOQUIA, 2023

TIPO	CODIGO	ESTADO	FECHA	SENSOR REMOTO	SITIO	CLASIFICACION	GRADO	DESCRIPCION
TIPO	Se capturaran cinco tipos <i>Deslizamientos traslacional, Deslizamiento rotacional, Flujo, Reptación, Terracetas-Pata de Vaca</i> .							
CODIGO	Corresponde al código asignado al tipo de evento que para el siguiente caso es							
	<i>Flujo</i>	Dfi						
	<i>Deslizamiento Rotacional</i>	Ddr						
	<i>Deslizamiento Traslacional</i>	Ddp						
	<i>Reptación</i>	Dsf						
	<i>Terracetas-pata de vaca</i>	Dtz						
ESTADO	INACTIVO/ ACTIVO		ACTIVO: SUELO DESNUDO INACTIVO: SI EL EVENTO SE ENCUENTRA CUBIERTO					
FECHA:	Corresponde a la fecha del sensor de captura del evento.							
SENSOR REMOTO	Imagen a partir de la cual ha sido capturada el evento							
SITIO	Corresponde a ciertas características del lugar donde se presente el evento que para el siguiente caso se manejaran de tres tipos							
	Urbano							
	Rural							
	Vial							
CLASIFICACION	Serán de dos tipos : Movimiento en masa y erosión							
GRADO	Corresponde a una calificación dada a los procesos clasificados como terracetas-pata de vaca-reptación los cuales son: (__) ligera, (__) moderada, (__) severa							
DESCRIPCION	Se realizará en el siguiente orden: (característica identificada en la interpretación. Ejemplo golpe de cuchara , seguida de alguna observación que se considere relevante dentro del evento capturado)							

En el ámbito de la geomática y el análisis geoespacial, la precisión y eficiencia son esenciales para la correcta interpretación de los datos. La integración y digitalización de datos geoespaciales directamente en una base de datos geográfica (GDB) optimiza el flujo de trabajo, garantizando una mayor fiabilidad y consistencia en los datos registrados. Este enfoque sigue las mejores prácticas en la gestión de datos espaciales, donde la asignación de atributos en tiempo real durante la fase de

interpretación es crítica para mantener la integridad de la información (Kennelly, 2008).

Kennelly (2008) destaca que el uso de modelos de relieve sombreado y tintes hipsométricos derivados de Modelos Digitales de Elevación (DEM) contribuye a una comprensión más intuitiva de la morfología del terreno, permitiendo una delimitación más precisa de las unidades geomorfológicas. Cuando se combinan con técnicas de visualización estereoscópica, como las proporcionadas por herramientas como *Stereo Analyst*, se posibilita un análisis exhaustivo

de las características del relieve y de eventos de movimiento en masa. La integración de ortofotomosaicos con anaglifos estereoscópicos en sistemas como ArcMap permite una mayor productividad y una visión más completa del paisaje. Además, la capacidad de almacenar datos en una GDB garantiza que los atributos detectados se registren de manera meticulosa, creando una base de datos espacial robusta para futuros análisis y toma de decisiones (Ishtiaque y Rahman, 2020; Boulton y Stokes, 2018).

La evolución de los criterios de interpretación visual, que surgieron con el uso de fotografía analógica, sigue siendo aplicable a imágenes satelitales y productos fotogramétricos digitales. Elementos como la textura, estructura y disposición espacial son fundamentales en la interpretación de datos geoespaciales, permitiendo distinguir accidentes geográficos y evaluar características geomorfológicas críticas para el monitoreo ambiental y la evaluación de riesgos (González y Viveen, 2020; Kennelly, 2008).

La interpretación visual es un proceso subjetivo que se beneficia de criterios estandarizados para mejorar la precisión y coherencia. La textura se refiere a los cambios tonales en una imagen que indican rugosidad o patrones de vegetación, mientras que la estructura se centra en la disposición geométrica de los objetos, ayudando a identificar características naturales y artificiales. La disposición espacial, o la relación posicional entre los objetos, proporciona un contexto fundamental para entender las interrelaciones dentro del paisaje (Lillesand *et al.*, 2015).

El uso de datos de alta resolución, como el ortofotomosaico con un valor GSD de 0,30 m, facilita la interpretación precisa de eventos de movimiento en masa. La combinación de ortofotomosaicos y visualización estereoscópica, ya sea a través de estaciones fotogramétricas o anaglifos generados a partir del DTM, refuerza la clasificación y comprensión de estos eventos, permitiendo un análisis detallado y fiable (Kakavas y Nikolakopoulos, 2021; Geng *et al.*, 2018). Estos avances en la teledetección y fotogrametría ofrecen una base sólida para la interpretación precisa y la toma de decisiones

geoespaciales (Lillesand *et al.*, 2015; Farr *et al.*, 2007)

En la FIGURA 9, la aplicación de la visión monoscópica al ortofotomosaico permite identificar el evento geológico mediante la detección de contrastes en la cobertura del terreno circundante. Aunque las sombras no se consideran un criterio primario, aportan información relevante para la delineación de movimientos de masa, contribuyendo a una mejor interpretación de estos fenómenos. Adicionalmente, la imagen anaglífica, al activar la estereoscopia, facilita la clasificación detallada del evento en una base de datos espacial preexistente.

El uso de la visión monoscópica en ortofotomosaicos es crucial para la identificación y análisis de eventos de movimiento en masa, ya que esta técnica permite detectar variaciones en la cobertura del terreno, facilitando el reconocimiento de diferentes tipos de formaciones geológicas. A pesar de que las sombras no son el criterio fundamental en este proceso, su aporte es significativo para delinear con mayor precisión los movimientos de masa. Esta metodología es esencial para generar representaciones cartográficas detalladas y fiables de los peligros geológicos, proporcionando una herramienta clave en el análisis de riesgos y en la planificación geoespacial (Ramírez, 2020; Lillesand *et al.*, 2015).

La creación de mapas de densidad para los procesos de movimiento en masa es una herramienta clave para la comprensión y gestión de áreas de riesgo geológico. Estos mapas no solo permiten modelar y validar amenazas geoespaciales, sino que también son fundamentales para la planificación y gestión sostenible de las áreas afectadas, lo cual impacta positivamente la calidad de vida de las comunidades. En este contexto, la metodología aplicada al desarrollo del proyecto integra tanto los insumos como los procesos propuestos, garantizando una evaluación robusta del entorno (FIGURA 9).

La implementación de nuevas técnicas ha optimizado el trabajo de profesionales como intérpretes, hidrólogos, geólogos y analistas,

reduciendo significativamente costos, tiempos y procesos, sin comprometer la precisión. Estas mejoras han ampliado las aplicaciones y la utilidad de los mapas resultantes. Además, el análisis comparativo entre los métodos tradicionales analógicos y las técnicas digitales pone de manifiesto las ventajas de estas últimas, especialmente en términos de precisión, eficiencia y capacidad de integración con tecnologías de información geoespacial.

4.4 Ventajas de las entradas analógicas

El uso de entradas analógicas en proyectos similares al desarrollado tiene varias ventajas:

- ✓ Disponibilidad pública: las fotografías analógicas, la cartografía básica y temática son fácilmente accesibles para el público.
- ✓ Costos moderados: los insumos básicos son generalmente menos costosos.
- ✓ Amplio rango temporal: los datos analógicos abarcan desde 1935 hasta 2005, dependiendo de la región y el período de actividad del IGAC.
- ✓ Manejo físico: la gestión de la información física puede ser sencilla.
- ✓ Técnicas alternativas: las técnicas de mapeo que utilizan estos recursos siguen siendo una opción viable (Kakavas y Nikolakopoulos, 2021; Mendivelso, 2008).

Sin embargo, existen desventajas notables:

- ✓ Los procesos interpretativos requieren dispositivos como estereoscopios para su visualización.
- ✓ Las transferencias de interpretaciones a un mapa base requiere de equipos como el *Sketch master* o el *estereosketch*, que están quedando obsoletos.
- ✓ La precisión cartográfica final, debido a los instrumentos de transferencia, suele ser de aceptable a baja.
- ✓ Las interpretaciones deben ser digitalizadas para ser utilizadas en medios digitales y posteriormente generadas en una base de datos espacial.
- ✓ La creación de mapas de pendiente y orientación requiere mediciones físicas en cartografía básica, que pueden ser

engorrosas a pesar de la disponibilidad del SRTM DTM (Modelo Digital del Terreno).

- ✓ Limitadas imágenes anteriores a 2006, antes de que la cámara digital *Vexcel Ultraca-D* entrara en funcionamiento.
- ✓ Posible deterioro de las imágenes de contacto con el paso del tiempo.
- ✓ Trazar cartografía e imprimir fotografías puede ser costoso (Ramírez *et al.*, 2020; Lillesand *et al.*, 2015).

4.5 Ventajas de los productos fotogramétricos digitales

Los productos fotogramétricos digitales ofrecen varias ventajas interpretativas:

- ✓ Las actividades son semiautomáticas, aumentando la eficiencia.
- ✓ Es compatible con varios programas de información geográfica y herramientas de procesamiento digital de imágenes.
- ✓ Los productos cartográficos se fabrican a menor coste y en menos tiempo.
- ✓ Los algoritmos se pueden aplicar para obtener productos, operar y analizar diversas fuentes de entrada.
- ✓ El almacenamiento digital garantiza la conservación de los datos a lo largo del tiempo.

Verificación de campo: los dispositivos portátiles, como tabletas y ordenadores portátiles, permiten la verificación y validación sobre el terreno (Geng *et al.*, 2018; Lillesand *et al.*, 2015). Sin embargo, existen desventajas:

- ✓ El funcionamiento de varios programas puede requerir una amplia especialización.
- ✓ El software especializado puede ser costoso.
- ✓ Se requiere una gran capacidad de almacenamiento para imágenes en bruto y ortofotomosaicos.
- ✓ Los usuarios necesitan formación para utilizar eficazmente las herramientas de software.
- ✓ Son necesarios ajustes de bloques (triangulación aerodinámica), lo que conlleva costes elevados en función del número de imágenes.
- ✓ Procesamiento semiautomatizado de productos: productos como los DEM requieren una edición meticulosa para su uso.

en morfometría y modelos de simulación hidráulica (Ramírez *et al.*, 2020; Geng *et al.*, 2018; Lillesand *et al.*, 2015).

5. Discusión

El desarrollo e implementación de mapas de densidad para procesos de movimiento en masa es una herramienta crítica para realizar un análisis geológico y ambiental integral. Estos mapas son esenciales para el modelado y la validación de amenazas geológicas, lo que garantiza una mejor gestión del territorio y de las comunidades que habitan en áreas de riesgo. Al combinar tanto técnicas tradicionales como innovadoras, se logra un equilibrio que permite aprovechar lo mejor de cada enfoque, lo cual resulta crucial para la precisión y la eficiencia en la gestión de amenazas.

El avance hacia la adopción de entradas digitales ha permitido una mejora significativa en el manejo y análisis de datos, aportando precisión y versatilidad. Las técnicas digitales facilitan un mapeo más detallado y exacto, que es crucial para una evaluación y gestión más efectiva de los riesgos, lo que, a su vez, contribuye a la sostenibilidad ambiental y a la seguridad de las comunidades (González y Viveen, 2020; Geng *et al.*, 2018).

Aunque existen avances hacia las técnicas digitales es importante reconocer los procedimientos asociados a la información analógica, como aquellos necesarios para la verificación de campo tras la fase de fotointerpretación. El uso de equipos tradicionales, como el estereoscopio de bolsillo, la brújula y el altímetro, sigue siendo esencial en ciertas fases del proceso. Estas herramientas se complementan con la selección de fotografías representativas de áreas clave, tales como carreteras, autopistas y ríos, y la preparación de un equipo especializado para el trabajo de campo (Kakavas y Nikolakopoulos, 2021; Mendivelso, 2008).

En contraste, el uso de aplicaciones móviles como PDF Maps ha revolucionado los procedimientos de verificación y control de campo. Esta aplicación permite la carga y descarga de mapas en formato .pdf

georreferenciados, con acceso tanto en línea como fuera de línea, optimizando el proceso de mapeo. Además, el GPS integrado de los dispositivos móviles facilita el rastreo de ubicaciones en tiempo real, lo que mejora la precisión en la validación de datos (Florinsky, 2016; Di Girolamo, 2008).

Una de las ventajas más significativas de esta tecnología es la capacidad de registrar y actualizar bases de datos de campo mediante el uso de mapas, mosaicos y anaglifs interpretados. Al incorporar el uso de anteojos anaglifs de bajo costo, la estereoscopia puede aplicarse fácilmente en el campo, lo que permite identificar con precisión los atributos geoespaciales de los eventos analizados. Adicionalmente, las rutas de trabajo trazadas en formato .kmz, compatibles con software SIG, optimizan el flujo de trabajo y mejoran la conectividad entre las actividades de campo y la oficina (Grohmann, 2018).

El uso de herramientas digitales en las ciencias geográficas ha transformado los métodos tradicionales, facilitando la creación de productos cartográficos de alta precisión, como los ortofotomosaicos, DEM y anaglifs. En el marco de este proyecto se generaron 60 hojas cartográficas a escala 1:25.000, junto con 4.572 fotografías aéreas ajustadas a una escala 1:100.000, lo que contribuyó al control de calidad y validación de los productos. El entorno digital ha mostrado ser mucho más eficiente en comparación con los métodos analógicos, que requieren más tiempo debido a tareas engorrosas como el escaneo y la digitalización de datos (Grohmann, 2018; Farr *et al.*, 2007).

6. Conclusiones

La migración de procesos analógicos a digitales ha permitido una notable mejora en la precisión de los productos cartográficos. El uso de ortofotomosaicos y Modelos Digitales del Terreno (MDT) ha proporcionado una representación más detallada y confiable de las características geomorfológicas. Estas herramientas permiten un análisis espacial preciso de las zonas de riesgo por inundaciones y deslizamientos, aumentando la exactitud en la

delimitación de áreas vulnerables y la identificación de factores condicionantes en los fenómenos de riesgo.

La cartografía temática generada constituye un insumo crucial para la gestión integral del riesgo, proporcionando información clara, precisa y georreferenciada. Esta herramienta apoya la planificación territorial, permitiendo a los tomadores de decisiones implementar estrategias de mitigación y respuesta más efectivas y eficientes. De igual modo, facilita la priorización de recursos en áreas críticas, optimizando la ejecución de medidas preventivas ante fenómenos hidrometeorológicos y geológicos.

La capacidad de los productos generados para integrarse con sistemas de información geográfica preexistentes favorece la interoperabilidad entre diversas entidades gubernamentales y no gubernamentales. Esta integración promueve la colaboración

multidisciplinaria y la coordinación en la gestión de riesgos, facilitando el intercambio de información crítica y la toma de decisiones basadas en datos sólidos. La sinergia interinstitucional resultante es clave para una respuesta integral y articulada frente a amenazas naturales, mejorando la resiliencia territorial.

La diseminación de los resultados del estudio y la formación de actores locales en la interpretación de la cartografía temática ha sido fundamental para fortalecer la capacidad de respuesta ante emergencias. Este enfoque fomenta una cultura de prevención al incrementar la comprensión de los riesgos a nivel comunitario, capacitando a las poblaciones vulnerables para actuar proactivamente. De igual modo, la apropiación de estas herramientas por parte de los actores locales promueve una resiliencia comunitaria y una respuesta más eficaz ante eventos adversos.

7. Referencias citadas

- BENITO, C. A. 2008. "Anáglifo digital del relieve de la península Ibérica". *Tierra y Tecnología*, 4(33): 71-74.
- BOULTON, S. y M. STOKES. 2018. "¿Qué DEM es mejor para analizar el desarrollo del paisaje fluvial en terrenos montañosos?". *Geomorfología*, 310: 168-187. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.03.002_.
- CARVAJAL, J. H. 2012. *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- COELHO, L. y B. J. NUNES. 2007. "Fotogrametría digital". EdUERJ. Río de Janeiro, Brasil.
- CORANTIOQUIA (2016-2019). 2023. *Por el patrimonio ambiental de nuestro territorio. Plan de acción 2016-2019*. Disponible en: <http://www.corantioquia.gov.co/>.
- CHENG, Y.; MENG, T.; SHIH, K. y H. CHI. 2018. "Método de planificación de rutas de UAV para la reconstrucción digital de modelos de terreno: un ejemplo de ventilador de escombros". *Automatización en la Construcción*, 93: 214-230. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.024>.
- DI GIROLAMO, A. 2008. *Las elevaciones de los puntos determinadas con GPS. Variaciones locales de las desviaciones geoidales en Trentino Alto Adige*. Informe técnico. Oficina de Topografía Geodésica—Región Autónoma de Trentino Alto Adige. Bolzano, Italia.

- ESRI. 2014. *ESRI*. Disponible en: <http://www.arcgis.com/features/>.
- FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M. ET AL. 2007. "La misión de topografía de radar del transbordador". *Revista de Geofísica*, 45: RG2004. Disponible en: <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>.
- FLORINSKY, I. V. 2016. *Análisis digital del terreno en edafología y geología*. Elsevier/Academic Press.
- GARCÍA, S.; RODRÍGUEZ, E.; MIRALLES, I.; LUNA, L.; DOMENE, M.; SOLÉ, A. e Y. CANTÓN. 2018. "Las técnicas de recolección de agua basadas en la modificación del terreno mejoran la supervivencia de la vegetación en la restauración de tierras secas". *CATENA*, 167: 319-326. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.004>.
- GENG, X.; XU, Q.; XING, S.; HOU, Y. F.; LAN, C. Z. y J. J. ZHANG. 2018. "Procesamiento fotogramétrico de imágenes de barrido lineal planetario basadas en ortofotos aproximadas". *Archivos Internacionales de Fotogrametría, Teledetección y Ciencias de la Información Espacial*, XLII-3: 391-396. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-391-2018>.
- GESCH, D. B. 2018. "Mejores prácticas para evaluaciones basadas en la elevación del aumento del nivel del mar y la exposición a inundaciones costeras". *Fronteras en Ciencias de la Tierra*, 6: 230. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00230>.
- GONZÁLEZ-MORADAS, C. y W. VIVEEN. 2020. "Evaluación de los DEM ASTER GDEM2, SRTMv3.0, ALOS AW3D30 y TanDEM-X para los Andes peruanos frente a puntos de control terrestre GNSS de alta precisión y métricas geomorfológico-hidrológicas". *Teledetección del Medio Ambiente*, 237: 111509. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111509>.
- GROHMANN, C. H. 2018. "Evaluación de DEMs TanDEM-X en sitios brasileños seleccionados: comparación con SRTM, ASTERGDEM y ALOS AW3D30". *Teledetección del Medio Ambiente*, 212: 121-133. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.043>.
- ISHTIAQUE, A. y M. S. RAHMAN. 2020. "Evaluación de los efectos de los modelos digitales de elevación en el mapeo de susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el distrito de Rangamati, Bangladesh". *Teledetección*, 12(17): 2.718. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs12172718>.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI-IGAC & CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA-CORANTIOQUIA. 2013. *Proyecto estimación y mapificación de amenazas por inundaciones y fenómenos de remoción en masa en la jurisdicción de Corantioquia, con el uso de tecnologías geoespaciales. Fase I: cuenca baja de los ríos Cauca y Nechí*. [Convenio interadministrativo 9199 de Corantioquia y 4226 del IGAC del 12 de marzo de 2012]. Bogotá, Colombia.
- KAKAVAS, M. P. y K. G. NIKOLAKOPOULOS. 2021. "Modelos digitales de elevación de desprendimientos de rocas y deslizamientos de tierra: una revisión y metaanálisis". *Geociencias*, 11(6): 256. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/geosciences11060256>.

- KENNELLY, P. J. 2008. "Mapas de terreno que muestran sombreado de colinas con curvatura". *Geomorfología*, 11(102): 567-577. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.046> .
- LERMA G. J. L. 2002. *Fotogrametría moderna: analítica y digital*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- LILLESAND, T.; KIEFER, R. W. y J. CHIPMAN. 2015. *Teledetección e interpretación de imágenes*. John Wiley & Sons. Hoboken, NJ.
- MARQUES, K.; DEMATTE, J.; MILLER, B. e I. LEPSCH. 2018. "Segmentación geomorfométrica de elementos complejos de ladera para el mapeo digital detallado de suelos en el sudeste de Brasil". *Geoderma Regional*, 14: e00175. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00175> .
- MENDIVELSO, D. 2008. *Metodología para levantamientos fotogeológicos*. Memorias curso de fotogeología, geomorfología y aplicaciones de percepción remota. Bogotá, Colombia. (Inédito).
- MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B. y A. LADSON. 1991. "Modelización digital del terreno: una revisión de las aplicaciones hidrológicas, geomorfológicas y biológicas". *Procesos Hidrológicos*, 28(5): 3-30. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103> .
- PENNA, D.; BORGA, M.; ARONICA, G. T.; BRIGANDÌ, G. y P. TAROLLI. 2014. "La influencia de la resolución de la cuadrícula en la predicción de deslizamientos de tierra poco profundos naturales y relacionados con carreteras". *Hidrología y Ciencias del Sistema Terrestre*, 18: 2.127-2.139. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/hess-18-2127-2014>.
- QUINTERO, M. E.; QUINTERO, M. y J. VILA. 2018. "Explorando el uso de la tierra/cambio de cobertura de la tierra y los impulsores en las montañas andinas en Colombia: Un caso en el Quindío rural". *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 634: 1.288-1.299. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.359>.
- RAMÍREZ, S.; ESPEJO, C.; RAMÍREZ, M.; PÁEZ, A. & D. GÓMEZ. 2020. "Method for vertical accuracy assessment of digital elevation models derived from remote sensing data". *Revista Geográfica Venezolana*, 61(1): 100-119. Disponible en: <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/regeoven/article/view/17880/21921929140>.
- VAN ZUIDAM, R. 1985. *Fotointerpretación aérea en análisis de terrenos y cartografía geomorfológica*. Editorial Smith. La Haya, Países Bajos.
- VARNES, D. J. 1978. "Tipos y procesos de movimiento de taludes". En: R. L. SCHUSTER y R. J. KRIZEK (Eds.), *Análisis y control de deslizamientos de tierra*, (pp. 11-33). [Informe especial 176 de la Junta de Investigación del Transporte]. Academia Nacional de Ciencias. Washington D. C. Disponible en: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr176/176-002.pdf>.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Bogotá, Colombia; julio, 2024. Revisión octubre, 2024

Mapping a rice region in South America using Geo Big Data and Sentinel 2

Mapeo de uma região arroceras em Sudamérica utilizando
Geo Big Data y Sentinel 2

Mapeamento de uma região de arroz na América do Sul usando
Geo Big Data e Sentinel 2

Giancarlo Alciaturi¹, María del Pilar García-Rodríguez² y Virginia Fernández³

¹ Universidad Complutense de Madrid, Programa de Doctorado en Geografía

² Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Geografía
Madrid, España

³ Universidad de La República, Departamento de Geografía
Montevideo, Uruguay

galciatu@ucm.es; mpgarcia@ucm.es; vivi@fcien.edu.uy

Alciaturi: <https://orcid.org/0000-0003-1687-9593>

García: <https://orcid.org/0000-0002-7237-2335>

Fernández: <https://orcid.org/0000-0003-2891-1896>

Abstract

Geo Big Data and Sentinel-2 have been extensively employed to map rice paddies and general land use/land cover. Focusing on the environmental value and relevance of rice production in Cuenca de la Laguna Merín in Uruguay, the research aimed to 1) map rice paddies and other land use/land cover classes, 2) compare the capabilities of Random Forest and Support Vector Machine for classifying two different Sentinel-2 time series stacks, and 3) identify the most important features according to Random Forest. In addition to quoted imagery and classifiers, the materials include Google Earth Engine, GEEMAP, and Python's Scikit-learn GridSearchCV. The main methods comprised hyperparameter tuning, supervised classification, and accuracy assessment. Quoted assessment revealed that the four maps performed well. The feature importance analysis highlighted the Near-Infrared and Shortwave Infrared as the most relevant features. Future research should focus on integrating diverse data sources and comparing different time series than those employed here.

KEYWORDS: Uruguay; laguna Merín; Land use/Land Cover; rice paddies.

Resumen

Geo Big Data y Sentinel-2 son eficientes para cartografiar arrozales y otras categorías de uso y cobertura del suelo. Dada la relevancia ambiental de la cuenca de la Laguna Merín y su rol en la producción arrocería del Uruguay, con este trabajo se pretendió: 1) mapear los arrozales y clases generales de uso y cobertura del suelo; 2) comparar el desempeño de *Random Forest* y *Support Vector Machine* para clasificar dos juegos temporales Sentinel-2, y 3) identificar las bandas más importantes según *Random Forest*. Los materiales incluyen las imágenes y clasificadores mencionados, *Google Earth Engine*, *GEEMAP*, y *GridSearchCV* de *Python*. Como métodos, destacan el ajuste de hiperparámetros, la clasificación supervisada, y el cálculo de métricas de precisión. Estas últimas sugieren que los cuatro mapas aportan resultados óptimos. Las bandas infrarrojas cercano y de onda corta son las más relevantes para clasificar. Futuras iniciativas deben enfocarse en integrar imágenes de sensores diversos y utilizar series temporales distintas a las aquí empleadas.

PALABRAS CLAVE: Uruguay; laguna Merín; uso/cobertura del suelo; arrozales.

Resumo

Geo Big Data e Sentinel-2 são amplamente reconhecidos para mapear arrozais e outras categorias de uso e cobertura do solo. Dada a relevância ambiental da bacia da Lagoa Mirim e seu papel na produção de arroz no Uruguai, este trabalho teve como objetivos: 1) mapear os arrozais e classes gerais de uso e cobertura do solo, 2) comparar o desempenho dos algoritmos *Random Forest* e *Support Vector Machine* na classificação de duas séries temporais de Sentinel-2, e 3) identificar as bandas mais importantes segundo *Random Forest*. Os materiais incluem as imagens e classificadores mencionados, *Google Earth Engine*, *GEEMAP* e *GridSearchCV* do *Python*. Os métodos utilizados incluem ajuste de hiperparâmetros, classificação supervisionada e cálculo de métricas de precisão. Estas últimas sugerem que os quatro mapas fornecem resultados ótimos. As bandas de infravermelho próximo e infravermelho de onda curta são as mais relevantes para a classificação. Futuras iniciativas devem se concentrar em integrar imagens de sensores diversos e utilizar séries temporais diferentes das aqui empregadas.

PALAVRAS-CHAVE: Uruguay; lagoa Merín; uso/cobertura do solo; arrozais.

1. Introduction

Rice production is vital for Uruguay's domestic economy and global food security. It is considered the most widely cultivated crop, grown in over one hundred countries, and consumed by at least half of the world's population (Food and Agriculture Organization [FAO], 2004). Uruguay is one of the most export-oriented country globally, with approximately 95% of its total production sold in foreign markets (Pittelkow *et al.*, 2016). The local production model, known as 'irrigated lowland', facilitates the extensive use of agricultural machinery and allows for more land-extensive production compared to traditional methods used in various ecosystems such as irrigated upland, rainfed lowland, rainfed upland, and deepwater/floating ecosystems (Bray, 1986).

Uruguay's cultivation is limited to a single season, typically from late October for establishment to March–April for maturity. The Cuenca de la Laguna Merín (CLM) has historically been a leading region in Uruguay, boasting the largest surface area, production, and workforce, as reported by the Ministerio de Ganadería, Agricultura, y Pesca (MGAP, 2020). These conditions render this region the most representative of the country.

By identifying the spatial distribution of Rice Paddies (RP) and other general Land Use / Land Cover (LULC) classes through corresponding cartography, policymakers and agricultural experts can enhance their understanding of the rural environments and develop effective strategies for sustainability.

LULC mapping could be appropriately developed by Geo Big Data (GeoBD) and Sentinel 2 (S2). GeoBD processes remote sensing data while considering velocity, veracity, volume, and value characteristics. This allows for handling massive, diverse, multi-temporal, multi-scalar, and complex data (Zhu, 2019) through tools such as Earth Observation Data Cube online portals (EOD) and Analysis-Ready Data (ARD). EODs are a solution for storing, organising, managing, and analysing remote sensing data in a previously impossible way (Giuliani *et al.*, 2017) because they overcome restrictions connected to traditional

local processing and data distribution methods. ARD is an excellent way to carry out remote sensing projects, as users can focus on analysis and denote inputs with the highest scientific standards and level of processing required for direct use in assessing LULC (Dwyer *et al.*, 2018). ARD must satisfy conditions such as geometric and radiometric consistency and be organised into a specific format that supports stacking along the time dimension to create a time series or dense mosaics using all existing pixel values. GeoBD provides robust capabilities for linking time series and current machine learning classifiers for cartography, focusing on broad LULC (Simón-Sánchez *et al.*, 2022) or RP (Huang & Zhang, 2022).

S2 is the multispectral freely accessible option offering the highest spatial (up to 10 m) and temporal resolutions. The revisit frequency of each S2 satellite is 10 days, and the combined constellation revisit is 5 days.

The current scientific literature has contributed to LULC mapping in Uruguay (e.g. Stanimirova *et al.*, 2022; Zarza *et al.*, 2022; Alciaturi *et al.*, 2023). However, there is a noticeable lack of research on mapping rice crops. Therefore, this study aims to accomplish the following objectives: 1) map RP and other LUC classes for the agricultural period known as 'Zafra' from 2019 to 2020; 2) compare the classification capabilities of Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM) for two S2 layer stacks; and 3) identify the most important features according to the RF.

Due to various limitations, SVM has constraints for identifying features importance. The availability of high-resolution imagery from Planet Group for cartography validation drove the decision to focus on the 2019-2020 season. Moreover, this time frame marked the most recent period at the beginning of the study.

Based on the resources available on Scopus or the Web of Science, this research project is considered pioneering in RP mapping for Uruguay.

2. The case study's geographic context

The study area, located between 31° 49' 48" S—34° 26' 37" S and 53° 10' 51" ° W—55° 21' 35" W, covers 27,892 km². This surface is part of Uruguay and Brazil's 62,250 km² trans boundary watershed (also known as Cuenca de la Laguna Merín), (FIGURE 1). The predominant ecosystem, known as 'pampa', consists of diverse herbaceous

communities and wetlands. The region could be divided into three landscape units based on meters above sea level: mountain ranges (150 – 517), hills (50 – 150), and lowlands (under 50), (Achkar *et al.*, 2012). From a farming perspective, the soils in the study area are generally poorly drained and offer prospects for mechanization in certain zones.

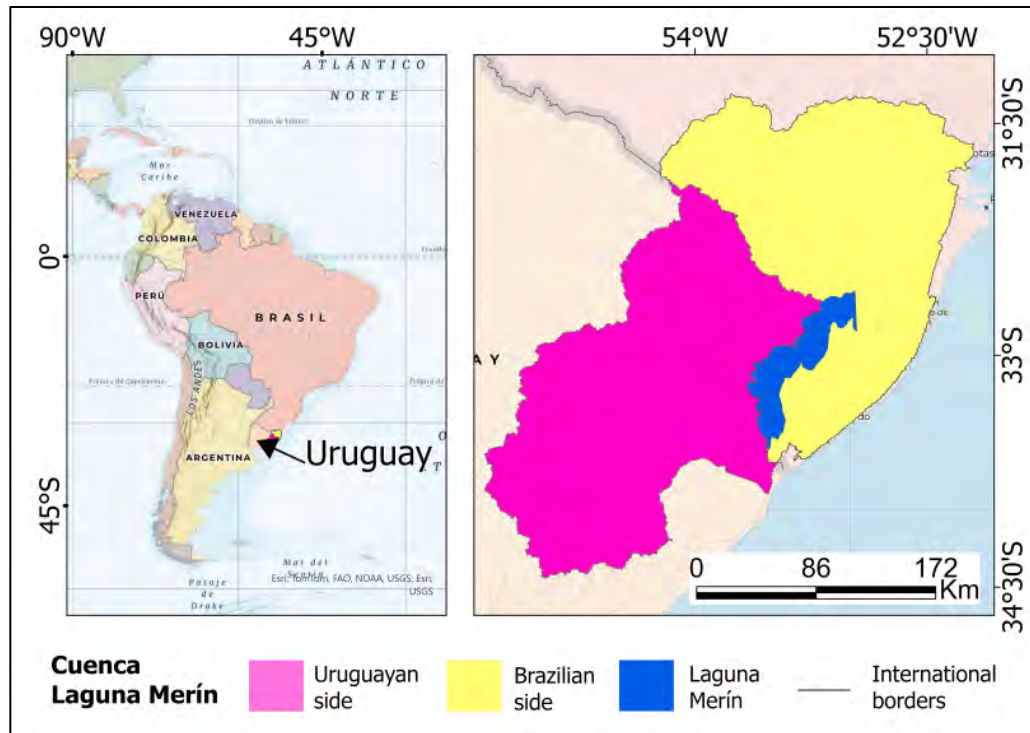


FIGURE 1. Study area's regional and local context

Lowlands are the most representative landscape with low drainage rates, leading to extensive flooded areas suitable for wetlands. The main reason for rice farming in CLM is the optimal water volume and flow from Laguna Merín or streams from an extensive network (Frank, 2022). Certain social factors positively impact rice activities, including government policies, partnerships between farmers and millers, and the development of local infrastructure such as roads and electricity (Zorrilla, 2015). Furthermore, the region also supports livestock, soybean cultivation, and small-scale fisheries.

3. Materials

This section focuses on the time series database (TSD), the classifiers, the software, the training samples, and the validation dataset.

3.1 Time series database

S2L2A is the Analysis ARD used to construct the TSD. Products are geometrically rectified and provide bottom-of-atmosphere reflectance. This reflectance is calculated by correcting the scattering of air molecules (Rayleigh scattering), the effects of atmospheric gases, such as oxygen, ozone, and water vapour, and the absorption and scattering due to aerosol particles. The usage of

TSD aims to differentiate between classes with different phenological cycles, with a specific focus on rice paddies (RP). It also enables the classification of other summer crops (OSC), bare land and its transitions (BLT), water bodies (WA), natural grasslands, livestock, and post-agricultural fields (NGPA), seasonally flooded vegetation (SFV), native forest and commercial afforestation (NFC), and built-up areas (BU). The TSD consists of two-layer stacks. One layer contains optical bands and the Normalised Vegetation Index (NDVI), while the other layer includes quoted inputs along with the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Land Surface Water

Index (LSWI). These quoted Indices have been widely used for RP (Zhao *et al.*, 2021) and LUC mapping (Tobar-Díaz *et al.*, 2023). The TSD construction required outlining the RP cultivation, spectral and time filtering, temporal composites and index computing, and layer stacking.

3.1.1 Outlining the RP cultivation

An outline of the process of cultivating RP in CLM is presented based on local experts. The cultivation process comprises five stages: planting, germination, vegetative reproduction, senescence-maturation, and harvesting (FIGURE 2).

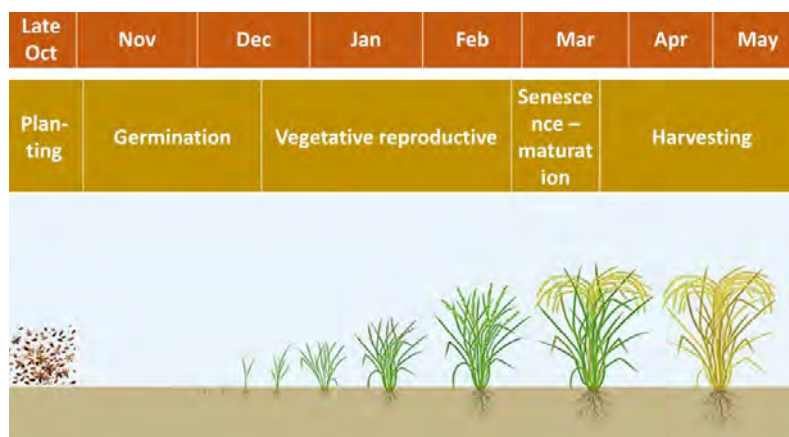


FIGURE 2. RP evolution for CLM. Source: adapted from Kuenzer & Knauer (2013)

RP cultivation exhibits unique temporal and spectral features that enable its identification from other LULC classes. During planting to early vegetative growth (November to December), bare soil or shallow water layers with limited vegetation cover were observed. Subsequently, in January, signs of vegetative growth became apparent as the plants developed a dense canopy. The peak vegetative growth stage was witnessed in February when the rice plants displayed a vigorous and healthy canopy. Following the postharvest period (typically between March and May), the vegetation is cleared, leaving the ground resembling bare soil. This outline guided the following spectral and time filtering.

3.1.2 Spectral and time filtering

Spectral filtering is limited to B2, B3, B4, B8, B11, and B12. The absorption of leaf pigments, such as chlorophyll a and b and carotenoids, significantly impacts the visible part of incoming radiation. These pigments are closely linked to the plant's physiological status. In this way, Van Niel & McVicar (2004) determined that red reflectance starts at 10% during emergence, decreases to 2% at flowering and gradually increases to 16%–18% at maturity due to the loss of green brightness by leaves and stems and the yellowness of the rice grains. In addition, Blackburn (1998) stated that near-infrared (NIR) reflectance changes over time according to biomass, increasing from a minimum of 15% during early tillering to a

maximum of 50% during heading. Finally, Short Wave Infrared (SWIR) enhances substrate discrimination due to its water absorption properties (Casanova *et al.*, 1998).

The time filtering was limited to acquisitions from 10/1/2019 to 5/20/2020, with a cloud cover of 10% or less. The quoted imagery encompasses rice season and a few post-harvest days. This timeframe also lends itself to mapping the remaining LULC classes.

3.1.3 Temporal composites and Indices computing

Temporal composites (TC) are an effective way to

map large areas by combining pixels based on statistical measures such as mean, median, minimum, and maximum across matching bands within a specific period (Meng *et al.*, 2023). These calculations help fill in gaps in satellite data and reduce data anomalies (Carrasco *et al.*, 2022). A critical advantage is their possibility to avoid clouds and shadows.

This study calculated TC by taking the median value across filtered scenes grouped by specific acquisition dates and RP stages (TABLE 1). Each TC is represented visually using the RGB B8/B11/B4 combination (FIGURE 3).

TABLE 1. S2 temporal composites

Groups	Acquisition dates	RP stage
S2nov	11/04/2019; 11/16/2019	Germination / Vegetative reproductive*
S2deca	11/28/2019; 12/10/2019	Vegetative reproductive
S2decb	12/22/2019; 01/03/2020	Vegetative reproductive
S2jan	01/15/2020; 01/27/2020	Vegetative reproductive
S2feb	02/08/2020; 02/20/2020	Vegetative reproductive
S2mar	03/03/2020; 03/15/2020	Senescence maturation
S2may	05/16/2020; 05/18/2020	Post agricultural fields



FIGURE 3. S2 composites

The NDVI, EVI, and LSWI calculations used various spectral bands from each time group. The results are displayed in [FIGURE 4](#).

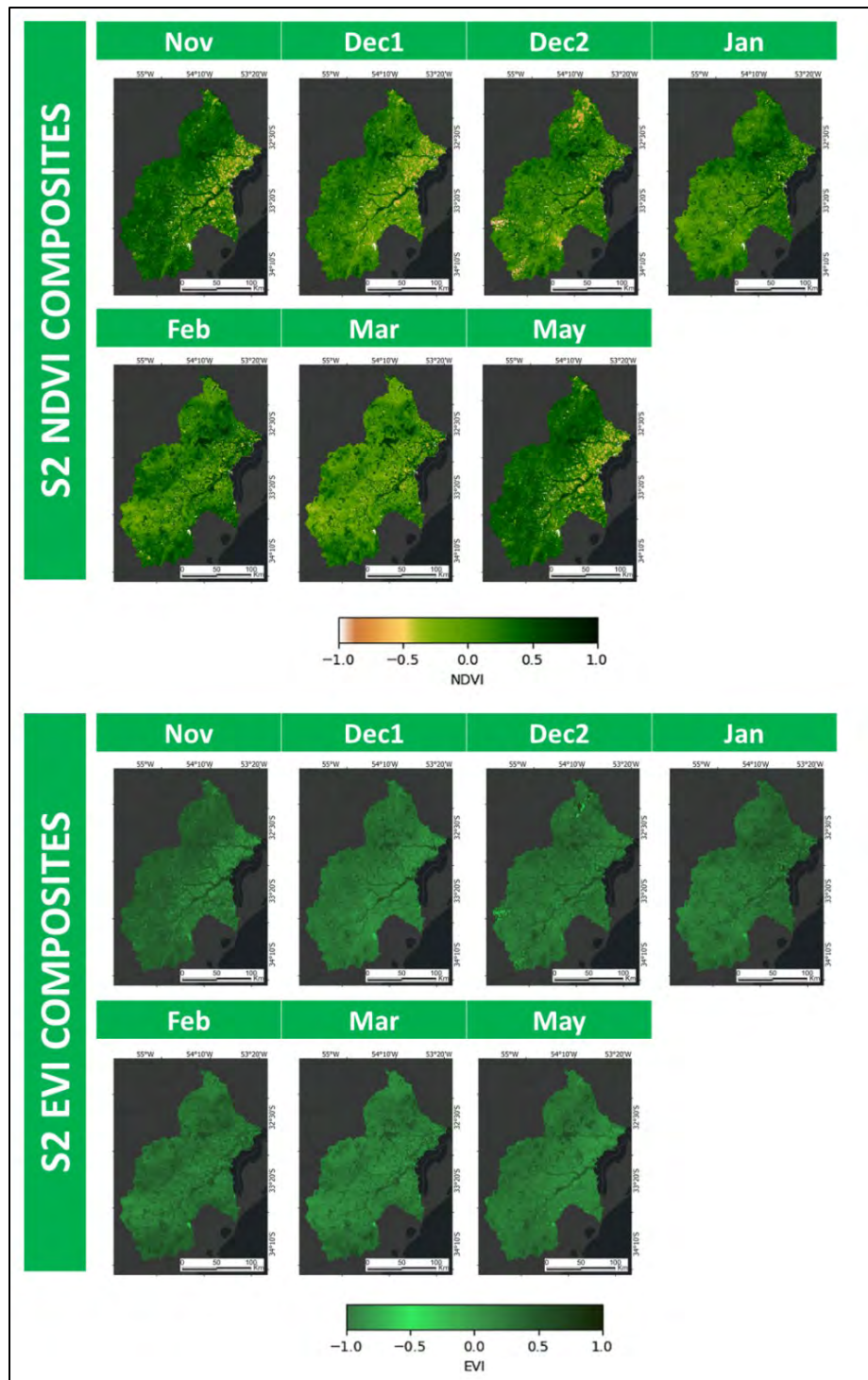


FIGURE 4. S2 Indices

3.1.4 Layer stacking

In [FIGURE 5](#), layer stacking is depicted. The first stack, TSD_1, was formed using spectral bands from each time group and NDVI. The second

stack, TSD_2, was created by adding the previous inputs and respective EVI and LSWI composites.

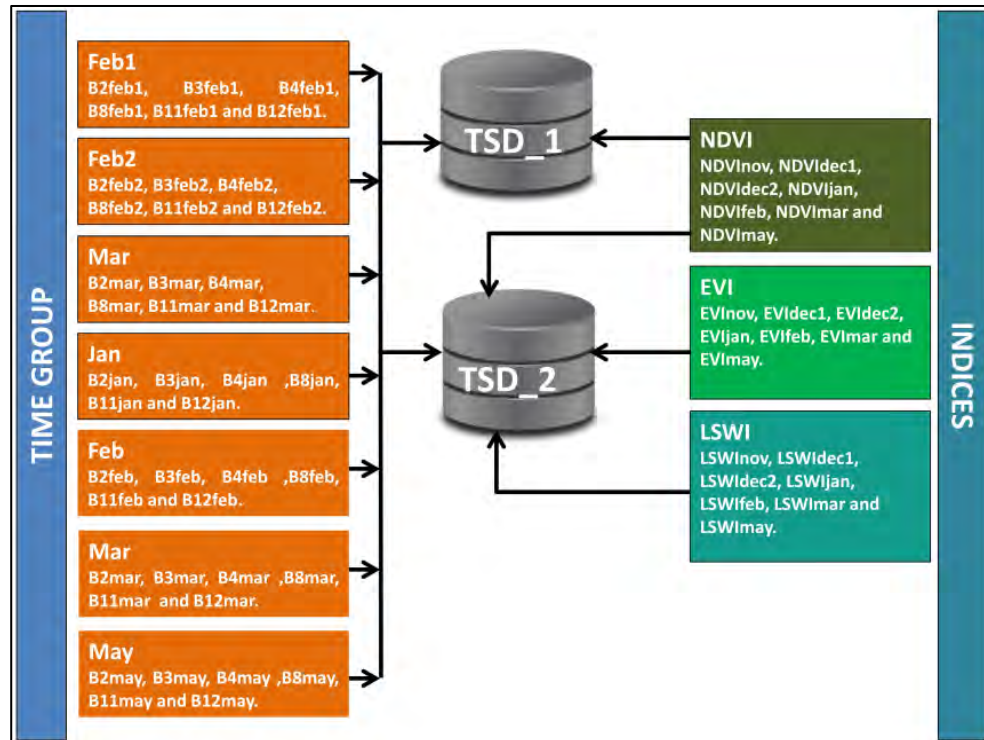


FIGURE 5. Layer stacking

3.2 The classifiers: Random Forest and Support Vector Machine

RF is a nonparametric statistical method used for classification tasks within a flexible framework. One of its main advantages is integrating data from different scales and sources (Ramo & Chuvieco, 2017). RF can identify the most prominent features by computing the impurity among decision trees using the mean decrease in Gini and the mean decrease in accuracy (Dunne *et al.*, 2023). The algorithm has three primary HPS that must be set before training: the number of trees (specifies how many decision trees will be built in the forest), variables per split (determines how many variables will be considered when making a split at each node), and minimum leaf population (sets the minimum number of samples required to be in a leaf node).

SVM is a supervised, nonparametric learning technique that constructs hyperplanes or sets of hyperplanes in a high-dimensional space. The key hyperparameters to set for SVM are the kernel type, which is a mathematical function used to transform input data into a higher-dimensional space, and the cost, which controls the balance between maximizing the margin and minimizing classification errors on the training set (Adugna *et al.*, 2022). One area for improvement of SVM is its inability to assess feature importance effectively, as it focuses on finding the best hyperplane to separate classes rather than individual feature weighting.

3.3 The software: GEE, GEEMAP & Python Scikit-Learn

GEE is a platform for retrieving, managing, and analysing large volumes of remote sensing data. Python was selected as the primary programming language for GEEMAP due to its compatibility with Scikit-learn's GridSearchCV. The last offers a wide range of capabilities, including assessing the importance of RF features and hyperparameter tuning (HPT) to identify the most effective combination of HPS (model) that enhance the

performance of RF and SVM. The models are determined through k-fold cross-validation (Marcot & Hanea, 2021).

3.4 The training dataset

Experts' opinions and visual inspection of the S2 composites support the creation of a training dataset by digitising various representative features of RP, OSC, BLT, WA, NGPA, SFV, NFC, and BU. TABLE 2 shows the number of pixels per class.

TABLE 2. Sampling pixels per class

Class	RP	OSC	BLT	WA	NGPA	SFV	NFC	BU
Pixels	2000	1960	1000	400	3000	500	1000	200

3.5 The validation database

It was crucial to create a thorough validation database using information from four different sources: field surveys, visual analysis of high-resolution imagery, the Dynamic World project (Brown *et al.*, 2022), and vector archives provided by experts in the rice industry. Essential matters are outlined below: a) Field surveys conducted on 10/2/2020 were instrumental in identifying different classes within the LUC, mainly RP, during a vigorous growth phase; b) polygons were digitised using imagery provided by the Planet consortium, specifically those acquired by the Dove constellation. The visual interpretation was carried out using the February monthly true-

colour composites, which are consistent with RP's high vegetative stage; and c) the Dynamic World project enabled the creation of time LUC maps based on predefined dates. This allows for the creation of samples (excluding RP) that were previously impossible to obtain.

This integrated approach optimised the creation of a validation dataset across all CLM, addressing limitations associated with incomplete acquisitions from a single source. TABLE 3 displays pixels per class. Additionally, the official rice surface statistics from MGAP (2020) support validation.

TABLE 3. Validation pixels per class

Class	RP	OSC	BLT	WA	NGPA	SFV	NFC	BU
Pixels	4404	2828	338	196	6164	836	1778	120

4. Methods

The methods include class sampling, feature importance calculation, hyperparameters tuning and model creation, classification, and accuracy assessment.

4.1. The class sampling

TSD_1 and TSD_2 stacks, along with the training dataset, were used to produce TSD_1sam and

TSD_2sam files. These files contain representative spectral and index values from each LULC class based on each layer stack.

4.2 Hyperparameter tuning and models creation

The HPT uses TSD_1sam and TSD_2sam files to determine the best models for classifying each layer stack according to RF and SVM. The first

step in HPT is to create a parameter grid as a dictionary of potential HPS and the values that need optimisation. [TABLE 4](#) presents the HPS suggested for RF and SVM, broadening the

alternatives proposed by Belgiu and Drăguț (2016) and Shetty (2019).

[TABLE 4.](#) Alternatives of RF for optimising

RF		SVM	
HPS	Alternatives	HPS	Alternatives
Number of trees	50, 162, 275, 387, 500	Kernel	Linear, polynomial, sigmoid, Radial Basis Function
Variables per split	2,4,6	Cost	2, 5, 10, 15, 20, 35, 30
Min leaf population	2,4,6	Gamma	0.1,1,2,3

The datasets TSD_1sam and TSD_2sam were split into two subsets for model creation and testing purposes. The model creation subset comprised 70% of the data, while the remaining 30% was designated for testing the performance of each model. To enhance the robustness of the evaluation, K-Fold Partitioning was utilized. This method involves dividing the dataset into K subsets (or 'folds') and training the model K times, each time using a different fold as the test set and the remaining folds as the training set. The results of these K tests are then averaged to obtain a general measure of the model's performance. For the RF models, an exhaustive search for hyperparameters was conducted using 10-fold cross-validation, evaluating 540 parameter combinations, and performing 5,400 fits. Similarly, for the SVM process, there were five-fold cross-validations for each of the 112 parameter combinations, leading to a total of 560 fits. The final model was chosen based on the best-performing model configuration, also known as HPS.

4.3 Feature importance calculation

Feature importance is calculated based on Gini importance, which measures the relative importance of each feature in the model. It is

determined from the decrease in Gini impurity resulting from splitting a node on a particular feature. Features with higher Gini importance are more influential in making predictions within the RF model.

4.4 Supervised classification

RF and SVM were optimised using models to classify TSD_1 and TSD_2.

4.5 Accuracy assessment

Validation was aided by extensively used statistics, such as overall accuracy (OA), user accuracy (UA), producer accuracy (PA) and Kappa coefficient (Kappa).

5. Results & discussions

The results and discussions are presented in four sections: model creation; maps, LUC surface estimations and accuracy statistics; efficiency of optical imagery and classifiers, and RF importance features.

5.1 Model creation

Based on each layer stack and classifier, a model was developed with corresponding optimal HPS values as detailed in [TABLE 5](#).

TABLE 5. Layer stack, classifier, model names, and optimal hyperparameters

Layer stack	Classifier	Model name	Optimal hyperparameters
TSD _1	RF	S2tsRFmap	Number of trees = 162; Variables per split = 4; Min leaf population = 2
	SVM	S2tsSVMmap	C=2; Kernel=Linear
TSD _2	RF	S2tsRFmap2	Number of trees = 275; Variables per split = 4; Min leaf population = 2
	SVM	S2tsSVMmap2	C=2; Kernel=Linear

5.2 Maps, LUC surface estimations, and accuracy statistics

Four different maps were generated (FIGURE 6): the S2tsRFmap, S2tsSVMmap, S2tsRFmap2, and S2tsSVMmap2.

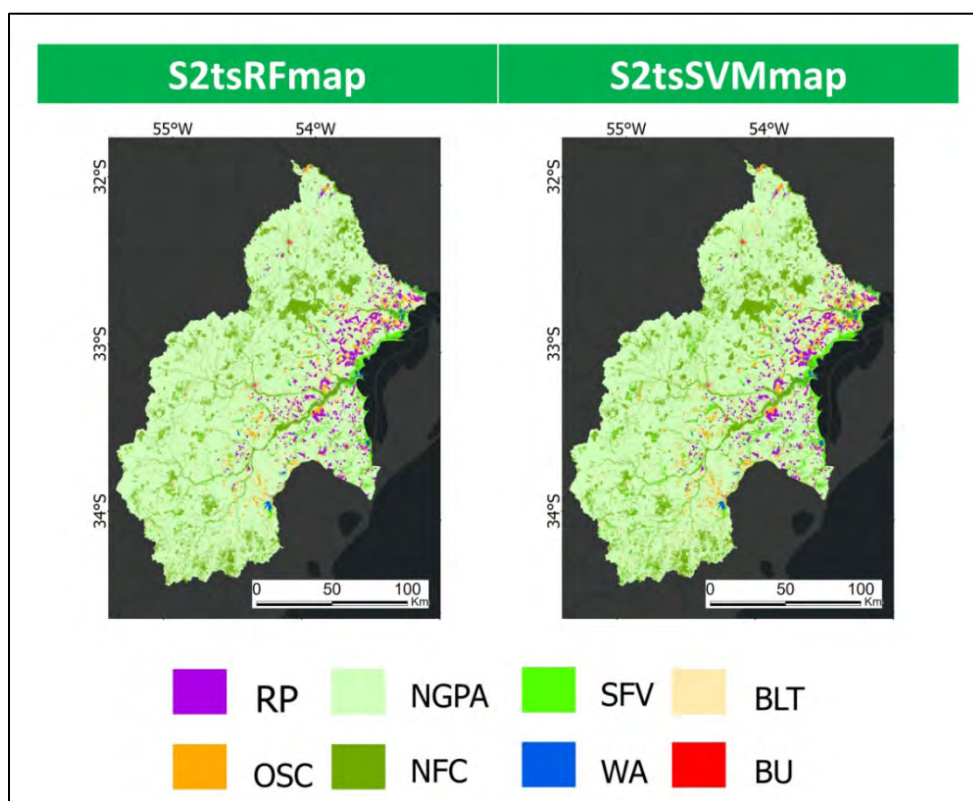


FIGURE 6. The maps

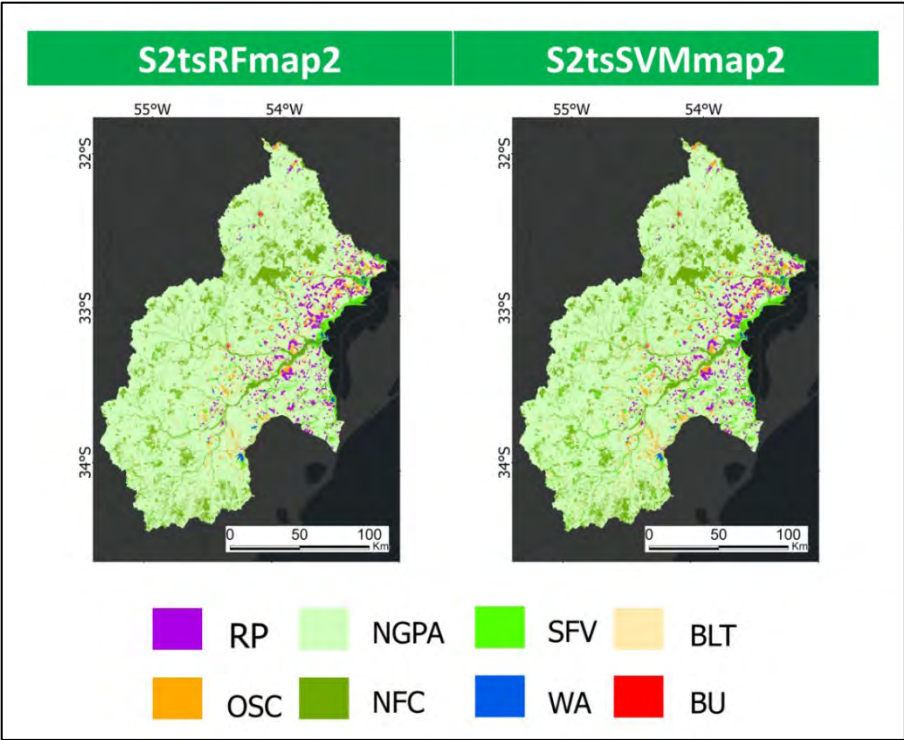


FIGURE 6. The maps (continued)

TABLE 6 provides an estimation of the surface area for each class. The RP category covers a small but consistent percentage of the CLM, ranging from 3.09% to 3.14%. On the other hand, NGPA dominates the landscape, as it covers over 70% of the area. NFC also covers a significant surface area, indicating the importance of commercial forestation activities. SFV shows inconsistency in classifier performance. BLT covers a range of 3.23% to 4.66%, which suggests that some areas are undergoing transitional phases or lack vegetation cover. Lastly, BU covers a small portion and comprises only 0.06% to 0.09%.

TABLE 6. Surface per class and map

Class	S2tsRFmap		S2tsSVMmap		S2tsRFmap2		S2tsSVMmap2	
	km ²	%	km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
WA	175.64	0.61	140.32	0.49	169.08	0.59	133.17	0.46
NGPA	21432.95	74.47	20813	72.32	21669.49	75.29	20814.29	72.32
NFC	3311.44	11.51	3532.64	12.27	3232.51	11.23	3531.82	12.27
SFV	957.36	3.33	1522.75	5.29	953.31	3.31	1523.90	5.29
BLT	1341	4.66	929.98	3.23	1190.27	4.14	931.10	3.24
OSC	644.66	2.24	919.58	3.2	655.36	2.28	919.27	3.19
RP	890.52	3.09	904.31	3.14	887.72	3.08	905.09	3.14
BU	26.56	0.09	18.13	0.06	22.27	0.08	22.23	0.08
Total	28780.12	100	28780.7	100	28780.01	100.00	28780.86	100.00

The study utilised confusion matrices (TABLE 7) to compute accuracy metrics such as OA, Kappa, and estimators specific to each class. The findings indicated that all models performed well, with S2tsRFmap registering an OA accuracy of 91.5% and a Kappa of 0.887, S2tsSVMmap recording an

OA accuracy of 92.6% and a Kappa of 0.901, S2tsRFmap2 achieving an OA accuracy of 92.4% and a Kappa of 0.899, and S2tsSVMmap2 is exhibiting an OA accuracy of 92.7% and a Kappa of 0.903.

TABLE 7. Confusion matrix for each map

S2tsRFmap									
	WA	NGPA	NFC	SFV	BLT	OSC	RP	BU	Total
WA	185	0	0	8	0	0	3	0	196
NGPA	0	5849	20	83	172	27	13	0	6164
NFC	0	181	1537	56	0	4	0	0	1778
SFV	16	4	57	736	0	10	13	0	836
BLT	0	56	0	0	282	0	0	0	338
OSC	0	143	0	0	280	2405	0	0	2828
RP	0	29	28	75	12	108	4152	0	4404
BU	0	5	0	0	13	0	0	102	120
Total	201	6267	1642	958	759	2554	4181	102	16664
OA			91,5%		Kappa			0.887	

TABLE 7. Confusion matrix for each map (continued)

S2tsSVMmap									
	WA	NGPA	NFC	SFV	BLT	OSC	RP	BU	Total
WA	180	0	0	14	0	0	2	0	196
NGPA	0	5877	18	114	70	55	14	0	6148
NFC	0	132	1521	140	1	2	0	0	1796
SFV	0	0	0	784	0	0	52	0	836
BLT	0	94	0	0	236	4	0	0	334
OSC	0	154	0	0	131	2539	0	0	2824
RP	0	12	28	97	0	80	4195	0	4412
BU	0	7	0	0	13	2	0	100	122
Total	180	6276	1567	1149	451	2682	4263	100	16668
OA			92,6 %		Kappa			0.901	
S2tsRFmap2									
	WA	NGPA	NFC	SFV	BLT	OSC	RP	BU	Total
WA	180	0	0	12	0	0	4	0	196
NGPA	0	5911	3	80	110	16	20	0	6140
NFC	0	163	1553	66	0	4	0	0	1786
SFV	32	8	11	749	0	0	24	0	824
BLT	0	85	0	0	247	0	0	0	332

OSC	0	142	0	1	262	2429	2	0	2836
RP	0	34	2	70	4	94	4208	0	4412
BU	0	6	0	0	13	0	0	103	122
TOTAL	212	6349	1569	978	636	2543	4258	103	16648
OA		92,4 %			Kappa			0.899	
S2tsSVMmap2									
	WA	NGPA	NFC	SFV	BLT	OSC	RP	BU	Total
WA	174	0	0	17	0	0	3	0	194
NGPA	0	5868	7	111	81	55	15	0	6137
NFC	0	113	1561	122	2	4	2	0	1804
SFV	0	1	0	779	0	0	52	0	832
BLT	0	104	0	0	226	4	0	0	334
OSC	0	175	0	0	143	2561	0	0	2879
RP	0	12	22	82	0	71	4210	0	4397
BU	0	4	0	0	13	0	0	101	118
Total	174	6277	1590	1111	465	2695	4282	101	16695
OA		92,7 %			Kappa			0.903	

TABLE 8 shows the accuracy statistics per class for all four maps. Most classes achieve optimal producer and user accuracy, while 'BLT' has poor

precision scores. In summary, consistent performance is revealed in almost all classes, and challenges persist in accurately classifying 'BLT'

TABLE 8. The accuracy statistics per class

Class	Maps							
	S2tsRFmap		S2tsSVMmap		S2tsRFmap2		S2tsSVMmap2	
	PA	UA	PA	UA	PA	UA	PA	UA
WA	0.92	0.94	1	0.92	0.85	0.92	1	0.9
NGPA	0.93	0.95	0.94	0.96	0.93	0.96	0.93	0.96
NFC	0.94	0.86	0.97	0.85	0.99	0.87	0.98	0.87
SFV	0.77	0.88	0.68	0.94	0.77	0.91	0.7	0.94
BLT	0.37	0.83	0.52	0.71	0.39	0.74	0.49	0.68
OSC	0.94	0.85	0.95	0.9	0.96	0.86	0.95	0.89
RP	0.99	0.94	0.98	0.95	0.99	0.95	0.98	0.96
BU	1	0.85	1	0.82	1	0.84	1	0.86

5.3 Efficiency of optical imagery and classifiers

The RP surface estimated for the four maps aligns with the 1,007 km² reported by MGAP (2020) for the Uruguayan Easter region. This is particularly

noteworthy when considering that CLM covers primarily, but not exclusively, the territory belonging to the region above.

The outcomes are consistent with recent studies that reached optimal accuracy for classifying RP or other LUC through optical imagery and RF or SVM. As prominent examples, (Zhang *et al.*, 2020) reached 88.57% overall in an SVM employed for map RP in the Banan District and Zhongxian County of Southwestern China. De Abreu *et al.* (2021) identified RP for Rio Grande do Sul in Brazil at 96.5% OA. İnalpulat (2023) mapped various LUC classes for Çanakkale Province in Türkiye and found that RF could identify RP areas with 96% OA. Wei *et al.* (2022) created RP maps for China from 2014 to 2019, with Kappa coefficients ranging from 0.67–0.80. This research and other evidence support using classifiers such as RF or SVM as trustworthy alternatives for RP and general LUC mapping.

Although many classes demonstrated optimal user and producer accuracy performance, some issues require further attention. One is differentiating between herbaceous (natural and artificial) and post-agricultural land, which can be difficult due to similarities in spectral behaviour. Reinerman *et al.* (2020) findings support this statement.

It is crucial to differentiate between natural and cultivated forests. However, determining whether a forest is young or sparse can be challenging, as these forests can be mistaken for native trees. Fassnacht *et al.* (2016) came to similar conclusions. Additionally, it is important to thoroughly sample harvests of OSC (like soybeans or corn), which will likely lead to a more detailed classification.

It is important to focus on improving and accurately documenting the mapping of SFV over an extensive time series, as the analysed period only covers one rice season, which may not be representative of SFV patterns. The classification of SFV posed challenges due to the presence of various landscape areas, including shrubs, swampy woodlands, palm groves, and wooded prairie, which are associated with marshy, lacustrine, artificial, riverine, and other systems. Meeting the criteria outlined by Sahour *et al.* (2022) was difficult due to the presence of fuzzy boundaries and transition zones between wetlands and adjacent uplands, as well as the

existence of elements causing variations in water spectral properties, making accurate mapping a challenge.

The low accuracy of BLT mapping is attributed to its resemblance to other substrates, such as sparse vegetation, leading to classification errors, particularly in classes with overlapping spectral characteristics.

5.4 The feature importance according to the RF

TSD_1 consists of 49 features. The top 20 belong to various moments during the 2019–2020 season, explaining 76% of the total. This underscores the importance and robustness of the time-series approach. Notably, features from May contribute about 27%, primarily due to their ability to highlight agricultural postharvest substrate evolution while retaining the spectral values of stable covers.

Elements from January, February and March, accounting for approximately 34% of the total, correspond with substantial phenological variations in dynamic features. The NDVI was highly ranked, and its importance summarised about 26%. This is because NDVI is capable of monitoring RP and OSC in multiple stages and because it has firmly known capabilities of correlating with the status of a broad array of vegetation properties for large-scale monitoring (Huang *et al.*, 2021), such as different kinds of pastures (Edirisinghe *et al.*, 2011) or forests with distinctive characteristics (Huete *et al.*, 2002). SWIR has significant, as it provides about 31% importance. This value is due to the band's capabilities of differentiating water content and spongy mesophyll structure in crops and other distinctive vegetation in the study area. Visible region contributions are determined to be about 12% and mostly belong to the red band.

TSD_2 consists of 63 features. The top 20 features contributed almost 70% of the dataset's overall importance. Like TSD_1, several coincidences are observed here. The top concerns from the dataset are present in different periods throughout the 2019–2020 season. May remains the period with the most importance, accounting for 23% of the dataset. Moreover, the broad significance of January, February and

March reaches almost 29%. These results support earlier statements explaining the relevance of the time patterns observed in TSD_1. At this top, the Indices reached an importance of almost 39%, distributed, respectively, 19.2% (EVI), 11.16% (NDVI) and 8.3% (LSWI). EVI's relative significance is explained by its capacity to identify vegetation structure variation, making it helpful in monitoring seasonal variations (Zhang *et al.*, 2023) like those analysed in this research. The arguments previously made for NDVI are also valid in this circumstance. LSWI's importance may be explained by its accuracy in monitoring land surface water changes and mapping irrigated and flooded regions, such as those in the study area.

6. Conclusions

The methodology has proven to be effective in identifying most classes. It is trustworthy and aligned with the research objectives in the context of GeoBD attributes such as velocity, veracity, volume, and value. The four models exhibited remarkable accuracy on both training and test datasets, indicating that they have effectively learned from the training and can generalize to other suitable data. The similar accuracy of the four maps in global and per-class statistics provides robust evidence of the optimal performance of the RF and SVM classifiers. However, using these classifiers did not result in

significant differences in accuracy. These results can be attributed to the adequate addressing of the HPT process, effectively avoiding typical constraints, such as methodological uncertainty, a common issue when implementing RF or SVM for LUC classifications.

The maps generated through a comprehensive analysis may serve as a valuable tool for addressing various questions related to rice production and other landscape environmental concerns associated with LUC in CLM. Since the availability of the S2 was optimal for this research, future initiatives should determine if other less dense time series, different from those utilised for this research or mono-temporal layer stacks, perform optimally in classifying LUC over the complex landscape that is CLM. Also, future research should employ diverse data sources, classify other crops besides RP, and test state of the art deep-learning approaches. Due to the study area's extensive surface, finding agricultural or other thematic detailed class validation datasets different from field campaigns or high-resolution imagery is challenging. Therefore, citizen science initiatives should be enforced as a potential source for achieving more comprehensive field sampling over time and space.

7. Acknowledgments

The authors thank the Planet Group for providing the high-resolution imagery and extend sincere thanks to Yannet Interian, José Rodó, and Gonzalo Carracelas.

8. References quoted

- ACHKAR, M.; DOMÍNGUEZ, A. y F. PESCE. 2012. *Cuenca de la Laguna Merín – Uruguay: Aportes para la discusión ciudadana*. Redes – Amigos de la Tierra. Montevideo, Uruguay.
- ADUGNA, T.; XU, W. & J. FAN. 2022. "Comparison of random forest and support vector machine classifiers for regional land cover mapping using coarse resolution FY-3C images". *Remote Sensing*, 14(3): 574.
- ALCIATURI, G.; UMPIÉRREZ, R.; AGUDELO, F.; PANZL, R. y V. FERNÁNDEZ. 2023. Una propuesta para cartografiar el uso/cobertura de suelo mediante el Geo Big Data. Uruguay, año agrícola 2021-2022. *XVIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica*. pp. 85-92. Cáceres, España. (Extended abstract).

- BELGIU, M. & L. DRĂGUȚ. 2016. "Random forest in remote sensing: a review of applications and future directions". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114: 24-31.
- BLACKBURN, G. 1998. "Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves". *International Journal of Remote Sensing*, 19(4): 657- 675.
- BRAY, F. 1986. *The rice economies: Technology & development in Asian societies*. Wiley. New York, United States of America.
- BROWN, C.; BRUMBY, S.; GUZDER-WILLIAMS, B.; BIRCH, T.; BROOKS, S.; MAZARIELLO, J.;... & A. TAIT. 2022. "Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping". *Scientific data*, 9(1): 251.
- CARRASCO, L.; FUJITA, G.; KITO, K. & T. MIYASHITA. 2022. "Historical mapping of rice fields in Japan using phenology and temporally aggregated Landsat images in Google Earth Engine". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 191: 277-289.
- CASANOVA, D.; EPEMA, G. & J. GOUDRIAAN. 1998. "Monitoring rice reflectance at field level for estimating biomass and LAI". *Field Crops Research*, 55(1-2): 83-92.
- DE ABREU, J.; LIMA, A.; DALAGNOL, R. & L. SOARES. 2021. Mapping irrigated rice using MSI/Sentinel-2 time series of vegetation indices and Random. *XXII Brazilian Symposium on Geoinformatics*, pp. 37-45. São José dos Campos, Brazil. (Extended abstract).
- DUNNE, R.; REGUANT, R.; RAMARAO-MILNE, P.; SZUL, P.; SNG, L., LUNDBERG, M. & D. BAUER. 2023. "Thresholding Gini variable importance with a single-trained random forest: An empirical Bayes approach". *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 21: 4354-4360.
- DWYER, J.; ROY, D.; SAUER, B.; JENKERSON, C.; ZHANG, H. & L. LYMBURNER. 2018. "Analysis Ready Data: enabling analysis of the Landsat archive". *Remote Sensing*, 10(9): 1363.
- EDIRISINGHE, A.; HILL, M.; DONALD, G. & M. HYDER. 2011. "Quantitative mapping of pasture biomass using satellite imagery". *International Journal of Remote Sensing*, 32(10): 2699-2724.
- FASSNACHT, F.; LATIFI, H.; STEREŃCZAK, K.; MODZELEWSKA, A.; LEFSKY, M.; WASER, L.; ... & A. GHOSH. 2016. "Review of studies on tree species classification from remotely sensed data". *Remote Sensing of Environment*, 186: 64-87.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). 2004. "The international year of rice". Disponible en: <https://www.fao.org/3/J1706e/J1706e00.htm>. [Consulta: May, 2021].
- FRANK, N. 2022. "Approach to labor mobility in the rice complex of Laguna Merín (Uruguay) using location-allocation techniques with Flowmap". *GeoFocus*, (29): 35-58.
- GIULIANI, G.; CHATENOUX, B.; DE BONO, A.; RODILA, D.; RICHARD, J.; ALLENBACH, K.;... & P. PEDUZZI. 2017. "Building an Earth Observations Data Cube: lessons learned from the Swiss Data Cube (SDC) on generating Analysis Ready Data (ARD)". *Big Earth Data*, 1(1-2): 100-117.

- HUANG, S.; TANG, L.; HUPY, J.; WANG, Y. & G. SHAO. 2021. "A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing". *Journal of Forestry Research*, 32(1): 1-6.
- HUANG, C. & C. ZHANG. 2022. "Time-series remote sensing of rice paddy expansion in the Yellow River Delta: towards sustainable ecological conservation in the context of water scarcity". *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 9(4): 454-468.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.; GAO, X. & L. FERREIRA. 2002. "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices". *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2): 195-213.
- İNALPULAT, M. 2023. "Comparison of Different Supervised Classification Algorithms for Mapping Paddy Rice Areas Using Landsat 9 Imageries". *Turkish Journal and Nature and Science*, 12: 52-59.
- KUENZER, C. & K. KNAUER. 2013. "Remote sensing of rice crop areas". *International Journal of Remote Sensing*, 34(6): 2101-2139.
- MARCOT, B. & A. HANEA. 2021. "What is an optimal value of k in k-fold cross-validation in discrete Bayesian network analysis?". *Computational Statistics*, 36(3): 2009-2031.
- MENG, X.; XIE, S.; SUN, L.; LIU, L. & Y. HAN. 2023. "Evaluation of temporal compositing algorithms for annual land cover classification using Landsat time series data". *International Journal of Digital Earth*, 16(1): 2574-2598.
- MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA y PESCA (MGAP). 2020. *Encuesta de arroz. Zafra 2019 – 2020*. Informe anual. Montevideo, Uruguay.
- PITTELKOW, C.; ZORRILLA, G.; TERRA, J.; RICCETTO, S.; MACEDO, I.; BONILLA, C. & A. ROEL. 2016. "Sustainability of rice intensification in Uruguay from 1993 to 2013". *Global Food Security*, 9: 10-18.
- RAMO, R. & E. CHUVIECO. 2017. "Developing a Random Forest Algorithm for MODIS Global Burned Area Classification". *Remote Sensing*, 9(11): 1193.
- REINERMANN, S.; ASSAM, S. & C. KUENZER. 2020. "Remote Sensing of Grassland Production and Management: a Review". *Remote Sensing*, 12(12): 1949.
- SAHOUR, H.; KEMINK, K. & J. O'CONNELL. 2022. "Integrating SAR and Optical Remote Sensing for Conservation-Targeted Wetlands Mapping". *Remote Sensing*, 14(1): 159.
- SHETTY, S. 2019. *Analysis of Machine Learning Classifiers for LULC Classification on Google Earth Engine*. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. University of Twente. Enschede. The Netherlands. Master dissertation.

- SIMÓN-SANCHEZ, A.; GONZALEZ-PIQUERAS, J.; DE LA OSSA, L. & A. CALERA. 2022. "Convolutional Neural Networks for Agricultural Land Use Classification from Sentinel-2 Image Time Series". *Remote Sensing*, 14(21): 5373.
- STANIMIROVA, R.; GRAESSER, J.; OLOFSSON, P. & M. FRIEDL. 2022. "Widespread changes in 21st-century vegetation cover in Argentina, Paraguay, and Uruguay". *Remote Sensing of Environment*, 282: 113277.
- TOBAR-DÍAZ, R.; GAO, Y.; MAS, J. y V. CAMBRÓN-SANDOVAL. 2023. "Clasificación de uso y cobertura del suelo a través de algoritmos de aprendizaje automático: revisión bibliográfica". *Revista de Teledetección*, 62: 1-19.
- VAN NIEL, T. & T. McVICAR. 2004. "Current and potential uses of optical remote sensing in rice-based irrigation systems: a review". *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(2): 155.
- WEI, J.; CUI, Y.; LUO, W. & Y. LUO. 2022. "Mapping Paddy Rice Distribution and Cropping Intensity in China from 2014 to 2019 with Landsat Images, Effective Flood Signals, and Google Earth Engine". *Remote Sensing*, 14(3): 759.
- ZARZA, R.; CAL, A.; FORMOSO, D.; MEDINA, S.; REY, D. & L. CARRASCO-LETELIER. 2022. "First delimitation and land-use assessment of the riparian zones at Uruguayan Pampa". *Ecological Informatics*, 71: 101781.
- ZHANG, W.; LIU, H.; WU, W.; ZHAN, L. & J. WEI. 2020. "Mapping rice paddy based on Machine Learning with Sentinel-2 multi-temporal data: model comparison and transferability". *Remote Sensing*, 12(10): 1620.
- ZHANG, T.; SONG, J.; FAN, Y.; LIU, Y.; YU, S., GUO, D. &...K. GUO. 2023. "Vegetation Index Research on the Basis of Tree-Ring Data: Current Status and Prospects". *Forests*, 14(10): 2016.
- ZHAO, R.; LI, Y. & M. MA. 2021. "Mapping paddy rice with satellite remote sensing: a review". *Sustainability*, 13(2): 503.
- ZHU, Y. 2019. "Geospatial semantics, ontology and knowledge graphs for Big Earth Data". *Big Earth Data*, 3(3): 187-190.
- ZORILLA, G. 2015. "Uruguayan rice: the secrets of a success story". *Rice Today*, 14: 18-19.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Montevideo, Uruguay; septiembre, 2024

Áreas de restricción para la expansión urbana de la ciudad de Pregonero, estado Táchira, Venezuela, 2023

Áreas de restrição para a expansão urbana da cidade de Pregonero,
estado de Táchira, Venezuela, 2023

Restriction areas for the urban expansion of the city of Pregonero,
Táchira State, Venezuela, 2023

Luis Francisco Balza-Moreno¹ y Erika Melanyela Ramírez Roa²

¹ Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales
Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales

² Centro de Formación Socialista Bicentenario (INCES)
Mérida, Venezuela

luisfranb@gmail.com; erikamelanyela@gmail.com

Balza: <https://orcid.org/0000-0002-6702-0431>

Ramírez: <https://orcid.org/0009-0009-1627-9871>

Resumen

En todo proceso de planificación urbana el proceso de expansión de las ciudades es un hito fundamental a considerarse, ya que la ocupación de nuevos espacios no solo conlleva a la demanda de servicios por parte de las personas sino también a la presencia y exposición de amenazas naturales en función del área de emplazamiento; por ende, esta investigación se enfocó en la identificación y análisis de las áreas sujetas a restricciones para la expansión urbana de Pregonero, siendo esta un área urbana localizada en la cordillera de los Andes venezolanos en la zona noreste del estado Táchira, específicamente en la parroquia Uribante perteneciente al municipio homónimo.

El trabajo se realizó mediante un análisis espacial de datos biofísicos que incluyó las variables: pendiente, geoformas, amenazas hídricas y cobertura vegetal, las cuales permitieron definir las unidades espaciales con restricciones asignándoles ponderaciones según sus potencialidades y limitaciones para la expansión urbana.

PALABRAS CLAVE: expansión urbana; áreas de restricción; análisis espacial.

Resumo

Em todo o processo de planejamento urbano, o processo de expansão das cidades é um marco fundamental a ser considerado, Já que a ocupação de novos espaços não só implica na procura de serviços por parte das pessoas, mas também na presença e exposição de ameaças naturais em função da área de localização; Portanto, esta pesquisa foi focada na identificação e análise das áreas sujeitas a restrições para a expansão urbana de Pregonero, sendo está uma área urbana localizada na cordilheira dos Andes venezuelanos na zona nordeste do estado de Táchira, especificamente na paróquia Uribante pertencente ao município homônimo. O trabalho foi realizado por meio de uma análise espacial de dados biofísicos que incluiu as variáveis: inclinação, geoformas, ameaças hídricas e cobertura vegetal, as quais permitiram definir as unidades espaciais com restrições atribuindo-lhes ponderações de acordo com suas potencialidades e limitações para o crescimento urbano.

PALAVRAS-CHAVE: expansão urbana; áreas de restrição; análise espacial.

Abstract

In any urban planning process, the process of expanding cities is a key milestone to be considered, because the occupation of new spaces not only leads to demand for services by people but also to the presence and exposure of natural threats depending on the area of location; Therefore, this research focused on the identification and analysis of areas subject to restrictions for urban expansion of Pregonero, being this an urban area located in the Venezuelan Andes Cordillera in the Northeast of the Táchira State, specifically in the parish of Uribante belonging to the homonymous municipality. The work was carried out by means of a spatial analysis of biophysical data that included the variables: slope, geoforms, water threats and vegetation cover, which allowed to define the spatial units with restrictions assigning weights to them according to their potential and limitations for urban expansion.

KEYWORDS: Urban expansion, restricted areas, spatial analysis.

1. Introducción

Es una realidad innegable que el acelerado crecimiento urbano a escala planetaria se presenta hoy como uno de los fenómenos socio-espaciales más trascendentales que ha experimentado la humanidad desde sus orígenes; por ello, el hombre ha manifestado la inquietud por conocer el espacio geográfico donde habita y sobre el cual posee la capacidad de transformación, modificando progresivamente la dinámica de sus interacciones con el entorno natural que lo rodea. En los últimos años, el crecimiento de las ciudades ha dado un freno y según la Organización de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat, 2022), la tendencia de rápida urbanización global fue temporalmente ralentizada por la pandemia de COVID-19; sin embargo, el reporte concluye que las ciudades continuarán creciendo y el futuro de la humanidad es urbano.

En Venezuela, las ciudades experimentaron transformaciones importantes en las últimas décadas, desde un rápido proceso de urbanización con el desarrollo técnico y la construcción de infraestructuras que permitieron iniciar, de un modo u otro, el estilo de vida moderno, generando presión sobre el mercado de tierras y viviendas que, como consecuencia de los cambios en las formas de uso y ocupación del suelo, han dado origen a una organización espacial con muy poca planificación y con limitados mecanismos de gestión.

Pregonero, una ciudad localizada en el estado Táchira, en la década de los años 30 del siglo pasado, se encontraba aislada del resto del estado debido a la carencia o deficiencia de las vías de comunicación; su gran potencial agrícola estuvo estancado por un largo tiempo; esto se mantuvo hasta que en el gobierno del General Eleazar López Contreras (1935-1941) comenzó la construcción de infraestructuras de comunicación vial. Es allí cuando Pregonero comienza a superar los obstáculos de transporte y tuvo conexión con otros centros poblados cercanos. La accesibilidad con las zonas periféricas mejoraron, lo que contribuyó con el dinamismo de las actividades económicas de este

centro poblado, fundamentalmente la agricultura. De acuerdo con los registros demográficos existentes para el municipio Uribante, es a partir del año 1961 que Pregonero evidenció una progresiva tendencia de crecimiento, lo que se derivó en una transformación rur-urbana, pasando de ser un sector plenamente rural a un pequeño centro urbano, cuya función es de lugar central de influencia local, abastecedora de bienes y servicios y sus entornos inmediatos.

Alrededor de 1977, Pregonero ya era una zona con numerosos caminos de tierra que permitían la interrelación con Potosí, Guaraque, Fundación y demás aldeas y caseríos aledaños. La construcción del complejo hidroeléctrico 'Leonardo Ruíz Pineda', en los años 80, a pocos kilómetros de Pregonero, generó un aumento en el crecimiento demográfico debido a la gran oferta de empleo.

En su momento, la población enfrentó cambios en el modo de vida conocido, ya que la importancia del complejo hidroeléctrico influyó sobre las costumbres y tradiciones lo que contribuyó a su consolidación como un centro importante dentro del municipio Uribante y sus alrededores; a finales del siglo XX, Pregonero era una ciudad por donde transitaban pobladores de La Grita y San Antonio de Caparo, sirviendo además como centro de distribución de mercancías y ganado para pobladores provenientes de los Llanos de Barinas que se dirigían hacia la zona de La Grita, Guaraque, Bailadores y Tovar (Moreno, 1995); todo ello reforzando el importante papel que fue adquiriendo desde el punto de vista funcional, dinamismo que se reflejó en el aumento de la superficie ocupada y de las actividades económicas asociadas al comercio y la prestación de servicios; no obstante, el emplazamiento de este centro poblado sobre una terraza aluvial de origen fluvial con áreas de elevadas pendientes debido a su posición intramontana, es una limitante para la expansión urbana, dadas las grandes restricciones que posee.

Es por lo señalado que esta investigación se enfocó en identificar las áreas de restricción para

la expansión urbana de esta ciudad, bajo el enfoque del análisis espacial, teniendo en cuenta las condiciones limitantes tanto de su emplazamiento como en su posición geográfica.

2. Materiales y métodos

Esta investigación es de tipo documental y de campo donde se utilizaron documentos y otros recursos existentes sobre la temática, así como datos y material cartográfico que permitieron analizar el proceso de expansión urbana de la ciudad de Pregonero. Tiene un nivel explicativo, donde a través de herramientas de teledetección y cartografía automatizada se obtuvieron insumos que permitieron dar con los argumentos necesarios para establecer su área de ocupación, así como identificar las zonas de restricción para el crecimiento espacial de la ciudad. Esta investigación se desarrolló en varias etapas que involucraron la revisión documental y obtención de insumos cartográficos, el procesamiento de dicha información, elaboración de la cartografía y la caracterización geográfica del área de estudio.

Aun cuando la escala de trabajo fue de 1:10.000, se realizó la recopilación de hojas topográficas de Cartografía Nacional a escala 1:25.000 tomando en cuenta que el nivel de detalle de la información, específicamente de las curvas de nivel se corresponden con esta escala, debido a que el área de estudio no cuenta con información a más detalle. Asimismo, se obtuvo un mapa geológico a escala 1:50.000 para la digitalización de unidades geológicas y contactos litológicos.

Se buscó y seleccionó material cartográfico en formato analógico y digital, siendo el caso de fotografías aéreas e imágenes satelitales suministradas por instituciones como la Mapoteca del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales (IGCRN), el Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSB) y servidores web como el del Servicio Geológico de los Estados Unidos, información que fue utilizada para la corrección y actualización de toda la cartografía (TABLA 1).

Estos recursos proporcionaron los elementos básicos esenciales para conocer las condiciones topográficas y de emplazamiento del área en la

que se emplaza la ciudad de Pregonero, sirviendo de base para la interpretación de algunas de las variables presentes como la hidrografía, toponimia, pendiente, vialidad y curvas de nivel, extraídas estas últimas en su mayoría a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés), que se descargó de manera gratuita del portal de *Alaska Satellite Facility* (ASF) *ALOS PALSAR*, con 3 escenas y de fecha 07-07-2010.

Las fotografías aéreas fueron georreferenciadas en el sistema de coordenadas *SIRGAS REGVEN UTM* Zona 19N, mediante un proceso de transformación con el algoritmo Polinomial 3, siendo este el más utilizado, ya que permite que los puntos de control (PCT) coincidan con sus respectivas coordenadas Norte y Este y con ello que cada hoja georreferenciada tenga la mayor precisión en las coordenadas.

Luego se aplicó la corrección atmosférica para las imágenes satelitales a través del plugin SCP (*Semi automatic classification plugin*) haciendo uso del software libre *Quantum Gis* para luego ser reproyectadas. Seguidamente se inició el proceso de vectorización de los diferentes elementos de interés, bien sea en polígonos, líneas o puntos, convirtiendo la información de formato ráster a vectorial, lográndose vectorizar la vialidad y la hidrografía; en el caso de las curvas de nivel se obtuvieron cada diez metros de distancia. Digitalizadas las curvas de nivel principales cada 100 metros y las secundarias cada 20 metros, la hidrografía (ríos y quebradas), la vialidad (carretera de cemento, carretera de tierra, carretera pavimentada de dos vías y caminos de tierra) y los centros poblados fueron rectificadas y actualizadas haciendo uso de la imagen satelital *Google Earth Pro* del 2021 y del portal *OpenStreetMap*.

Los criterios para definir el área urbanizada, fueron estructurales representados por construcciones y edificaciones que, por su dimensión y densidad, permitieron definir el polígono urbano. Entendiendo además que según los criterios utilizados por Ducci (2002), el polígono urbano son todas aquellas áreas construidas que están separadas entre sí por una distancia inferior a 500 metros lineales,

incluyendo otros lugares de uso urbano como las áreas verdes que se encuentren rodeadas por edificaciones. Para delimitar el área de estudio se utilizaron criterios biofísicos y antrópicos. Se realizaron trazados en línea recta empleados para definir los tramos entre los puntos donde la topografía y las parcelas circundantes se

adecuaban a las formas del relieve; la línea de cota fue otro criterio usado para definir los tramos donde se tenían las mayores altitudes, así como la línea divisoria de agua, vías y caminos de tierra. Una vez delimitada el área de estudio se determinó que la superficie que ocupa es de 700,8 hectáreas (FIGURA 1).

TABLA 1. Recursos cartográficos y geomáticos utilizados para la investigación

Recurso	Especificaciones	Fuente
Hoja de Cartografía Nacional	5840 III SE. Uribante. Fecha: 1970 Escala: 1:25.000	Dirección de Cartografía Nacional Suministrado por: Mapoteca y Fototeca, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales (IGCRN), Universidad de Los Andes (ULA)
Mapa geológico	Mapa Geológico de la región de Pregonero, estado Táchira Modificado por Useche A. (1974) Escala: 1:50.000	Mapoteca y Fototeca, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, ULA.
Fotografías aéreas	Misión: AMS170. Sobre: 28 Fecha: 23/02/1960 Escala: 1:32.000 Nº de vista: RS 4195A	Mapoteca y Fototeca, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, ULA.
	Misión: AMS170. Sobre: 29 Fecha: 23/02/1960 Escala: 1:32.000 Nº de vista: LS 4196	
Imagen satelital	Landsat 5. Mapeador Temático (TM). Fecha: 04 de junio, 1991 Resolución espacial: 30 metros	Servidor <i>Earth Explorer</i> , Servicio Geológico de los Estados Unidos (2022a; 2022b) (https://earthexplorer.usgs.gov)
	Sentinel 2A Fecha: 25 de enero 2022. Resolución espacial: 10 metros	
	<i>Google Earth Pro</i> Fecha: 03 de marzo de 2021 Resolución espacial: 1 metro	Servidor <i>Open Street Map</i> (https://openstreetmap.org)

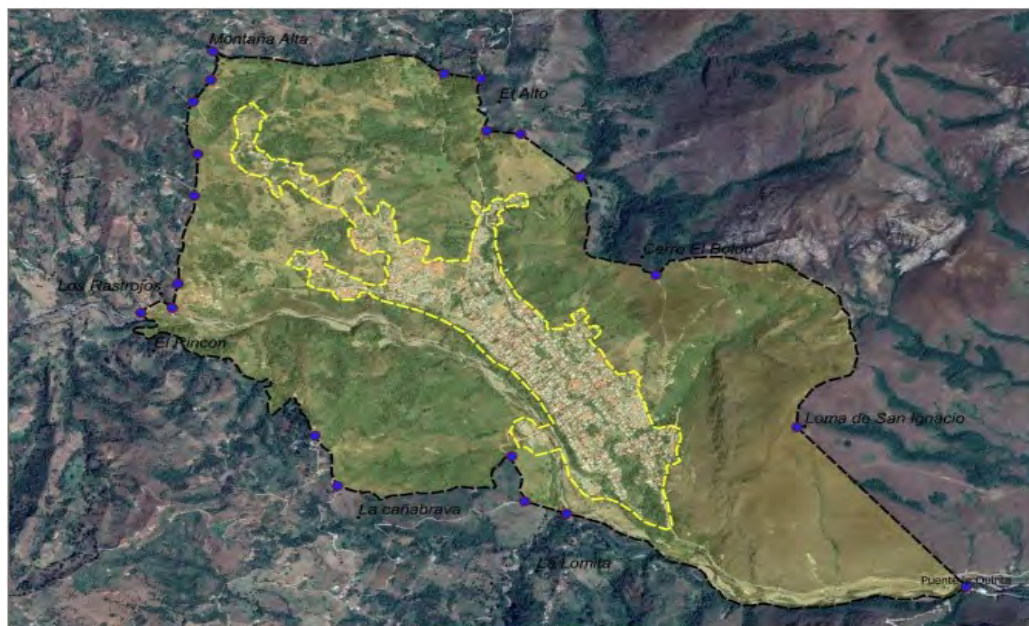


FIGURA 1. Delimitación del área de estudio. Fuente: elaboración propia

Luego de delimitar el área de estudio y georreferenciarla al Datum REGVEN/UTM zona 19 se procedió con el tratamiento y obtención de los insumos necesarios para definir las áreas de restricción para la expansión urbana de Pregonero.

Una vez homogenizados los insumos entre sí y reclasificada cada variable con su respectiva ponderación, se realizó el proceso de suma algebraica de las diferentes capas de tipo ráster (geología + geoformas + pendiente + riesgo hidrológico + cobertura vegetal) a través de la herramienta 'calculador de mapas' del software *ArcGIS*, generando como resultado un mapa de restricción de uso urbano reclasificado en un

todo de acuerdo con los niveles de restricción establecidos.

3. Variables biofísicas

La ciudad de Pregonero se sitúa en medio de un conjunto de montañas con elevaciones que van desde los 1.200 hasta los 1.600 msnm y en su entorno presenta escasez de superficies planas o poco inclinadas debido a las fuertes pendientes, mayormente comprendidas entre 16 y 30% y superiores a 30% (FIGURA 2). Los rangos de pendiente usados para este estudio son los utilizados por Zinck (2012); en ellos se señala la superficie que ocupa cada uno de los rangos dentro del área de estudio (TABLA 2).

TABLA 2. Rangos de pendiente con su respectiva superficie ocupada

Rango de pendiente (%)	Características generales	Superficie	
		Hectáreas	%
2-8	Terrenos ondulados	32,23	4,59
8-16	Terrenos fuertemente ondulados y algunas colinas	49,67	7,09
16-30	Predominio de colinas y algunas montañas	163,74	23,36
>30	Zonas montañosas muy escarpadas compuestas por vertientes, fuertemente disectado	455,16	64,95

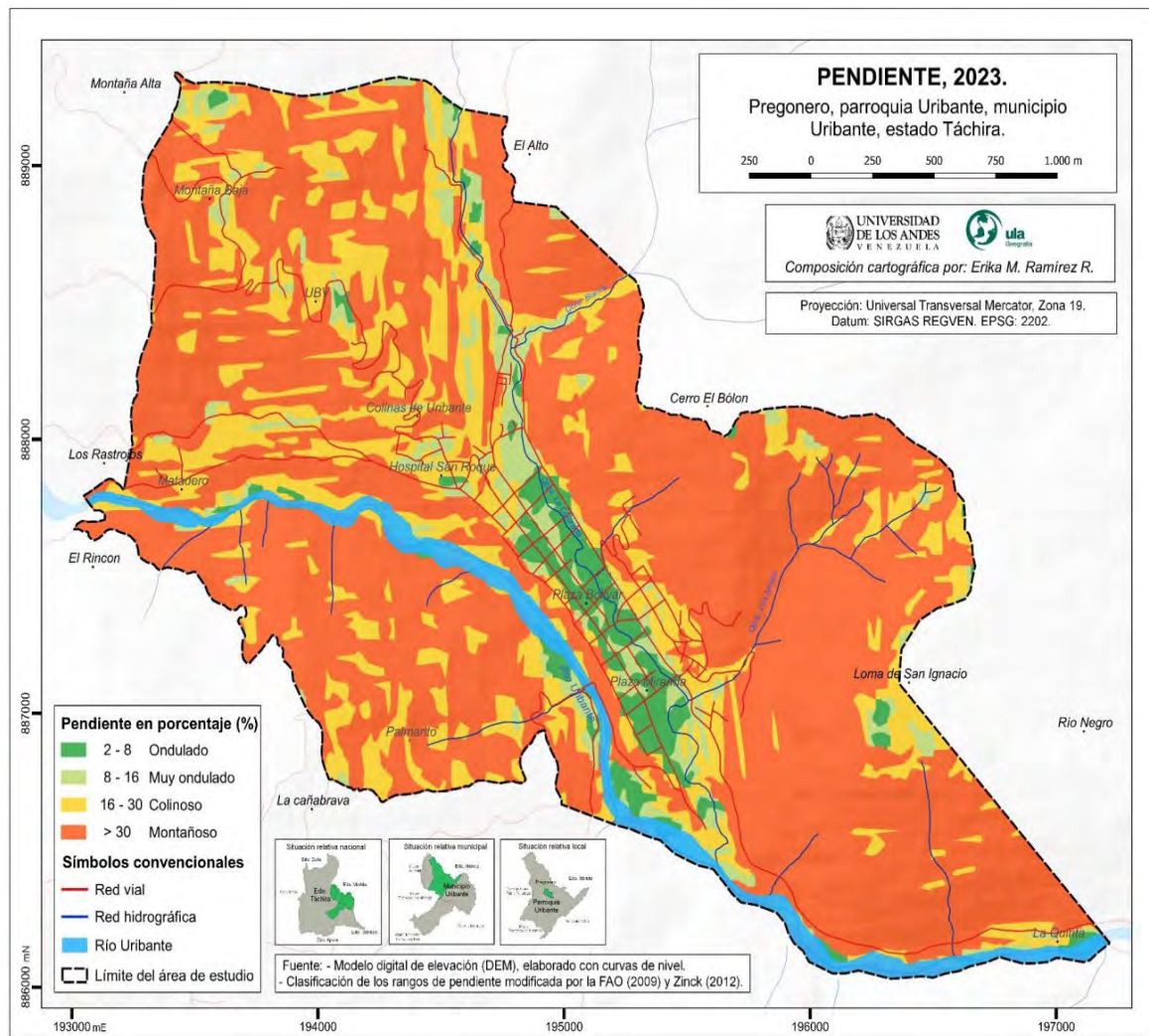


FIGURA 2. Rangos de pendiente. Fuente: elaboración propia

En cuanto a las geoformas, el área en la que se emplaza la ciudad de Pregonero presenta un relieve característicos de los Andes dominado por abanicos, terrazas, vertientes, colinas, valles y vegas de río. El sitio en el que se emplaza corresponde geomorfológicamente con una terraza de origen fluvial formada por depósitos cuaternarios, cuyo principal medio de transporte de sedimentos es el río Urbante, donde la fisiografía es muy heterogénea y reviste una importancia fundamental para el análisis del paisaje (FIGURA 3 y TABLA 3).

Con relación a la red hidrográfica, la mayoría de sus afluentes tienen un carácter permanente y

poco profundo y el área urbanizada está atravesada por la quebrada La Colorada, la cual es un curso de agua poco profundo proveniente de la parte alta de la cuenca del río Urbante; presenta una corriente rápida en las partes altas y sus aguas frías cambian cuando penetran en el casco urbano de Pregonero, pues el desnivel es menos pronunciado (FIGURA 4).

Esta red hidrográfica es la encargada de depositar sedimentos a lo largo de la terraza, compuestos principalmente por mezclas de arena gruesa, grava pobremente estratificada, clastos y bloques. El río Urbante es un cuerpo de agua que discurre sus aguas en sentido Noroeste

– Sureste con respecto a la ciudad de Pregonero y es el principal modelador de la terraza aluvial donde este se emplaza. Así pues para la identificación de las áreas de amenazas hídricas se seleccionaron los cursos de agua que drenan dentro y fuera del área urbanizada; se estableció un cinturón de distancia de dos buffers a cada

lado de las quebradas y ríos. Para la ponderación de las áreas de amenazas hídricas se establecieron tres zonas, según la metodología llevada a cabo por Molina *et al.* (2013), tomando en consideración los riesgos a inundación por causas de desborde de río Uribante y las quebradas adyacentes (TABLA 4).

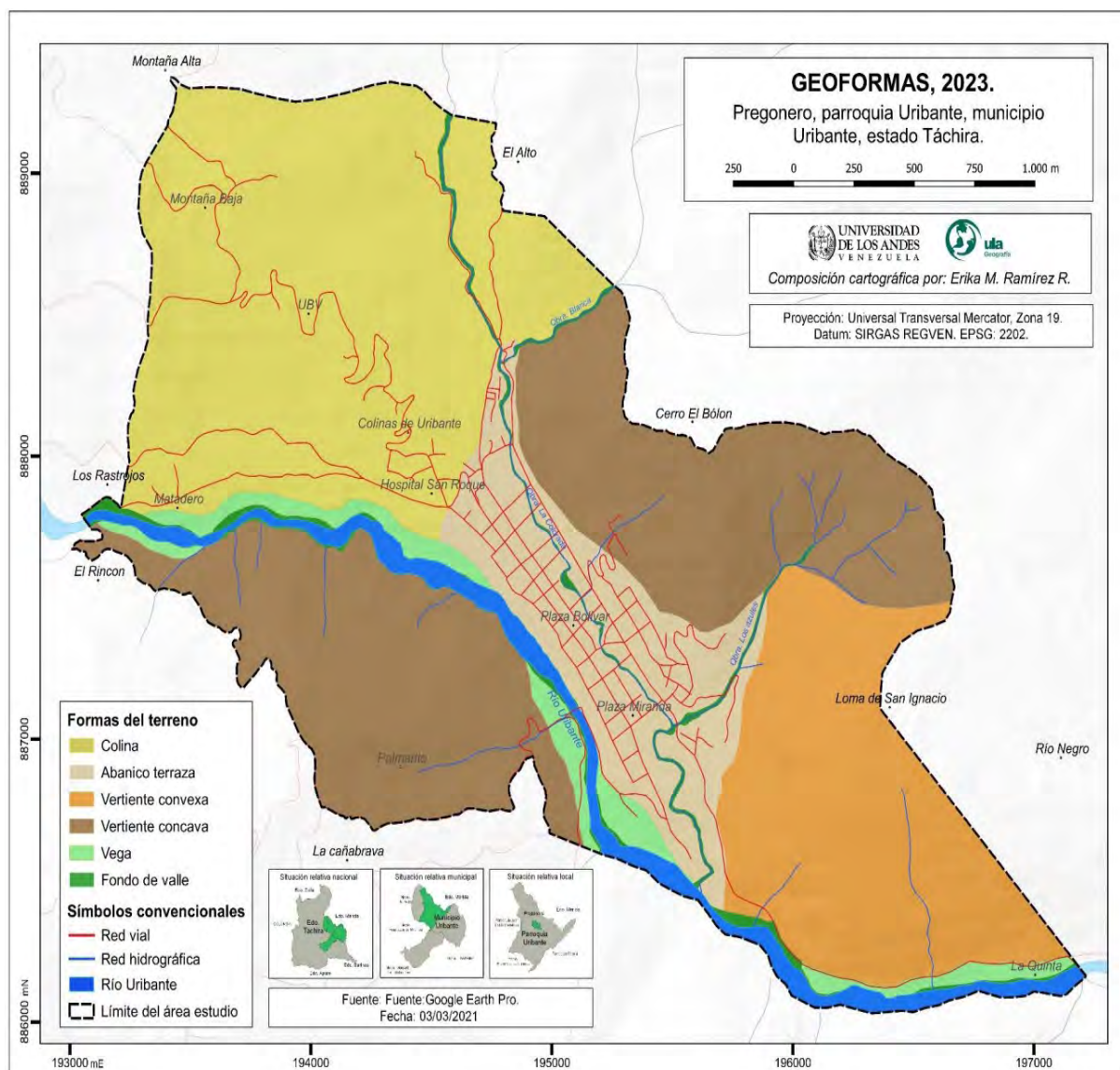


FIGURA 3. Geoformas. Fuente: elaboración propia

TABLA 3. Características de las geoformas según Elizalde (1983) y superficie ocupada

Geoformas	Características generales	Superficie	
		Hectáreas	%
Vertiente cóncava	Superficie que muestra una forma de curvatura hacia dentro, siendo su parte central la más deprimida. En una vertiente cóncava las laderas son más empinadas en la parte superior y se vuelven más suaves hacia la base de la misma, lo que favorece la acumulación de sedimentos y materiales arrastrados por el agua	212,71	30,35
Vertiente convexa	Es el resultado de procesos erosivos que han ido desgastando la roca a lo largo del tiempo. Una vertiente convexa es lo opuesto a una vertiente cóncava, ya que presenta una curvatura hacia afuera. Superficie con altas pendientes y procesos erosivos	118,00	16,84
Colinas	Fisiografía montañosa, con desniveles comprendidos entre 25 y 300 metros., con pendientes menores que en las vertientes y formas de terreno que varía entre plano y muy ondulado	223,77	31,93
Abanico - Terraza	Superficies altas y levemente planas, como resultado del depósito de sedimentos en forma de abanico que normalmente se forma al pie de una ladera donde una corriente de agua emerge de un frente montañoso	83,04	11,85
Valle	Fisiografía constituida por una depresión de la superficie terrestre entre vertientes y zonas montañosas, adyacentes a los cursos de agua	35,12	5,01
Vega	Superficie de terreno bajo y llano, es una unidad asociada exclusivamente a la orilla de un río	28,16	4,02

TABLA 4. Zonas de amenaza hídrica y sus características

Zonas	Características generales	Superficie	
		Hectáreas	%
Zona 1	Área de mayor amenaza, ubicada a 25 metros de su cauce; tiene muy alta restricción para la expansión urbana	78,40	11,19
Zona 2	Área ubicada a una distancia entre 25 y 50 metros de distancia, con alta a moderada restricción para la expansión urbana	70,33	10,04
Zona 3	Ubicada por encima de los 50 metros de distancia la cual se categoriza por tener bajas restricciones para la expansión urbana	552,08	78,78

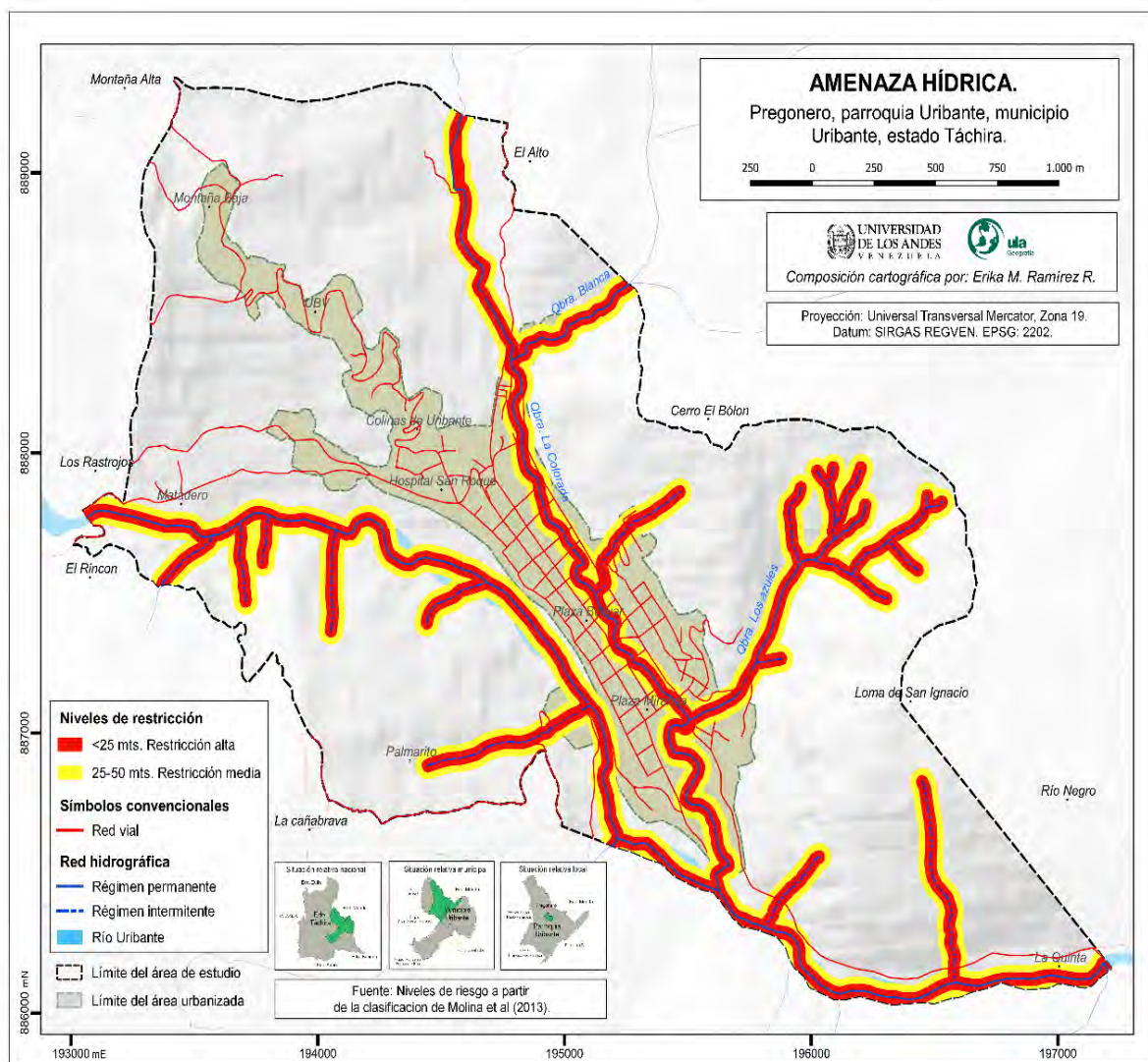


FIGURA 4. Amenazas hídricas. Fuente: elaboración propia

Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2005), la cobertura de la tierra son los diferentes rasgos que cubren la tierra tales como: agua, arbustos, bosques, otros tipos de vegetación, rocas, arenas, estructuras antrópicas, entre otros. Pueden originarse de ambientes naturales producto de la evolución ecológica o a partir de ambientes artificiales creados y mantenidos por

el hombre. En tal sentido, el área en la que se emplaza la ciudad de Pregonero presenta una gran diversidad de unidades de cobertura, entre las que destacan: bosque natural primario, bosque secundario, bosque ribereño, arbustal, herbazal, cuerpos de agua, entre otros (FIGURA 5) los cuales se identificaron y se describieron en conjunto con la superficie que cubre (TABLA 5).

TABLA 5. Tipos de cobertura de la tierra con sus características generales y superficie

Tipo de cobertura	Características generales	Superficie	
		Hectáreas	%
Bosque natural primario	Es una formación vegetal pluriestratificada densa, con especies originarias del municipio, en la cual predominan formas de vida arbóreas, los cuales forman por lo menos un estrato de copas (dosel) más o menos continúa. Sin intervención antrópica	86,50	12,34
Bosque secundario	Vegetación menos densa que ha perdido su estructura, con la desaparición de algunas especies originales, apareciendo en su lugar algunas sucesiones secundarias. Se define como una vegetación leñosa que se desarrolla sobre tierras, originalmente destruidas por actividades humanas. Su grado de recuperación dependerá mayormente de la duración e intensidad del uso anterior por cultivos agrícolas o pastos	116,01	16,55
Bosque ribereño	Es un tipo de bosque que se encuentra formando una asociación edáfica, siempre verde, mono-estratificado, que crece a orillas de los cursos de agua. Situado en las tierras bajas, planas y colinas	27,39	3,91
Arbustal	Este tipo de cobertura corresponde a vegetación natural que ha sido poco intervenida. Constituida por presencia incipiente de herbáceas, gramíneas y arbustos cuyo tallo principal (leñoso) se ramifica a poca altura sobre el suelo en varios troncos delgados	138,25	19,73
Herbazal	Comunidades vegetales donde predominan los pastos que forman un estrato continuo de hierbas altas y algunos árboles y arbustos. Esta vegetación predomina hacia las colinas y faldas de altas montañas	152,77	21,80
Cultivos	Áreas intervenidas con una cobertura vegetal constituida por sembradíos y cultivos diversos	55,84	7,97
Construcción	Área en la cual se encuentran las diferentes infraestructuras y asentamientos humanos	97,38	13,89
Cuerpos de agua	Zonas cubiertas por volúmenes de agua estática o en movimiento	26,60	3,80

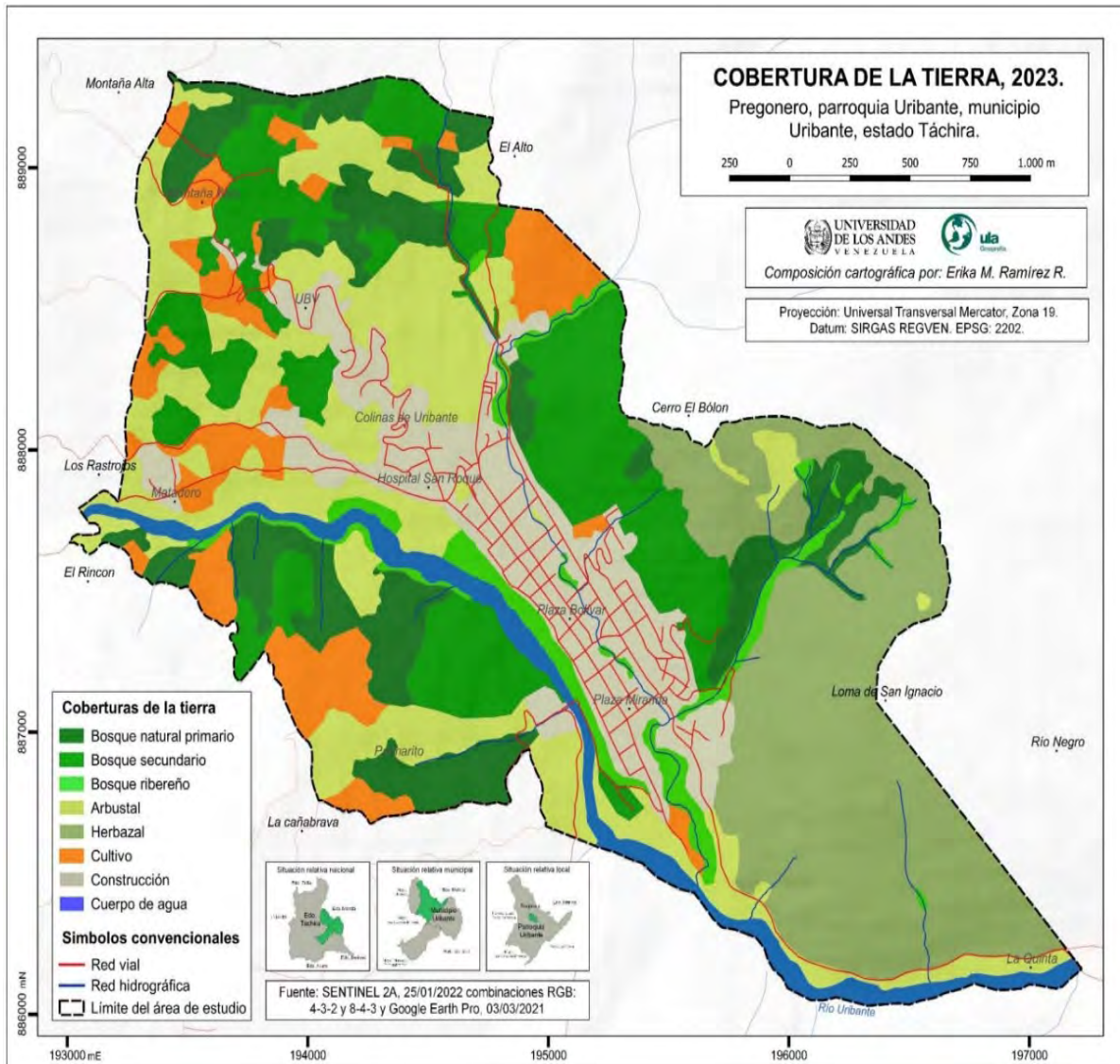


FIGURA 5. Cobertura de la Tierra. Fuente: elaboración propia

Según Gracia (2001), geológicamente el área de estudio está formada principalmente por las facies de areniscas conglomeráticas de grano grueso y fino de la formación La Quinta y la presencia de areniscas de flancos abruptos del

Cretáceo. En cuanto a la geología estructural existe una considerable presencia de contactos litológicos y fallas observadas (FIGURA 6), los cuales presentan características particulares descritas en la TABLA 6.

TABLA 6. Unidades geológicas según el Ministerio de Energía y Minas (1997) y superficie de ocupación

Formación geológica	Descripción litológica	Superficie	
		Hectáreas	%
Depósitos del Cuaternario (Qpt)	Depósitos. Sedimentos no consolidados. Materiales sueltos relativamente recientes. Depósitos. Terraza	83,47	11,91
Aguardiente (Kag)	Presenta una litología muy uniforme, compuesta predominantemente por areniscas cuarzosas, a veces glauconíticas, con capas de caliza distribuidas en varios niveles, de colores claros producto a la meteorización de las areniscas y las intercalaciones de lutitas oscuras	235,13	33,55
Rio Negro (Krn)	Esta secuencia se inicia con capas de arenisca de grano fino a grueso y conglomerados, en capas de hasta 1 metro de espesor de color gris claro, con manchas rojizas debido a lixiviación de los sedimentos de la formación La Quinta, infrayacente. Estos estratos están intercalados, con niveles de lutitas y limolitas negras que se hacen dominantes en los 200 metros basales, en parte carbonosos, muy fosilíferos, intercaladas con capas de caliza y yeso	37,10	5,29
Apón (Ka)	Costa de tres unidades: la inferior presenta areniscas calcáreas algo micáceas y capas de calizas; la parte media con calizas fétidas, fosilíferas, entre 0,4 y 1,2 m, intercalada con lutitas y coquinas y la parte superior, con lutitas negras calcáreas entre 40-50 m de espesor, con concreciones, interestratificadas con calizas margosas y areniscas	31,76	4,53
La Quinta (Jlq)	Consiste generalmente de conglomerados de color rojo ladrillo y verdoso, en bancos gruesos, macizos, bien diferenciados, interestratificados con bancos de areniscas de grano fino, blandas (arcillosas) en estratificación cruzada y capas de lutita arenosas	313,2	44,69

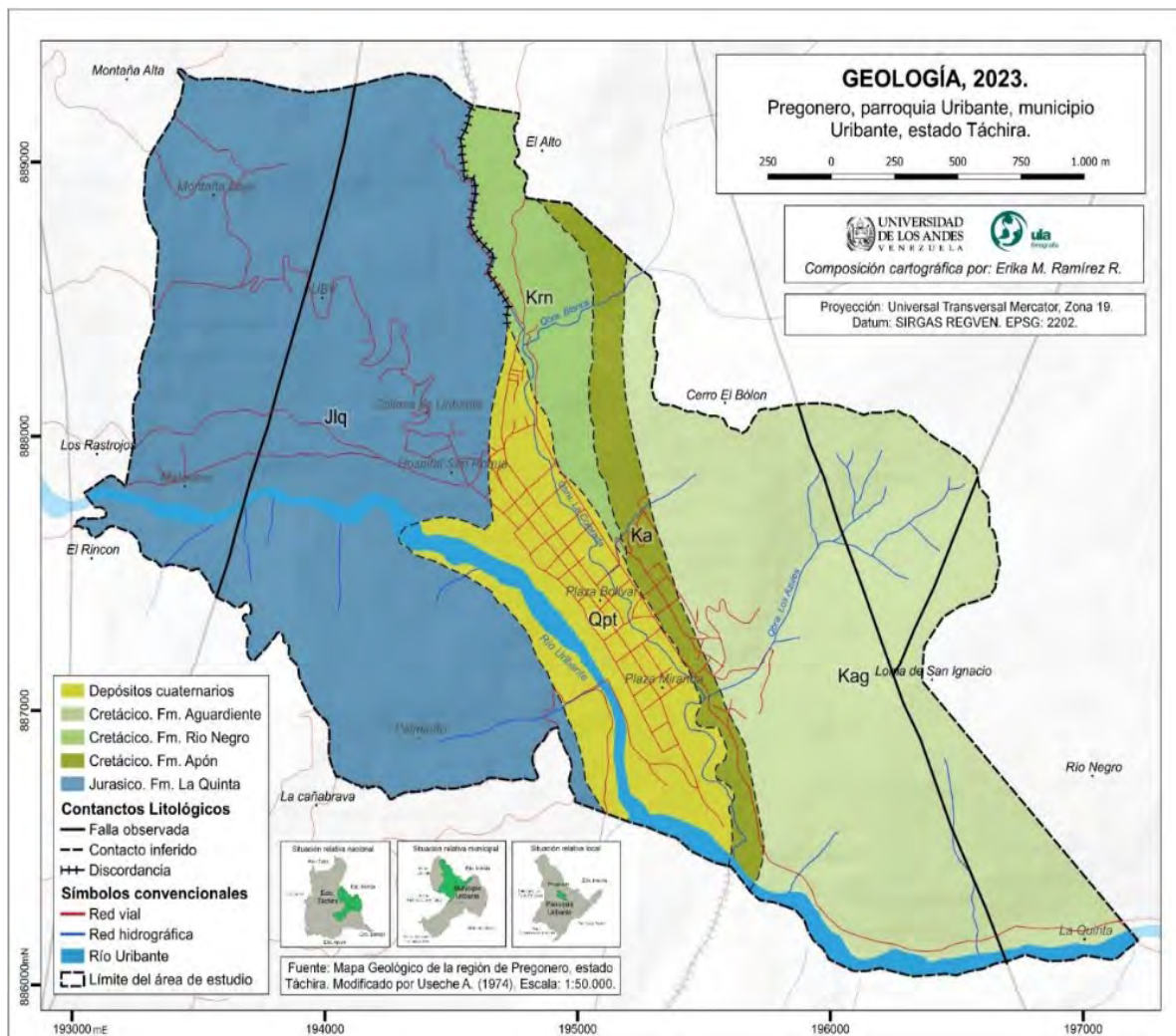


FIGURA 6. Geología. Fuente: elaboración propia

4. Áreas de restricción para la expansión urbana de la ciudad de Pregonero

La expansión urbana de la ciudad de Pregonero depende de la disponibilidad de áreas para las actividades humanas. Cada vez más se observa la construcción de infraestructuras para el uso residencial, lo que reafirma la necesidad de evaluar las condiciones y los factores a los que están sujetos estos espacios en función de ciertos elementos de restricción para la ocupación.

Para ello se seleccionaron algunas variables, que por las condiciones biofísicas del entorno, se adaptan a este tipo de estudio y las que son

comúnmente usadas en investigaciones para determinar áreas de expansión.

4.1 Ponderación de las variables biofísicas

La ponderación se estimó a través del establecimiento de una escala en la cual se expresa el nivel de restricción para la ocupación según las categorías consideradas. De acuerdo a la metodología utilizada y en función de las variables analizadas, se identificaron cinco (5) categorías de restricción para la expansión urbana expresadas en: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta restricción; cada una de ellas

identificadas a través de un color para poder hacer la distinción en la representación cartográfica (TABLA 7).

TABLA 7. Escala de ponderación de las variables biofísicas

Escala	Niveles de restricción
1	Muy baja restricción
2	Baja restricción
3	Moderada restricción
4	Alta restricción
5	Muy alta restricción

En la escala de ponderación, las unidades espaciales que se asociaron con los valores numéricos 1 y 2, identificados mediante tonos de verde, presentan restricciones mínimas para la expansión urbana, caracterizadas por poseer suaves desniveles topográficos o terrenos moderadamente planos vinculados directamente

con las condiciones geomorfológicas y de relieve; donde además no existe riesgo hídrico y la cobertura de la tierra no se ve influenciada por la acción humana por lo que se ejerce un impacto de bajo a moderado en el entorno ambiental circundante.

La categoría 3 identificada por el color amarillo, engloba las zonas con restricciones moderadas, en la que las limitaciones son mayores debido a la presencia de pendientes pronunciadas y una mayor inestabilidad del terreno, además está sujeta a una amenaza hídrica latente y cierto impacto en los sistemas ambientales de vegetación. Por otro lado, las áreas en las categorías 4 y 5, identificadas por los colores naranja y rojo respectivamente, experimentan restricciones altas y muy altas para la expansión urbana debido a que estas zonas presentan limitaciones significativas dadas las pendientes extremadamente pronunciadas, una amenaza hídrica más severa y un alto nivel de arrastre erosivo.

En la TABLA 8 se ordenan las variables según su grado de restricción permitiendo identificar de manera clara cuáles tienen un impacto significativo para la identificación de las áreas de restricción.

TABLA 8. Variables ordenadas según el nivel de restricción

Variable ponderada	Pendiente	Geoformas	Amenaza hídrica	Cobertura de la tierra	Geología (Formaciones geológicas)
Muy baja (1)			> 50 metros		
Baja (2)	0 – 8	Abanico Terrazas		Herbazal	Depósitos del cuaternario
Moderada (3)	8 – 16			Cultivo	
Alta (4)	16 – 30	Colina	25 - 50 metros	Bosque natural secundario. Arbustal	Apón La Quinta
Muy alta (5)	>30	Valle; Vega; Vertiente cóncava; Vertiente convexa	<25 metros	Bosque natural primario; Bosque ribereño	Aguardiente Río Negro

Una vez asignada la ponderación de cada una de las variables y aplicado el proceso de reclasificación y el álgebra de mapas se

determinaron las superficies de las áreas ocupadas por cada uno de los niveles de restricción, ello con el propósito de establecer la

extensión de los lugares disponibles para la expansión urbana; sin embargo, de las 700,8 ha. ocupadas por el área de estudio, se excluye la

superficie del área ya urbanizada, la cual es de 118,07 hectáreas, quedando así un área de análisis de 582,73 ha (FIGURA 7 y TABLA 9).

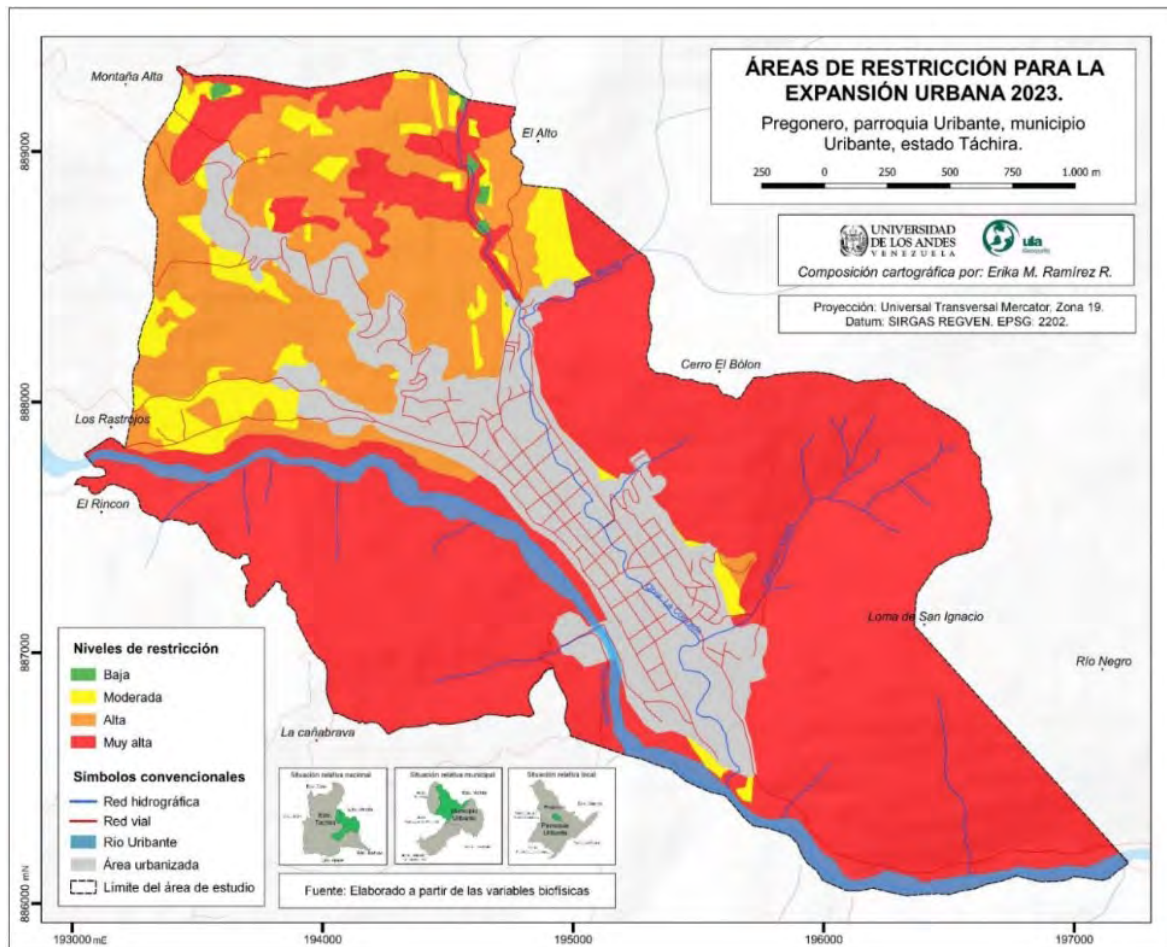


FIGURA 7. Áreas de restricción para la expansión urbana de la ciudad de Pregonero. Fuente: elaboración propia

TABLA 9. Superficie ocupada por categorías de restricción para la expansión urbana de la ciudad de Pregonero

Nivel de restricción	Superficie (hectáreas)	Restricción para la ocupación urbana (%)
Muy Baja (1)	-----	-----
Baja (2)	1,45 Ha.	0,25
Moderada (3)	37,42	6,42
Alta (4)	114,91	19,72
Muy Alta (5)	428,95	73,61
	582,73 Hectáreas	100%

4.2 Áreas con baja restricción para la expansión urbana

Una vez realizados todos los procedimientos necesarios para identificar las áreas de restricción es notorio que la ciudad de Pregonero exhibe una escasez de áreas adecuadas para la expansión urbana; sin embargo, dentro del área con baja restricción (FIGURA 7), identificado con el color verde, la extensión es muy pequeña, abarcando una superficie de 1,45 hectáreas que equivalen al 0,25% del área total sin ocupar (TABLA 9). El nivel de restricción bajo sugiere que no hay muchas limitaciones en términos de acceso o uso, donde la pendiente oscila entre un rango de 2-8%, con una topografía de inclinación moderada. Estas áreas conforman las únicas zonas dentro del ámbito total de estudio con menos variación en el relieve; sin embargo, su extensión es limitada y carecen de continuidad espacial lo que dificulta el posible desarrollo y expansión para las actividades humanas. Las formas topográficas de esta categoría se caracterizan por su configuración de colinas presentes en pequeñas parcelas de terreno ubicadas en la localidad de La Montaña con funciones de conucos o huertos de escala reducida, además de albergar otras formaciones vegetales como arbustales y áreas boscosas. La mayoría de estas áreas se hallan en proximidad a un punto de contacto litológico, específicamente una discordancia que separa las formaciones geológicas La Quinta y Apón.

4.3 Áreas con moderada restricción para la expansión urbana

Las condiciones biofísicas de esta categoría imponen restricciones más significativas en comparación con la categoría anterior debido a la influencia directa del desnivel topográfico del terreno. Estas áreas se encuentran identificadas con franjas de color amarillo (FIGURA 7) y ocupan una superficie de 37,42 hectáreas del total de 582,73 hectáreas, lo que representa un 6,42% del área no urbanizada (TABLA 9).

En relación a su litología, esta categoría se encuentra principalmente sobre la formación La Quinta compuesta por materiales altamente

frágiles y susceptibles a alteraciones, además de las formaciones Apón y Río Negro. Las pendientes predominantes adoptan una morfología colinosa situándose en un rango que oscila entre 16-30%, características que conllevan un significativo riesgo en términos de movimientos de masa y procesos erosivos, acentuados en mayor medida en dirección Oeste donde las pendientes superan el umbral del 30%. Asimismo, se distribuye en superficies reducidas, en terrenos caracterizados por colinas y en las inmediaciones de la terraza donde se encuentra emplazada la ciudad de Pregonero.

Presenta una concentración más acentuada en las direcciones Norte, Noroeste y Oeste, y en menor medida en las direcciones Este y Sureste. Está compuesta principalmente por cultivos permanentes y semipermanentes como café, ají, pimentón, ajo, cebolla, tomate y papa y ocasionalmente se encuentran áreas con vegetación arbustiva acompañado de pequeños bosques donde se cría ganado. No obstante, en las proximidades de estas zonas se ha evidenciado una tendencia hacia la expansión urbana donde se localizan las aldeas de El Alto, La Montaña (Baja y Alta) y Los Rastrojos, las cuales se destinan principalmente a actividades agrícolas, aunque actualmente se evidencia una tendencia hacia su transformación en usos urbanos.

Existen posibilidades de urbanizar algunas de estas áreas; sin embargo, es importante reconocer que podrían surgir desafíos relacionados con el desarrollo de infraestructuras, especialmente en lo que respecta a las infraestructuras viales debido a la topografía accidentada de los terrenos que aún no han sido ocupados. Aunque estas limitaciones no representan obstáculos insuperables, requieren una evaluación cuidadosa y medidas adecuadas para garantizar un desarrollo sostenible y acorde con las condiciones del entorno.

4.4 Áreas con alta restricción para la expansión urbana

Esta categoría se identifica con una tonalidad naranja y abarca una extensión de 114,91 hectáreas equivalente al 19,72% del total del área de estudio, excluyendo el área ya urbanizada (FIGURA 7 y TABLA 9) y exhiben grandes limitaciones para la expansión urbana. Desde el punto de vista litológico, ocupa sectores muy frágiles de la formación geológica La Quinta y, en menor medida, de la formación Río Negro, ubicadas en su mayoría en las direcciones Oeste y Norte, pero muestran una concentración especialmente pronunciada en dirección Noroeste; no obstante, constituye la segunda categoría de mayor extensión donde las pendientes varían entre 16-30% y en algunos casos superan el 30%.

Estos terrenos presentan una topografía muy abrupta y fragmentada creando paisajes montañosos caracterizados por una dinámica geocinética inestable con actividades de carácter diverso, tales como conucos o huertos de pequeña escala que coexisten con formaciones vegetales como arbustales y zonas boscosas y, aunque presenta muy poca probabilidad de ser afectadas por amenazas hídricas, los procesos geomorfológicos tienden a ser más activos por las elevadas pendientes, los cuales en períodos de lluvia generan movimientos de masa que interfieren en las actividades humanas.

La morfología de esta categoría desempeña un papel crucial al limitar la expansión urbana, incluso con zonas de difícil acceso debido a pendientes muy pronunciadas, movimientos activos, suelos altamente meteorizados y de tonalidad rojiza. Estas características combinadas con la dinámica geocinética inestable podrían generar desafíos adicionales para la ocupación y desarrollo de estas áreas.

En los últimos años ha sido evidente el incremento de áreas residenciales ubicadas en las colinas circundantes al centro poblado de Pregonero, tales como el barrio La Esperanza y el sector Los Rastrojos, los cuales han experimentado un crecimiento que abarca inclusive zonas de muy altas restricciones, trayendo impactos negativos sobre el entorno ecológico. Las pendientes pronunciadas y la

susceptibilidad a deslizamientos de tierra representan amenazas potenciales.

4.5 Áreas con muy alta restricción para la expansión urbana

Por su posición geográfica esta categoría contiene todos los aspectos desfavorables para la expansión urbana con un nivel excepcionalmente elevado de limitaciones y controles de acceso. Lamentablemente abarca más de la mitad del área de estudio y están identificadas con color rojo (FIGURA 7) que ocupa un área de 428,95 hectáreas equivalente al 73,61% del área de estudio (TABLA 9).

Las áreas dentro de esta categoría son altamente escarpadas, con vertientes muy encajonadas y abruptas y engloba una diversidad de coberturas, principalmente dominadas por arbustales y bosques, además de presencia de cultivos como el café, caraota, mora y maíz. Esta categoría de restricción está localizada en todas las vertientes, específicamente en el cerro El Bolón, las Lomas de San Ignacio y La Cañabrava.

Litológicamente ocupa gran parte de las formaciones La Quinta, Apón, Río Negro y Aguardiente, esta última caracterizada por material rocoso fácil de alterar, presencia de cárcavas y de fallas que la atraviesan, con pendientes muy escarpadas que, en la mayoría de los casos, sobrepasan el 30%. Por sus condiciones geológicas, algunas áreas como las lomas de San Ignacio pueden ser consideradas con pocas restricciones para la expansión urbana por presentar, en las partes superiores, superficies suaves y extensas mayormente dominadas por herbazales; sin embargo, estas vertientes se vuelven más empinadas hacia la base de la cuenca. Las elevadas estribaciones generan grandes limitaciones, incluso se dificulta para la cría de ganado ya que sus caídas son extremadamente inclinadas, además pueden estar propensas a inundación, principalmente las ubicadas en la vertiente izquierda del río Uribante en dirección Oeste y en las márgenes de la quebrada Blanca.

El área se ve enmarcada por majestuosas cadenas montañosas y es notable la presencia de abruptas pendientes que caracterizan la

topografía del área. Estas pronunciadas elevaciones son un atributo distintivo de la geografía local, las cuales ejercen notables influencias al restringir considerablemente las posibilidades de expansión urbana de Pregonero; esta particularidad geográfica confiere al área de estudio una predominante configuración de espacios con restricciones muy altas, abarcando más del 73%.

5. Conclusiones

El crecimiento urbano se vuelve crucial y un eje significativo dentro de los estudios geográficos, no solo por el estudio de las particularidades de los espacios habitados sino también en la definición precisa de las áreas adecuadas para la expansión, donde los riesgos socio-naturales son elementos claves dentro de la planificación.

En este caso, la expansión urbana de la ciudad de Pregonero ha obedecido a diferentes factores económicos y demográficos que se tradujo en un área que enfrenta grandes limitaciones que restringen cualquier intento de crecimiento, donde variables como la pendiente, la topografía, las amenazas hídricas, la cobertura vegetal y los procesos geomorfológicos desempeñan un papel trascendental para la expansión.

En general, la topografía montañosa del área dominada en más del 64% por pendientes superiores a 30% de inclinación, con zonas muy escarpadas compuestas por vertientes

fuertemente disectadas son factores críticos que guía el proceso de ocupación. El emplazamiento de esta ciudad en una terraza de superficie relativamente limitada, caracterizada por una geomorfología típica cordillerana, contribuye a su configuración morfológica notablemente abrupta y variada.

Esta área se encuentra enmarcada por imponentes montañas y está fuertemente influenciada por la presencia de dos corrientes de agua permanentes: el río Uribante y la quebrada La Colorada, los cuales desempeñan un papel central en la modelación de la terraza aluvial; sin embargo, Pregonero es considerado el centro urbano más importante del municipio Uribante, su funcionalidad la hace un entorno atractivo para la concentración de población y de actividades.

El estudio permitió concluir que sólo 0,25% del área total en estudio presenta condiciones favorables para la expansión urbana, siendo una porción muy pequeña en términos espaciales. Por el contrario, más de 73% de ámbito en estudio son áreas con muy altas restricciones para ser urbanizadas, lo que en efecto, la poca disponibilidad o ausencia de espacios sin limitaciones para la expansión urbana y el relativo crecimiento demográfico han dado como resultado la construcción de infraestructuras que conlleva a la exposición a riesgos considerables.

6. Referencias citadas

- ALASKA SATELITE FACILITY (ASF) – ALOS PALSAR. Disponible en: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. [Consulta: marzo 2023]
- DUCCI, M. 2002. "Área urbana de Santiago 1991-2000: expansión de la industria y la vivienda". *Revista EURE*, 28(85). Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612002008500010>. [Consulta: junio, 2023]
- ELIZALDE, G. 1983. *Ensayo de clasificación sistemática de categorías de paisajes*. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- GARCÍA, J. 2001. *Uribante: Geografía e Historia*. Biblioteca de Autores y Temas Tachirenses. Caracas, Venezuela.

GOOGLE EARTH PRO. 2021 . *Servidor Open Street Map*. Disponible en <https://openstreetmap.org>. [Consulta: mayo-junio, 2023].

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 2005. *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra*. Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica. Bogotá, Colombia.

MINISTERIO DE ENERGÍA y MINAS. 1997. *Léxico Estratigráfico de Venezuela*. Boletín de Geología, 3ª. Ed. Tomos I y II. Caracas, Venezuela.

MOLINA, H.; MARTÍNEZ, O; MARQUINA V. y H. AMAYA. 2013. "Áreas de expansión urbana en Tovar, estado Mérida-Venezuela". *Revista Geográfica Venezolana*, 54(2): 241-257.

MORENO, B. 1995. *Urbanismo y turismo como elementos integradores para impulsar el desarrollo urbano de la región de Pregonero*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito).

PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS [ONU-Hábitat]. 2022. *Informe Mundial de las Ciudades*. Disponible en: <https://unhabitat.org/sites>. [Consulta: febrero, 2023].

SERVIDOR EARTH EXPLORER, SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS. 2022a. *Imagen Sentinel 2A de 25 de enero 2022*. Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov> [Consulta: marzo de 2023]

SERVIDOR EARTH EXPLORER, SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS. 2022b. *Imagen satelital Landsat 5 de 04 de junio de 1991*. Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov>. [Consulta: marzo de 2023].

USECHE, A. 1974. *Mapa Geológico de la Región de Pregonero, estados Táchira y Mérida*. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Dirección de Geología, División de Exploraciones Geológicas. Caracas, Venezuela.

ZINCK, A. 2012. *Geopedología. El paisaje geomorfológico: atributos de las geoformas*. Facultad de Ciencias de la Geoinformación y Observación de la Tierra. Universidad de Twente. Enschede, Países Bajos.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Mérida, Venezuela; septiembre, 2024;
Revisión: enero 2025

Impacto del cambio climático en el período de crecimiento del maíz en el oriente de Puebla, México

Impacto das mudanças climáticas na estação de cultivo de milho
no Leste de Puebla, México

Impact of climate change on maize growing season
in Eastern Puebla, Mexico

**Rogelio Bernal-Morales¹, José Pedro Juárez-Sánchez¹, Benito Valverde-Ramírez¹,
Ignacio Ocampo-Fletes¹ y María de los Ángeles Velasco-Hernández²**

¹ Colegio de Postgraduados. Campus Puebla, Santiago Momoxpan, municipio de San Pedro Cholula

² Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Instituto de Ciencias, Ciudad Universitaria
Puebla, estado de Puebla, México

bernal.rogelio@colpos.mx; pjuarez@colpos.mx; bramirez@colpos.mx; ocampoif@colpos.mx;
angeles.velasco@correo.buap.mx

Bernal: <https://orcid.org/0000-0001-5370-4157>

Juárez: <https://orcid.org/0000-0001-8417-1752>

Valverde: <https://orcid.org/0000-0003-2482-5667>

Ocampo: <https://orcid.org/0000-0001-6311-1072>

Velasco: <https://orcid.org/0000-0002-8301-789X>

Resumen

El cambio climático está afectando el rendimiento de los cultivos de temporal. El objetivo de la investigación fue identificar el impacto del cambio climático en la distribución espacial del periodo de crecimiento del cultivo de maíz de temporal. Para ello se calculó la evapotranspiración de referencia (ET_o), analizando datos de 13 estaciones climatológicas para el periodo base (1961-1990) y 10 para el periodo más reciente (1991-2020). Los resultados indican que hay una mayor variabilidad en la duración del periodo de crecimiento en el periodo más reciente y existe un impacto diferenciado en la distribución espacial del periodo de crecimiento, ya que hay lugares donde habrá un aumento y en otros se presenta una disminución. Se concluye que en la duración del periodo de crecimiento los productores deben optar por semillas de ciclos más cortos, para evitar las primeras heladas que se esperan a finales de septiembre y/o principios de octubre.

PALABRAS CLAVE: adaptación; planeación agrícola; variabilidad climática.

Resumo

As alterações climáticas estão afetando o rendimento das culturas de sequeiro. O objetivo da pesquisa foi identificar o impacto das mudanças climáticas na distribuição espacial do período de crescimento do milho de sequeiro. Para isso, foi calculada a evapotranspiração de referência (ET_o), analisando dados de 13 estações climatológicas do período base (1961-1990) e 10 do período mais recente (1991-2020). Os resultados indicam que existe maior variabilidade na duração do período de crescimento no período recente e há um impacto diferenciado na distribuição espacial do período de crescimento, pois há locais onde haverá aumento e em outros haverá uma diminuição. Conclui-se que na duração do período vegetativo os produtores devem optar por sementes com ciclos mais curtos, para evitar as primeiras geadas que são esperadas no final de setembro e/ou início de outubro.

PALAVRAS-CHAVE: adaptação; planejamento agrícola; variabilidade climática.

Abstract

Climate change is affecting the yield of rainfed crops. The objective of the research was to identify the impact of climate change on the spatial distribution of the growth period of rainfed corn. To do this reference evapotranspiration (ET_o) was calculated, analyzing data from 13 weather stations for the base period (1961-1990) and 10 for the most recent period (1991-2020). The results indicate that there is greater variability in the length of the growth period in the recent period and there is a differentiated impact on the spatial distribution of the growth period since there are places where there will be an increase and in others there is a decrease. It is concluded that in the length of the growth period, producers should opt for seeds with shorter cycles, to avoid the first frosts expected at the end of September and/or beginning of October.

KEYWORDS: adaptation; agricultural planning; climate variability..

1. Introducción

Para el año 2050 se proyecta que la población mundial será de 9.300 millones de habitantes y para alimentarlos se deberá aumentar la producción de alimentos de los 8.400 a casi 13.500 millones de toneladas [Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2015]. En este contexto, el maíz adquiere gran importancia al superar en volumen de producción al trigo y al arroz. En América Latina y el Caribe, el arroz, trigo, maíz, frijol y soya son importantes debido a sus aportes a la economía y a la seguridad alimentaria (Rodríguez *et al.*, 2016). En México, en el ciclo 'Primavera-Verano 2023' se sembraron 7.395.540 ha de cultivos de temporal, siendo el maíz con mayor superficie representando el 66%, seguido del frijol con el 11% y la avena forrajera en verde con el 5% [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2024]. En México se produjeron 26.625.694 t de maíz en 2022 colocándose como el octavo productor mundial [Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT), 2024].

En 2023, los principales estados productores en el ciclo 'Primavera-Verano' fueron Jalisco, Estado de México, Guerrero, Chiapas, Michoacán y Puebla, concentrando el 73% de la producción nacional. El estado de Puebla ocupó el sexto lugar con un volumen de producción de 868.939 t. Con relación al rendimiento, el estado de Jalisco ocupó el primer lugar con $6,46 \text{ t ha}^{-1}$, seguido de Nayarit y Morelos con $4,1$ y $4,01 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente, mientras que Puebla ocupó el lugar 15 con $1,92 \text{ t ha}^{-1}$ (SIAP, 2024). La superficie sembrada explica la importancia de este cultivo en la alimentación de la población del país y se confirma a través de su consumo *per cápita* anual de 335,2 kg (SIAP, 2024a).

La población del estado de Puebla asciende a 6.583.278 [Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2021] y requiere 2.206.714 t para cubrir las necesidades básicas de alimentación. Con la producción de 900.442 t de maíz de temporal más las 239.371 t de riego en el 2023, solo se estaría cubriendo el 51,6% de la

demanda, por lo que existe un déficit de 1.066.901 t, ante ello, se deben diseñar estrategias enfocadas a incrementar la producción en aproximadamente un 93,6% para cubrir este déficit.

Por otra parte, las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por las actividades antropogénicas han contribuido a incrementar la variabilidad climática en las diferentes escalas temporales y espaciales. Es por lo que en las últimas décadas se han modificado los patrones de temperatura y distribución de la precipitación, además, se han incrementado los eventos climáticos extremos, todo ello tiene que ver con lo que se conoce como cambio climático. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (IPCC, 2018: 75) lo define como el *"cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables"*.

En cambio, la variabilidad climática denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (eventos extremos, desviaciones estándar, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales (IPCC, 2018). En este contexto, las predicciones climáticas indican un mundo más cálido en los próximos 50 años; el IPCC (2014) menciona que un incremento de 2°C en la temperatura afectará el rendimiento de los principales cultivos. También su impacto se observa con una posible reducción de las áreas con aptitud para el establecimiento de cultivos y en su periodo de crecimiento que está asociado con la disminución del número de días con humedad disponible (Monterroso *et al.*, 2015). Se puede decir que el cambio climático impacta directamente en la producción de los diferentes cultivos dependientes de la lluvia y se considera que este tipo de agricultura es uno de los sectores más vulnerables ante el cambio climático.

Lo anterior se confirma con las proyecciones que indican que los rendimientos de la

agricultura de temporal se reducirán significativamente (Ureta *et al.*, 2020). En este sentido, Estrada *et al.* (2022) cuantificaron los efectos del cambio climático en los rendimientos de seis cultivos relevantes, encontrando que estos podrían disminuir un 42% bajo un escenario de altas emisiones para el cultivo de maíz de temporal. Por su parte, Arce-Romero *et al.* (2020) indican que una disminución en la cantidad y distribución de la precipitación podría disminuir el rendimiento de maíz en climas cálidos y secos hasta un 84% respecto al escenario base de acuerdo con los escenarios más severos.

Se afirma que el cambio climático ejerce una influencia negativa en la agricultura de temporal, por lo que la temperatura y precipitación impactan el rendimiento del maíz; el comprender esta dinámica es trascendental para desarrollar estrategias tecnológicas sostenibles que puedan mitigar los efectos adversos del cambio climático en la producción de maíz (Bendáková *et al.*, 2024). Se considera que este cultivo está condicionado fundamentalmente por la precipitación y la temperatura, las proyecciones indican una disminución en la precipitación y un incremento en la temperatura, esto condiciona el periodo de crecimiento de los cultivos de temporal. Así, los productores enfrentan desafíos al momento de planificar el proceso agrícola, ya que en años recientes debido a la alta variabilidad climática/cambio climático se enfrentan a una mayor incertidumbre sobre cuándo y qué tipo de variedad sembrar, debido a que el conocimiento y evaluación del clima es de suma importancia para la planificación agrícola (Granados-Ramírez *et al.*, 2011).

Los impactos del cambio climático en México se han abordado desde cuatro perspectivas: a) cambio en los periodos de crecimiento, b) requerimientos de agua, c) cambio en la distribución potencial y, d) en el rendimiento de los cultivos (Monterroso *et al.*, 2015). En este sentido, Wang *et al.* (2011) indican que el periodo de crecimiento se reducirá en la parte central y occidental de la provincia de Jilin en China, lo que conducirá a un periodo de llenado de grano más corto. Además, se proyecta que el rendimiento

promedio de maíz en las regiones occidental y central disminuirá un 15% o más para 2050, según lo previsto por el 90% de los 120 escenarios proyectados. Žydelis *et al.* (2021) mencionan que el cambio climático traerá condiciones más cálidas y húmedas y eventos extremos más frecuentes en la zona climática de Nemoral. Esto indica que la temperatura, la suma de los grados día de crecimiento y la cantidad de precipitación durante el periodo de crecimiento del maíz aumentarán, especialmente en escenarios de emisiones medias y altas (*Representative Concentration Pathways*-RCP4,5 y RCP8,5), con efectos positivos en los rendimientos. Por su parte, Achli *et al.* (2022) argumentan que el cambio climático tiene efectos adversos en el rendimiento de los cultivos en África y en el mundo. En Marruecos, el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones están teniendo consecuencias abrumadoras en los cultivos, ante esto, evaluaron la vulnerabilidad de la cebada, maíz y trigo a las variaciones en las precipitaciones en la temporada de crecimiento, encontrando que el maíz presentó la mayor vulnerabilidad y menor capacidad de adaptación.

Por su parte, Monterroso-Rivas y Gómez-Díaz (2021) investigaron el impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial (ETP) y periodo de crecimiento en México, debido a que son indicadores esenciales en el proceso agrícola. Analizaron 28 escenarios de cambio climático, esperando que la ETP aumente prácticamente en todo el territorio nacional como consecuencia del incremento generalizado de la temperatura y la disminución de la humedad relativa. Encontraron que los estados de Baja California Sur, Coahuila y San Luis Potosí no sufrirán cambios respecto a las condiciones actuales. En los demás estados se reducirá el periodo de crecimiento debido a una combinación de cambio en el inicio y el final del periodo de crecimiento.

De manera específica, Montiel-González *et al.* (2019) a través de un análisis agroclimático en el estado de Michoacán, considerando la longitud del periodo de crecimiento por zonas bioclimáticas, lo que permitió identificar las zonas

con 6, 5, 4 y 3 meses de lluvia continua, por lo que propusieron el establecimiento de cultivos de temporal por zonas con potenciales climáticos que cubran los requerimientos de los cultivos. Este análisis es de utilidad para enfrentar el cambio climático mediante la sustitución de los cultivos en las zonas que requieren meses de lluvia agrícola continua. Es por ello que Monterroso *et al.* (2015) mencionan que la agricultura es uno de los sectores más vulnerables ante el cambio climático, al evaluar sus efectos en ella, mostró una posible reducción en las áreas potenciales, disminución en el periodo de crecimiento y en el rendimiento de los cultivos de maíz, frijol, trigo y café.

Es por lo que se afirma que la agricultura de temporal es vulnerable a las variaciones climáticas como las sequías, las inundaciones y las heladas y que sus efectos en el rendimiento del maíz de temporal serían negativos, al reducirse el periodo de crecimiento, especialmente en la etapa de llenado de grano (Conde *et al.*, 2000). Zarazúa *et al.* (2011) mencionan que el impacto del cambio climático sobre los parámetros agroclimáticos y fenológicos del cultivo de maíz, indican que habrá condiciones térmicas más extremas, y que el periodo de crecimiento se verá afectado, ya que habrá una disminución de este. En este sentido, Ruiz-Corral *et al.* (2016) al evaluar el impacto del cambio climático sobre la estación de crecimiento en el estado de Jalisco, México, encontraron que existen diferencias interregionales para la fecha de inicio, fecha de finalización y duración de la estación de crecimiento. Esta se reducirá entre 1 y 21 días en 2050 y de 1 a 35 días en 2070, con respecto a la climatología de referencia (1961-2010).

En este contexto, Christiansen *et al.* (2011) afirman que comprender los efectos del impacto del cambio climático sobre la estación de crecimiento es importante; para esto modelaron cambios futuros en la duración de la estación de crecimiento en 14 cuencas en 11 estados. Hallaron que aumentó la duración de la estación de crecimiento anual en las 14 cuencas, con un promedio de 27 a 47 días para los tres escenarios. Con relación a investigaciones que consideraron la zona de estudio, Granados-Ramírez *et al.* (2011) estimaron la duración e inicio de la estación de crecimiento y encontraron que las duraciones del periodo de crecimiento van desde 60-90, 90-120, 120-150 y 150-180 considerando el periodo 1961-2003. Por su parte, Monterroso-Rivas y Gómez-Díaz (2021) mencionan que en el estado de Puebla se reducirá el periodo de crecimiento, debido a una combinación de cambio en el inicio y el final del periodo de crecimiento. Con base en lo anterior el objetivo de la investigación fue identificar el impacto del cambio climático en la distribución espacial de la duración del periodo de crecimiento del cultivo de maíz de temporal en la región Centro Oriente de Puebla, México. Se planteó como hipótesis que con cambio climático se espera que haya un cambio en la duración del periodo de crecimiento del maíz de temporal.

2. Área de estudio y metodología El área es el Centro Oriente del estado de Puebla se ubica entre los 18° 37' 30" y 19° 20' 29" de latitud norte y los 97° 12' 01" y 97° 48' 35" de longitud oeste y comprende 11 municipios: Mazapiltepec de Juárez, Soltepec, San Salvador el Seco, San Nicolás Buenos Aires, Aljojuca, San Juan Atenco, Tlachichuca, Chalchicomula de Sesma, Atzitzintla, Esperanza y Cañada Morelos (FIGURA 1).

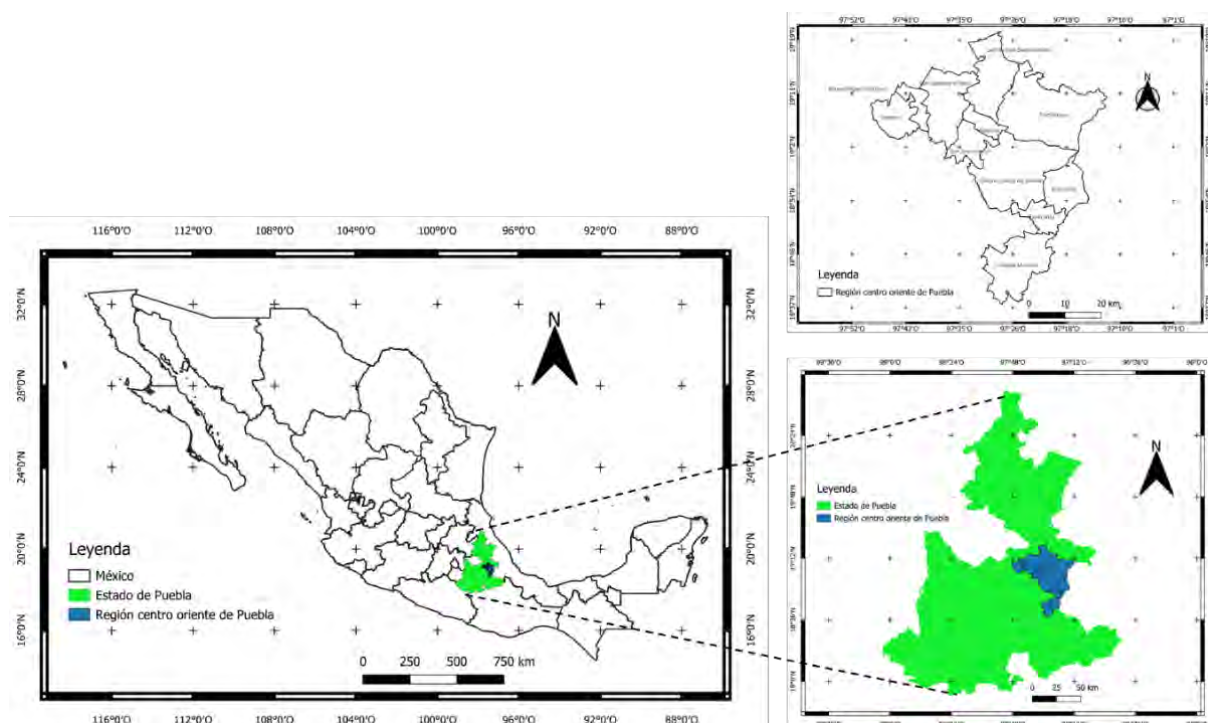


FIGURA 1. Región Centro Oriente de Puebla. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2024)

El área está conformada por llanuras, lomeríos y sierras, con altitudes que van de los 1.800 a los 3.200 m; la presencia de heladas es frecuente e inesperada, regularmente el periodo abarca de septiembre a marzo, con un promedio de 90 días; la temporada de lluvias se presenta de marzo a septiembre; la precipitación fluctúa desde los 390 a 1.200 mm anuales, mientras que el promedio en la región es de 590 mm (Juárez-Sánchez y Ramírez-Valverde, 2006). El tipo de suelo más abundante es el Regosol Ócrico con 55,5%, seguido por el Andosol Ócrico 21,1% y en proporciones menores están los Ferozem y Rendzina (Velázquez *et al*, 2019). Con relación a la evapotranspiración, la zona centro y sureste presentan valores de 600 mm, mientras que la norte y sur valores de 400 a 500 mm (INEGI, 2004).

En 2023, la superficie sembrada con maíz de temporal representó el 87,8% (SIAP, 2024); económicamente, la producción de este cultivo representó el 90,3% del total del valor de la

producción. En la FIGURA 2 se presenta el porcentaje que corresponde a la superficie sembrada de maíz de temporal para cada uno de los municipios; se aprecia la importancia que tiene este cultivo, ya que el porcentaje más bajo se presenta en San Juan Atenco (78%), mientras que en Cañada Morelos (96%) el más alto.

En la identificación del periodo de crecimiento se utilizaron datos diarios de precipitación (PCP), temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) de las estaciones climatológicas del periodo 1961-2020 [Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2024]. Se aplicó el software *RClimDex* para analizar la calidad de datos, lo cual permitió seleccionar las estaciones climatológicas con menos de 20% de datos faltantes y por lo menos 10 años en el periodo evaluado. Después de realizar el análisis de calidad de datos se seleccionaron 13 estaciones climatológicas para el periodo 1961-1990 y 10 estaciones climatológicas en el periodo 1991-2020 (FIGURA 3).

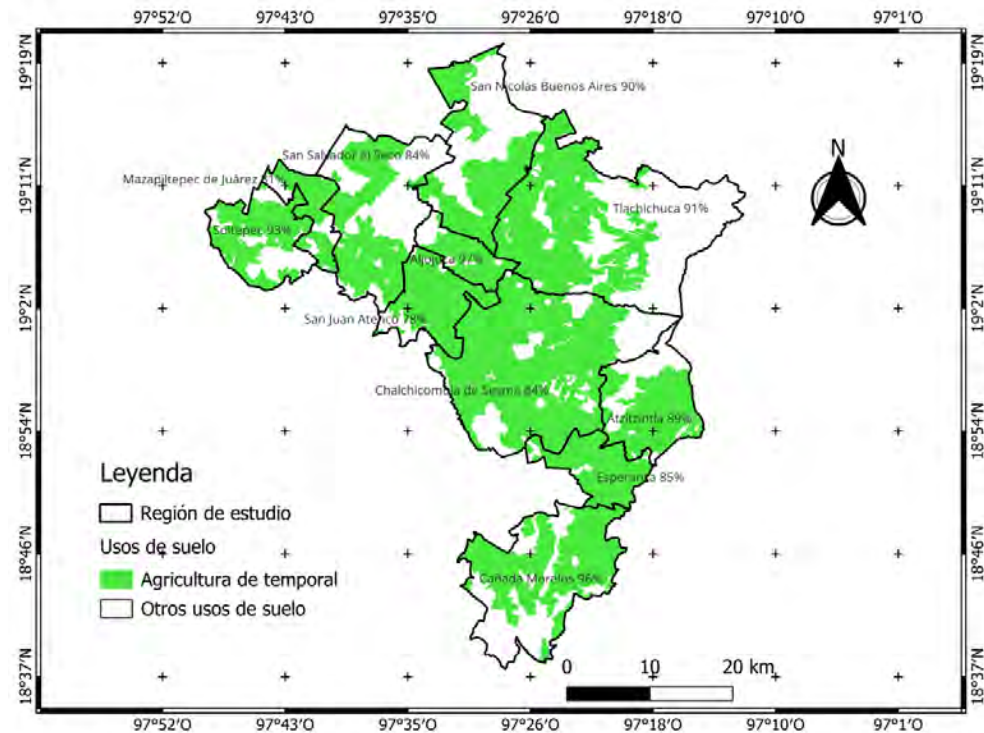


FIGURA 2. Porcentaje de hectáreas del cultivo de maíz de temporal. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2024) y SIAP (2024)

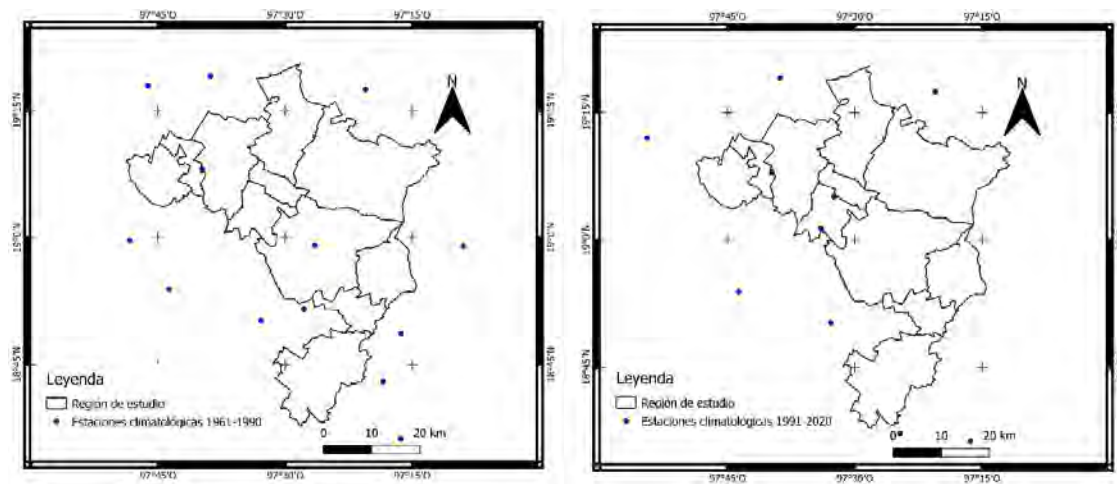


FIGURA 3. Estaciones climatológicas 1961-1990 (lado izquierdo) y estaciones climatológicas 1991-2020 (lado derecho). Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2024) y SMN (2024)

Se calculó la evapotranspiración de referencia (ET_o) con el método de *Penman-Monteith* recomendado por la Organización de las

Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2006) con la ecuación (1):

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia
(mm día⁻¹)

R_n : radiación neta en la superficie del cultivo
(MJ m⁻² día⁻¹)

G : flujo de calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

T : temperatura media del aire a 2 m de altura
(°C)

u_2 : velocidad del viento a 2 m de altura
(m s⁻¹)

e_s : presión de vapor a saturación
(kPa)

e_a : presión actual de vapor (kPa)

$(e_s - e_a)$: déficit de presión de vapor (kPa)

Δ : pendiente de la curva de presión de vapor
(kPa °C⁻¹)

γ : constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

Para el cálculo de la ET_o se requiere de datos diarios de la $T_{máx}$ y $T_{mín}$, la presión real de vapor (e_a), la radiación neta (R_n) y la velocidad del viento medida a 2 m (u_2). Cuando no se dispone de alguno de los datos climáticos requeridos se

recomienda la estimación de estos. Por ello se estimaron los datos faltantes de humedad asumiendo que la temperatura del punto de rocío es similar a la temperatura mínima diaria con la ecuación (2):

$$e_a = e^0(T_{mín}) = 0,611 \exp \left[\frac{17,27 T_{mín}}{T_{mín} + 237,3} \right] \quad (2)$$

Donde:

e_a = presión de vapor real

e^0 = presión de saturación de vapor

$T_{mín}$ = temperatura mínima

Se estimó la radiación solar derivada de las diferencias térmicas, es decir, la diferencia entre $T_{máx}$ y $T_{mín}$, la cual se puede utilizar como

indicador de la fracción de la radiación extraterrestre que alcanza la superficie de la tierra. Para esto se utilizó la ecuación (3):

$$R_s = k_{R_s} \sqrt{(T_{máx} - T_{mín}) R_a} \quad (3)$$

Donde:

R_s = radiación solar [MJm⁻² d⁻¹]

R_a = radiación extraterrestre [MJm⁻² d⁻¹]

$T_{máx}$ = temperatura máxima (°C)

$T_{mín}$ = temperatura mínima (°C)

k_{R_s} = coeficiente de ajuste (0,16..0,19)

Los coeficientes de ajuste, k_{R_s} , son empíricos y se diferencian para zonas del 'interior' y las regiones 'costeras'. Para las primeras, en donde la masa de tierra domina y las masas de aire no están influenciadas fuertemente por un cuerpo grande del agua, $k_{R_s} \approx 0,16$. Para las localizaciones 'costeras', situadas en la costa o cerca de una masa grande de tierra y donde las masas de aire están influenciadas por un cuerpo de agua cercano, $k_{R_s} \approx 0,19$. En caso de no tener disponibilidad de datos de viento dentro de la misma región, un valor de 2 m s^{-1} se utilizó como estimación temporal. Este valor es el promedio de 2.000 estaciones meteorológicas en todo el mundo.

La FAO (1997) menciona que el periodo de crecimiento (PC) es el número de días, durante un año, en el que las condiciones de humedad y temperatura son favorables para el desarrollo de los cultivos. El inicio del PC se considera cuando la PCP $\geq 0,5$ ETo, esto implica que la cantidad de agua es suficiente para la germinación de las semillas de los cultivos. En el PC puede o no haber un periodo húmedo, el cual es el intervalo donde la PCP $> \text{ETo}$. Cuando existe un periodo húmedo se satisfacen las demandas de evapotranspiración de los cultivos y el déficit de humedad en el perfil del suelo. El PC termina cuando la PCP $\leq 0,5$ ETo, aunque la finalización del PC generalmente excede un número de días requeridos para evapotranspirar hasta 100 mm (Pájaro y Ortiz, 1992).

El período comprendido entre los años 1961 y 1990 se ha mantenido como período de referencia reglamentario para las evaluaciones de cambio climático a largo plazo (OMM, 2017), por lo que al compararlo con el periodo 1991-2020 se puede identificar si hay cambio climático en la región de estudio.

Para cada estación climatológica seleccionada se calculó a escala pentadal, la PCP, Tmáx, Tmín y la Evapotranspiración de referencia (ETo), las pentadas (cada cinco días) son acumuladas para la PCP y ETo, mientras que para la Tmáx y Tmín son valores promedios. Una vez que se estimó el

periodo de crecimiento para cada una de las estaciones climatológicas, se utilizó el sistema de información geográfica QGIS para interpolar la información mediante el método de la Distancia Inversa Ponderada; en este método de interpolación, los puntos de muestra se ponderan durante la interpolación de modo que la influencia de un punto con relación a otro disminuye con la distancia desde el punto desconocido que desea crear. La ponderación es asignada a los puntos de muestreo mediante la utilización de un coeficiente de ponderación que controla cómo la influencia de la ponderación decae mientras la distancia hacia el punto nuevo se incrementa. Mientras más grande sea el coeficiente de ponderación menor será el efecto que los puntos tendrán si están lejos del punto desconocido durante el proceso de interpolación. Conforme el coeficiente se incrementa, el valor de los puntos desconocidos se aproxima al valor del punto de observación más cercano (QGIS, 2023).

3. Resultados

El análisis de los datos indica un cambio en la duración del periodo de crecimiento al comparar el periodo más reciente (1991-2020) con el periodo base (1961-1990). En el periodo base en Chalchicomula de Sesma se presentaron las mayores duraciones que van de 150 a 165 días, seguido de los municipios de Soltepec, Mazapiltepec de Juárez, San Salvador el Seco, Aljojuca, San Juan Atenco, la zona centro-sur de San Nicolás Buenos Aires. En la zona centro-sur de Tlachichuca, Atzitzintla y Esperanza sus duraciones que van de los 139 a los 150 días. Por su parte, en la zona centro-norte de San Nicolás Buenos Aires y la zona norte de Tlachichuca las duraciones van de los 129 a los 139 días, el municipio con la menor duración del periodo del crecimiento fue Cañada Morelos que va de los 114 a los 139 días (FIGURA 4); estos resultados coinciden con la investigación de Granados-Ramírez *et al.* (2011) que indican que duraciones del periodo de crecimiento van desde los 90-120, 120-150 y 150-180 días.

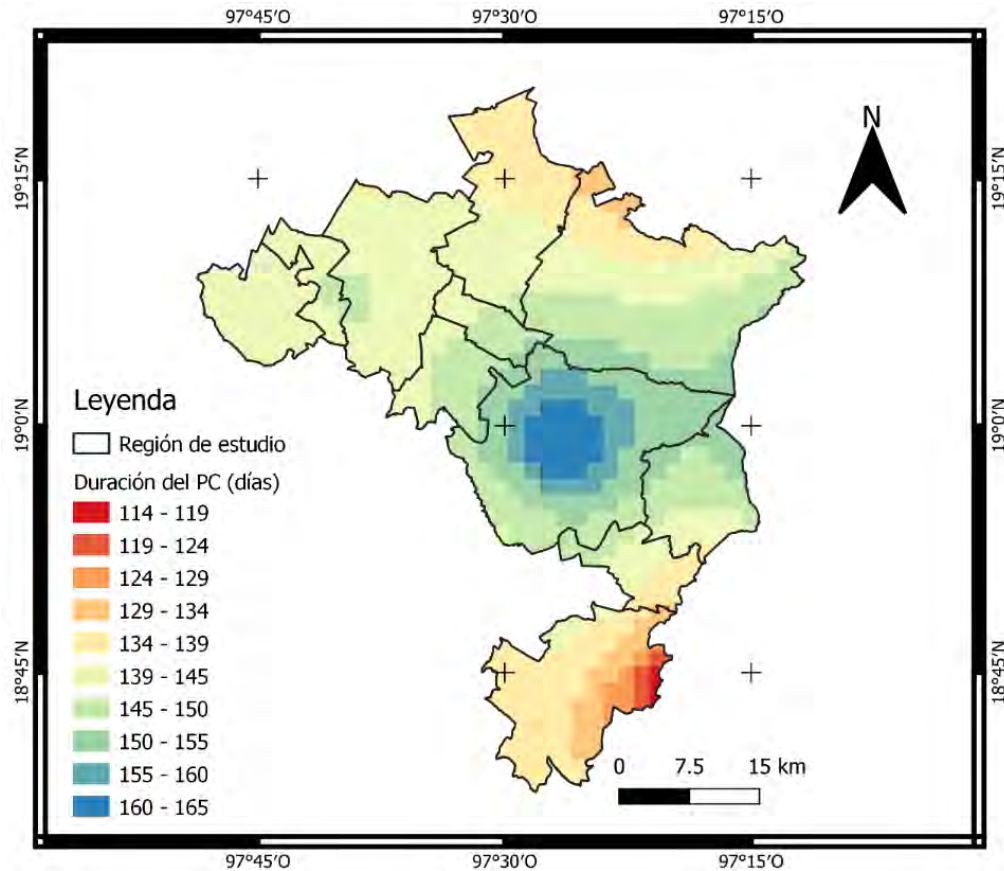


FIGURA 4. Periodo de crecimiento 1961-1990. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2024) y resultados de la investigación

El periodo de crecimiento más reciente (1991-2020) tuvo la mayor duración en San Juan Atenco que va de los 149 a 160 días, seguido de Aljojuca con 149 a 155 días; a su vez, Soltepec, Mazapiltepec de Juárez, la zona centro-sur de San Salvador el Seco, el sur de San Nicolás Buenos Aires, la zona oeste de Tlachichuca y el centro-norte de Chalchicomula de Sesma presentaron una duración que va de los 138 a 149 días. Por otra parte, la zona norte de San Salvador

el Seco, el centro-norte de San Nicolás Buenos Aires, el centro-este de Tlachichuca, Atzitzintla, Esperanza y la zona centro-sur de Chalchicomula de Sesma la duración del periodo de crecimiento fue de los 128 a 138 días. Mientras que la menor duración del periodo de crecimiento se siguió presentando en Cañada Morelos que va de los 106 a los 128 días (FIGURA 5).

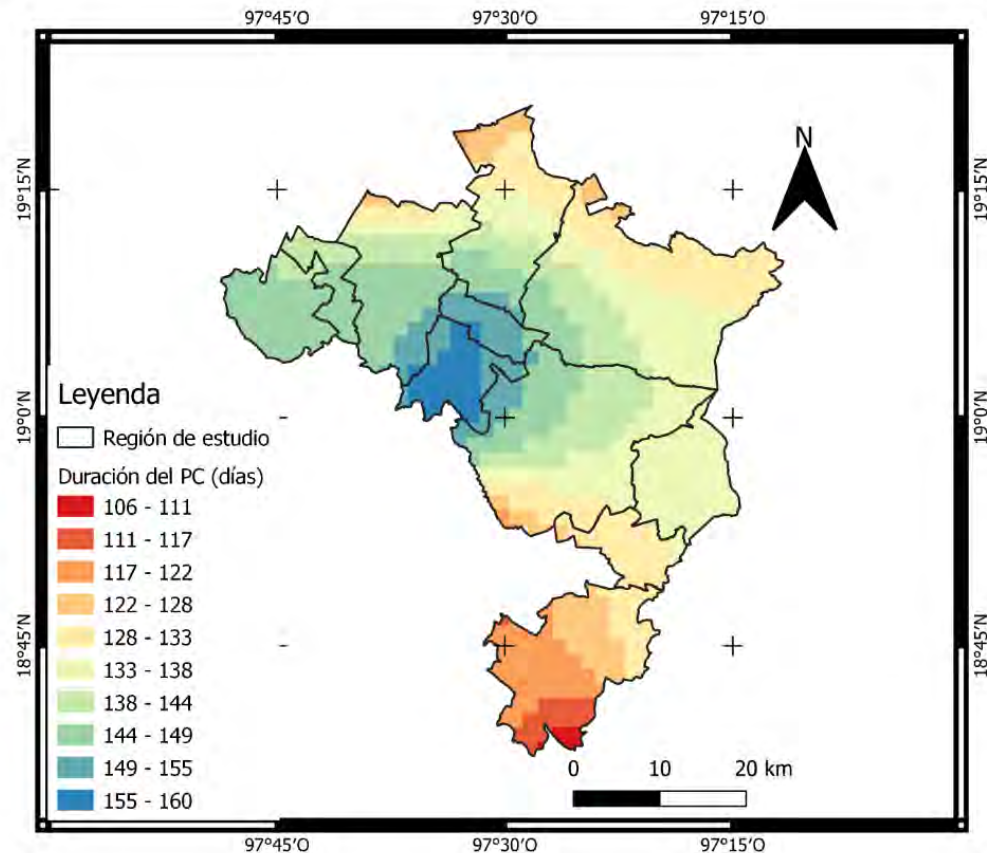


FIGURA 5. Periodo de crecimiento 1911-2020. Fuente: elaboración propia de INEGI (2024) y resultados de la investigación

Los cambios en donde se ha reflejado una disminución en la duración del periodo de crecimiento del periodo 1911-2020 con respecto al periodo base 1961-1990 se debe a que en promedio las lluvias se presentaron de forma tardía, lo que ocasionó que haya un corrimiento en el establecimiento del inicio de lluvias, aunado a una disminución de la precipitación de marzo a septiembre y a un aumento en la temperatura máxima que se vio reflejado en una mayor evapotranspiración diaria, y por lo tanto, se requieren más días para tener la humedad necesaria para el inicio del periodo de crecimiento, lo cual coincide con Monterroso *et al.* (2015) que mencionan que la disminución del periodo de crecimiento está asociado a la baja del número de días con humedad disponible. En este sentido, Ruiz-Corral *et al.* (2000) argumentan que hay una tendencia a disminuir el periodo de

crecimiento y que es importante incrementar esfuerzos en el desarrollo de variedades con mayor precocidad. Por otra parte, Ballesteros-Barrera *et al.* (2011) indican que habrá una reducción de las condiciones climáticas idóneas para el establecimiento del cultivo de maíz.

En este contexto, Ruiz-Corral *et al.* (2011) mencionan que habrá un incremento en la temperatura y una disminución en la precipitación, lo que producirá balances hídricos menos favorables para el cultivo, lo que acortará su ciclo de madurez. Por su parte, Montilla-Pacheco *et al.* (2024) encontraron que la disminución del rendimiento en las cosechas está asociado a una disminución en el ciclo de desarrollo del cultivo.

En el municipio de Chalchicomula de Sesma, con información de la estación climatológica 20126 Ciudad Serdán del periodo 1911-2020, se

registró, en los meses de marzo a septiembre, una disminución en la precipitación de 81,5 mm y se incrementó la temperatura máxima promedio 1,7 °C, lo que ha ocasionado que haya una mayor evapotranspiración promedio pasando de 4,8 a 5,1 mm diarios, lo cual coincide con Monterroso-Rivas y Gómez-Díaz (2021) que se espera que la evapotranspiración aumente

como consecuencia del incremento de la temperatura y la disminución de la humedad relativa. Por lo que se requieren más días para tener las condiciones propicias para establecer el inicio del periodo de crecimiento, lo que originó que haya disminuido el periodo de crecimiento en promedio 20 días en esta región (FIGURA 6).

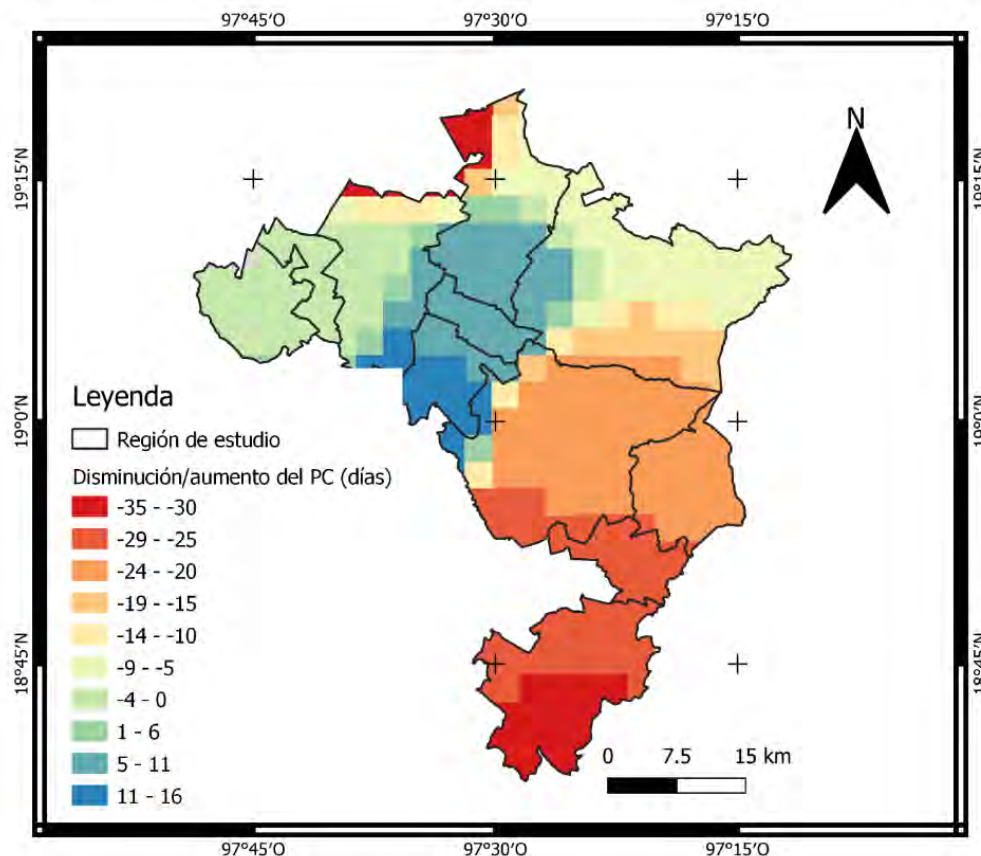


FIGURA 6. Comparación del periodo de crecimiento del periodo 1991-2020 con respecto al periodo base 1961-1990. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2024) y resultados de la investigación

Se destaca que los mayores aumentos en la duración del periodo de crecimiento fueron en los municipios de San Juan Atenco y la zona sureste de San Salvador el Seco, que fueron de 5 a 16 días, seguidos de Aljojuca, el centro-sur de San Nicolás Buenos Aires, el oeste de Tlachichuca estos rondaron de los 5 a los 11 días, mientras que las mayores disminuciones en la duración del periodo de crecimiento se presentaron en los municipios de Cañada Morelos, Atzitzintla, el sur

de Chalchicomula de Sesma y la zona noroeste de San Nicolás Buenos Aires con valores que oscilaron entre los 25 y 35 días, seguido de los municipios de Esperanza, Chalchicomula de Sesma y la zona sur de Tlachichuca, que rondaron de los 20 a 24 días; por su parte, en la zona centro-norte de Tlachichuca y San Nicolás Buenos Aires se presentaron disminuciones que fueron de los 10 a los 19 días.

En Soltepec y Mazapiltepec de Juárez se mostraron las menores disminuciones (de 0 a 4 días). Se encontró que en la zona centro-norte de Tlachichuca y centro-este de San Nicolás Buenos Aires hay una baja que va desde los 5 a los 9 días, y se considera que estas disminuciones en la duración del periodo de crecimiento coinciden con la investigación de Monterroso-Rivas y Gómez-Díaz (2021) quienes señalan que en el estado de Puebla, el periodo de crecimiento se reducirá, debido a una combinación de cambio en el inicio y el final de este. Por su parte, Wang *et al.* (2011) indican que el periodo de crecimiento se reducirá. En este sentido, Zarazúa *et al.* (2011) señalan que habrá condiciones térmicas más extremas, y que el periodo de crecimiento disminuirá. Por otra parte, Ruiz-Corral *et al.* (2016) afirman que existen diferencias para la fecha de inicio, fecha de finalización y duración del periodo de crecimiento. En este contexto, este impacto diferenciado en la duración del periodo de crecimiento en la región centro oriente de Puebla coinciden con la investigación de Peng *et al.*

(2024) que encontraron que la duración ha aumentado en el norte y ha disminuido en el sur. Se considera que estos resultados permitirán tomar decisiones sobre el tipo de variedad ciclo corto, mediano o largo plazo se debería sembrar en cada uno de los municipios.

Con relación a la variabilidad en la duración del periodo de crecimiento de ambos periodos, se encontró que en el periodo 1961-1990 se presentó una 'menor variabilidad', lo que hacía que los productores tuvieran en promedio la misma cantidad de días disponibles en el periodo de crecimiento, lo que permitía sembrar de forma sistemática la misma variedad de maíz. Mientras que en el periodo 1991-2020 se presenta una 'mayor variabilidad' (FIGURA 7), lo que significa un gran problema para los productores, los cuales en su mayoría tienen que esperar a que se establezcan las condiciones propicias de humedad para iniciar el ciclo agrícola y determinar el tipo de variedad de semilla ciclo (corto, mediano o largo plazo) que deben utilizar en la siembra para obtener mejores rendimientos.

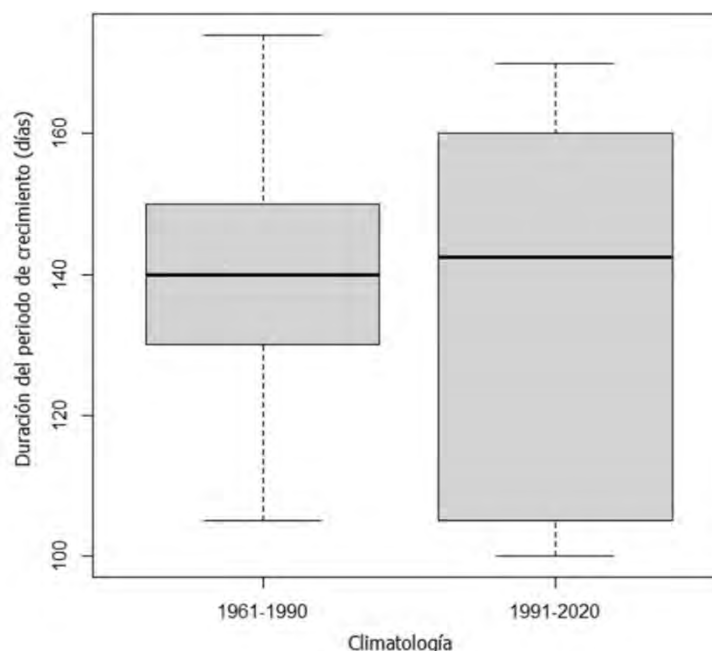


FIGURA 7. Variabilidad del periodo de crecimiento en el periodo base (1961-1990) versus más reciente (1991-2020). Fuente: elaboración propia con resultados de la investigación

En el periodo base las condiciones propicias de humedad para iniciar el periodo de crecimiento se presentaron primero en la zona centro de Chalchicomula de Sesma, extendiéndose al norte de San Juan Atenco, Aljojuca, al centro-sur de Tlachichuca y el norte de Atzitzintla. Posteriormente, en Soltepec, Mazapiltepec de Juárez, San Salvador el Seco, la zona centro-norte de Tlachichuca, y por último se establecieron en el sur en Atzitzintla, Esperanza, Cañada Morelos y centro-norte de San Nicolás Buenos Aires y norte de Tlachichuca.

En el periodo reciente, las condiciones propicias de humedad para comenzar el periodo de crecimiento se observó un desplazamiento hacia la zona noroeste, iniciando en San Juan Atenco y Aljojuca, extendiéndose a los municipios de Sultepec, Mazapiltepec, el centro-sur de San Salvador el Seco, el centro-sur de San Nicolás Buenos Aires, el oeste de Tlachichuca y la zona noroeste de Chalchicomula de Sesma. Posteriormente, se establecieron las condiciones propicias de humedad en el norte de San Salvador el Seco y San Nicolás Buenos Aires, en el noreste de Tlachichuca, Atzitzintla y Esperanza, para establecerse por último en Cañada Morelos y en la zona norte de San Nicolás Buenos Aires.

Los resultados de la investigación son importantes en la toma de decisión, ya que se pasó de datos a información, con su análisis se generó conocimiento, y con este se pueden tomar decisiones en beneficio de los productores, dependiendo de cada una de las zonas identificadas, o si fuera el caso, sugerir un cambio de cultivo que se adapte mejor a las condiciones climáticas de la región, lo cual coincide con las recomendaciones de Montiel-González *et al.* (2019) de que se puede proponer el establecimiento de cultivos de temporal por zonas que cubran los requerimientos de los cultivos y en algunos casos proponer una reconversión productiva.

4. Discusión de los resultados

La precipitación y la temperatura son fundamentales para estimar la evapotranspiración, la cual es una variable importante en la determinación del inicio del

periodo de crecimiento, ya que cuando la precipitación es mayor o igual a 0,5 de la evapotranspiración se tiene la humedad necesaria para el inicio del periodo de crecimiento, los cambios en las duraciones del periodo de crecimiento se deben a que en las zonas con la mayor duración se establecen primero las condiciones climáticas para el inicio del periodo de crecimiento y conforme se van estableciendo en la región estas van cambiando. Los principales resultados indican que de manera general hay una disminución del periodo de crecimiento en la región centro oriente del estado de Puebla, lo que implica recomendar variedades de maíz de ciclo corto. En este sentido, Wanga *et al.* (2016) indican que el calentamiento climático disminuye los periodos de crecimiento del maíz. Por su parte, Moradi *et al.* (2014) mencionan que la adaptación es un factor clave para reducir la vulnerabilidad de los cultivos ante el cambio climático, ante esto evaluaron el efecto del cambio climático en tres tipos de variedad ciclo corto, intermedia y largo plazo, y concluyen que el maíz de ciclo corto puede considerarse como una adaptación efectiva.

Por otra parte, en el periodo más reciente 1991-2020 hay una mayor variabilidad en la duración del periodo de crecimiento, lo que nos indica que ya se están visualizando los impactos del cambio climático en la región de estudio. En este contexto, Mueller *et al.* (2015) argumentan que el cambio climático tiene un fuerte impacto en la duración del periodo de crecimiento. Sin embargo, en algunas regiones y con un cambio climático más exacerbado, las altas temperaturas pueden ser ya, o llegar a ser un factor limitante para el rendimiento de los cultivos.

El conocer cómo afecta el cambio climático el cultivo de maíz es primordial para planificar las actividades agrícolas. Li y Tian (2024) indican que se deben analizar los efectos del cambio climático en el entorno de cultivo del maíz, incluidos los cambios de temperatura, los cambios en la distribución de la precipitación y el impacto de los extremos climáticos. Ante esto, la investigación contribuye con la identificación del tipo de variedad de ciclo corto, mediano o largo

plazo que se debería utilizar en el inicio del proceso agrícola. Aunado a esto, también es trascendental realizar ajustes en las prácticas agrícolas para que el cultivo de maíz pueda aprovechar las condiciones climáticas actuales. En este sentido, Li y Tian (2024) mencionan que, en respuesta a los cambios en la distribución de precipitación, es fundamental fortalecer la retención de humedad del suelo y aumentar la capacidad de retención de agua del suelo.

5. Conclusiones

Se identificó una mayor variabilidad en la duración del periodo de crecimiento en el periodo más reciente (1991-2020) en comparación con el de referencia (1961-1990), lo que implica que los productores tengan que utilizar variedades de maíz de diferentes ciclos de desarrollo, ya sea, corto, mediano o largo plazo; por ello, en su mayoría tienen que esperar a que se establezcan las condiciones propicias de temperatura y humedad para iniciar el ciclo

agrícola para garantizar un buen rendimiento. También se identificó un impacto diferenciado del cambio climático en la distribución espacial de la duración del periodo de crecimiento del cultivo de maíz de temporal, en el periodo 1991-2020 la mayor duración del periodo de crecimiento se ha recorrido hacia el noroeste, San Juan Atenco y Aljojuca, mientras que la menor duración del periodo de crecimiento se sigue presentándose en la zona sur de la región de estudio, Cañada Morelos.

Este cambio en la duración del periodo de crecimiento hace que los productores tengan que optar por semillas de ciclos más cortos, tratando de evitar que, las primeras heladas que se esperan a finales de septiembre y/o principios de octubre, no afecten al cultivo. Este impacto diferenciado permitirá formular estrategias locales ante el cambio climático, con la finalidad de contribuir a la planificación de las actividades agrícolas.

6. Agradecimientos

Se agradece el apoyo al Colegio de Postgraduados, Campus Puebla y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Doctorado.

6. Referencias citadas

- ACHLI, S.; EPULE, T. E.; DHIBA, D.; CHEHBOUNI, A. & S. ER-RAKI. 2022. "Vulnerability of Barley, Maize, and Wheat Yields to Variations in Growing Season Precipitation in Morocco". *Applied Sciences*, 12(7): 3407. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app12073407>.
- ARCE-ROMERO, A.; MONTERROSO-RIVAS, A. I.; GÓMEZ-DÍAZ, J. D.; PALACIOS-MENDOZA, M. A.; NAVARRO-SALAS, E. N.; LÓPEZ-BLANCO, J. & A. C. CONDE-ÁLVAREZ. 2020. "Crop yield simulations in Mexican agriculture for climate change adaptation", *Atmósfera*, 33(3): 215-231. Disponible en: <https://doi.org/10.20937/ATM.52430>.
- BALLESTEROS-BARRERA, C.; JIMÉNEZ-GARCÍA, D. y J. HERNÁNDEZ-CÁRDENAS. 2011. "El impacto potencial del cambio climático sobre los agrosistemas. El caso del cultivo del maíz, proyecciones al futuro". En: G. A. ARAGÓN; G. JIMÉNEZ y L. HUERTA (Eds.), *Manejo Agroecológico de Sistemas* Vol. II, pp. 1-14. Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.
- BENDÁKOVÁ, V.; NAGY, H.; TURČEKOVÁ, N.; ADAMIČKOVÁ, I. & P. BIELIK. 2024. "Assessing the climate change impacts on maize production in the Slovak Republic and their relevance to sustainability: A case study". *Sustainability*, 16(13): 5.573. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su16135573>.

- CONDE, C.; FERRER R. M. y D. LIVERMAN. 2000. "Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo CERES-MAIZE". En C. GAY (Ed). *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*, pp. 89-102. Instituto Nacional de Ecología y Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- CHRISTIANSEN, D. E.; MARKSTROM S. L. & L. E. HAY. 2011. "Impacts of climate change on the growing season in the United States". *Earth Interactions*, 15(33): 1-17.
- ESTRADA, F.; MENDOZA-PONCE, A.; CALDERÓN-BUSTAMANTE, O. & W. BOTZEN. 2022. "Impacts and economic costs of climate change on Mexican agricultura". *Regional Environmental Change*, 22: 126. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01986-0>.
- GRANADOS-RAMÍREZ, R.; AGUILAR-SÁNCHEZ, G.; DÍAZ-PADILLA, G. y M. de la P. MEDINA-BARRIOS. 2011. "Alteraciones de los indicadores agroclimáticos en años con presencia del fenómeno El Niño en la región centro-occidente de México". *Revista Geográfica de América Central*, 2: 1-16.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y GEOGRAFÍA (INEGI). 2024. *AGEE Área Geoestadística Estatal*. Escala: 1:250.000. México.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y GEOGRAFÍA (INEGI). 2021. *Anuario Estadístico y Geográfico por entidad federativa 2021: versión actualizada/ Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. pp. 641. INEGI. México
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y GEOGRAFÍA (INEGI). 2004. *Isolínea de Evapotranspiración de México*. Escala 1:1.000.000. CentroGEO. México.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2018. *Anexo I: Glosario* Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf. [Consulta: septiembre, 2024].
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2014. Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. *Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf. [Consulta: septiembre, 2024].
- JUÁREZ-SÁNCHEZ, J. P. y B. RAMÍREZ-VALVERDE. 2006. "El programa de subsidios directos a la agricultura (PROCAMPO) y el incremento de la producción de maíz en una región campesina de México". *Ra Ximhai*, 2(2): 373-391.
- LI, Y. & F. TIAN. 2024. "Impact of climate change on maize yield and response strategies: A review study". *Advances in Resources Research*, 4(3): 497-513. Disponible en: https://doi.org/10.50908/arr.4.3_497.

- MONTERROSO-RIVAS, A. I. y J. D. GÓMEZ-DÍAZ. 2021. "Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México". *Terra Latinoamericana*, 39: 1-19. Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>.
- MONTERROSO-RIVAS, A. I.; GÓMEZ-DÍAZ, J. D.; SÁENZ-ROMERO, C.; LLUCH-COTA, S. E.; PÉREZ-ESPEJO, R.; SALVADEO, C. J.;... J. BACA DEL MORAL. 2015. "Sistemas de producción de alimentos y seguridad alimentaria". En: C. G y G. y J. RUEDA ABAD. (Eds.), *Reporte mexicano de cambio climático: Grupo II, Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación. Programa de Investigación en Cambio Climático*, pp. 97-118. UNAM. México.
- MONTIEL-GONZÁLEZ, C.; GALLEGOS-TAVERA, Á.; ORTEGA-GÓMEZ, A. M.; BAUTISTA, F.; GOPAR-MERINO, F. & A. VELÁZQUEZ. 2019. "Agro climatic analysis for rainfed agricultura Ecosist". *Recur. Agropec.*, 6(17): 307-316.
- MONTILLA-PACHECO, A DE J.; PASTRÁN-CALLES, F. R. y H. A. DE LA TORRE-BURGOS. 2024. "Efectos del calentamiento global sobre el comportamiento del cultivo de maíz". *Revista de Ciencias Agropecuarias "ALLPA"*, 7(13): 48-58.
- MORADI, R.; KOOCHEKI, A. & M. NASSIRI MAHALLATI. 2014. "Adaptation of maize to climate change impacts in Iran". *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 19: 1.223-1.238. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9470-2>.
- MUELLER, B.; HAUSER, M.; ILES, C.; RIMI, R. H.; ZWIERS, F. W. & H. WAN. 2015. "Lengthening of the growing season in wheat and maize producing regions". *Weather and Climate Extremes*, 9: 47-56. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.04.001>.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN y LA AGRICULTURA (FAO). 2024. *Base de datos estadísticos de la FAO*. Disponible en: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. [Consulta: julio, 2024].
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN y LA AGRICULTURA (FAO). 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4737s.pdf>. [Consulta: enero, 2024].
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN y LA AGRICULTURA (FAO). 2006. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>. [Consulta: enero, 2024].
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN y LA AGRICULTURA (FAO). 1997. No. 73. Roma, Italia.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). 2017. *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre normales climáticas (OMM-N° 1203)*. Edición de 2017. Ginebra, Suiza
- PÁJARO, H. D. y S. C. A. ORTIZ. 1992. "Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la República Mexicana". *Revista de Geografía Agrícola*, (17): 119-125.

- PENG, Q.; SHEN, R.; LIU, Y.; LI, X.; SUN, Q.; HUANG, J. & W. YUAN. 2024. "Spatial and temporal patterns of maize phenology in China from 2001 to 2020". *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 129(10). Disponible en: <https://doi.org/10.1029/2024JG008095>.
- QUANTUM GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (QGIS). 2023. *Una introducción fácil a los SIG*. Disponible en: <https://docs.qgis.org/3.28/es/docs/>. [Consulta: noviembre, 2023].
- RODRÍGUEZ DE LUQUE, J. J.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, C. E.; GOURDJI, S.; MASON-D'CROZ, D.; OBANDO-BONILLA, D.; MESA-DIEZ, J. y S. D. PRAGER. 2016. "Impactos socioeconómicos del cambio climático de América Latina y el Caribe: 2020-2045". *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 13(78): 11-34.
- RUIZ-CORRAL, J. A.; MEDINA-GARCÍA, G.; FLORES-LÓPEZ, H. E.; RAMÍREZ-DÍAZ J. L.; DE LA CRUZ-LARIOS, L.; VILLALPANDO-IBARRA, J. F.; ... y O. RUIZ-ÁLVAREZ. 2016. "Impacto del cambio climático sobre la estación de crecimiento en el estado de Jalisco, México". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (Pub. Esp. 13): 2.627-2.638.
- RUIZ-CORRAL, J. A.; MEDINA-GARCÍA, G.; RAMÍREZ-DÍAZ, J. L.; FLORES-LÓPEZ H. E.; RAMÍREZ-OJEDA, G.; MANRÍQUEZ-OLMO, J. D.; ... y C. DE LA M. MORA. 2011. "Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (Pub. Esp. 2): 309-323.
- RUIZ-CORRAL, J. A.; RAMÍREZ-DÍAZ J. L.; FLORES-MENDOZA, F. J. y J de J. SÁNCHEZ-GONZÁLEZ. 2000. "Cambio climático y efectos sobre las áreas potenciales para maíz en Jalisco, México". *Revista de Fitotecnía Mexicana*, 23: 183-194.
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIO y PESQUERO (SIAP). 2024 *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. [Consulta: julio, 2024].
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIO y PESQUERO (SIAP). 2024a. *Panorama Agroalimentario 2023*. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2023/Panorama-Agroalimentario-2023. [Consulta: julio, 2024].
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (SMN). 2024. *Información estadística climatológica*. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/>. [Consulta: junio, 2024].
- URETA, C.; GONZÁLEZ, E. J.; ESPINOSA, A.; TRUEBA, A.; PIÑEYRO-NELSON, A. & E. R. ÁLVAREZ-BUYLLA. 2020. "Maize yield in Mexico under climate change". *Agricultural Systems*, 177: 102697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>.
- VELÁZQUEZ, J.; JUÁREZ, J. P.; RAMÍREZ-VALVERDE, B.; SÁNCHEZ, M. DEL V.; JIMÉNEZ, J. y O. R. TABOADA. 2019. "Regionalización de la producción de maíz de temporal en el Estado de Puebla, México". *Cuadernos Geográficos*, 58(2): 152-167.

- WANG, M.; LI, Y.; YE, W.; BORNMAN, J. F. & X. YAN. 2011. "Effects of climate change on maize production, and potential adaptation measures: a case study in Jilin Province, China". *Climate Research*. 46(3): 223-242. Disponible en: <https://doi.org/10.3354/cr00986>.
- WANG, Z. H.; CHEN, J.; LIB, Y.; LIC, C.; ZHANG, L. & F. CHEN. 2016. "Effects of climate change and cultivar on summer maize phenology". *International Journal of Plant Production*, 10(4): 509-526.
- ZARAZÚA-VILLASEÑOR, P.; RUIZ-CORRAL, J.; GONZÁLEZ-EGUIARTE, D.; FLORES-LÓPEZ, H. y J. RON-PARRA. 2011. "Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en Ciénega de Chapala, Jalisco". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2: 351-363.
- ŽYDELIS, R.; WEIHERMÜLLER, L. & M. HERBST. 2021. "Future climate change will accelerate maize phenological development and increase yield in the Nemoral climate". *Science of The Total Environment*, 784:147175. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147175>.

Lugar y fecha de finalización del artículo:

Puebla, México; enero, 2025

Revisión y corrección: abril, 2025

Metodologías que orientan las investigaciones sobre procesos de desarrollo e innovación social

Metodologias que orientam a pesquisa sobre inovação social e processos de desenvolvimento

Methodologies that guide research on development processes and social innovation

Lemy Bran-Piedrahita¹, Alejandro Valencia-Arias¹, Lucía Palacios-Moya² y Daniel Cardona-Valencia³

¹ Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

² Institución Universitaria Escolme, Dirección de Investigaciones

³ Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Económicas

Medellín, Departamento de Antioquia, Colombia

lemybran@itm.edu.co; jhoanyvalencia@itm.edu.co; ciessalud3@escolme.edu.co;

daniel.cardonav@udea.edu.co

Bran-Piedrahita: <https://orcid.org/0000-0001-5114-9081>

Valencia-Arias: <https://orcid.org/0000-0001-9434-6923>

Palacios-Moya: <https://orcid.org/0000-0003-3891-0862>

Cardona-Valencia: <https://orcid.org/0000-0001-8689-4399>

Resumen

Se realizó un estudio para identificar las tendencias metodológicas desde las cuales se orientan las investigaciones sobre procesos de desarrollo e innovación social en el período 2020-2024. El método fue mediante enfoque cualitativo y alcance descriptivo, seleccionando 50 artículos en acceso abierto desde la base de datos Scopus. Los hallazgos evidencian que las tendencias del campo se dirigen a estudios cualitativos, seguidos por enfoques mixtos y cuantitativos, cuyo alcance suele ser exploratorio con estudios de caso. Las técnicas de recolección de información más empleadas son entrevistas semiestructuradas, observación participante, cuestionarios e investigaciones documentales. Además, se infiere que en la innovación social con perspectiva del desarrollo es común para estudiar casos en regiones rurales y poblaciones apartadas de cascos urbanos, lo que sugiere la pertinencia de construir metodologías de estudio que profundicen sobre las particularidades de estos territorios.

PALABRAS CLAVE: comunidad; desarrollo económico y social; innovación cultural; sistema social.

Resumo

Foi realizado um estudo para identificar as tendências metodológicas a partir das quais se orienta a pesquisa sobre processos de desenvolvimento e inovação social no período 2020-2024. O método foi qualitativo e de âmbito descritivo, tendo sido selecionados 50 artigos de acesso livre da base de dados Scopus. Os resultados mostram que as tendências no campo são para estudos qualitativos, seguidos de abordagens mistas e quantitativas, cujo escopo tende a ser exploratório com estudos de caso. As técnicas de recolha de dados mais utilizadas são as entrevistas semiestruturadas, a observação participante, os questionários e a investigação documental. Além disso, infere-se que na inovação social com perspectiva de desenvolvimento é comum o estudo de casos em regiões rurais e populações distantes dos centros urbanos, o que sugere a relevância da construção de metodologias de estudo que aprofundem as particularidades desses territórios.

PALAVRAS-CHAVE: comunidade; desenvolvimento económico e social; inovação cultural; sistema social.

Abstract

A study was carried out to identify the methodological trends that will guide research on development processes and social innovation in the period 2020-2024. The method was qualitative and descriptive in scope, selecting 50 open access articles from the Scopus database. The findings show that the trends in the field are towards qualitative studies, followed by mixed and quantitative approaches, whose scope tends to be exploratory with case studies. The most used data collection techniques are semi-structured interviews, participant observation, questionnaires, and desk research. Furthermore, it is inferred that in social innovation with a development perspective it is common to study cases in rural regions and populations far from urban centers, which suggests the relevance of constructing study methodologies that delve deeper into the particularities of these territories.

KEYWORDS: communities; economic and social development; cultural innovations; social systems.

1. Introducción

El desarrollo es un entramado complejo a través del cual se han discutido teóricamente las formas mediante las cuales las sociedades se erigen según su contexto y momento histórico, lo que ha conducido a que los aportes sobre el tema se nutran inicialmente de corrientes economicistas, donde el funcionamiento del mercado y la distribución de la riqueza constituyeron indicadores relevantes. No obstante, la crisis económica de 1929 evidenció que la reducción a esta dimensión era limitada, por lo que progresivamente se han incorporado otros pilares que atraviesan lo político, lo ambiental y sociocultural, haciendo de los estudios del desarrollo un campo con enfoques multidisciplinares, donde la discusión ha fragmentado las fronteras del mercado y el Estado, para exaltar la sociedad civil (Valenzuela, 2023).

Los fallos del mercado y el Estado han zanjado el camino para que la sociedad civil se involucre en las dinámicas de desarrollo, mediante procesos de innovación desde su capacidad de agencia. Por ello, frente a los problemas de distribución y concentración de la riqueza, las desigualdades sociales y dilemas por la incapacidad del Estado para reducir las brechas socioeconómicas desde sus instrumentos de intervención, surgen iniciativas a partir de las cuales las comunidades se emancipan, transformando sus condiciones de vida a partir de su movilización hacia la resolución de problemas, lo que teóricamente se ha denominado *innovación social* – IS (Patiño-Valencia *et al.*, 2020; Moreno, 2013).

La innovación social se entiende como un tipo de innovación que supera las corrientes tradicionales que han delimitado su función, develando cómo un conjunto de ideas gestadas desde las comunidades se pone al servicio de la resolución de sus problemáticas, lo que añade mayor efectividad al proceso, puesto que los actores sociales se convierten en agentes que diagnostican sus necesidades y, a la vez, proponen estrategias de solución para afrontarlo. Estos procesos fomentan el desarrollo de capacidades en los territorios legando un

aprendizaje colectivo que impacta la calidad de vida de las personas, así como el empoderamiento de los individuos. Por ello, han surgido nuevos modelos para entender el desarrollo, como la Quintuple Hélice, que integra empresas, gobiernos, la academia, el medio ambiente y la sociedad, comprendiendo la importancia que adquieren las necesidades socio ecológicas para consolidar sistemas justos y sostenibles (Solís – Navarrete *et al.*, 2021).

Esto explica el interés que han cobrado los procesos de innovación y emprendimiento social, refrendado entre otros por el aumento de literatura especializada. No en vano, la innovación social fomenta la solución de problemáticas que el Estado y el mercado se han visto imposibilitados para resolver, además de contribuir con metas globales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), marco de acción que busca un desarrollo armónico entre la industrialización, las nuevas tecnologías, las sociedades y el medio ambiente (Grilo y Moreira, 2022; Herranz de la Casa y García Caballero, 2021). Por tanto, reconociendo la importancia de la IS en áreas urbanas y rurales (Andion *et al.*, 2022; Galego *et al.*, 2022) se realizó un estudio para identificar las tendencias metodológicas que orientan las investigaciones sobre desarrollo e innovación social en el período 2020-2024.

2. Estado del arte

La innovación social erige otro marco para comprender los procesos de empoderamiento ciudadano, develando el rol que las comunidades cumplen para identificar y resolver sus dificultades (Slee *et al.*, 2021). Así, es extensa la literatura científica que refleja desde diferentes latitudes cómo se han adoptado estrategias de innovación social para resolver problemas en articulación con gobiernos locales y otros agentes sociales. En Austria, desde los años noventa, se llevan acciones de IS para adoptar programas de liderazgo que incentiven el desarrollo en zonas rurales, desde la mirada bottom-up en la construcción de políticas públicas, por lo cual la consolidación de ecosistemas de innovación social e

infraestructuras resultan cruciales para el desarrollo rural y mejorar los vínculos interregionales (Stoustrup, 2022; 2022a). Igualmente, la investigación de Novikova (2021) en Portugal revela la importancia de la IS para estimular la cooperación y el intercambio de conocimientos.

El estudio de Nijnik *et al.* (2020) manifiesta el papel de los procesos de innovación social en Ucrania, para actividades de reforestación desde la reconfiguración de prácticas sociales que fomenten el desarrollo sostenible, impactando la naturaleza y los seres humanos favorablemente. Mientras tanto, desde el análisis de estas dinámicas en Alemania e Italia, Sept (2021) refiere que, aunque las zonas rurales o periféricas suelen considerarse menos propensas a innovar -pese a su contribución con el desarrollo agrícola-, su problema puede deberse a la carencia de canales mediante los cuales sus diversos actores puedan comunicarse y emprender proyectos conjuntos. En Eslovenia, la investigación de Tiran *et al.* (2022), a partir del estudio de la ciudad de Velenje (caracterizada por el desarrollo de actividades mineras), evidencia que existe una subvaloración por las ciudades de vocación industrial con respecto a aquellas con grandes aglomeraciones urbanas orientadas al sector servicios, reflejando que, pese a ello, existen en la localidad capacidades de IS para promover una cultura de colaboración. Igualmente, la comparación realizada por Klein *et al.* (2020) entre localidades de España y Canadá da cuenta de la importancia que adquieren dentro de estos procesos el fomento de la participación de las comunidades para alcanzar altos niveles de colaboración.

Al respecto, Deže *et al.* (2023) coinciden en la importancia de involucrar las comunidades, puesto que, a partir de su estudio en regiones rurales de Francia, Croacia y Finlandia, identifican buenas prácticas y esquemas de innovación social, con los cuales se contribuye al logro de los ODS. Por otro lado, en un ejercicio realizado en Finlandia por Nordber *et al.* (2020) se indagó sobre los diferentes roles que emergen durante los procesos de innovación social, remarcando no sólo la importancia de la participación comunitaria, sino también los nexos que las

comunidades establecen con las administraciones locales y las posibilidades para coordinar estos agentes con mecanismos ya dispuestos por la gestión pública.

Equivalentemente, con otro estudio en la región nórdica, Jungsberg *et al.* (2020) consiguen no sólo reafirmar la importancia de los procesos de coordinación de los agentes, sino también la distribución de sus funciones, pues mientras en la etapa de iniciación las innovaciones sociales son sumamente dependientes de la sociedad civil, los actores del Estado y las organizaciones civiles, durante la implementación la dependencia se afinca más en este último actor. Desde otra perspectiva, Wistveen *et al.* (2024) estudiaron el impacto de los segundos hogares en Noruega, una medida adoptada durante la pandemia del COVID 19 viéndolo como alternativa de refugio frente a los confinamientos, develando las consecuencias para el turismo y el cumplimiento de los ODS por el país escandinavo; mientras Kåks *et al.* (2022) detallan la adopción en Suecia del modelo 'Philani model' sudafricano para abordar los embarazos tempranos en mujeres migrantes.

En países asiáticos existen estudios significativos por referir, como el de Iran y Müller (2020) en Teherán (Irán), quienes observaron un interés creciente por prácticas que incentiven el consumo sostenible, aunque arguyen que en dicho contexto se evidencia una influencia de compañías extranjeras, más que la propia conciencia sobre su relevancia por parte de las organizaciones estudiadas. Por su parte, Kassim *et al.* (2022) en Malasia, identificaron la participación del Estado en iniciativas de IS, además de las formas en que los emprendimientos locales permiten dar cumplimiento a la Agenda 2030 en propósitos como reducción del hambre, disminución de la pobreza, trabajo decente y crecimiento económico, además de consumo y producción limpia. De su parte, Echaubard *et al.* (2020) en Camboya, identifican estrategias de innovación social a bajo costo a partir de las cuales se mejora el control de enfermedades como el dengue y afianzan las condiciones de salud para naciones del Sur Global. Mientras en África, el estudio de

Wehn *et al.* (2021), refleja los intereses alrededor de la innovación social en esta zona del mundo para afrontar problemáticas como el cambio climático y la disponibilidad de agua, en lo que se considera relevante las miradas top-down y bottom-up para los procesos de política pública en la región.

En América Latina, se documentan algunas iniciativas interesantes, como la de Valenzuela-Zibiaur *et al.* (2021) en Chile con la adopción de laboratorios de fabricación a través de los cuales se fomentan procesos de innovación social y se contribuye con el logro de los ODS, considerándose una estrategia útil para adoptar en las universidades. En Brasil, Thomas y Pugh (2020) exploran sobre la misma línea universitaria los aportes que estas realizan mediante sus emprendimientos e innovaciones para contribuir con la búsqueda de soluciones a diferentes problemáticas. Y en Colombia, mediante un estudio llevado a cabo en la región rural de Sumapaz, Bautista-Gómez y Niekerk (2022) develan cómo los procesos de IS permiten crear alternativas creativas para acceder a servicios de salud en zonas remotas.

3. Metodología

Se llevó a cabo una investigación de enfoque cualitativo, por sus ventajas para aproximarse al fenómeno de estudio desde una lógica inductiva, facilitando la profundización e interpretación de elementos vinculados con la naturaleza subjetiva del enfoque. El alcance es descriptivo, toda vez que intenta profundizar sobre terrenos ya explorados con suficiencia por la literatura científica -los estudios de desarrollo e innovación social-, describiendo las tendencias metodológicas para abordar investigaciones sobre el tema, mediante una revisión documental. Para la obtención de los artículos se diseñó una ecuación de búsqueda con validación de los descriptores clave a partir del Tesauro de la UNESCO, utilizada en la base de datos Scopus, limitando la búsqueda a artículos publicados en español, inglés y portugués, que además estuvieran en acceso abierto, entre los años 2020 y 2024. Bajo estos parámetros se obtuvieron 119 registros que fueron descargados en un archivo

de Excel y, a partir de una revisión por los investigadores, se seleccionaron aquellos que tuvieran una sección de metodología explícita o elementos relacionados con el diseño declarados en sus resúmenes o apartado introductorio de los manuscritos, con lo que la búsqueda se redujo a 82 registros.

Sobre estos registros los artículos fueron codificados en un archivo de Excel con códigos que iban del A001 al A0082, para posteriormente ser seleccionados aleatoriamente a partir del uso de Chat GPT-3.5 de uso gratuito, solicitando al algoritmo seleccionar 50 artículos a partir de la lista de códigos, con los cuales se efectuó el ejercicio de revisión tomando como categorías de interés: enfoque del estudio, alcance, técnicas de recolección de información, técnicas de análisis y consideraciones éticas. Así, se analizaron los 50 artículos seleccionados a partir de las categorías definidas, considerando la propuesta de Steven Taylor y Robert Bogdan (1987) para el procesamiento de datos cualitativos, pasando por las fases de descubrimiento de los datos con una lectura reiterada, codificación para identificar patrones comunes de la información compilada y la relativización de estos.

Para la presentación de los hallazgos se construyeron dos acápites. En el primero se detalla en términos descriptivos el análisis de indicadores bibliométricos de productividad y citación de las publicaciones objeto de estudio, que, si bien no son el único insumo para medir el rendimiento de las investigaciones, es útil para dimensionar la cantidad de producción y utilidad percibida por la comunidad científica (Flores-Fernández y Aguilera-Eguía, 2020). El segundo, expone las tendencias metodológicas en el campo, sintetizadas por el sistema de categorías delimitado. Finalmente, como consideraciones éticas garantes del ejercicio se atendieron directrices internacionales y nacionales respecto al reconocimiento de derechos de autor y propiedad intelectual, por lo que las ideas expresadas en el texto que se han apoyado en literatura publicada se respaldan con la debida citación y referenciación de los materiales.

4. Resultados

Los hallazgos se expondrán en dos acápites. El primero, caracteriza los 50 artículos en que se soporta el ejercicio, mediante indicadores de productividad y citación. El segundo por su parte, describe las tendencias metodológicas en las que se están llevando a cabo las investigaciones sobre procesos de desarrollo e innovación social.

4.1 Caracterización de los artículos objeto de estudio

El 70% de la producción se concentró entre los años 2020 a 2022 (FIGURA 1), en lo que puede inferirse la influencia de la contingencia atravesada por la pandemia del COVID-19,

coyuntura que al desfasar las capacidades del mercado y el Estado develó la importancia de los procesos de organización de la sociedad civil para afrontar los problemas, especialmente en regiones apartadas de los polos de desarrollo. Cuestión que se reafirma por las investigaciones adelantadas por los autores, cuyas contribuciones en su mayoría develan la potencialidad de los procesos de innovación social para el desarrollo de las regiones rurales para combatir las múltiples problemáticas que históricamente han enfrentado, como evidencia el estudio realizado por Novikova (2021), que aduce el rol transformativo de este tipo de innovaciones para la ruralidad portuguesa.

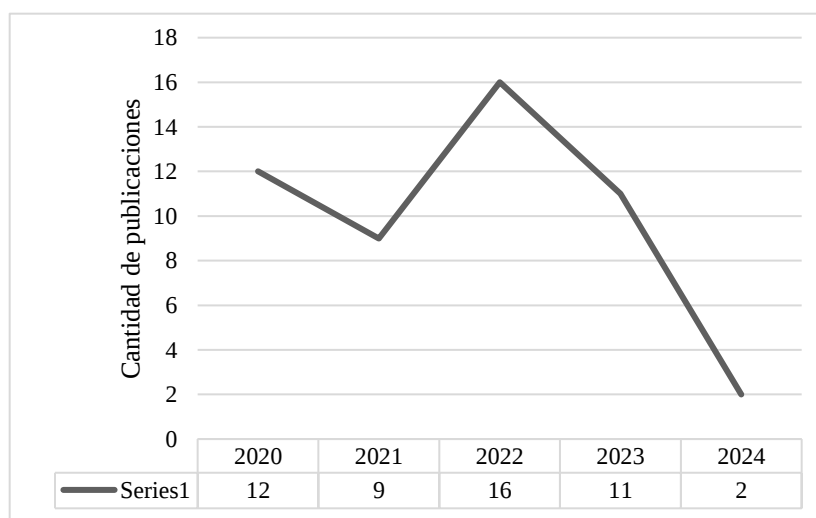


FIGURA 1. Cantidad de publicaciones en el campo de estudio. Fuente: elaboración propia. El registro a 2024 toma como corte el mes de marzo de dicho año, lo que incide en el bajo registro de este año

Respecto a la productividad de las revistas, a partir de los artículos analizados las publicaciones con mayor número de contribuciones corresponden a *Sustainability* del Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) de Suiza, *Journal of Rural Studies* de la casa Elsevier en Reino Unido y *European Countryside* de Mendel University in Brno en República Checa. La revista *Sustainability* es una publicación de acceso abierto, cuyo objeto de interés es la divulgación del conocimiento en medio ambiente y sostenibilidad cultural,

económica y social, con un factor de impacto de 3.3 (MDPI, 2024).

Mientras tanto, *Journal of Rural Studies* propende por el entendimiento y análisis de las sociedades rurales contemporáneas, así como los procesos sociales, económicos y políticos asociados con la ruralidad, con un factor de impacto de 5.1 (Science Direct, 2024). Por su parte, *European Countryside* se interesa por contribuir en los campos de ecología, sociología rural, demografía y cuestiones de género, con un factor de impacto de 1.2 (*Scimago Journal* y

Country Rank, 2024). En cuanto a la calidad de las publicaciones, pese a las controversias que puede generar fijarla a partir de la cantidad de citas, es usual en la literatura científica tomarla como un indicador útil para trazar la aceptación de los saberes generados (Ràfols,

2023); de esta manera, el 88% de los artículos -44 de los 50 consultados- poseen menos de 20 citas y sólo el 12% -6 de los 50- tienen más de 20 citas, los cuales se aprecian en la TABLA 1.

TABLA 1. Publicaciones con mayor número de citas en el campo de estudio. Fuente: elaboración propia

Título	Revista	Año	Citas
Intellectual evolution of social innovation: A bibliometric analysis and avenues for future research trends	Industrial Marketing Management	2021	62
Community-driven social innovation and quadruple helix coordination in rural development. Case study on LEADER group Aktion Österbotten	Journal of Rural Studies	2020	55
Key actors in community-driven social innovation in rural areas in the Nordic countries	Journal of Rural Studies	2020	37
Beyond sustainability in food systems: Perspectives from agroecology and social innovation	Sustainability	2020	29
Thinking Together Digitalization and Social Innovation in Rural Areas: An Exploration of Rural Digitalization Projects in Germany	European Countryside	2020	26
Social innovation, societal change, and the role of policies	Sustainability	2020	23

El trabajo con mayor número de citas -62 citas- corresponde al realizado por Foroudi *et al.* (2021), publicado en la revista *Industrial Marketing Management*, a partir del cual llevaron a cabo un estudio bibliométrico para identificar las tendencias de investigación sobre la innovación social, donde temáticas como innovación práctica y generación de valor social constituyen elementos cruciales. El segundo -con 55 citas- fue realizado por Nordberg *et al.* (2020), publicado en *Journal of Rural Studies*, mediante la aplicación del modelo de cuádruple hélice para el potenciamiento de la innovación social en regiones rurales de Finlandia.

Seguidamente, con 37 citas se encuentra el trabajo de Jungsberg *et al.* (2020), a partir del cual caracterizaron el sistema de actores que hacen parte de los procesos de iniciación e implementación de estrategias de innovación social en regiones rurales nórdicas. En cuarto lugar, está el trabajo de Marchetti *et al.* (2020) con 29 citas, publicado por la revista *Sustainability*. En esta investigación los autores demuestran la importancia que tiene en los procesos de innovación social con perspectiva a

resolver problemas agroecológicos y de seguridad alimentaria, adoptar enfoques inclusivos y que involucren diferentes actores para tramitar soluciones a cuestiones territoriales.

El quinto trabajo más citado, corresponde al realizado por Sept (2020) que cuenta con 26 citas, publicado en la revista *European Countryside*. La autora evidencia las formas en que pueden adoptarse proyectos de digitalización para las zonas rurales, a partir del caso estudiado en Alemania. Finalmente, en la lista de artículos con más de 20 citas se encuentra el estudio de Lukesch *et al.* (2020), que tiene 23 citas y está publicado por *Sustainability*. Los autores dan cuenta mediante la validación de un modelo de la relevancia de incorporar la innovación social dentro de las políticas públicas como un medio para la promoción del cambio social.

De este modo, puede apreciarse que de los trabajos con más de 20 citas en el campo de conocimiento objeto de estudio, 5 de las publicaciones están en las revistas con mayor registro de productividad: *Sustainability*, *European Countryside* e *Industrial Marketing*

Management. No obstante, aunque la última revista no se encuentra entre las más productivas es la que tiene el artículo con mayor número de citas. Un asunto que permite validar cómo, aunque puede existir relación de la rigurosidad científica a partir de las coincidencias entre las revistas más productivas y el nivel de citas - como sucede con *Sustainability* y *European Countryside* -, existen casos paradójicos, donde las revistas con menor producción en un campo pueden tener mayor impacto, como en el caso de *Industrial Marketing Management*, cuyo factor de impacto es de 7.8, superando el indicador de las revistas más productivas.

4.2 Tendencias metodológicas para las investigaciones sobre desarrollo e innovación social

La científicidad y sistematicidad de una investigación queda respaldada a partir del diseño metodológico, considerando que son criterios del rigor científico el *"apego a la verdad, ser metódico, sistemático y, sobre todo, objetivo en la generación del nuevo conocimiento científico, donde la única subjetividad del investigador sea generar y socializar un conocimiento verídico, comprobable, refutable, replicable."* (Cano de la Cruz, 2017: 43). Así, las tendencias metodológicas en los estudios sobre desarrollo e innovación social han sido analizadas considerando aquellos componentes que los autores de las publicaciones obtenidas hicieron en dicho apartado dentro de la estructura de los artículos consultados, analizando el enfoque, alcance, técnicas de recolección de información, técnicas de análisis y consideraciones éticas.

Frente a los artículos consultados se evidencia que la mayoría corresponden a ejercicios de enfoque cualitativo -64% de los revisados-, mientras la proporción restante se distribuye en estudios mixtos -22%- y cuantitativos -14%-, lo cual permite dar cuenta de la utilidad que este tipo de enfoques representa para la aproximación a un campo del conocimiento donde confluyen diferentes corrientes del conocimiento en el que se superponen estructuras sociales, políticas, económicas y culturales; por lo cual la naturaleza y

posibilidades interpretativas de la investigación cualitativa cobra relevancia para profundizar en las formas a partir de las cuales los procesos de innovación social fomentan el desarrollo de los territorios.

De esto dan cuenta investigaciones identificadas bajo este enfoque que presentan rutas metodológicas detalladas a partir de las cuales es posible profundizar en el tema, como el estudio de Novikova (2021) respecto a las formas en que la innovación social favorece el desarrollo de zonas rurales de Portugal, la pesquisa realizada por Nordberg *et al.* (2020) sobre las potencialidades del Modelo de Cuádruple Hélice en el desarrollo de la región de Ostrobothnia en Finlandia, así como el modelo conceptual construido por Vercher (2022) para la identificación de actores clave en el desarrollo de regiones rurales en España y Escocia.

Sobre las investigaciones soportadas en enfoques cuantitativos, la mayoría se orientan por Revisiones Sistemáticas de Literatura -RSL-, entendidas como herramientas valiosas para dar cuenta de los principales avances de las investigaciones en el campo objeto de estudio, donde suelen emplearse los indicadores bibliométricos de cantidad, calidad y relacionamiento de los autores, como lo devela el estudio de Foroudi *et al.* (2021), quienes como elemento agregado para este tipo de ejercicios derivados de la ciencia métrica añadieron una estrategia de minería de datos conocida como agrupamiento jerárquico (*Hierarchical Cluster Analysis*, HCA), útil para refinar el análisis de las revisiones de este tipo, como lo validan Dalmaijer *et al.* (2022), afirmando que esta clase de agrupamiento se ha convertido en una poderosa herramienta de valor estadístico.

Entre tanto, la mayoría de los estudios con enfoque mixto se centraron en articular ejercicios de revisión sistemática con análisis reflexivo mediante lectura intratextual e intertextual, como fue el caso de Duque-Paz y Castro-Arroyave (2022), un ejercicio que combina herramientas objetivas -RSL- y subjetivas por las posibilidades de interpretación desde la lectura de textos y su contenido -intratextual-, así como la relación con otros textos -intertextual-. De este modo, la

forma como las investigaciones en el campo han ido ganando terreno dan cuenta de la importancia que tiene poder combinar marcos de análisis de ambos enfoques -cuantitativo y cualitativo-, y así mostrar las realidades que impactan los procesos de desarrollo e innovación social, denudando la oportunidad de una aproximación que se sustente en elementos objetivos y subjetivos simultáneamente.

En términos del alcance de las investigaciones analizadas, la mayoría corresponde a estudios de caso exploratorios, lo cual guarda relación con el hecho de que la mayor parte de indagaciones se hayan llevado a cabo bajo un enfoque cualitativo. El tipo de alcance dominante plantea algunos interrogantes que pueden ser objeto de futuras investigaciones en el campo, toda vez que los estudios alrededor del desarrollo y la innovación social tienen una tradición interdisciplinar sobre la que se han venido construyendo, por lo cual, más allá de un alcance exploratorio -típico de temáticas sobre las que se tiene poco conocimiento-, los estudios deberían trascender hacia alcances descriptivos y explicativos, mediante los cuales a partir de los saberes ya generados pudieran zanjarse nuevas formas de entender este campo de conocimiento.

Además, la realización de estudios caso dan cuenta de las limitaciones que podrían tener los ejercicios de investigación respecto a las posibilidades de ser extrapolados en otras dimensiones. Y es que aunque las discusiones alrededor del tema poseen mucho de complejidad, algunas críticas develan que en lo que atañe a los procesos de innovación social, existen dilemas que apuntan no solo a un problema teórico y conceptual, sino también a elementos metodológicos, por estar frecuentemente vinculados con análisis de caso, tal como lo han expresado Gurrutxaga Abad y Galarraga Ezponda (2019); en lo que el alcance imperante a partir de la evidencia recolectada merecería una reflexión profunda por parte de los académicos y demás actores involucrados en la generación de conocimiento sobre este campo.

Con respecto a las técnicas de recolección de información, las investigaciones dan cuenta que

las entrevistas semiestructuradas, la observación participante, los cuestionarios y la investigación de escritorio a partir de revisiones documentales son las más empleadas de manera independiente al enfoque. Esto evidencia la utilidad percibida en los estudios por herramientas de recolección que no sólo sean flexibles -como la entrevista semiestructurada- sino que también permitan al investigador capturar datos que puedan pasar inadvertidos en los ejercicios de trabajo de campo, lo que hace de la observación participante un instrumento valioso para la interacción con los actores interés. Otros instrumentos menos frecuentemente utilizados corresponden a la cartografía, incorporada solo en el estudio de Sánchez-Martínez *et al.* (2020) en su análisis de cooperativas productoras de aceite de oliva en Andalucía (España) y el uso de la metodología de grupos de trabajo -*Workshop*-, utilizada por Kåks *et al.* (2022) para la adaptación de un modelo de maternidad para mujeres migrantes en Suecia.

Frente a las técnicas de análisis de información es conveniente remarcar que, aunque la mayoría de los trabajos consultados tenían explícitos algunos elementos, es a criterio de los autores el componente con menor nivel de detalle de los manuscritos objeto de estudio; 15 de los 50 artículos analizados no contenían detalles sobre la forma de analizar los datos recopilados -de manera independiente al enfoque de estudio-, y los restantes 35, que si hicieron explícita esta información sólo exponen de forma tangencial estos elementos, teniendo solo 8 de estos artículos una descripción profunda de los criterios metodológicos considerados para el análisis de los datos compilados. En general, partiendo de los enfoques metodológicos identificados, se presentan en la TABLA 2 las técnicas de análisis de información y datos relacionados con el procesamiento de datos más frecuentes sobre las investigaciones alrededor de los procesos de desarrollo e innovación social, referenciando en ellos los autores que mayor nivel de detalles brindan frente a las formas de analizar los datos recopilados.

TABLA 2. Técnicas de análisis de información más empleadas por enfoque de estudio.

Fuente: elaboración propia

Enfoque de investigación	Técnicas de análisis de datos
Cuantitativo	Indicadores bibliométricos de cantidad, calidad y relacionamiento de los autores, así como herramientas de agrupamiento jerárquico (Foroudi <i>et al.</i> , 2021) Estadística descriptiva y uso de indicadores de fiabilidad como Alfa de Cronbach (Bozic, 2021)
Cualitativo	Proceso de codificación, agrupación y categorización de datos a partir del uso de software MAXQDA y N – vivo 12 (Deže <i>et al.</i> , 2023; Stoustrup, 2022; Bautista-Gómez y Niekerk, 2022) Análisis temático acompañado de procesos de triangulación de datos (Schnurbein <i>et al.</i> , 2021)
Mixto	Análisis de estadística descriptiva a partir del uso de software Stata y análisis temático (Wao <i>et al.</i> , 2022) Integración de Revisión Sistemática de Literatura -RSL- con codificación y análisis de entrevistas a través del software Atlas.ti (Machado Ciccarino y Fernandes Rodrigues, 2023)

Finalmente, en lo que atañe a las consideraciones éticas que orientan los estudios, es posible evidenciar que sólo 3 de los 50 artículos analizados realizan algún tipo de mención sobre los criterios éticos que tuvieron en consideración para implementar sus trabajos. Solo los artículos de Kåks *et al.* (2022), Vercher (2022) y Bozic (2021) hacen referencia a elementos como procedimientos para informar a los participantes (a través del consentimiento informado) y la valoración de las propuestas por parte de comités de ética de investigación. Si bien las investigaciones dentro de las ciencias sociales no suelen tener elementos explícitos demarcados con la misma profundidad que otras disciplinas - como la medicina- con respecto a las consideraciones éticas, este hallazgo representa una posibilidad de profundizar sobre esto como comunidad científica, máxime si se toma en cuenta que, con excepción de las 3 investigaciones referidas que dejaron demarcados algunos elementos sobre el tema, quedan 28 investigaciones en las que no se hace referencia alguna.

Esto es importante si se considera que dichas investigaciones emplearon diferentes técnicas de recolección de información que involucraban entrevistas semiestructuradas, visitas a territorios

y observación participante. Con esto es preciso aclarar que no se pone en duda la existencia de dichas consideraciones por parte de los autores que han publicado sobre el tema, pero sí la importancia que tiene hacer explícitos estos aspectos dentro de las tendencias metodológicas alrededor de los procesos de desarrollo e innovación social. Los estudios que involucran la participación de seres humanos llevan implícita la obligatoriedad de informar con suficiencia los mecanismos a partir de los cuales se custodia la información recopilada, la forma en que los participantes otorgan su consentimiento de hacer parte de estos ejercicios, además de los mecanismos a partir de los cuales los investigadores dimensionan y tratan los riesgos potenciales que podrían derivarse de la participación de las personas en estos estudios.

Al respecto, conviene zanjar nuevas discusiones sobre las formas en que las consideraciones éticas son abordadas por las investigaciones sobre desarrollo e innovación social. Las lecciones de Nuremberg y lineamientos posteriores que surgieron para las ciencias biomédicas después de la Segunda Guerra Mundial fueron un llamado de alerta para dimensionar el lado reprochable sobre el desarrollo de la ciencia. Por tanto, la acción sin

daño debe contemplar no sólo las alteraciones físicas y psicológicas de los individuos. En el caso de las investigaciones dentro de las ciencias sociales que abordan problemáticas en regiones rurales y apartadas -común denominador de la mayor parte de los estudios aquí analizados- precisan una reflexión ontológica de la ética en estos procesos, haciéndola explícita para que su delimitación trascienda de un conocimiento implícito y haga parte de la estructura metodológica de futuras investigaciones en el campo.

5. Discusión

Los hallazgos de este ejercicio de revisión describen las tendencias metodológicas que se están empleando en la literatura científica para orientar las investigaciones sobre procesos de desarrollo e innovación social, un campo que cada vez cobra mayor fuerza no sólo para evidenciar los fallos del mercado y del Estado, sino también para reafirmar la capacidad de agencia de las comunidades para invertir la lógica top-down que usualmente ha conducido la resolución de problemas dentro de los territorios, mostrándolos como actores activos y con conocimiento de las formas a partir de las cuales pueden cuestionar las visiones hegemónicas de la innovación, configurando una prueba latente de los modos en que se innova socialmente para fomentar el desarrollo de los territorios.

A partir de los artículos estudiados se infiere que el enfoque metodológico con mayor aceptación por parte de los investigadores en el campo es el cualitativo, lo que se explica por las posibilidades que este brinda para profundizar en el entendimiento de fenómenos sociales, el cual como ha validado el estudio de Mora Ramírez (2022) ha demostrado con el paso del tiempo no sólo un camino alternativo para el acceso al conocimiento, sino también una postura epistémica rigurosa que da cabida a otras formas de entender el mundo, mediante la interacción de herramientas diversas tanto para la recolección como el análisis de los datos, evitando cercarlo a ciertas profesiones o campos disciplinares.

En cuanto al alcance, la generalidad de los trabajos consultados da cuenta del uso de estudios de caso en nivel exploratorio, lo que puede explicarse por el enfoque imperante, que más allá de la generalización busca la comprensión en profundidad de los fenómenos estudiados. No obstante, es importante preguntarse por otras cuestiones que tienen que ver con la capacidad de los proyectos cualitativos de poder obtener fuentes de financiación que permitan llevar a cabo procesos de mayor alcance, además de las posibilidades de realizar investigaciones transdisciplinares que el diálogo entre los enfoques cuantitativos y cualitativos fomenta, en lo que el estudio demuestra que las investigaciones mixtas están alcanzando marcado interés, aunque por ahora frecuentemente orientadas por revisiones sistemáticas de literatura.

Respecto a las técnicas de recolección de información se evidencia que pese a la riqueza de fuentes que poseen los estudios cualitativos -predominantes en el campo analizado-, las herramientas empleadas suelen concentrarse en entrevistas semiestructuradas, grupos focales y observación participante, instrumentos de gran utilidad y flexibilidad, lo que explica su uso. Sin embargo, es conveniente considerar otros marcos que son propicios para las investigaciones conducidas por este enfoque, como la cartografía, empleada solo por Sánchez-Martínez *et al.* (2020) en los estudios sobre desarrollo e innovación social. Convendría poder considerar además de las herramientas referidas otras de gran valor, como los registros pictóricos, especialmente el arte urbano que se manifiesta en los grafitis como formas de ocupación y discusión del espacio público, como refleja el estudio de Crespi Vallbona (2022).

Con relación a las técnicas para el análisis de los datos, la investigación devela poca profundidad en este apartado. Poder delimitar de forma suficiente los referentes teóricos que se toman para analizar los datos recopilados es quizá uno de los elementos centrales para asegurar la replicabilidad -cuando aplica- y científicidad de las investigaciones. Para los manuscritos estudiados los enfoques

cuantitativos y mixtos no poseen mayor complejidad, toda vez que se basaron en elementos de estadística descriptiva o sistemas que orientan las RSL; pero para los estudios cualitativos se vuelve en su mayoría abstracto el proceso de análisis, por lo que es fundamental que las investigaciones puedan demarcar sobre este propósito, que según el tipo de diseños ofrece herramientas valiosas para darle solidez a los estudios, como sucede con las propuestas teóricas para análisis cualitativo de Steven Taylor y Robert Bogdan (1987), la síntesis lograda por Salgado (2007), o en Teoría Fundamentada la iniciativa de Strauss y Corbin (2016).

Finalmente, respecto a las consideraciones éticas el estudio devela que estas no suelen estar explícitas en los textos estudiados. Ello lleva a una reflexión profunda sobre la importancia que tiene la observancia y declaración de estas cuestiones en los estudios sociales, máxime cuando los instrumentos que más se emplean implican un contacto directo con las comunidades, lo que exige un protocolo ético amplio y riguroso, del que las ciencias sociales pueden aprender a partir de los avances logrados en este campo por otras disciplinas, zanjando a futuro una discusión de largo alcance.

6. Conclusiones

Se infiere a partir del análisis realizado que la innovación social en perspectiva del desarrollo suele abordarse para el estudio de las regiones rurales y poblaciones apartadas de las zonas conurbadas, lo que refiere su utilidad para la construcción de metodologías de investigación que profundicen sobre las particularidades de este tipo de territorios, pero a su vez plantea un cuestionamiento sobre las formas en que se abordan estos temas en la actualidad dentro de las mismas ciudades, en el contexto colombiano por ejemplo ciudades como Medellín, Bogotá y Cali tienen iniciativas de innovación social que no se ajustan necesariamente a los esquemas de trabajo en la ruralidad que refiere la literatura consultada.

De la misma manera, la investigación deja un cuestionamiento sobre las formas en que se incorporan las cuestiones éticas dentro de los estudios en el campo, lo cual demanda una discusión ontológica profunda en la que será necesario a partir de enfoques multidisciplinarios pensar en la forma de hacer parte de los procesos de diseño metodológico en los estudios sociales, un apartado que defina los protocolos y lineamientos a seguir a partir de las experiencias derivadas de las investigaciones sobre desarrollo e innovación social.

7. Referencias citadas

- ANDION, C.; ALPERSTEDT, G.; GRAEFF, J & L. RONCONI. 2022. "Social innovation ecosystems and sustainability in cities: a study in Florianopolis, Brazil". *Environment, Development and Sustainability*, 24: 1.259-1.281. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-021-01496-9>.
- BAUTISTA-GÓMEZ, M. & L. NIEKERK. 2022. "A social innovation model for equitable access to quality health services for rural populations: a case from Sumapaz, a rural district of Bogota, Colombia". *International Journal for Equity in Health*, 21(23). Disponible en: <https://equityhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12939-022-01619-2>.
- BOZIC, A. 2021. "Social innovation in a post-conflict setting: examining external factors affecting social service NGOs". *Development Studies Research*, 8(1): 170-180. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/21665095.2021.1950020>.

- CANO DE LA CRUZ, Y. 2017. "El rigor científico: una necesidad de las investigaciones en ciencias de la educación". *Mikarimin: Revista Científica Multidisciplinaria*, 3(2): 41-50. Disponible en: <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/mikarimin/article/view/414>.
- CRESPI VALLBONA, M. 2022. "Gobernanza sostenible en los espacios públicos". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 31 (1): 164 – 176. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n1.87168>.
- DALMAIJER, E.; NORD, C & D. ASTLE. 2022. "Statistical power for cluster analysis". *BMC Bioinformatics*, 23(205). Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12859-022-04675-1>.
- DEŽE, J.; SUDARIĆ, T & S. TOLIĆ. 2023. "Social Innovations for the Achievement of Competitive Agriculture and the Sustainable Development of Peripheral Rural Areas". *Economies*, 11(8): 209. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/economies11080209>.
- DUQUE-PAZ, L & D. CASTRO-ARROYAVE. 2022. "Identification of social innovation in health criteria in Latin America". *BMJ Open*, 12: e063205. Disponible en: [10.1136/bmjopen-2022-063205](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-063205).
- ECHAUBARD, P.; THY, C.; SOKHA, S.; SRUN, S.; NIETO-SÁNCHEZ, C.; GRIETENS, K.; ... & J. HII. 2020. "Fostering social innovation and building adaptive capacity for dengue control in Cambodia: a case study". *Infectious Diseases of Poverty*, 9(126): 93-104. Disponible en: <https://mednexus.org/doi/full/10.1186/s40249-020-00734-y>.
- FLORES-FERNÁNDEZ, C. y R. AGUILERA-EGUÍA. 2020. "Indicadores bibliométricos y su importancia en la investigación clínica. ¿Por qué conocerlos?". *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 26(5): 315-316. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.20986/resed.2018.3659/2018>.
- FOROUDI, P.; AKARSU, T.; MARVI, R & J. BALAKRISHNAN. 2021. "Intellectual evolution of social innovation: A bibliometric analysis and avenues for future research trends". *Industrial Marketing Management*, 93: 446-465. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.03.026>.
- GALEGO, D.; MOULAERT, F.; BRANS, M & C. SANTINHA. 2022. "Social innovation & governance: a scoping review". *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 35(2): 265-290. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/13511610.2021.1879630>.
- GRILO, R & A. MOREIRA. 2022. "The social as the heart of social innovation and social entrepreneurship: An emerging area or an old crossroads?" *International Journal of Innovation Studies*, 6(2): 53-66. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2022.03.001>.
- GURRUTXAGA ABAD, A y A. GALARRAGA EZPONDA. 2019. "Recursos y dilemas de la innovación social: un concepto problemático". *Revista Española de Sociología*, 28(3): 135-150. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7371598>.
- HERRANZ DE LA CASA, J y S. GARCÍA CABALLERO. 2021. "La comunicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en las organizaciones de la economía social". *Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, (101): 165-191. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7839636>.

- IRAN, S & M. MÜLLER. 2020. "Social Innovations for Sustainable Consumption and Their Perceived Sustainability Effects in Tehran". *Sustainability*, 12(18): 7679. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12187679>.
- JUNGSBERG, L.; COPUS, A.; HERSLUND, L.; NILSSON, K.; PERJO, L.; RANDALL, L & A. BERLINA. 2020. "Key actors in community-driven social innovation in rural areas in the Nordic countries". *Journal of Rural Studies*, 79: 276-285. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.08.004>.
- KÅKS, P.; BERGSTRÖM, A.; WEES, S & M. MÅLQVIST. 2022. "Adapting a South African social innovation for maternal peer support to migrant communities in Sweden: a qualitative study". *International Journal for Equity in Health*, 21(88). Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12939-022-01687-4>.
- KASSIM, E.; ZAMZURI, N.; JALIL, S.; SALLEH, S.; MOHAMAD, A & R. RAHIM. 2022. "A Social Innovation Model for Sustainable Development: A Case Study of a Malaysian Entrepreneur Cooperative (KOKULAC)". *Administrative Sciences*, 12(3): 103. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/admsci12030103>.
- KLEIN, J.; PITARCH-GARRIDO, M.; TEN, A y J. CUBAS. 2020. "El desarrollo local como resultado de un proceso de innovación social en SaintCamille (Quebec) y Aras de los Olmos (Valencia)". *Investigaciones Geográficas*, (74): 165-191. Disponible en: <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.KPSM>.
- LUKESCH, R.; LUDVIG, A.; SLEE, B.; WEISS, G. & I. ŽIVOJINOVIĆ. 2020. "Social Innovation, Societal Change, and the Role of Policies". *Sustainability*, 12(18): 7.407. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12187407>.
- MACHADO CICCARINO, I. & S. FERNANDES RODRIGUES. 2023. "Resilience through social innovation for sustainable development". *Innovation & Management Review*, 20(2): 179-191. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/INMR-12-2021-0227>.
- MARCHETTI, L.; CATTIVELLI, V.; COCOZZA, C.; SALBITANO, F & M. MARCHETTI. 2020. "Beyond Sustainability in Food Systems: Perspectives from Agroecology and Social Innovation". *Sustainability*, 12(18): 7.524. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12187524>.
- MULTIDISCIPLINARY DIGITAL PUBLISHING INSTITUTE (MDPI). 2024. *Sustainability*. Disponible en: <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>. [Consulta: junio, 2024].
- MORA RAMÍREZ, F. 2022. "El valor de la investigación cualitativa y la comprensión: un examen crítico". *Revista EDUCARE - UPEL-IPB - Segunda Nueva Etapa 2.0*, 26(1): 389-405. Disponible en: <https://doi.org/10.46498/reduipb.v26i1.1625>.
- MORENO, L. 2013. "Joseph E. Stiglitz (2012), The Price of Inequality". *Región y sociedad*, 25(58): 275-282. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252013000300009.

- NIJNIK, M.; KLUVÁNKOVÁ, T.; NIJNIK, A.; KOPIY, S.; MELNYKOVYCH, M.; SARKKI, S.; ... & D. MILLER. 2020. "Is There a Scope for Social Innovation in Ukrainian Forestry?" *Sustainability*, 12(22): 9674. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12229674>.
- NORDBERG, K.; MARIUSSEN, A & S. VIRKKALA. 2020. "Community-driven social innovation and quadruple helix coordination in rural development. Case study on LEADER group Aktion Österbotten". *Journal of Rural Studies*, 79: 157-168. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.08.001>.
- NOVIKOVA, M. 2021. "Transformative Social Innovation in Rural Areas: Insights from a Rural Development Initiative in the Portuguese Region of Baixo Alentejo". *European Countryside*, 13(1): 71-90. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/euco-2021-0005>.
- PATÍÑO-VALENCIA, B.; VILLALBA-MORALES, M.; ACOSTA-AMAYA, M.; VILLEGAS-ARBOLEDA, C & E. CALDERÓN-SANÍN. 2020. "Towards the conceptual understanding of social innovation and inclusive innovation: a literature review". *Innovation and Development*, 12(3): 437-458. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/2157930X.2020.1859215>.
- RÀFOLS, I. 2023. "Del Manifiesto de Leiden a las reformas de la evaluación: retos hacia un uso responsable de la bibliometría". *Enredadera: Revista De La Red De Bibliotecas Y Archivos Del CSIC*, (39): 21-28. Disponible en: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/15376>.
- SALGADO LÉVANO, A. 2007. "Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos". *Liberabit*, 13(13): 71-78. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1729-48272007000100009&script=sci_arttext&lng=en.
- SCHNURBEIN, G.; POTLUKA, O & A. MAYER. 2021. "Creating social innovation in urban development through collaborative processes". *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 36(2): 316-332. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/13511610.2021.1910800>.
- SCIENCE DIRECT. 2024. *Journal of Rural Studies*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-rural-studies>. [Consulta: junio 2024].
- SCIMAGO JOURNAL & COUNTRY RANK. 2024. *European Countryside*. Disponible en: <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100413836&tip=sid&clean=0>. [Consulta: junio 2024].
- SEPT, A. 2021. "'Slowing down' in small and medium-sized towns: Cittaslow in Germany and Italy from a social innovation perspective". *Regional Studies, Regional Science*, 8(1): 259-268. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/21681376.2021.1919190>.
- SEPT, A. 2020. "Thinking together digitalization and social innovation in rural areas: An exploration of rural digitalization projects in Germany". *European Countryside*, 12: 193-208. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/euco-2020-0011>.

- SLEE, B.; BURLANDO, C.; PISANI, E.; SECCO, L & N. POLMAN. 2021. "Social innovation: a preliminary exploration of a contested concept". *The International Journal of Justice and Sustainability*, (7): 791-807. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/13549839.2021.1933404>.
- SOLIS-NAVARRETE, J.; BUCIO-MENDOZA, S & J. PANEQUE-GÁLVEZ. 2021. "What is not social innovation". *Technological Forecasting and Social Change*, 173: 121190. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121190>.
- STOUSTRUP, S. 2022. "A rural laboratory in the Austrian alm-Tracing the contingent processes fostering social innovation at the local level". *Sociologia Ruralis: Journal of the European Society of Rural Sociology*, 62(3): 542-563. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/soru.12372>.
- STOUSTRUP, S. 2022a. "Assessing the Potential of Social Innovation and Local Agenda-Setting within Rural Development Programmes: Insights from Austrian Leader Regions". *European Countryside*, 14(4): 638-657. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/euco-2022-0032>.
- STRAUSS, A & J. CORBIN. 2016. *Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- TAYLOR, S & R. BOGDAN. 1987. *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Ediciones Paidós. Barcelona, España.
- THOMAS, E & R. PUGH. 2020. "From 'entrepreneurial' to 'engaged' universities: social innovation for regional development in the Global South". *Regional Studies*, 54(12): 1.631-1.643. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00343404.2020.1749586>.
- TIRAN, J.; BOLE, D & J. KOZINA. 2022. "Industrial culture as an agent of social innovation: reflections from Velenje, Slovenia". *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 36(2): 333-356. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/13511610.2022.2026212>.
- VALENZUELA-ZUBIAUR, M.; TORRES-BUSTOS, H.; ARROYO-VÁZQUEZ, M & P. FERRER-GISBERT. 2021. "Promotion of Social Innovation through Fab Labs. The Case of ProteinLab UTEM in Chile". *Sustainability*, 13(16): 8790. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13168790>.
- VALENZUELA, E. 2023. "El concepto de desarrollo: giros heurísticos. Del crecimiento económico al enfoque de derechos". *Sociedad y Economía*, (49): e10712213. Disponible en: https://sociedadyeconomia.univalle.edu.co/index.php/sociedad_y_economia/article/view/12213.
- VERCHER, N. 2022. "The Role of Actors in Social Innovation in Rural Areas". *Land*, 11(5): 710. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land11050710>.
- WAO, H.; OTENDO, C.; SYONGUVI, J.; MURIITHI, P.; KADENGYE, D & E. BRODIN. 2022. "Encouraging social innovation for combating poverty: master's students' gendered experiences with a service-learning intervention in Kenya and Uganda". *Studies in Graduate and Postdoctoral Education*, 13(2): 171-187. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/SGPE-07-2021-0054>.

- WEHN, U.; VALLEJO, B.; SEIJGER, C.; TLHAGALE, M.; AMORSI, N.; SOSSOU, S.; GENTHE, B & J. ONEMA. 2021. "Strengthening the knowledge base to face the impacts of climate change on water resources in Africa: A social innovation perspective". *Environmental Science & Policy*, 116: 292-300. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.09.026>.
- WISTVEEN, L.; BREIBY, M & X. MEI. 2024. "Destination and place: social sustainability and social innovation in second-home tourism". *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism*, 24(1): 1-19. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15022250.2023.2299235>.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Medellín, Colombia; agosto, 2024
Revisión: diciembre, 2024

Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e do estado nutricional do algodoeiro

município de Vilhena, estado de Rondônia, Brasil

Variabilidad espacial de los atributos químicos del suelo y del estado nutricional del algodón, municipio de Vilhena, estado de Rondônia, Brasil

Spatial variability of soil chemical attributes and nutritional status of cotton, municipality of Vilhena, Rondônia State, Brazil

Moisés Gonçalves do Carmo, Jessé Alves Batista y Elaine Lima da Fonseca

Instituto Federal de Rondônia

Colorado do Oeste, Brasil

moisesgoncalves.agro@gmail.com; jesse.batista@ifro.edu.br; elaine.fonseca@ifro.edu.br

Do Carmo: <https://orcid.org/0000-0002-2318-4530>

Batista: <https://orcid.org/0000-0001-8532-5856>

Fonseca: <https://orcid.org/0000-0002-6872-8204>

Resumo

O algodão (*Gossypium hirsutum*) é uma importante fibra natural para a indústria têxtil no mundo. A técnica de amostragem georreferenciada para elaboração de mapas de variabilidade espacial e de aplicação de insumos aumenta a produtividade e o rendimento das culturas. Assim, pretende-se caracterizar e avaliar, por meio de técnicas geoestatísticas, a variabilidade espacial de atributos químicos do solo e do estado nutricional da cultura do algodão em lavoura comercial no município de Vilhena, com malha de espaçamento 32x32 m. A análise estatística indicou teores adequados de P e K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo bem como de N foliar, P foliar e K foliar. A análise geoestatística evidenciou regiões com teores baixos de P foliar e K foliar e outras com excesso de N foliar. A amostragem georreferenciada, a diagnose nutricional e a geoestatística se apresentam como importantes ferramentas de apoio a tomada de decisão sobre o manejo da fertilidade do solo em sítios específicos.

PALABRAS CLAVE: geoestatística; fertilidade do solo; diagnose foliar.

Resumen

El algodón (*Gossypium hirsutum*) es una fibra natural importante para la industria textil en el mundo. La técnica de muestreo georreferenciado para la elaboración de mapas de variabilidad espacial y de aplicación de insumos aumenta la productividad y el rendimiento de los cultivos. Así, se pretende caracterizar y evaluar, mediante técnicas geoestadísticas, la variabilidad espacial de atributos químicos del suelo y del estado nutricional del cultivo del algodón en una finca comercial en el municipio de Vilhena, con una malla de espaciamento de 32x32 m. El análisis estadístico indicó niveles adecuados de P y K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en el suelo, así como de N foliar, P foliar y K foliar. El análisis geoestadístico evidenció regiones con niveles bajos de P foliar y K foliar y otras con exceso de N foliar. El muestreo georreferenciado, el diagnóstico nutricional y la geoestadística se presentan como herramientas importantes para apoyar la toma de decisiones sobre el manejo de la fertilidad del suelo en sitios específicos.

PALAVRAS-CHAVE: geoestadística; fertilidade del suelo; diagnóstico foliar.

Abstract

Cotton (*Gossypium hirsutum*) is an important natural fiber for the textile industry worldwide. The technique of georeferenced sampling for the development of spatial variability maps and the application of inputs increases the productivity and yield of crops. Thus, it is intended to characterize and evaluate, using geostatistical techniques, the spatial variability of soil chemical attributes and the nutritional status of cotton crops in a commercial farm in the municipality of Vilhena, with a 32x32 m spacing grid. The statistical analysis indicated adequate levels of P and K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ in the soil, as well as foliar N, foliar P, and foliar K. The geostatistical analysis revealed regions with low levels of foliar P and foliar K and others with excess foliar N. Georeferenced sampling, nutritional diagnosis, and geostatistics are important tools to support decision-making regarding soil fertility management in specific sites.

KEYWORDS: geostatistics; soil fertility; leaf diagnosis.

1. Introdução

Pertencente à família Malvaceae, o algodão (*Gossypium hirsutum*) é uma importante fibra natural para a indústria têxtil no mundo (Wang *et al.*, 2018). Como *commoditie* agrícola de grande expressividade, na safra 2019/2020 ocupou mais de 1,6 milhões de hectares de área plantada, ultrapassando 3 milhões de toneladas de produção de algodão em pluma de acordo com dados da Associação Brasileira de Produtores de Algodão (Abrapa, 2020).

O avanço tecnológico por qual vem passando a agricultura brasileira (Batista, 2016) tem trazido grande eficiência tanto agrônômica quanto econômica às atividades agrícolas, com destaque para os grandes monocultivos tais como o algodão, fazendo com que, nos últimos anos, o Brasil tenha alcançado o posto de quinto maior produtor mundial, sendo responsável por 7,4% da produção mundial de pluma. China, Índia, Estados Unidos e Paquistão se destacam como os quatro maiores produtores mundiais de pluma de algodão (Conab, 2018).

O cenário interno é promissor tendo em vista que o Brasil está entre os maiores consumidores mundiais de algodão em pluma e com grandes regiões produtoras, destacando-se o estado do Mato Grosso e da Bahia como principais polos de produção no país. O estado de Rondônia ainda apresenta produção incipiente para esta cultura, tendo produzido 38,20 mil toneladas em uma área plantada de 9,8 mil hectares na safra 2019/20. O município de Vilhena é o maior produtor do estado, com cerca de 6,5 mil hectares plantados e produtividade média de algodão caroço de 300 arrobas (@) por ha, resultado expressivo, considerando 238,68 @ ha⁻¹ como a média nacional para o mesmo período (Abrapa, 2020).

A Abrapa ainda destaca a pujança da cultura dentro do setor agrícola no país e relaciona aos estados com produções significativas, às condições edafoclimáticas favoráveis e ao nível de tecnificação dos produtores de algodão. A cultura que demanda tecnologia de ponta para que bons índices de produtividade e rendimento sejam alcançados.

O algodão, juntamente com soja, milho e cana-de-açúcar, são as principais culturas que absorvem as ferramentas de agricultura de precisão no Brasil. As técnicas de amostragem georreferenciada de solo, mapas de fertilidade do solo e de aplicação de calcário e fertilizantes sólidos em taxas variáveis são as mais empregadas. Essas técnicas aumentam o rendimento econômico das atividades agrícolas, seja pela economia com insumos, homogeneização das lavouras ou ainda pelo aumento na produtividade das culturas (Molin *et al.*, 2015; Batista, 2016; Batista, 2020).

Neste sentido, a Agricultura de Precisão (AP) geralmente é associada com o uso intensivo de aparelhagem tecnológica avançada, que possibilita avaliação mais precisa e acompanhamento eficaz das atividades agrônômicas baseadas no princípio da variabilidade do solo, clima e demais fatores de produção, o que em termos práticos, quanto maior a quantidade de dados coletados, mais seguras serão as tomadas de decisão (Machado *et al.*, 2017).

De acordo com Vera *et al.* (2019), o conhecimento da quantidade de nutrientes acumulados na planta fornece importantes informações que podem auxiliar no programa de adubação da cultura. Não obstante, a determinação dos teores de nutrientes por meio da diagnose foliar com foco a geração de mapas geoestatísticos é capaz de fornecer informações importantes do estado nutricional da planta, sendo que os resultados obtidos, isto é, podem apresentar correlação espacial com a produtividade da cultura (Taiz e Zeiger, 2008).

Com vistas a contribuir de forma técnica e científica com o cotonicultor da região cone sul do estado de Rondônia, este trabalho teve como objetivo caracterizar e avaliar, por meio de técnicas geoestatísticas, a variabilidade espacial de atributos químicos do solo e do estado nutricional da cultura do algodão em uma área de cultivo comercial no município de Vilhena/RO.

2. Material e métodos

O presente estudo foi realizado em um recorte de 6 hectares de uma lavoura comercial de algodão, localizada no município de Vilhena, conforme FIGURA 1. A região Sudeste do estado de Rondônia está localizada nas coordenadas geográficas de Lat. 12° 44' 26" S e Long. 60° 08' 45" O.

De acordo com Fonseca y Silva Filho (2023), a precipitação média anual no município é de 1.900 mm por ano; o clima predominante é o Tropical Chuvoso (Aw), segundo a classificação de

Köppen. A temperatura média do ar durante o mês mais frio é superior a 18 °C, com temperatura média anual do ar é alta e uniforme, com variação da média entre 24 e 26 °C. O período seco é caracterizado por três meses com precipitação inferior a 50 mm (junho, julho e agosto), e amplitude térmica anual limitada e uma notável amplitude térmica diária. A média anual da precipitação aproxima-se de 2170 mm por ano. A altitude média da região é de 600 m e o relevo é classificado como suave ondulado.

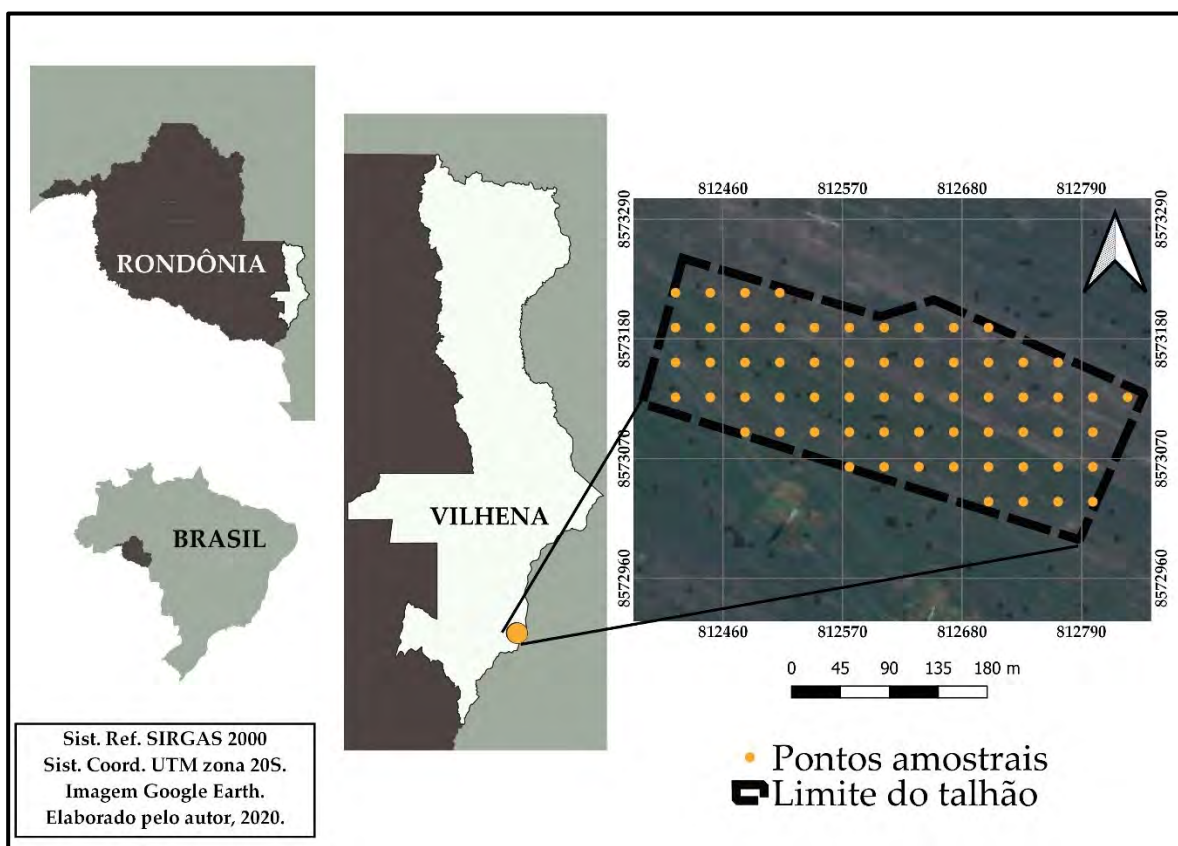


FIGURA 1. Localização da área de estudo em Vilhena (RO)

O solo na área amostrada é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico de textura média (Santos *et al.*, 2018). Historicamente, a produção agrícola ocorreu em áreas ocupadas com pastagens cultivadas, substituída pela cultura da soja (*Glicine max*) e

pela cultura do milho (*Zea mays*). A partir de 2018 houve a introdução do cultivo do algodão. O talhão pesquisado sofreu correção da fertilidade, com aplicação foi de 2,8 toneladas por hectare de calcário dolomítico com PRNT de 85% em superfície sem incorporação.

Com relação à safra de 2020, o plantio do algodão foi realizado com a adubação de semeadura na ordem de 220 kg ha⁻¹ de superfosfato simples na linha. Em cobertura, foram aplicados 150 kg ha⁻¹ de ureia mais 220 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, parcelados em duas doses iguais, aos 45 e 75 dias após emergência (DAE). A aplicação cloreto de potássio se deu em cobertura e em taxa variável entre os talhões de cultivo com dosagem de 220 kg ha⁻¹ 45 DAE. A produtividade obtida no talhão foi de 308 @ ha⁻¹ de algodão caroço.

A área de análise foi delimitada em malha regular para coleta dos dados por meio do *software* QGIS 3.14.1. A malha geoestatística apresentou 63 pontos amostrais espaçados entre si 32x32 m, totalizando 6 hectares. As coordenadas UTM do *grid* foram transferidas para um receptor GNSS Trimble Juno 3B, possibilitando a navegação até os pontos de coleta de dados.

A avaliação do estado nutricional da cultura foi determinada por meio dos atributos dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), no tecido foliar. O N mineralizado foi determinado pelo método Kjeldahl, descrito por Bremner (1965). Os teores de P e K⁺ foram analisados após a mineralização pela digestão nítrico-perclórica. O P pelo método colorimétrico e K⁺ por fotometria de chamas (Malavolta *et al.*, 1997).

Para análise laboratorial dos teores dos nutrientes foliares foram coletadas folhas de ramos dos terços superior, médio e inferior, de ramos produtivos e não produtivos no estágio fenológico B1 para melhor representar o estado nutricional das plantas. As folhas dos ramos produtivos ficam situadas no terço médio do algodoeiro, onde foram coletadas folhas debaixo de uma flor aberta ou de uma maçã em formação. Foram coletadas 50 folhas no total de 10 plantas por célula amostral.

As folhas foram acondicionadas em sacolas de papel e levadas para estufa de ventilação forçada a temperatura de 65 °C por 72 horas. Após este período, as amostras foram moídas em moinho

tipo Willey em peneira 2mm e enviados para determinação da concentração de nutrientes foliares.

Os atributos do solo avaliados, na camada 0-0,20 m, foram pH em H₂O, P e K⁺ disponíveis, com solução duplo ácido Mehlich-1, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis, com solução KCL 1 mol L⁻¹. A amostra de solo em cada célula amostral era composta por três subamostras, ou seja, uma amostragem no centro da célula mais duas amostragens em um raio de 5 m do ponto central em direções aleatórias.

Para cada atributo estudado realizou-se a análise estatística clássica, com auxílio do *software* estatístico SAS. Os outliers (dados discrepantes) presentes nos conjuntos de observações foram substituídos por valores médios circunvizinhos da malha amostral. Em seguida, aplicou-se o teste de hipótese de normalidade, ou de lognormalidade dos atributos (x) de Shapiro y Wilk (1965) a 1% de probabilidade. Nele a estatística W testa a hipótese nula, a qual julga ser a amostra proveniente de uma população com distribuição normal.

Posteriormente, procedeu-se a análise geoestatística dos dados, realizando os semivariogramas simples para os atributos com dependência espacial e os respectivos mapas de isolinhas a partir da técnica da krigagem ordinária. Estes procedimentos foram realizados com o *software* Gama Design Software (GS+, 2004).

Os semivariogramas simples foram ajustados aos modelos exponencial, esférico e gaussiano pela seguinte equação:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância estimada e $N(h)$ o número de pares de valores medidos, $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ e, separados pela distância h .

Os ajustes dos semivariogramas simples, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de, respectivamente: **a)** maior coeficiente de determinação (r^2); **b)** menor soma dos quadrados dos desvios (SQD), e **c)** maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE).

3. Resultados

Os resultados da análise descritiva indicaram que, com exceção ao Pfoliar, P e Mg^{2+} , houve

distribuição de frequência do tipo normal. Quanto ao Coeficiente de Variação (CV), considerando-se a classificação descrita por Pimentel-Gomes (2009), verificou-se que os teores de Pfoliar, Kfoliar e AP apresentaram CV médio ($10\% < CV < 20\%$), para K^+ e Ca^{2+} foram observados CV alto ($20\% < CV < 30\%$), enquanto os demais atributos apresentaram CV muito alto ($CV > 30\%$). A análise descritiva completa dos atributos está apresentada na TABELA 1.

TABELA 1. Análise descritiva de atributos nutricionais do algodoeiro e químicos de um LATOSSOLO Vermelho-Amarelo (0-0,20 m)

Atributo da planta ^(a)	Medidas estatísticas descritivas									
	Média	Media-na	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente		Probabilidade		
			Min	Max		Var (\$)	Curt.	Ass.	Pr<w	DF
Atributos da planta										
Nfoliar	44,40	44,00	34,60	55,1	4,43	9,98	-0,18	0,28	0,1500	NO
Pfoliar	3,069	3,100	2,000	4,00	0,52	17,12	-0,14	-0,76	0,0001	IN
Kfoliar	15,77	15,00	12,80	19,50	1,65	10,91	0,44	0.11	0,8701	NO
Atributos do solo na camada de 0-0,2 m										
pH	5,550	5,580	5,00	6,25	0,28	5,21	-0,15	0,16	0,5212	NO
P	18,53	17,40	6,50	41,2	7,88	42,54	1,07	1,12	0,0002	IN
K ⁺	64,60	63,87	38,92	102,85	13,2	20,42	0,94	0,64	0,0566	NO
Ca ²⁺	3,520	3,430	1,10	5,22	0,77	22,10	0,75	-0,30	0,3979	NO
Mg ²⁺	0,770	0,720	0,22	1,58	0,28	36,84	0,59	0,70	0,0226	TN
AP	6,775	6,930	4,62	8,25	0,84	12,41	-0,40	-0,38	0,0825	NO
CTC	11,25	11,24	9,10	12,8	0,72	6,42	0,86	-0,59	0,0937	NO

Nota: Nfoliar ($g\ kg^{-1}$) = concentração de nitrogênio presente nas folhas; Pfoliar ($mg\ dm^{-3}$) = concentração de fósforo presente nas folhas; Kfoliar ($g\ kg^{-1}$) = concentração de potássio presente nas folhas; pH (H_2O) = potencial hidrogeniônico do solo na camada 0-0,20 m; Ca^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$) = teor de cálcio no solo na camada 0-0,20 m; Mg^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$) = teor de magnésio no solo na camada 0-0,20 m; AP ($cmol_c\ dm^{-3}$) = Acidez potencial do solo na camada 0-0,20 m; CTC ($cmol_c\ dm^{-3}$) = capacidade de troca de cátions do solo na camada 0-0,20 m. NO, TN e IN respectivamente são distribuição de frequência do tipo normal, tendendo a normalidade e indeterminada

Quanto aos atributos do solo, constatou-se que o P ($18\ mg\ dm^{-3}$) disponível na camada de 0-0,20 m. O teor de K^+ disponível no solo ($64\ mg\ dm^{-3}$) também está adequado, observando a CTC maior que $4\ cmol_c\ dm^{-3}$, conforme descreveram Sousa y Lobato (2004). Os resultados apresentados pela TABELA 1, acerca dos valores médios de pH e das

concentrações no solo de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , indicam que tais atributos não seguem a faixa de suficiência, tendo em vista o valor de 5,5 para o pH e 39,36 para o V%.

A concentração foliar média de potássio foi compatível com a faixa indicada como adequada para este nutriente (TABELA 2).

TABELA 2. Teores de nutrientes utilizados na interpretação dos resultados das análises de folhas do algodoeiro para a região do cerrado. Fonte: adaptado de Malavolta *et al.* (1997) e Kurihara *et al.* (2013)

Nutriente	Baixo	Suficiente	Excesso
g kg ⁻¹			
N	<39,1	39,1 a 43,2	>47,3
P	<2,3	2,3 a 2,8	>3,4
K	<13,7	13,7 a 18,2	>24,2

As análises geoestatísticas por meio dos parâmetros dos semivariogramas simples encontram-se na **TABELA 3**. Eles foram ajustados aos atributos fitotécnicos da cultura do algodão e aos atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m em Latossolo Vermelho-Amarelo referentes ao ano agrícola 2020.

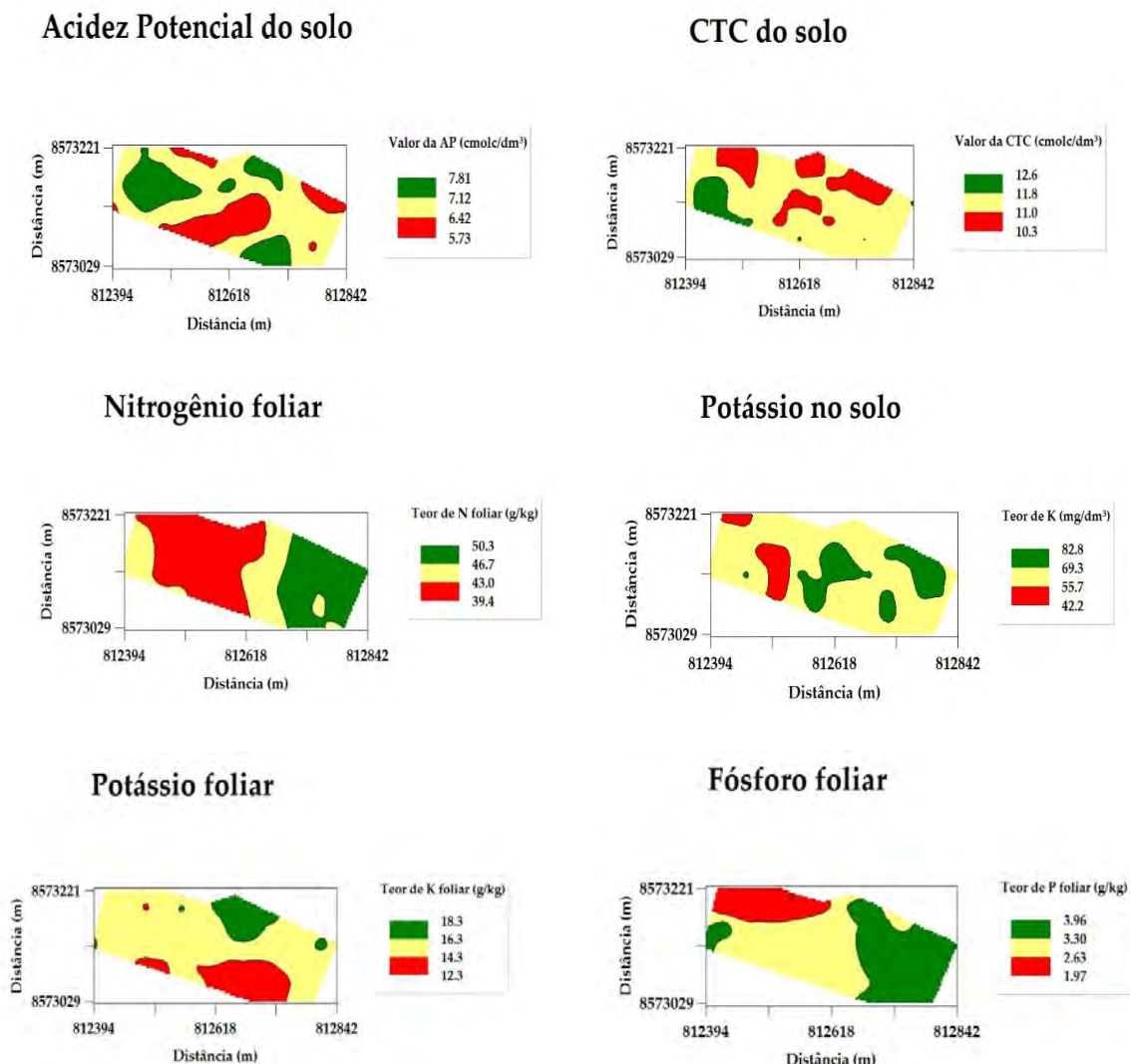
Uma vez apresentados e avaliados os parâmetros dos semivariogramas simples referentes aos atributos fitotécnicos da cultura e atributos químicos de solo na camada de 0 -0,20 m, iniciou-se processo para elaboração de mapas de krigagem ordinária (**FIGURA 2**), que permitem melhor avaliação e interpretação visual da distribuição dos atributos avaliados.

TABELA 3. Parâmetros dos semivariogramas simples

Atributo (a)	Parâmetros geoestatísticos						Avaliador da dependência espacial	
	Modelo (b)	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)	Classe
γ(h) simples dos atributos da planta								
Nfoliar	esf	0,57x10 ¹	0,24x10 ²	310,30	7,12x10 ⁻¹	0,13x10 ³	76,5%	Forte
Pfoliar	esf	1,00.10 ⁻³	6,97.10 ⁻¹	548,90	9,50x10 ⁻¹	2,26x10 ⁻²	99,9%	Forte
Kfoliar	esf	4,99x10 ⁻¹	0,23x10 ¹	138,60	6,66x10 ⁻¹	5,09x10 ⁻¹	78,7%	Forte
γ(h) simples dos atributos do solo na camada 0-0,20 m								
pH	epp	1,03x10 ⁻¹	1,03x10 ⁻¹	-	-	-	-	-
P	epp	0,63x10 ²	0,63x10 ²	-	-	-	-	-
K ⁺	exp	0,13x10 ⁻²	0,11x10 ³	77,10	4,02x10 ⁻¹	0,55x10 ³	88,0%	Forte
Ca ²⁺	epp	5,24x10 ⁻¹	5,24x10 ⁻¹	-	-	-	-	-
Mg ²⁺	epp	6,56x10 ⁻²	6,56x10 ⁻²	-	-	-	-	-
AP	esf	2,50x10 ⁻¹	6,56x10 ⁻¹	83,20	9,30x10 ⁻¹	1,961x10 ⁻³	61,9%	Moderada
CTC	exp	3,76x10 ⁻²	3,39x10 ⁻¹	114,6	8,82x10 ⁻¹	2,216x10 ⁻³	88,9%	Forte

Nota ^(a): Nfoliar = concentração de nitrogênio presente nas folhas; Pfoliar = concentração de fósforo presente nas folhas; Kfoliar = concentração de potássio presente nas folhas; pH = potencial hidrogeniônico do solo na camada 0-0,20 m; Ca = teor de cálcio no solo na camada 0-0,20 m; Mg = teor de magnésio no solo na camada 0-0,20 m; AP = Acidez potencial do solo na camada 0-0,20 m; CTC = capacidade de troca de cátions do solo na camada 0-0,20 m ^(b) exp = exponencial, esf = esférico e epp = efeito pepita puro; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) R² = coeficiente de determinação; SQR = soma do quadrado dos resíduos; ADE = avaliador da dependência espacial

FIGURA 2. Mapas de krigagem dos atributos fitotécnicos e químicos de um LATOSSOLO Vermelho Amarelo referentes ao ano agrícola 2019/2020



4. Discussões

A distribuição de frequência do tipo normal que os dados apresentaram ocorre devido aos valores de curtose e assimetria próximos de zero, bem como valores de média e mediana aproximadamente iguais, podendo ambos representar o comportamento desses atributos, conforme esclarece Miot (2017). Apesar de desejável, visto que possibilita estimativas mais eficientes no processo de interpolação, a distribuição normal não é um pressuposto fundamental para a formalidade geoestatística

(Oliveira *et al.*, 2015). O CV é um parâmetro utilizado para personificar uma ideia de regularidade das amostras estudadas, sendo um dos primeiros indicadores a representar a heterogeneidade dos dados (Bernardi *et al.*, 2016).

Com relação ao P disponível no solo, é salutar destacar que, mesmo com o histórico de aplicação deste nutriente na linha de semeadura, de forma a promover o menor contato possível com o solo e o mais próximo das raízes, a

absorção se dá predominantemente por difusão (Thomas, 1986). Este é um nutriente de baixa mobilidade dinâmica que esta atribuída a fixação pelos minerais da argila, como óxidos de ferro e de alumínio (Klein, 2014), além da fixação com o cálcio em solos com pH elevado, conferindo a este elemento alta variabilidade a curtas distâncias, justificando o maior valor de CV observado.

Os menores valores de CV encontrado foram para o pH, CTC e de Nfoliar ($CV < 10\%$). Índices semelhantes foram observados por Batista (2020). Bottega *et al.* (2013), afirmam que, dentre os diversos atributos do solo, o pH normalmente apresenta menor variabilidade espacial. Os teores foliares de N, P e K⁺ tendem a apresentar certa homogeneidade por apresentarem CV baixo ou médio mesmo entre diferentes culturas, corroborando com Gott, (2014), em que segundo o referido autor os teores foliares de N, P e K⁺ na cultura do milho apresentaram CV menores que 25%.

Os teores de P disponível na camada de 0-0,20 m apresentou níveis adequados, podendo variar de 15,1 a 20,0 mg dm⁻³, faixa de indicação do elemento para estes sistemas (Sousa y Lobato, 2004). O teor médio adequado de P disponível no solo corrobora o teor médio deste elemento nas folhas, denotando, de forma geral, eficiência ao manejo deste nutriente, tendo em vista que, pela média, atendeu ao requerimento da cultura, que apresentou alta produtividade média no talhão pesquisado.

O teor de K⁺ disponível apresentou-se adequado, conforme descreveram Sousa y Lobato (2004). Os valores médios para concentração de Nfoliar, Pfoliar e Kfoliar, indicando que o primeiro esteve acima da faixa de suficiência apresentada por Malavolta (1997) e Kurihara (2013), (TABELA 2), para a cultura do algodão, enquanto Pfoliar esteve ligeiramente abaixo da faixa de excesso e o Kfoliar esteve dentro da faixa de suficiência. Segundo Silva (2006), que avaliou o estado nutricional do algodoeiro para a região centro oeste brasileira, a concentração foliar deste nutriente pode variar de 14 a 16 g kg⁻¹, corroborando o resultado desta pesquisa.

Com relação a aplicação dos macronutrientes (NPK) é importante observar as doses indicadas porque, de acordo com Silva (2006), quando ocorre o consumo de luxo de nutrientes pelas culturas, há a possibilidade de ocorrerem perdas econômicas, pois a planta não estará convertendo nutrientes de modo a propiciar incremento de produtividade.

Outro fator de grande importância é a observação das características de uso e ocupação, em que as quantidades de N podem ser reduzidas em até 40% quando o algodão for cultivado em área com baixo potencial de resposta a N, como por exemplo áreas cultivadas com soja nos últimos três ou mais anos. Logo, as dosagens devem ser ajustadas em 20% quando o algodão for cultivado em áreas com alto potencial de resposta a N, como cerrado recém incorporado ao sistema de produção ou primeiros anos de plantio (Sousa e Lobato, 2004).

A concentração foliar média de fósforo acima da faixa de suficiência (TABELAS 1 e 2) pode estar relacionada às novas variedades de algodoeiro, uma vez que quanto maior produtiva, dependendo da eficiência da planta na utilização do nutriente, poderá haver maior demanda (Silva, 2006; Novais y Smyth, 1999).

A análise geoestatística presente na TABELA 3, em que se destacam inicialmente os atributos do solo pH, P, Ca²⁺ e Mg²⁺, que apresentaram Efeito Pepita Puro (EPP), isto é, para estes atributos houve ausência de dependência espacial, não sendo possível, portanto, apresentar mapas de krigagem confiáveis, que representem com fidelidade a variabilidade espacial destes atributos no solo.

Os atributos com EPP indicam distribuições casuais, ou seja, variabilidade não explicada ou variação não detectada, e pode ocorrer devido a erros de medidas, erros de amostragem, ou microvariação não observada, considerando ser o espaçamento de amostragem utilizado maior que o necessário para detectar dependência espacial (Aquino *et al.*, 2015).

Para os demais atributos, isto é, Nfoliar, Pfoliar, Kfoliar, K⁺, AP e CTC (TABELA 3), os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados aos modelos teóricos que melhor

descreveram o comportamento da variabilidade espacial dos mesmos bem como os mapas de krigagem (FIGURA 1) que caracterizam a dinâmica espacial.

Entre os atributos do solo com dependência espacial, o menor alcance observado foi para K^+ (77,10 m), em discordância com Carvalho *et al.* (2018) que afirmaram que os valores de alcance para o K^+ costumam ultrapassar os 200m.

De forma geral os atributos foliares apresentaram alcance significativamente superior aos atributos do solo. Quanto a isso infere-se a maior homogeneidade observada para estes atributos em comparação aos do solo. Por outro lado, Vieira *et al.* (2010) corroboraram os resultados geoestatísticos desta pesquisa, apresentando, para a cultura da soja, os maiores valores de alcance para os atributos da planta em comparação com os atributos do solo.

O alcance reflete o grau de homogeneização de determinado atributo na área em estudo, sendo fundamental para interpretação dos semivariogramas, pois indica a distância até onde os pontos estão correlacionados entre si, podendo ser entendido como, quanto menor o alcance, maior é a variabilidade do atributo a curtas e menor deve ser a densidade amostral (Santos, 2018; Molin *et al.*, 2015).

O modelo esférico foi predominante para os atributos com dependência espacial seguido do modelo exponencial. Segundo Noetzold (2018), os modelos esférico e exponencial apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos de solo e planta. De acordo com Camargo (2008), dentre as informações cruciais necessárias para avaliação e escolha de um modelo matemático representativo de variabilidade espacial de um atributo específico, o coeficiente de determinação (R^2) é a mais importante delas. Assim, neste estudo, com exceção do K^+ , todos os atributos apresentaram valores superiores a 50% de R^2 , comprovando, de forma geral, os bons ajustes apresentados pelos semivariogramas, denotando confiabilidade aos mapas de krigagem (FIGURA 2).

Os mapas de krigagem indicaram que a variabilidade espacial do Kfoliar não apresentou, visualmente, correspondência espacial com a

variabilidade espacial do potássio disponível no solo, o que permite inferir que ocorreram falhas nas atividades envolvendo aplicação deste elemento em taxa variável, podendo estar isso associado ao aumento da heterogeneidade do atributo no solo. Destaca-se também que as regiões em vermelho nos dois mapas podem significar teores baixos do elemento nas folhas bem como médio teor de K^+ disponível no solo, evidenciando a necessidade de ajustes na aplicação deste elemento em taxas variáveis.

A FIGURA 2 ilustra ainda que, para a distribuição de nitrogênio foliar (Nfoliar), a região central destacada em vermelho, apresentou menor concentração do elemento quando comparada a área total. No entanto, conforme interpretação concebida pela TABELA 2, não configura deficiência de N, apenas menor concentração do nutriente. E a área em verde (região leste), evidencia onde ocorre o consumo de luxo do nutriente, região onde pode haver menor taxa de aplicação deste elemento no solo, isto é, a partir de técnicas da agricultura de precisão.

Já para o mapa do fósforo presente nas folhas (Pfoliar), fica visualmente evidente a grande heterogeneidade presente na área de estudo, o que remete a dificuldade que se tem em homogeneizar a concentração deste elemento no solo tendo em vista o histórico de adubação em taxa fixa. A cor verde indica as áreas em que o elemento está em níveis ligeiramente acima da faixa de suficiência, ao passo que a cor bege ilustra a faixa adequada de concentração foliar e o vermelho indica concentração abaixo do adequado (TABELA 2), corroborando a tese de que a agricultura moderna não se faz pela média, mas sim de acordo com a variabilidade espacial dos fatores produtivos.

Ao contrário da lógica de raciocínio empregada na interpretação dos mapas supracitados, para o mapa de krigagem referente a Acidez Potencial (AP), a coloração verde representa o maior valor, o que em termos práticos, se traduz em maior quantidade de calcário a ser utilizada para correção do solo, implicando em um maior custo operacional para a propriedade. Entretanto, também pode indicar um solo com maior CTC, que ao ser corrigido,

poderá atuar como 'estoque' de nutrientes, conforme corrobora Magalhães *et al.* (2013).

Com relação a CTC do solo, a coloração bege do mapa que representa a CTC moderada do solo, apresenta visualmente semelhança quando comparada a área preenchida pela mesma cor no mapa de acidez potencial. Essa correlação pode ser feita, porque para o cálculo de estimativa de CTC, é considerado também o valor de acidez potencial (Sousa y Lobato, 2004). A mesma observação visual, permite inferir que houve correspondência espacial entre o Nfoliar e Pfoliar, isso devido à forte semelhança aparente dos mapas gerados a partir da krigagem dos atributos fitotécnicos de planta.

5. Conclusões

Não houve correspondência espacial, a partir da análise visual, entre os atributos avaliados, com exceção aos mapas de Nfoliar e Pfoliar que

apresentaram similaridade na região Leste da área pesquisada.

Na lavoura ocorre regiões com consumo de luxo de N, denotando baixa eficiência econômica e agrônômica para o manejo deste elemento no solo e indicando a necessidade, para as safras futuras, da aplicação de fontes de N em taxa variável no solo.

Existe a necessidade de homogeneização dos teores de P disponível no solo em níveis adequados em algumas regiões da área pesquisada onde os teores foliares foram baixos. E os maiores valores de alcance da dependência espacial foram registrados para os atributos nutricionais da planta.

Dessa forma, as técnicas geoestatísticas se apresentam como valiosas ferramentas para o aprimoramento da gestão do solo e da planta em sítios específicos.

6. Referências citadas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE ALGODÃO (ABRAPA). 2020. *Algodão no Brasil*. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados.aspx>. [Consulta: outubro, 2020].
- AQUINO, R. E; CAMPOS, M. C. C; OLIVEIRA, I. A; SIQUEIRA, D. S; SOARES, M. D. R. e L. FREITAS. 2015. "Técnicas geoestatísticas na avaliação de atributos químicos em Cambissolo com agrofloresta e cana-de-açúcar em Humaitá, Amazonas". *Agrária*, 10(4): 544-552.
- BATISTA, J. A. 2020. *Caracterização e manejo do solo por unidades de gestão diferenciada em lavoura de urucum durante 2 anos agrícolas*. Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Coleção Ilha Solteira. Tesis Doutoral.
- BATISTA, J. A. 2016. *Adoção da agricultura de precisão na Amazônia: estudo de caso na região cone sul do estado de Rondônia*. - Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão. Colégio Politécnico. Universidade Federal de Santa Maria (RS). Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão).
- BERNARDI, A. C. C; BETTIOL, G. M; FERREIRA, R. P; SANTOS, K. E. L; RABELLO, L. M. & R. Y. INAMASU. 2016 "Spatial variability of soil properties and yield of a grazed alfalfa pasture in Brazil. Precision Agriculture". *Dordrecht*, 17: 737-752.
- BOTTEGA, E. L; QUEIROZ, D. M; PINTO, F. A. C; MÁRCIO, C. e A. SOUZA. 2013. "Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro". *Revista Ciência Agrônômica*, 44(1): 1-9.

- BREMNER J. M. 1965. "Total Nitrogen. Methods of soil analysis Part 2- Chemical and Microbiological Properties, number 9 in the series Agronomy". *American Society of Agronomy*, 1.149-1.178. Inc. Publisher USA.
- CAMARGO, L. A; MARQUES JUNIOR, J; PEREIRA, G. T. e R. A. HORVAT. 2008. "Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. II - correlação espacial entre mineralogia e agregados". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 32(6): 2.279-2.288.
- CARVALHO. P. S. M.; SILVA, S. A; PAIVA, A. Q; SODRÉ, G. A. e J. S. S. LIMA. 2018. "Variabilidade espacial da fertilidade de um solo cultivado com cacaueteiro". *Revista Engenharia na Agricultura*, 26(2): 178-189.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). 2018. *Análise Mensal: Algodão Agosto de 2018*. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. [Consulta: abril, 2023].
- FONSECA, E. L. & E. P. SILVA FILHO. 2023. "Predictive modeling applied to potential soil erosion risk mapping in the western Amazon". *Mercator*, 22. Disponível em: <https://doi.org/10.4215/rm2023.e22010>.
- GOTT, R. M; AQUINO, L.; CARVALHO, A. M. X; SANTOS, L. P. D; NUNES, P. H. M. P. e B. S. COELHO. 2014. "Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(11): 1.110-1.111. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n11/03.pdf>. [Consulta: novembro, 2020].
- KLEIN, V. A. 2014. *Física do solo*. Ed. da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo (RS), Brasil
- KURIHARA, C. H; VENEGAS, V. H. A; NEVES, J. C. L; NOVAIS, R. F e L. A. STAUT. 2013. "Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS". *Rev. Ceres*, 60(3): 412-419.
- MACHADO, J.; PADILHA M., R. F.; LIRA, F. P.; OLIVEIRA, J. G.; SILVA, R. S. e M. B. C. CAETANO. 2017. "Agricultura de Precisão e abertura de novas fronteiras no Brasil". *Revista Geama*. 4(1): 49-53.
- MAGALHÃES, S. S. A.; WEBER, O. L. S; SANTOS, C. H. e F. C. VALADÃO. 2013. "Estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso do solo de Colorado do Oeste-RO". *Acta Amazonica*, 43(1): 63-72.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G. C. e S. A. OLIVEIRA. 1997. "Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional". In: *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. POTAFOS. Piracicaba (SP), Brasil.
- MIOT, H.A. 2017. "Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais". *Jornal Vascular Brasileiro*, São Paulo, 16(2): 88-91.
- MOLIN, J. P; AMARAL, L. R. e A. F. COLAÇO. 2015. *Agricultura de precisão*. Oficina de textos. . São Paulo, Brasil.

- NOETZOLD, R; SILVA, L. M.; SCHONINGER, E. L.; TOMÉ, P. C. D. e M. C. ALVES. 2018. "Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo durante cinco safras". *Revista Brasileira de Geomática*, 6(4): 328-345.
- NOVAIS, R. F. e T. J. SMYTH. 1999. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa (MG), Brasil.
- OLIVEIRA DE, R. P.; GREGO, C. R. e Z. N. BRANDÃO. 2015. *Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper*. Embrapa Solos. Brasília-DF, Brasil
- PIMENTEL-GOMES, F. 2009. *Curso de estatística experimental*. Fealq. (15 ed). Piracicaba (SP), Brasil.
- SANTOS, H. G; JACOMINE, P. K. T; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A; ... & OLIVEIRA, J. B. 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa. Brasília, DF, Brasil.
- SILVA, M. A. C. 2006. *Métodos de avaliação do estado nutricional para o algodoeiro no Centro-Oeste do Brasil*. Jaboticabal, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/>. [Consulta: outubro, 2020].
- SHAPIRO, S. S. & M. B. WILK. 1965. "An analysis of variance test for normality (complete samples)". *Biometrika*, 52; 591-611.
- SOUSA, D. M. G. e E. LOBATO. 2004. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Embrapa, Informação Tecnológica. Brasília, DF, Brasil.
- TAIZ, L. e E. ZEIGER. 2008. *Fisiologia vegetal*. (3. ed.) Artmed. Porto Alegre, Brasil.
- THOMAS, G. W. 1986. "Mineral nutrition and fertilizer placement". In: M. A. SPRAGUE & G. B. TRIPLETT, *No-tillage and surface-tillage agriculture: the tillage revolution*, pp. 1-18. John Wiley. New York, USA.
- VERA, G. S; CRUZ, G. S; SOUZA, H. A; SILVA, K. J. D e A. A.C. BEZERRA. 2019. Acúmulo e marcha de absorção de macronutrientes no feijão-caupi em sistema de cultivo mínimo. *V CONAC (Congresso Nacional de Feijão Caupi)*. Fortaleza (CE), (06 e 07 junho de 2019).
- VIEIRA, S. R; FILHO, O. G; CHIBA, M. K; MELLIS, E. V; DECHEN, S. C. F; MARIA, I. C. 2010. "Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em latossolo vermelho". *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1503-1514.
- WANG, X. X.; LIU, S; ZHANG, S; LI, H. MAIMAITIALI, B.; FENG, G & Z. RENGEL. 2018. "Localized ammonium and phosphorus fertilization can improve cotton lint yield by decreasing rhizosphere soil pH and salinity". *Field Crops Research*, 217(3): 75-81. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.011>.

Local e data de finalização do artigo:
Colorado do Oeste, Rondônia, Brasil; junho, 2024

Multi-temporal analysis of change in land use and deforestation in the Los Ilinizas Ecological Reserve, Andean Ecuador

Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo y deforestación en la
Reserva Ecológica Los Ilinizas, Ecuador andino

Análise multitemporal da mudança no uso da terra e do desmatamento na
Reserva Ecológica Los Ilinizas, Equador andino

José Luis Muñoz Marcillo¹, Cristopher Cesar Caisa Melendrez¹, Grace Tatiana Páez-Barrera² &
Theofilos Toulkeridis³

¹ Universidad Técnica Estatal del Ecuador, Los Ríos, Quevedo

² Universidad De las Fuerzas Armadas ESPE,
Sangolquí, Ecuador

³ School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki
Thessaloniki, Greece

jmunoz@uteq.edu.ec; cristopher.caisa2015@uteq.edu.ec; ttoulke@geo.auth.gr

Muñoz: <https://orcid.org/0000-0001-6600-6534>

Caisa: <https://orcid.org/0009-0003-0255-4808>

Páez: <https://orcid.org/0000-0003-3380-1229>

Toulkeridis: <https://orcid.org/0000-0003-1903-7914>

Abstract

The Los Ilinizas Ecological Reserve, due to anthropogenic impacts and deforestation, the forest area has been drastically decreasing due to a lack of education and environmental control. Therefore, this research seeks to estimate the deforestation rate of the Los Ilinizas Ecological Reserve and describe the change in land use in the 10-year period 2013-2023, using LANDSAT 8 satellite images taken on different dates, and analyzed by remote sensing and GIS, obtaining the deforestation rate and the change in land use in a period of 10 years. The images from 2013 and 2023 were obtained from the digital repository of the United States Geological Service (USGS). Using Catalyst software, the supervised classification process was carried out for the years 2013 and 2023, through the analysis of objects including 5 categories: Forest, Agricultural Land, Clouds, Cloud Shadow, and Bare Land. The information was processed with ArcGIS and QGIS, resulting in a deforestation rate of - 2.60% in the period from 2013 to 2023, showing the decrease in forest cover in the reserve, due largely to the expansion of the agricultural frontier, poor citizen education, and the lack of environmental control by the authorities.

KEYWORDS: catalyst; deforestation; GIS; remote sensing; land use.

Resumen

En la Reserva Ecológica Los Ilinizas, debido a las afectaciones antrópicas y la deforestación, el área boscosa ha ido disminuyendo drásticamente por falta de educación y control medio-ambiental. Por ello la presente investigación buscó estimar la tasa de deforestación de la Reserva Ecológica Los Ilinizas y describir el cambio del uso del suelo en un periodo de 10 años (2013-2023), utilizando imágenes satelitales LANDSAT 8 tomadas en diferentes fechas, y analizadas mediante teledetección y SIG, obteniendo la tasa de deforestación y el cambio de uso de suelo en esos 10 años. Las imágenes del año 2013 y del 2023, se obtuvieron del repositorio digital del servicio Geológico de Estados Unidos de América (USGS). Con el software *Catalyst* se realizó el proceso de la clasificación supervisada para el año 2013 y 2023, mediante el análisis de objetos incluyendo 5 categorías: Bosque, Suelo Agrícola, Nubes, Sombra de Nube y Suelo Desnudo. El tratamiento de la información se realizó con *ArcGIS* y *QGIS*, dando como resultado una tasa de deforestación de -2,60% durante el periodo en estudio, evidenciando la disminución de la cobertura vegetal boscosa en la reserva, debido en gran parte a la expansión de la frontera agrícola, la deficiente educación de la ciudadanía y la poca falta de control medio ambiental por parte de las autoridades.

PALABRAS CLAVE: catalyst; deforestación; SIG; teledetección; uso del suelo.

Resumo

Na Reserva Ecológica Los Ilinizas, devido a afetações antrópicas e ao desmatamento, a área florestal vem diminuindo drasticamente devido à falta de educação e controle ambiental. Portanto, esta pesquisa teve como objetivo estimar a taxa de desmatamento da Reserva Ecológica Los Ilinizas e descrever a mudança no uso da terra no período de 10 anos (2013-2023), usando imagens do satélite LANDSAT 8 tiradas em datas diferentes e analisadas por sensoriamento remoto e GIS, obtendo a taxa de desmatamento e a mudança no uso da terra em esse período de 10 anos. As imagens de 2013 e 2023 foram obtidas do repositório digital do *United States Geological Survey* (USGS). O processo de classificação supervisionada para 2013 e 2023 foi realizado com o software *Catalyst*, por meio da análise de objetos incluindo 5 categorias: Floresta, Solo Agrícola, Nuvens, Sombra de Nuvem e Solo exposto. As informações foram processadas com o *ArcGIS* e o *QGIS*, resultando em uma taxa de desmatamento de -2,60% no período em estudo, mostrando a diminuição da cobertura vegetal florestal na reserva, em grande parte devido à expansão da fronteira agrícola, à baixa educação dos cidadãos e à falta de controle ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: catalisador; desmatamento; GIS; sensoriamento remoto; uso do solo.

1. Introduction

The main purpose of creating ecological reserves is to protect a certain natural area with significant valued ecosystems from human exploitation of its natural resources (Batisse, 1982; Arcese & Sinclair, 1997b; Baker, 1992; Locke & Dearden, 2005; Halpern, 2003; Bengtsson *et al.*, 2003; Bastmeijer & Van Hengel, 2009). These protected areas may not be allowed for even limited permits of hunting or fishing, nor for timber extraction or any invasion by introduced or forced infrastructure and corresponding use of motorized vehicles (DeFries *et al.*, 2007; Batisse, 1997; Shafer, 1999; Tallis & Polasky, 2009; Arcese & Sinclair, 1997). Such shielded zones are worldwide purposed to secure and preserve endangered species and sensitive assets allowing limited access for any human interaction, excluding scientific activities (Sandwith *et al.*, 2001; Hansen & DeFries, 2007; Geneletti & van Duren, 2008; Peres & Terborgh, 1995).

Ecuador, situated in northwestern South America, within a conjunction of different tectonic plates, exhibits a varied geodynamic setting and geomorphologies which results to a great bio and geodiversity in its national territory (Jaillard *et al.*, 2000; Chunga *et al.*, 2018; Heredia-R *et al.*, 2022; García-Cox *et al.*, 2023; Herrera-Feijoo *et al.*, 2023; Lozano *et al.*, 2020; Toulkeridis *et al.*, 2021). These circumstances are demonstrated with a variety of diverse landscapes, which include the Amazonian Lowlands, the volcanic highlands, two Andean mountain ranges, the Coastal Lowlands and the Galapagos archipelago (Pitman *et al.*, 2008; Toulkeridis & Zach, 2017; Jadán *et al.*, 2021; Toulkeridis *et al.*, 2020; Massonne & Toulkeridis, 2012; Dueñas *et al.*, 2021). Due to these realities and a consciousness of preserving many, often unique areas, several zones have been declared national parks, biospheres and ecological reserves among others (Kleemann *et al.*, 2022a; Kleemann *et al.*, 2022b; López *et al.*, 2020; Burbano *et al.*, 2020; Negru *et al.*, 2020; Valdez *et al.*, 2024).

The Los Ilinizas Ecological Reserve, located in the province of Cotopaxi in central Ecuador, is a natural treasure of great ecological value and

biodiversity that faces significant challenges due to land use change and deforestation. Los Ilinizas is the name of a double-peaked, deglaciated, extinct volcano within the protected area, known for its biodiversity of plants of medical use (Brück *et al.*, 2023; Santamaria *et al.*, 2022; Sillo *et al.*, 2010; Conway *et al.*, 2023). However, to address these problems and understand their evolution over time, it is essential to employ advanced monitoring and analysis tools. Thus, remote sensing and geographic information systems (GIS) have proven to be fundamental for the study of environmental change at spatial and temporal scales (Cao & Lam, 2023; Yasir *et al.*, 2020; Bielecka, 2020; Mosquera Lopez *et al.*, 2021; Echeverría-Puertas *et al.*, 2023). With remote sensing, it is possible to obtain satellite data and images that allow to observe changes in the landscape with a broad and systematic vision (Turner *et al.* 2003; Shafique *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2022; Hemati *et al.*, 2021). For its part, GIS allows to analyze and visualize geospatial information effectively, which facilitates the detection and quantification of changes in land use and vegetation cover over time (Lillesand *et al.* 2015; Simelane *et al.*, 2021; Whig *et al.*, 2024; Sun *et al.*, 2022).

One of the main objectives of the current study has been to perform a multitemporal analysis of land use change and deforestation in the Los Ilinizas reserve by integrating remote sensing and GIS. Previous work has demonstrated the potential of remote sensing to detect and quantify forest cover in tropical areas (Ferraz *et al.* 2016; Gao *et al.*, 2020; Dupuis *et al.*, 2020; Abbas *et al.*, 2020; Guascal *et al.*, 2020). Furthermore, forest carbon mapping refers to the process of quantifying the amount of carbon stored in forests using mapping and remote sensing techniques (Cook-Patton *et al.*, 2020; Mo *et al.*, 2023). This also involves the use of satellite data, aerial images, and other methods to estimate the biomass and carbon content of trees and forest soil (Asner & Mascaro, 2014; Reiersen *et al.*, 2022; Ganz *et al.*, 2020). Therefore, a corresponding analysis aims to generate accurate and up-to-date information on changes in the

landscape of ecological reserve, as well as to identify critical areas that require conservation and restoration interventions. These findings will be fundamental for planning sustainable management policies and protecting the rich biodiversity that protected areas harbor (Achiso, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Vilar *et al.*, 2020).

Based on the aforementioned, with a multitemporal analysis, we incline to contribute to scientific knowledge on the dynamics of land use change and deforestation in the Los Ilinizas Ecological Reserve and provide a solid basis for informed decision-making in the management and conservation of this valuable Ecuadorian ecosystem. Furthermore, the results of this research are expected to be useful for future studies related to the conservation of protected areas and environmental sustainability.

2. Materials and methods

2.1 Delimitation of the study area

The research has been performed in the Los Ilinizas Ecological Reserve, located in the provinces of Cotopaxi and Pichincha in central

Ecuador (FIGURE 1). With an approximate area of 140,000 hectares the reserve includes the areas of the Toachi River, the western moors of the Ilinizas and Corazón hills, the Quilotoa volcanic lagoon, Zarapullo, Cerro Azul, Jaligua Alto and Tene fuerte, belonging to the cantons of Mejía, La Maná, Sigchos, Pangua and Pujilí, respectively (MAE, 2020).

For the current research, the most representative area of the reserve was taken as a basis since it has the largest forest cover to conserve and manage sustainably to mitigate damage to ecosystems and in turn reduce material damage to nearby populations due to the events that occurred in 2022-2023 caused by heavy rains. Considering that the resources may be perpetuated for future generations, since with the estimation of deforestation and the analysis of satellite images from 10 years ago, it will be possible to determine the current perspective regarding forest cover in this part of the reserve and the focal points to take into account for its correct management.

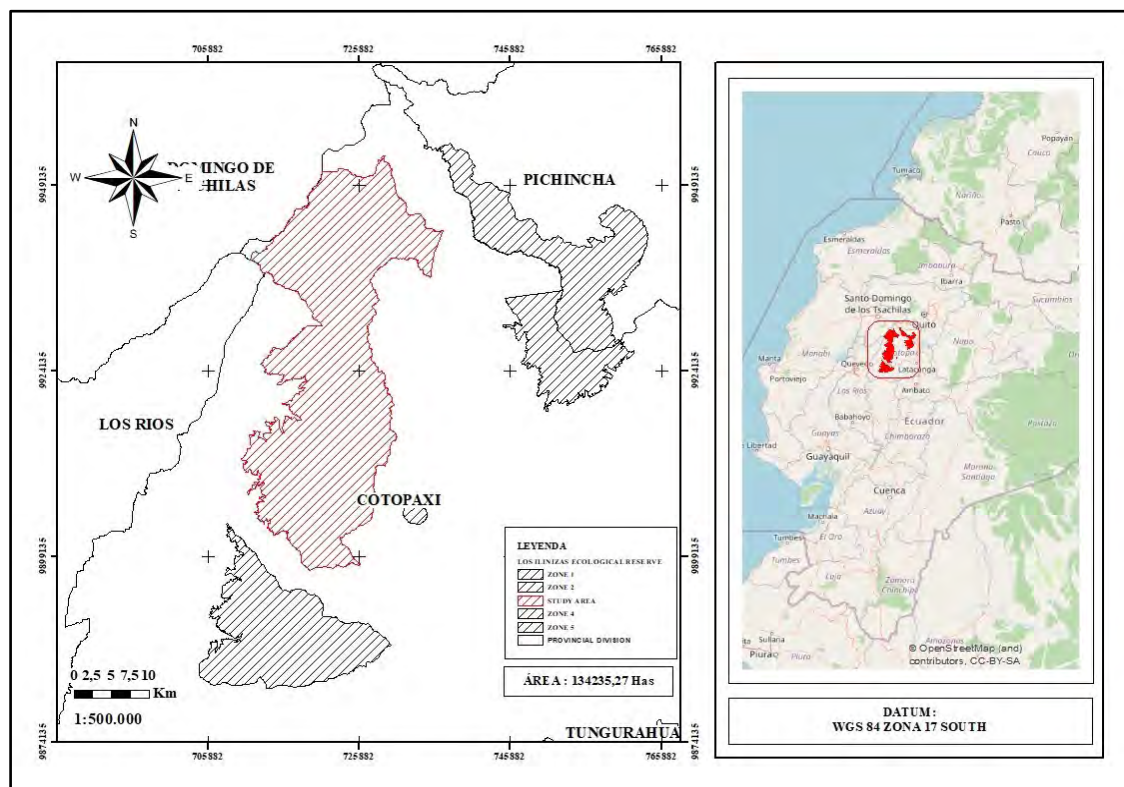


FIGURE 1. General map and setting of the Los Ilinizas Ecological Reserve. Source: the authors

2.2 Compilation and correction of satellite images

Vector cartographic information (shape) of the Los Ilinizas Ecological Reserve provided by the Ministry of Environment, Water and Ecological Transition (MAATE) was selected. In the same way, the Landsat 8 satellite image databases of the study area were obtained, from the free of use repositories of the United States Geological Survey (USGS) under <https://glovis.usgs.gov/> corresponding for the years within the period of 2013 to 2023. It is fundamental to mention that it must be considered that the images have a maximum of 20% cloudiness within the study area (Chuvieco 2008).

2.3 Classification of satellite images

The Catalyst software was used to process the information by performing a supervised classification using the object analysis method. Four satellite images of the corresponding area were obtained, being two for the year 2013 (LC08_L2SP_010060_20131128_20200912_02_T1 and LC08_L2SP_010061_20131128_20200912_02_T1) and two for the year 2023 (LC09_L2SP_010060_20230913_20230915_02_T1 and LC09_L2SP_010061_20230929_20231001_02_T1).

In these images, the raster combination was performed in the QGIS program to obtain a single recombined image for each band in each time period and it was transformed into .pix format, which is the format to work with in Catalyst. Once the transformation was completed, the supervised classification was carried out. From the Catalyst menu, select 'Analysis, Object Analyst', followed by the 'Operation' option. Select 'Segmentation', where the images are loaded in .pix format and the bands with which you want to work are chosen.

For this study, bands 2, 3, 4, 5, 6 and 7 were used. The polygon of the reserve was chosen to delimit

the area in which the work will be done. It is important to specify the 'segmentation parameters' options, within which Scale 25, Shape 0.5, and Compactness 0.5 were used. The result is a vector file in which polygonal files are illustrated for better identification of the areas of interest (FIGURE 2).

The next step was to choose the 'Attribute Calculation' option, where several statistical parameters can be calculated, such as area, perimeter and NDVI. Following this operation, the 'training sites editing' option was chosen, where the training sites will be created for each of the five land use categories, which are Forest, Agricultural Land, Bare Land, Clouds and Cloud Shadow. It is important that for this step the necessary combination changes are made in the bands (RGB) of the images in order to establish the different land uses clearly. When digitizing the training areas, it must be done in two options, 'Training' and "accuracy assessment" to then generate the confusion matrix.

Once the polygons of the training areas for each soil category have been entered, the 'Supervised classification' option is chosen, resulting in a polygonal file showing the previously assigned categories. The Catalyst software has the option of correcting the supervised classification with a review of the resulting polygons in which it can be checked by combining bands to ensure that the areas correspond to the assigned category.

The resulting polygonal file is then exported in Shapefile format so that it can be opened in different software. The transformed layers were uploaded to the ArcMap 10.8 program in which, using the classification already carried out, a map can be generated and the calculations of the areas for each category can be generated according to our supervised classification.

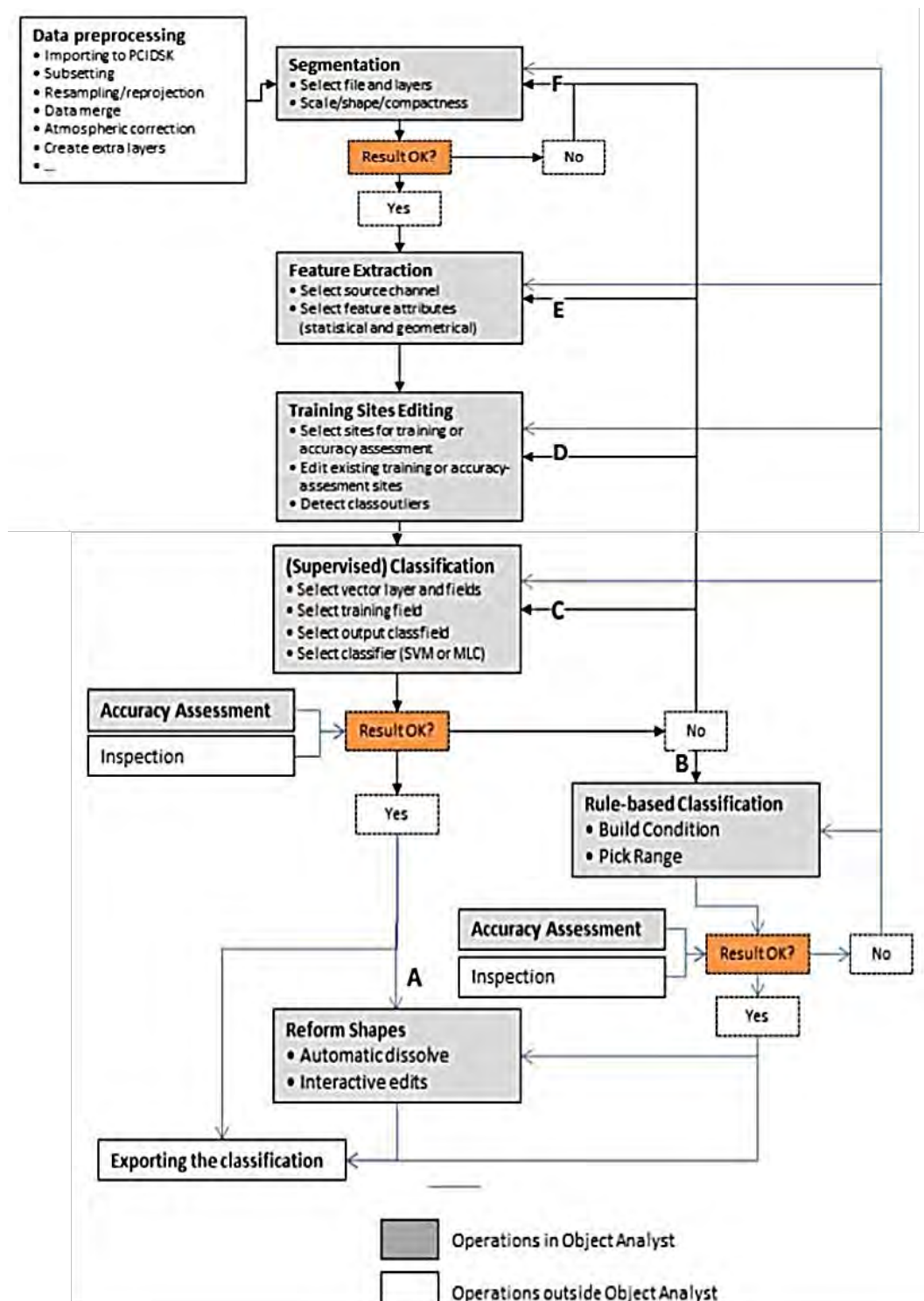


FIGURE 2. Process flowchart for supervised classification in Catalyst. Source: the authors

2.4 Deforestation rate

Using the map algebra tool, the forest cover and anthropogenic cover (agricultural land) of the working level will be added, where the percentage change of the surfaces corresponding to each period was calculated, using the following equation 1 (Mas *et al.*, 2004).

$$dn = \left(\sqrt[n]{\frac{S_2}{S_1}} - 1 \right) * 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Where: dn = Change rate

S1 = Area at date 1

S2 = Area at date 2

n = Number of years between the two dates

2.5 Change rate in vegetation and land use

The geometric superposition of land use and vegetation coverage was used to determine the

rate of change by plant category where vegetation cover maps were obtained for the periods from 2013 to 2023, using the following equation (Mas *et al.*, 2004).

$$C = \left(\left(\sqrt[n]{\frac{T_2}{T_1}} \right) - 1 \right) * 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Where: C= Change rate

T1= Starting year

T2= Current or most recent year

n= Number of years between T1 and T2

2.6 Verification of results obtained in the field

By selecting 50 random points, the results obtained from the multitemporal analysis of land use changes and deforestation in the Los Ilinizas Ecological Reserve were verified (TABLE 1).

TABLE 1. Matrix for verification of points in the field

Point	Coordinates		Detail		Coincidence	
	X	Y	Unsupervised	Supervised	YES	NO
1...						
...50						
					Σ	Σ
					%	%

3. Results and discussion

3.1 Land use for the years 2013 to 2023

As a result of the supervised classification, the resulting area of the land use categories for the years 2013 and 2023 respectively was obtained. For the year 2013, the category forests resulted to an area of some 39,703.50 ha, which represents 54.11% of the total area, the agricultural land with an area of 14,322.10 ha (19.52%), cloud with an area of 13,231.80 ha (18.23%), cloud shadow with an area of 1,277.45 ha (1.74%) and bare ground with an area of 4,696.05 ha (6.40%) in the Los Ilinizas Ecological Reserve. For the year 2023 the

forests area comprised some 30,503.10 ha (41.57%), agricultural land some 15,564.00 ha (21.21%), cloud appeared with an area of 16,065.40 ha (21.89%), cloud shadow comprised an area of 3,323.94 ha (4.53%) and bare ground covered an area of 7,921.06 ha (10.79%) of the total research area. Yielding a greater increase in the percentages of land use change in the central and northern part of the studied area, which is where most of the towns in the area are located (TABLE 2; FIGURE 3 and 4).

TABLE 2. Land uses in the Los Ilinizas Ecological Reserve. Source: the authors

#	Category	2013		2023		Change (%)
		ha	%	ha	%	
1	Forests	39 703.50	54.11	30 503.10	41.57	-12,54
2	Agricultural land	14 322.10	19.52	15 564.00	21.21	1,69
3	Cloud	13 378.10	18.23	16 065.40	21.89	3,66
4	Cloud shadow	1 277.45	1.74	3 323.94	4.53	2,79
5	Bare ground	4 696.05	6.40	7 921.06	10.79	4,40
Total		73 377.20	100	73 377.50	100	0

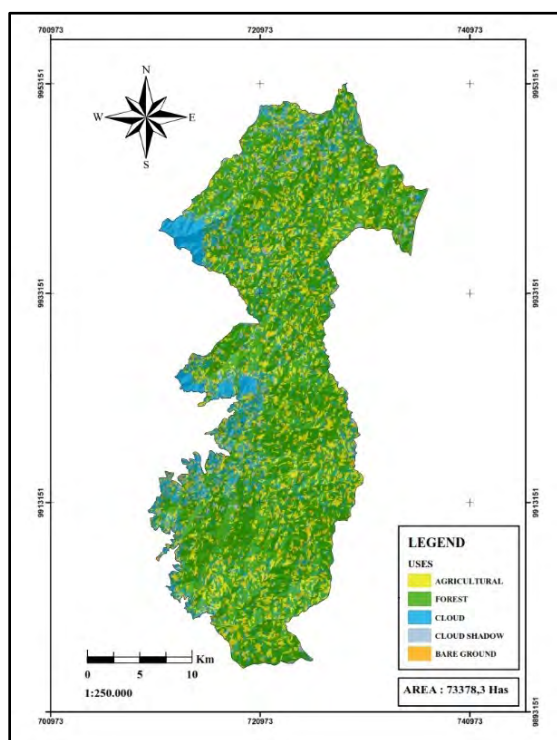


FIGURE 3. Los Ilinizas Ecological Reserve land uses

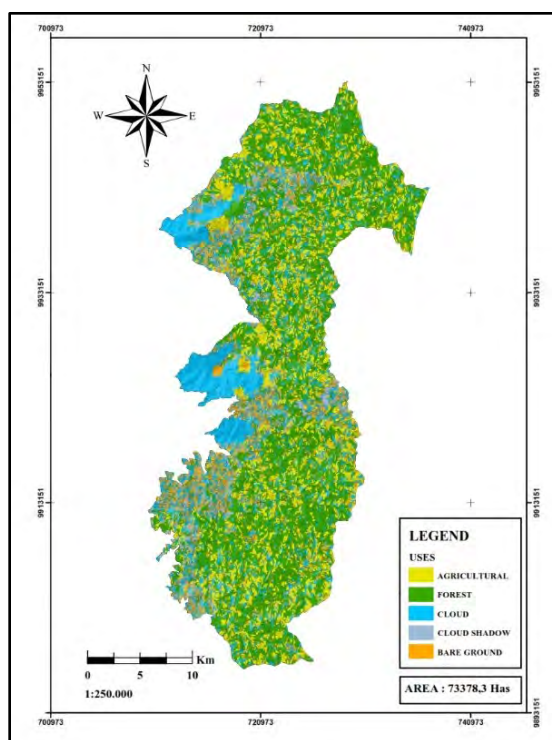


FIGURE 4. Los Ilinizas Ecological Reserve land uses

3.2 Deforestation rate

After applying equation 1 [Eq. 1] to calculate the deforestation rate using the area of the category 'Forest' in the different years proposed in this study (2013 and 2023). In 2013, 39,703.50 ha were obtained and for 2023, 30,503.10 ha were obtained, as a result the deforestation rate is -2.60% which represents a gradual reduction in forest cover over the 10-year period (2013-2023). Using the script used and the map algebra tool, the total areas can be quantified as it represents

deforestation and natural regeneration in the period 2013-2023. In the case of 'Deforestation' an area of 12,236.70 ha was obtained, which represents 16.68% of the total study area and 'Natural Regeneration' with an area of 7,174.70 ha, which represents 9.78% of the total area. Considering that the unanalyzed area 'No Data' has an area of 53,966.90 ha, which represents 73.55% of the total study area within the Los Ilinizas Ecological Reserve (TABLE 3; FIGURE 5).

TABLE 3. Deforestation rate of the Ilinizas ecological reserve period 2013 – 2023. Source: the authors

Change of land use	ha	%	Deforestation rate %
Deforestation	12 236.70	16.68	
Regeneration	7 174.70	9.78	
No data	53 966.90	73.55	-2,60
Total, general	73 378.30	100.00	

3.3 Land use change rate

From equation 2 [Eq 2] applied to calculate the land use change rate by categories (TABLE 4 and FIGURE 6), the following results were obtained for the categories 'Forest' the change rate is -2.96%, 'Agricultural Land' the change rate is 0.84% and 'Bare Ground' the change rate is 5.37%. Thus, we obtain that the category that suffered the greatest change corresponds to the 'Bare Ground' category, which indicates the increase in

deforestation for the use of pastures for livestock, followed by the 'Forest' category, in which a gradual reduction in forest cover is evident in the period (2013-2023) and the 'Agricultural Land' category, which is the one that suffered the least changes in the period (2013-2023). It is worth mentioning that the cloud and cloud shadow categories were not considered (FIGURE 7, 8 and 9).

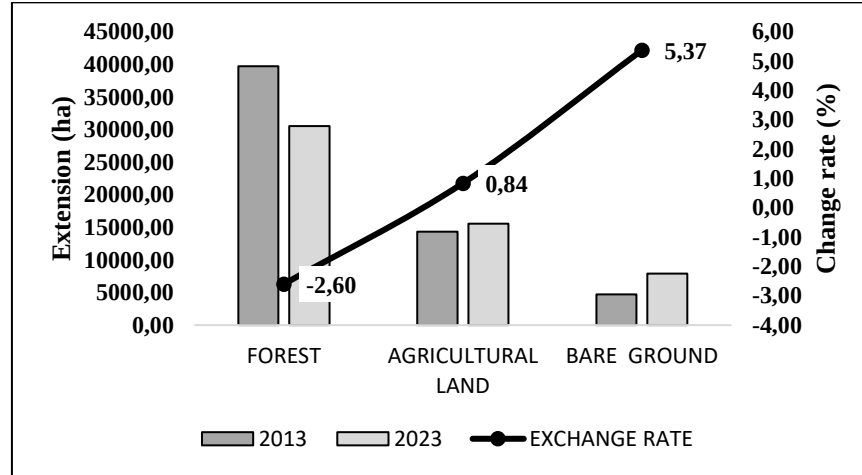


FIGURE 6. Land use change rate trend line. Source: the authors

TABLE 4. Land use change rate. Source: the authors

Category	2013 (ha)	2023 (ha)	Change rate (%)
Forest	39 703.50	30 503.10	-2.60
Agricultural land	14 322.10	15 564.00	0.84
Bare ground	4 696.05	7 921.06	5.37

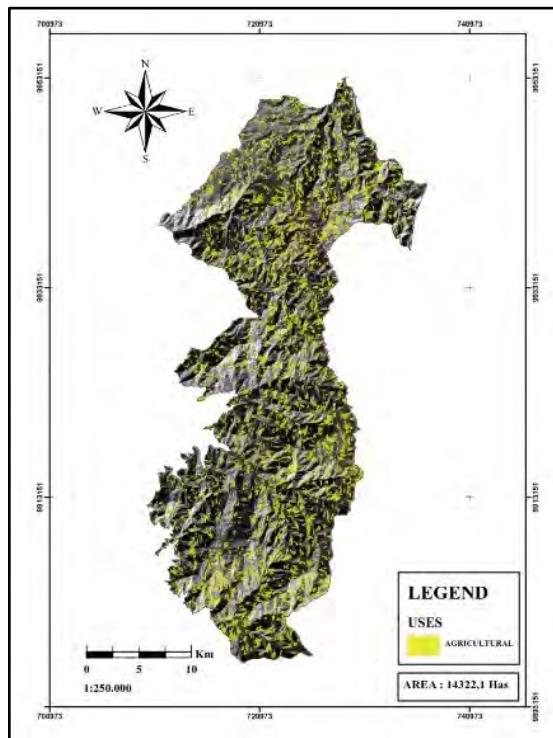


FIGURE 7. Comparison of land use changes in the 'Agricultural land' category in 2013.
Source: the authors

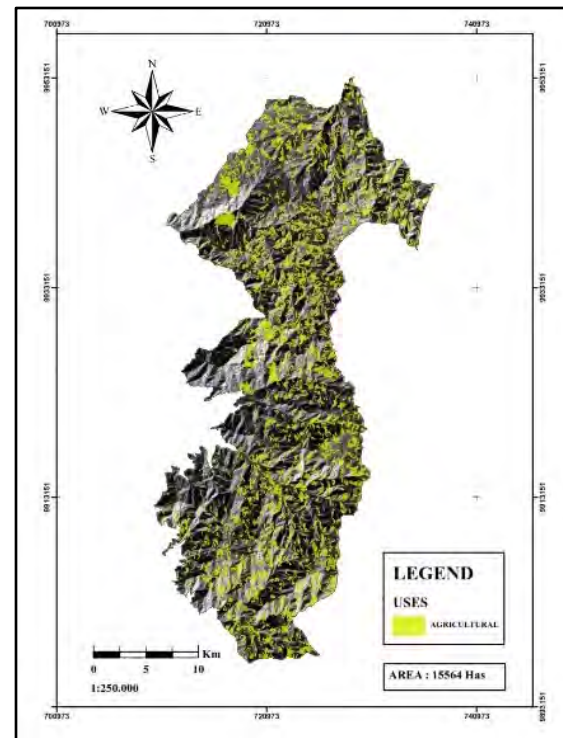


FIGURE 8. Comparison of land use changes in the 'Agricultural land' category, 2023.
Source: the authors

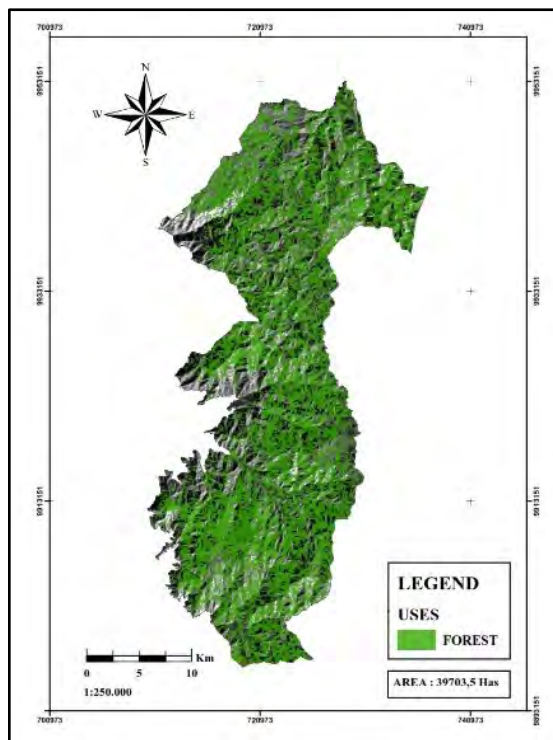


FIGURE 9. Comparison of land use change in the 'forest' category, 2013. Source: the authors

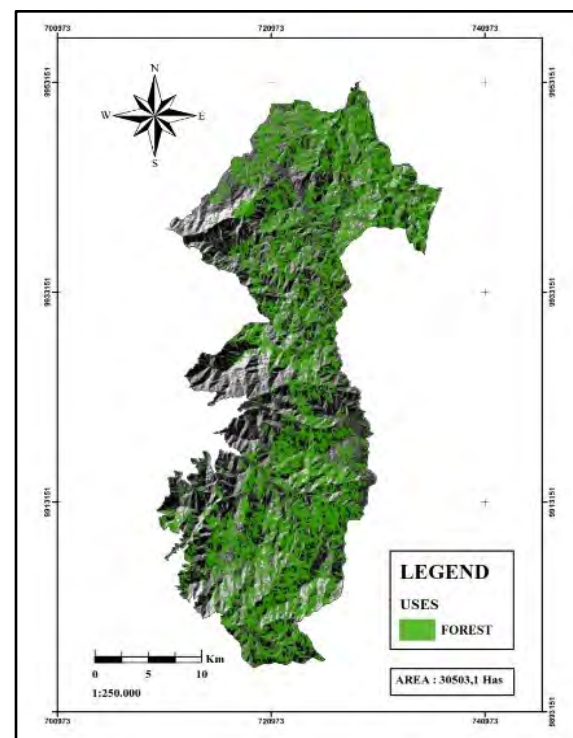


FIGURE 10. Comparison of land use change in the 'forest' category, 2023. Source: the authors

There is a gradual decrease in forest cover over the 10-year period and in the places where deforestation and natural regeneration were concentrated as illustrated in FIGURES 9 and 10. An evident and somewhat significant increase in

bare land over the 10-year period and in the places where deforestation was concentrated, since this area is suitable for livestock farming, as demonstrated in FIGURES 11 and 12.

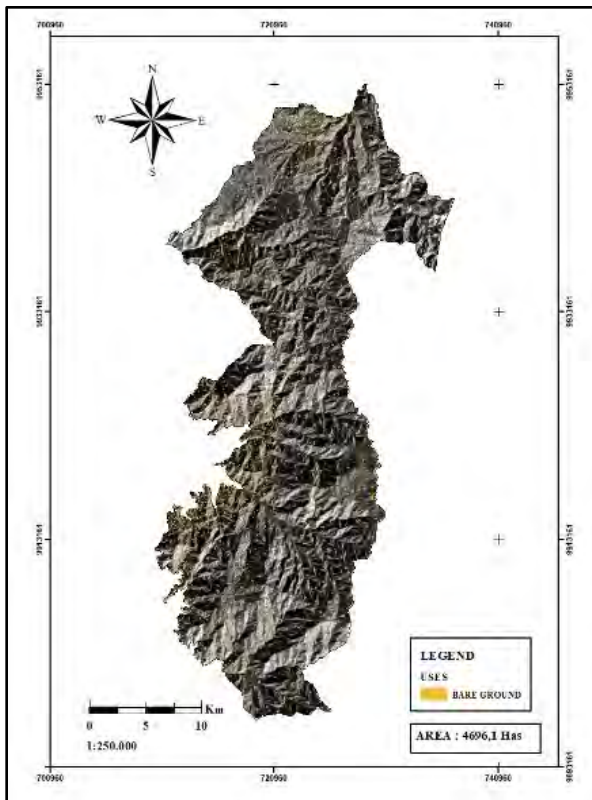


FIGURE 11. Comparison of land use change in the 'Bare ground' category in the years 2013.
Source: the authors



FIGURE 12. Comparison of land use change in the 'Bare ground' category in the years 2023.
Source: the authors

3.4 Verification of multi-temporal analysis

A total of 50 random points were taken where a face-to-face verification of the results was carried out where there was some type of transition (deforestation and natural regeneration) in the research area. For this, a matrix was used to calculate the percentage of veracity of the multi-temporal analysis, of which 45 points equivalent

to 90% coincided with the results of the multi-temporal analysis while the remaining 10 points equivalent to 10% did not correspond to the results of the multi-temporal analysis of land use change in the Los Ilinizas Ecological Reserve (FIGURE 13).

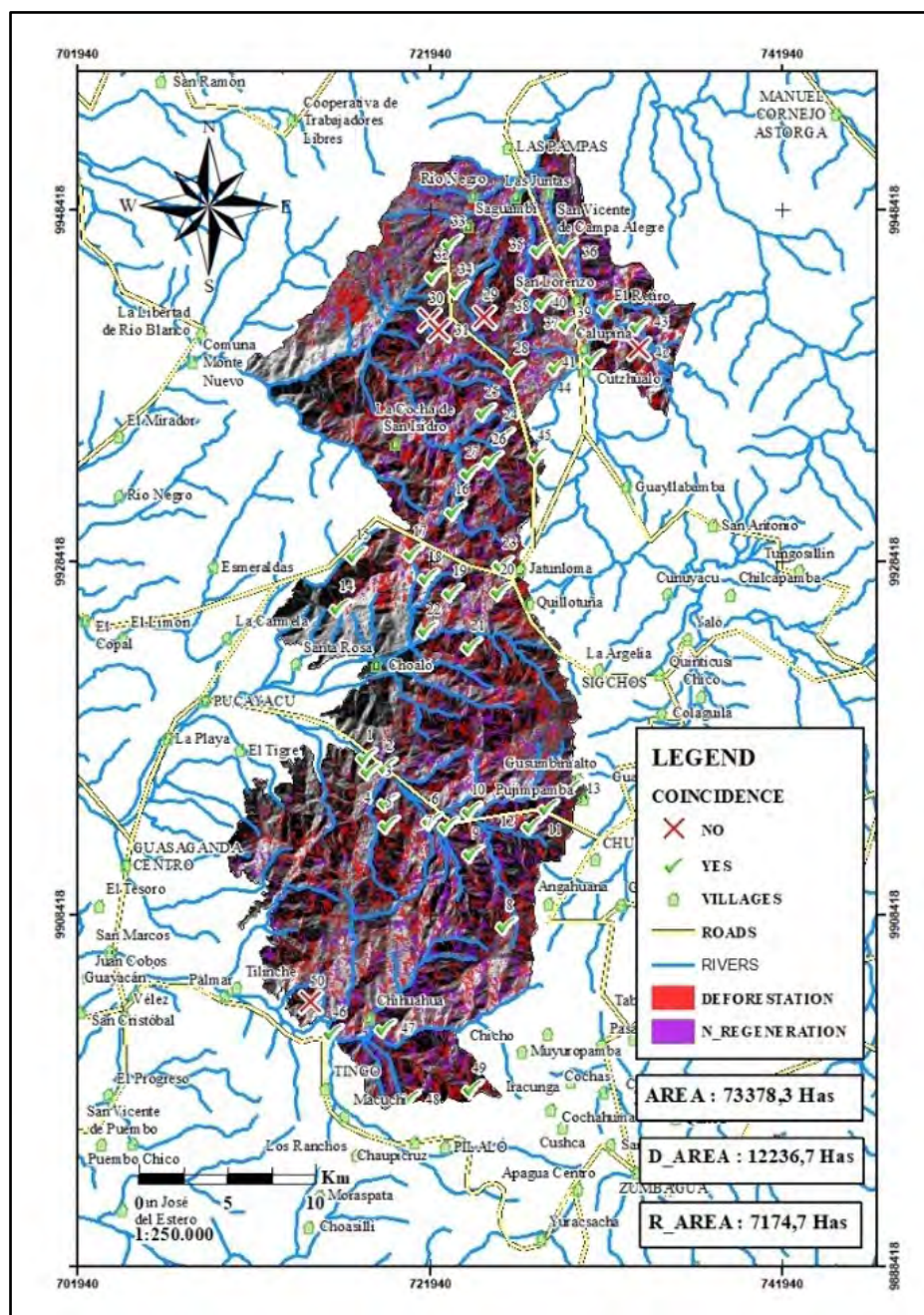


FIGURE 13. Verification points of the multitemporal analysis in the Los Ilinizas Ecological Reserve. It can be observed that from the results obtained where there was an alteration, whether deforestation or natural regeneration, we proceeded to verify it using 50 random points with the GPS, giving us a success rate of 45 points corresponding to what the results indicate, where the errors are marked with an X and the successes with a check. Source: the authors

The Ecuadorian Andes have experienced significant deforestation due to agricultural expansion, livestock farming, urbanization, and natural resource extraction (MAATE, 2020). Thus,

between 2000 and 2018, it is estimated that around 530,000 hectares of forest were lost in the Ecuadorian Andes region due to human activities. Deforestation in the Ecuadorian Andes has had significant impacts on biodiversity, ecosystem services, and the local climate. Deforestation was noted to have contributed to habitat loss for endemic species and soil erosion, affecting agricultural productivity and food security in the Andean region (INIAP, 2019).

Due to the increasing deforestation in Ecuador, new multitemporal analysis techniques have been implemented using geographic information system software and it has been possible to identify strategic points to focus on conservation and reforestation. In the case of the Los Ilinizas Ecological Reserve, it allows in a general summary of the state of vegetation and change in land use in the reserve, to make government decisions regarding the well-being of the reserve and its conservation. A multitemporal analysis study between the years 1990 - 2018 in the province of Morona Santiago, deforested areas represented 0.73% of the total protective forests and 0.27% of the protected area of the province, indicating that the growth of agriculture in an uncontrolled and disorganized manner violates sensitive areas with high biological diversity, making it necessary to generate and execute public policies aimed at the protection of protected areas at the national level (Camacho *et al.*, 2022).

In the Mache-Chindul ecological reserve, through multitemporal analysis, it was found that the deforestation rate within the ecological reserve was 1,512,125 ha/year, 917,167 ha/year and 1,292 ha/year, for the periods 2000-2008, 2008-2014 and 2014-2016, respectively (Mendoza & Román, 2021). It is evident that deforestation has been decreasing over the years within the Mache-Chindul Ecological Reserve. Total deforestation from 2000 to 2016 has been 20,184 ha, which means that 16.94% of the reserve has been lost (Mendoza & Román 2021).

In another multitemporal analysis of deforestation in the province of Manu in Peru, tools such as GIS were used, they maximize the possibilities of using the data obtained in satellite

images, as well as optimize the quality of the results in the processing of the information (Gonzales, 2018). Thus obtaining a conclusion from our study performed that for the year 2000 we have an approximate of 230.79 km² increasing for 2008 to 317.64 km² and so consecutively for the year 2016 we have an accelerated deforestation of 570.57 km² which gives us a difference since the year 2000 a total of 339.78 km² was deforested.

Having as the main factor of deforestation the increase in the price of gold and the construction of the interoceanic highway.

In the south of the country, it shows us the specific effectiveness of working with Catalyst software through object analysis, since with this we simplify the work a little and we can obtain effective results in less time and thus make decisions about soil management in the different areas, in this case in protected areas, since over the years they have been degraded until there are only remnants of what they once were in the past (Muñoz *et al.*, 2023). It is important to carry out more similar research to have a clear vision of the forests today in Ecuador.

This demonstrates that the results obtained within the given research in Los Ilinizas, that they have experienced a demographic increase and needs of the inhabitants, the percentage of forests has decreased in the period of 10 years (2013-2023) and the agro-pastoral frontier has increased significantly. Losing a total of 9,200.40 ha of forests in the period (2013 -2023) and the agro-pastoral frontier increased 4,466.91 ha. This research is of great ecological importance since it indicates the current state of the ecological reserve and will help to make the right decisions for the corresponding authorities since this area is of great importance as it is located in a transition zone between the coast-mountains and is home to a large number of species of wild flora and fauna, native to the country, including species that are in danger of extinction.

4. Conclusions

Based on our research, it is estimated that in the period from 2013 to 2023 the deforestation rate was -2.60%, being a negative rate which indicates

the gradual decrease in forest cover, referencing poor political administration and population education in the area. This deforestation rate is an example that if it continues to affect this protected area, in the next 33 years we would lose all the forest cover in the study area belonging to the Los Ilinizas Ecological Reserve.

The land change rate for the hunting reserve based on the adopted categories is, for 'Forest' - 2.60%, 'Agricultural Land' 0.84% and 'Bare ground' 5.37% in the period studied from 2013 to 2023, which in the case of 'Forest' has decreased

coverage, while 'Agricultural Land' has increased and 'Bare Land' has increased, this is partly due to anthropic activities that still exert pressure on these ecosystems.

New technological tools and good or adequate management of GIS are able to support increase the precision of the analyses, obtaining reliable results based on field verification with a 90% accuracy in the multitemporal analysis of land use change and deforestation in the Ilinizas ecological reserve.

5. Reference quoted

- ABBAS, S.; WONG, M. S.; WU, J., SHAHZAD, N. & S. MUHAMMAD IRTEZA. 2020. "Approaches of satellite remote sensing for the assessment of above-ground biomass across tropical forests: Pan-tropical to national scales". *Remote Sensing*, 12(20): 3.351.
- ACHISO, Z. 2020. "Biodiversity and human livelihoods in protected areas: worldwide perspective—a review". *SSR Institute of International Journal of Life Sciences*, 6(3):2565-2578.
- ARCESE, P. & A. R. SINCLAIR. 1997b. "The role of protected areas as ecological baselines". *The Journal of Wildlife Management*, 61: 587-602.
- ASNER, G. & J. MASCARO. 2014. "Mapping tropical forest carbon: Calibrating plot estimates to a simple LiDAR metric". *Remote Sensing of Environment*, 140: 614-624. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.023>.
- BAKER, W. L. 1992. "The landscape ecology of large disturbances in the design and management of nature reserves". *Landscape ecology*, 7:181-194.
- BASTMEIJER, K. & S. VAN HENGEL. 2009. "The role of the protected area concept in protecting the world's largest natural reserve: Antarctica". *Utrecht Law Review*, 5(1): 61-79.
- BATISSE, M. 1997. "Biosphere reserves: a challenge for biodiversity conservation & regional development". *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 39(5): 6-33.
- BATISSE, M. 1982. "The biosphere reserve: a tool for environmental conservation and management". *Environmental conservation*, 9(2): 101-111.
- BENGTTSSON, J.; ANGELSTAM, P.; ELMQVIST, T.; EMANUELSSON, U. ; FOLKE, C.; IHSE, M.; & M. NYSTRÖM. 2003. "Reserves, resilience and dynamic landscapes". *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 32(6): 389-396.
- BIELECKA, E. 2020. "GIS spatial analysis modeling for land use change. A bibliometric analysis of the intellectual base and trends". *Geosciences*, 10(11): 421.

- BRÜCK, S. A.; AMÁN, K. T.; BUITRÓN, P. B.; PAREDES, W. P.; QUITUIZACA, P. R. & M. D. L. T. DE MORAES. 2023. "Potential impacts of seasonal and altitudinal changes on enzymatic peat decomposition in the High Andean Paramo region of Ecuador". *Science of The Total Environment*, 890: 164-365.
- BURBANO, D. V.; MEREDITH, T. C. & M. E. MULRENNAN. 2020. "Exclusionary decision-making processes in marine governance: The rezoning plan for the protected areas of the 'iconic' Galapagos Islands, Ecuador". *Ocean & coastal management*, 185: 105066.
- CAMACHO-LÓPEZ, C.; JARA-FRANCO, N. & J. GONZÁLEZ-RIVADENEIRA. 2022. "Análisis multitemporal de la deforestación y cambio de la cobertura del suelo en Morona Santiago". *Polo del Conocimiento*, 7(1): 797-807. Available in: [10.23857/pc.v7i1.3511](https://doi.org/10.23857/pc.v7i1.3511).
- CAO, C. & N. S. N. LAM. 2023. "Understanding the scale and resolution effects in remote sensing and GIS. In: *Scale in remote sensing and GIS*, pp. 57-72. Routledge. New York, USA.
- CHUNGA, K.; OCHOA-CORNEJO, F.; MULAS, M.; TOULKERIDIS, T. & E. MENÉNDEZ. 2018. "Characterization of seismogenic crustal faults in the Gulf of Guayaquil, Ecuador". *Andean Geology*, 46(1): 66-81.
- CHUQUIBALA, E. M. 2022. "Análisis multitemporal de índices de deforestación en el distrito de Yambrasbamba, Amazonas". Perú. *Revista Científica UNTRM, Ciencias Naturales E Ingeniería*, 5(1): 20-28. <https://doi.org/10.25127/ucni.v4i3.803>
- CHUVIECO, E. 2008. *Fundamentos de teledetección espacial*. (2da ed.). Ediciones Rialp, S.A. Madrid, España.
- CONWAY, C. E.; PURE, L. R. & O. ISHIZUKA. 2023. "An assessment of potential causal links between deglaciation and eruption rates at arc volcanoes". *Frontiers in Earth Science*, 11: 1082342.
- COOK-PATTON, S. C.; LEAVITT, S. M.; GIBBS, D.; HARRIS, N. L.; LISTER, K.; ANDERSON-TEIXEIRA, K. J.; ... & B. W. GRISCOM. 2020. "Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth". *Nature*, 585(7826): 545-550.
- DeFRIES, R.; HANSEN, A.; TURNER, B. L.; REID, R. & J. LIU. 2007. "Land use change around protected areas: management to balance human needs and ecological function". *Ecological applications*, 17(4): 1031-1038.
- DUEÑAS, A.; JIMÉNEZ-UZCÁTEGUI, G. & T. BOSKER. 2021. "The effects of climate change on wildlife biodiversity of the Galapagos Islands". *Climate Change Ecology*, 2: 100026.
- DUPUIS, C.; LEJEUNE, P.; MICHEZ, A. & A. FAYOLLE. 2020. "How can remote sensing help monitor tropical moist forest degradation?—a systematic review". *Remote Sensing*, 12(7): 1.087.
- ECHEVERRÍA-PUERTAS, J.; ECHEVERRÍA, M.; CARGUA, F. & T. TOULKERIDIS. 2023. "Spatial dynamics of the shore coverage within the zone of influence of the Chambo river, Central Ecuador". *Land*, 12(1): 180.

- FERRAZ, A.; SAATCHI, S.; MALLET, C.; MEYER, V. 2016. "Lidar detection of individual tree size in tropical forests". *Remote Sensing of Environment*. 183: 318-333. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.05.028>.
- GANZ, S.; ADLER, P. & G. KÄNDLER. 2020. "Forest cover mapping based on a combination of aerial images and Sentinel-2 satellite data compared to National Forest Inventory data". *Forests*, 11(12): 1.322.
- GAO, Y.; SKUTSCH, M.; PANEQUE-GÁLVEZ, J. & A. GHILARDI. 2020. "Remote sensing of forest degradation: a review". *Environmental Research Letters*, 15(10): 103001.
- GARCÍA-COX, W.; LÓPEZ-TOBAR, R.; HERRERA-FEIJOO, R. J.; TAPIA, A.; HEREDIA-R, M.; TOULKERIDIS, T. & B. TORRES. 2023. "Floristic Composition, Structure, and Aboveground Biomass of the Moraceae Family in an Evergreen Andean Amazon Forest, Ecuador". *Forests*, 14(7):1.406.
- GENELETTI, D. & I. VAN DUREN. 2008. "Protected area zoning for conservation and use: A combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation". *Landscape and urban planning*, 85(2): 97-110.
- GONZALES, A. 2018. *Análisis multitemporal de la deforestación y perdida de cobertura boscosa en la provincia de Manu. Lima, Perú*. Universidad Nacional Federico Villarreal. Tesis de Ingeniero Geógrafo.
- GUASCAL, E.; ROJAS, S.; KIRBY, E.; TOULKERIDIS, T.; FUERTES, W. & M. HEREDIA. 2020. Application of remote sensing techniques in the estimation of forest biomass of a recreation area by UAV and RADAR images in Ecuador. In: *2020 Seventh International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)* (pp. 183-190). IEEE.
- HALPERN, B. S. 2003. "The impact of marine reserves: do reserves work and does reserve size matter?". *Ecological applications*, 13(sp1):117-137.
- HANSEN, A. J. & DEFRIES, R. 2007. "Ecological mechanisms linking protected areas to surrounding lands". *Ecological applications*, 17(4): 974-988.
- HEMATI, M.; HASANLOU, M.; MAHDIANPARI, M. & F. MOHAMMADIMANESH. 2021. "A systematic review of landsat data for change detection applications: 50 years of monitoring the earth". *Remote sensing*, 13(15): 2.869.
- HEREDIA-R, M.; TORRES, B.; CABRERA-TORRES, F.; VASCO, E.; DÍAZ-AMBRONA, C. G. & T. TOULKERIDIS. 2022. Free Data Processing Applied to Detect Changes in Land Use Coverage at Biodiversity Hotspots of the Amazon. In *Doctoral Symposium on Information and Communication Technologies-DSICT* (pp. 104-115). Cham: Springer International Publishing.
- HERRERA-FEIJOO, R. J.; TORRES, B.; LÓPEZ-TOBAR, R.; TIPÁN-TORRES, C.; TOULKERIDIS, T.; HEREDIA-R, M. & R. G. MATEO. 2023. "Modelling climatically suitable areas for Mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and their shifts across Neotropics: The role of Protected Areas". *Forests*, 14(2): 385.

- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIAP) 2019. *Evaluación de Impacto Ambiental de la Deforestación en la Región Andina Ecuatoriana*. Quito, Ecuador.
- JADÁN, O.; DONOSO, D. A.; CEDILLO, H.; BERMÚDEZ, F. & O. CABRERA. 2021. "Floristic groups, and changes in diversity and structure of trees, in tropical montane forests in the Southern Andes of Ecuador". *Diversity*, 13(9)- 400.
- JAILLARD, E.; HÉRAIL, G.; MONFRET, T.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; BABY, P.; LAVENU, A.; & D. CAMPOS. 2000. "Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and northern Chile". In: U. G. CORDANI; E. J. MILANI; A. THOMAZ FILHO AND D. A. CAMPOS (Eds.), *Tectonic evolution of South America*, pp. 481-559. Rio de Janeiro, Brazil..
- KLEEMANN, J.; ZAMORA, C.; VILLACIS-CHILUISA, A. B.; CUENCA, P.; KOO, H.; NOH, J. K.; & M. THIEL. 2022a. "Deforestation in continental Ecuador with a focus on protected areas". *Land*, 11(2): 268.
- KLEEMANN, J.; KOO, H.; HENSEN, I.; MENDIETA-LEIVA, G.; KAHNT, B.; KURZE, C.; & C. FÜRST. 2022b. "Priorities of action and research for the protection of biodiversity and ecosystem services in continental Ecuador". *Biological Conservation*, 265: 109404.
- LILLESAND, T.; KIEFER, R. & J. CHIPMAN. 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons. London, United Kingdom.
- LOCKE, H. & P. DEARDEN. 2005. "Rethinking protected area categories and the new paradigm". *Environmental conservation*, 32(1): 1-10.
- LÓPEZ, S.; LÓPEZ-SANDOVAL, M. F.; GERIQUE, A. & J. SALAZAR. 2020. "Landscape change in Southern Ecuador: An indicator-based and multi-temporal evaluation of land use and land cover in a mixed-use protected area". *Ecological Indicators*, 115: 106357.
- LOZANO, P.; CABRERA, O.; PEYRE, G.; CLEEF, A. & T. TOULKERIDIS. 2020. "Plant diversity and composition changes along an altitudinal gradient in the isolated volcano Sumaco in the ecuadorian amazon". *Diversity*, 12(6): 229.
- MAE 2020. *Informe de Monitoreo de Bosques y Cambio de Uso del Suelo en el Ecuador Continental 2000-2018*. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Quito, Ecuador.
- MAS, J. F.; PUIG, H.; PALACIO, J. L. & A. SOSA-LÓPEZ. 2004. "Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks". *Environmental Modelling & Software*, 19(5): 461-471.
- MASSONNE, H. J. & T. TOULKERIDIS. 2012. "Widespread relics of high-pressure metamorphism confirm major terrane accretion in Ecuador: a new example from the Northern Andes". *International Geology Review*, 54(1): 67-80.
- MENDOZA, M. & ROMÁN. 2021. *Análisis multitemporal de la deforestación en la reserva ecológica Mache-Chandul*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

- MO, L.; ZOHNER, C. M.; REICH, P. B.; LIANG, J.; DE MIGUEL, S.; NABUURS, G. J.; & E. ORTIZ-MALAVASI. 2023. "Integrated global assessment of the natural forest carbon potential". *Nature*, 624(7990): 92-101.
- MOSQUERA LOPEZ, D.; CUEVA JIMENEZ, Z.; CHALCO BARAHONA, I.; MORENO IZQUIERDO, J.; SUANGO, V.; GARCÍA-VILLACRES, A. & T. TOULKERIDIS. 2021. Geo-technologies applied to the spatial analysis of territorial inequalities-Case study of Latacunga, Central Ecuador. XV *Multidisciplinary International Congress on Science and Technology* (pp. 199-213). Cham: Springer International Publishing.
- MUÑOZ, J.; CABRERA, B. & T. TOULKERIDIS. 2023. "Analysis of land use change using remote sensing and GIS techniques in the Cazaderos forest, Loja province, Southern Ecuador". *Revista Geográfica De Chile Terra Australis*, 59. Available in: <https://doi.org/10.23854/07199562.2023592.munoz>.
- NEGRU, C.; GAIBOR, I. D.; HĂLĂLIȘAN, A. F. & B. POPA. 2020. "Management effectiveness assessment for Ecuador's National Parks". *Diversity*, 12(12): 487.
- PERES, C. A. & J. W. TERBORGH. 1995. "Amazonian nature reserves: an analysis of the defensibility status of existing conservation units and design criteria for the future". *Conservation biology*, 9(1): 34-46.
- PITMAN, N. C.; MOGOLLÓN, H.; DÁVILA, N.; RÍOS, M.; GARCÍA-VILLACORTA, R.; GUEVARA, J.; & E. VALDERRAMA. 2008. "Tree community change across 700 km of lowland Amazonian forest from the Andean foothills to Brazil". *Biotropica*, 40(5): 525-535.
- REIERSEN, G.; DAO, D.; LÜTJENS, B.; KLEMMER, K.; AMARA, K.; STEINEGGER, A.; & ZHU, X. 2022. Refores Tree: A dataset for estimating tropical forest carbon stock with deep learning and aerial imagery. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 36(11): 12.119-12.125).
- SANDWITH, T.; SHINE, C.; HAMILTON, L. & D. SHEPPARD. 2001. "Protected areas for peace and co-operation". *Best practice protected area guidelines series*, (7).
- SANTAMARIA, S.; QUIDELLEUR, X.; HIDALGO, S.; SAMANIEGO, P.; LE PENNEC, J. L.; LIORZOU, C.; & P. ESPÍN. 2022. "Geochronological evolution of the potentially active Iliniza Volcano (Ecuador) based on new K-Ar ages". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 424: 107489.
- SHAFER, C. L. 1999. "National park and reserve planning to protect biological diversity: some basic elements". *Landscape and Urban Planning*, 44(2-3): 123-153.
- SHAFIQUE, A.; CAO, G.; KHAN, Z.; ASAD, M. & M. ASLAM. 2022. "Deep learning-based change detection in remote sensing images: A review". *Remote Sensing*, 14(4): 871.
- SILLO, A.; TOULKERIDIS, T.; ROMO, D. & N. ZABALA. 2010. "En el corazón de los Ilinizas – Plantas medicinales: usadas en la UNOCANC y sus poderes curativos". CGVG-USFQ, Editorial of the USFQ, Quito, Ecuador.

- SIMELANE, S. P.; HANSEN, C. & C. MUNGHEMEZULU. 2021. "The use of remote sensing and GIS for land use and land cover mapping in Eswatini: a review". *South African Journal of Geomatics*, 10(2): 181-206.
- SUN, T.; CHENG, W.; ABDELKAREEM, M. & N. AL-ARIFI. 2022. "Mapping prospective areas of water resources and monitoring land use/land cover changes in an arid region using remote sensing and GIS techniques. *Water*, 14(15): 2435.
- TALLIS, H. & S. POLASKY. 2009. "Mapping and valuing ecosystem services as an approach for conservation and natural-resource management". *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1.162(1): 265-283.
- TOULKERIDIS, T. & I. ZACH. 2017. "Wind directions of volcanic ash-charged clouds in Ecuador—implications for the public and flight safety". *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2): 242-256.
- TOULKERIDIS, T.; ECHEGARAY-AVEIGA, R. C. & K. P. MARTÍNEZ-MALDONADO. 2021. "Shock metamorphism in volcanic rock due to the impact of the Miguir-Cajas meteorite in 1995 and its importance for Ecuador". *Geo Journal of Tourism and Geosites*, 35(2): 315-321.
- TOULKERIDIS, T.; TAMAYO, E.; SIMÓN-BAILE, D.; MERIZALDE-MORA, M. J.; REYES-YUNGA, D. F.; VIERA-TORRES, M. & M. HEREDIA. 2020. "Climate Change according to Ecuadorian academics—Perceptions versus facts". *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 31(1): 21-46.
- TURNER, W.; SPECTOR, S.; GARDINER, N.; FLADELAND, M.; STERLING, E. & M. STEININGER. 2003. "Free and open access to Landsat imagery". *Remote Sensing of Environment*, 82(2/3): 267-273. Available in: <http://dx.doi.org/10.1126/science.320.5879.1011a>.
- VALDEZ, D. D.; ENRÍQUEZ, W. O. J.; NAVARRO, T. G. & T. TOULKERIDIS. 2024. "Ecotourism carrying capacity of the Cotopaxi National Park, Central Ecuador". *Revista Geográfica Venezolana*, 65(1): 100-121.
- VILAR, C. C.; MAGRIS, R. A.; LOYOLA, R. & J. C. JOYEUX. 2020. "Strengthening the synergies among global biodiversity targets to reconcile conservation and socio-economic demands". *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 30(3): 497-513.
- WHIG, P.; BHATIA, A. B.; NADIKATU, R. R.; ALKALI, Y. & P. SHARMA. 2024. "GIS and Remote Sensing Application for Vegetation Mapping". In: *Geo-Environmental Hazards using AI-enabled Geospatial Techniques and Earth Observation Systems*, pp. 17-39. Cham: Springer Nature Switzerland.
- YASIR, M.; HUI, S.; BINGHU, H. & S. U. RAHMAN. 2020. "Coastline extraction and land use change analysis using remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) technology—A review of the literature". *Reviews on Environmental Health*, 35(4): 453-460.

ZHANG, J.; YIN, N.; WANG, S.; YU, J.; ZHAO, W. & B. FU. 2020. "A multiple importance–satisfaction analysis framework for the sustainable management of protected areas: Integrating ecosystem services and basic needs". *Ecosystem Services*, 46: 101219.

ZHU, Z.; QIU, S. & S. YE. 2022. "Remote sensing of land change: A multifaceted perspective". *Remote Sensing of Environment*, 282: 113266.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Quevedo, Ecuador; agosto, 2024

Metodología para la detección de plásticos a través de sensores remotos, Bocas de Ceniza

Barranquilla, Colombia

Metodologia para a detecção de plásticos por sensoriamento remoto,
Bocas de Ceniza, Barranquilla, Colombia

Methodology for the detection of plastics by remote sensing,
Bocas de Ceniza, Barranquilla, Colombia

Diego Arcesio Rodríguez Martínez¹ y Sergio Andrés Laiton²

¹ Ministerio del Transporte, Unidad de Planeación de Infraestructura de Transporte
Bogotá, D.C.

² Alcaldía de Bogotá, Director de Cartografía, Secretaría Distrital de Planeación
Bogotá, Colombia

diegoarodriguezma@gmail.com; ingcatastralsergiolaiton@gmail.com

Rodríguez: <https://orcid.org/0009-0005-5996-0000>

Laiton: <https://orcid.org/0009-0009-5501-8447>

Resumen

El espacio geográfico no es ajeno a las acciones de la sociedad que, en parte, se presentan por la producción de material sintético como el plástico y su disposición que, arrastrados por las corrientes de agua, llegan a zonas costeras evidenciando su huella ecológica. El interés del presente artículo es mostrar la aplicación de sensores remotos, de manera exploratoria, buscando identificar material antropogénico flotante, su huella o rastros espectrales. Para ello, se aplicaron modelos matemáticos de clasificación supervisada y no supervisada integrando librerías espectrales y de reconocimiento de patrones, para obtener un modelo predictivo y de índices, evaluando imágenes satelitales con resolución pancromática de 10 m en la desembocadura de río Magdalena, denominada 'Bocas de Ceniza', en la ciudad de Barranquilla, Colombia.

Se aporta al conocimiento a partir del errado manejo de los residuos antropogénicos, que afectan diversos ecosistemas marinos y a los seres humanos.

PALABRAS CLAVE: plástico; sensores remotos, imágenes de satélite; material antropogénico.

Resumo

O espaço geográfico não está alheio às ações da sociedade que, em parte, são apresentadas pela produção de material sintético como o plástico e seu descarte, que, arrastado pelas correntes de água, chega às áreas costeiras evidenciando sua pegada ecológica.

O interesse deste artigo é mostrar a aplicação do sensoriamento remoto de forma exploratória para identificar material antropogênico flutuante, sua pegada ou traços espectrais. Para isso, foram aplicados modelos matemáticos de classificação supervisionada e não supervisionada, integrando bibliotecas espectrais e reconhecimento de padrões, para obter um modelo preditivo e índices, avaliando imagens de satélite com resolução pancromática de 10 m na foz do rio Magdalena, denominada "Bocas de Ceniza", na cidade de Barranquilla, Colômbia.

Contribui para o conhecimento sobre a gestão errônea de resíduos antropogênicos, que afeta vários ecossistemas marinhos e seres humanos.

PALAVRAS-CHAVE: plástico; sensoriamento remoto; imagens de satélite; material antropogênico.

Abstract

The geographic space is no stranger to the actions of society that, in part, are presented by the production of synthetic material such as plastic and its disposal, which, dragged by water currents, reach coastal areas evidence of its ecological footprint.

The interest of this article is to show the application of remote sensing to identify in an exploratory way floating anthropogenic material, its footprint or spectral traces. For this purpose, mathematical models of supervised and unsupervised classification were applied, integrating spectral and pattern recognition libraries, to obtain a predictive and index model, evaluating satellite images with panchromatic resolution of 10 m at the mouth of the Magdalena River, called "Bocas de Ceniza", in the city of Barranquilla - Colombia.

It contributes to knowledge on the erroneous management of anthropogenic waste, which affects diverse marine ecosystems and human beings.

KEYWORDS: plastic; remote sensing, satellite imagery; anthropogenic material.

1. Introducción

Las acciones de la sociedad desarrolladas en el espacio geográfico han dado como resultado alteraciones irreversibles en ecosistemas terrestres y marinos y la reducción o transformación de recursos naturales que compiten con las nuevas realidades de ocupación y densificación poblacional. De ello, se desprenden actividades asociadas a procesos industriales para satisfacer la demanda de necesidades de la población.

Evidencia de ello es el aumento significativo del consumo de productos procesados que requieren de empaque a través de materiales resistentes a las condiciones atmosféricas como el vidrio y, en especial, el plástico derivado del petróleo, lo que contribuye con la contaminación mundial, el cambio climático y la reducción de recursos naturales. En muchos territorios, la gestión de residuos como el plástico o la falta de infraestructuras de reciclaje, mano de obra cualificada y otros factores relacionados, e incluso disposición ilegal de estos y la evasión de los responsables de su eliminación implicando problemas de disposición de residuos desde la fuente, es decir desde el manejo y disposición doméstica, es reflejo de lo que sucede por ejemplo en Nigeria (Dumbili y Henderson, 2020).

No ajeno a la preocupación y aplicando herramientas tecnológicas, se han venido explorando y aplicando modelos y algoritmos matemáticos que permitan tomar decisiones, cobrando relevancia algunas técnicas como la teledetección que permite extraer información a través de sensores remotos. Así, se define como *"una forma de medición y observación a distancia que se realiza mediante objetos que permiten el escaneo o grabación a tiempo real"* (Chamorro, 2022: 1), para evidenciar cambios y proponer acciones preventivas.

El presente artículo es una síntesis de la metodología aplicada en el proyecto de investigación titulado 'Detección de plástico con procesamiento de imágenes empleando la banda del infrarrojo cercano, en la zona marítima de Bocas de Ceniza en Barranquilla Colombia', presentado en el programa de Maestría en

Energía y Sostenibilidad," de la Pontificia Universidad Javeriana.

Para este desafío, se parte de las dificultades que surgen en el monitoreo de contaminantes antropogénicos sobre los ecosistemas y la poca información para su teledetección y, de manera exploratoria, usar índices espectrales para la detección de plásticos suspendidos en la hidrósfera, en especial en la placa oceánica, a través de imágenes de satélite basados en su reflectancia espectral, que, combinando técnicas de aprendizaje de lenguaje de máquina o sistematización para la identificación de patrones, permiten clasificar los objetos y la detección de cambios en los cuerpos de agua para reconocer contaminantes antropogénicos.

El uso masivo del plástico y su mal manejo de procesos de reciclaje en las zonas urbanas, terminan suspendidos en los sistemas hídricos continentales que escurren y terminan en los océanos, no ajeno en Colombia, en la cuenca del río Magdalena, que recorre de sur a norte al país desembocando en el sector de Bocas de Ceniza de la ciudad de Barranquilla.

En este contexto, el objetivo se centró en desarrollar y evaluar un sistema de detección de macro plásticos y basura flotante en la zona de estudio, haciendo uso del procesamiento de imágenes satelitales en la banda del infrarrojo cercano y de onda corta, lo que exigió recopilar información secundaria de imágenes multiespectrales de la zona de estudio.

Finalmente, se implementaron procesos de inteligencia computacional mediante dos métodos para estimar la contaminación por plásticos en la zona de Bocas de Ceniza, complementado con la aplicación de métricas del error medio cuadrático, como contribución al desarrollo de herramientas efectivas que aporten en el monitoreo y prevención de la contaminación plástica y antropogénica en los ecosistemas marinos.

2. ¿Cómo se hizo?

El desarrollo de la metodología para la detección de plásticos mediante el procesamiento de

imágenes necesitó establecer el área de estudio que, por efectos del mal manejo del plástico, evidencia registro del mismo en los cuerpos de agua en especial en ecosistemas marinos, para dar lugar al levantamiento de información secundaria de sensores remotos que, combinando la aplicación de los modelos matemáticos matriciales, permiten la detección de contaminación plástica y antropogénica.

2.1. Definición del área de estudio

Se dice que la ciudad de Barranquilla, por su localización geográfica, cuenta con dos océanos. ¿Dos océanos?: Si. Por su ubicación geográfica estratégica es la ciudad costera más grande e importante de Colombia y la cuarta del país. Es puerto marítimo en el mar Caribe y también es puerto fluvial, en el sector denominado Bocas de Ceniza donde desemboca el río Magdalena, que por su recorrido es la arteria fluvial más

importante del país desde el Nudo de los Pastos o llamada Estrella Fluvial hasta su desembocadura.

Este sistema fluvial es vital para la pesca, la agricultura, la ganadería y actividades económicas adicionales; pero el manejo deficiente de los desechos, propio de las grandes ciudades andinas entre ellas Bogotá, Medellín y Cali, afectan ecosistemas frágiles que incluso por gravedad llegan hasta el mar Caribe.

Así, Bocas de Ceniza (FIGURA 1) fue escogida para la aplicación metodológica, porque no solo en la desembocadura del río Magdalena se evidencia la mancha de sedimentos que llegan al mar Caribe, sino también el material particulado orgánico e inorgánico afectando ecosistemas marinos, además de su importancia histórica para transporte de mercancías y pasajeros, y por la navegabilidad en algunos de sus tramos (Márquez, 2016).

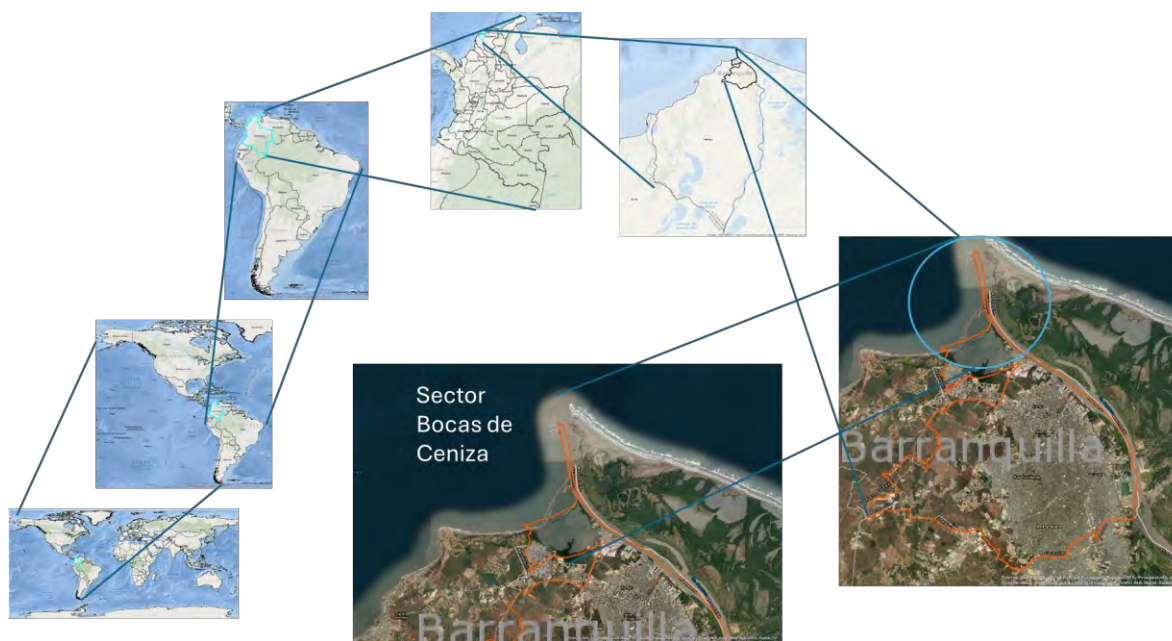


FIGURA 1. Localización del área de estudio. Fuente: elaboración propia

2.2. Materiales y métodos aplicados

La investigación abre paso no solo a la discusión respecto al manejo de los residuos desde las grandes aglomeraciones urbanas, sino al resultado de ello en la contaminación de

ecosistemas fluviales y marinos porque las dinámicas del sistema hídrico conllevan a que los residuos de plástico se muevan y, *“por las corrientes oceánicas, los vientos y la mezcla*

vertical, las pequeñas piezas de plástico se unen a otras para formar grandes áreas de plástico.” (Copérnico servicio marino. s. f.), que, dependiendo de la escala y resolución de análisis, se podrían identificar, general o detalladamente, a partir de modelos matemáticos, como el plástico particular, en ocasiones no visible, pero que denotan efectos negativos en la flora y en la fauna.

Para lograr el objetivo, se llevaron a cabo procesos de análisis de imágenes de satélite en

especial del sensor Sentinel-2, manteniendo la misma periodicidad, denotando la presencia de contaminantes antropogénicos mediante la aplicación de técnicas y el uso de software *QGIS* con diversos complementos, específicamente *Dzetsaka* para clasificación supervisada, y los métodos SVM (Máquina de Vectores de Soporte), *K-Nearest Neighbors* (vecino más cercano) y *Random Forest* (predictores de valores de elementos). En la TABLA 1 se listan las imágenes procesadas en la zona de estudio.

TABLA 1. Ubicación de los sitios de análisis con archivos Sentinel-2. Fuente: elaboración propia

Sitio de pruebas	Sentinel-2 L2A	Sentinel-2 L2B
Bocas de Cenizas (11° 08' 34.1" N-74° 51' 21.6" E)	S2A 20190616T153621 T18PWT	S2B 20190522T153629 T18PWT
Visegrad Dam (43° 45' 5.62" N 19° 17' 15.6" E)	S2A 20210302T09303 T34TCP	
Solo River Mouth (6° 50' 57.89" S 112° 34' 33.44" E)	S2A 20210227T023641 T49MFN	
Almeria Greenhouses (36° 43' 6.72" N 2° 45' 12.82" W)	S2A 20210505T105031 T30SWF	

Para el procesado del Nivel 2A al Nivel 2B, se utilizaron imágenes y para los archivos Sentinel-2A y 2B se tomaron imágenes de satélite del año 2019, ajustando la corrección atmosférica y corrección de los modelos de entrenamiento para Sentinel-2B.

Se aplicó el uso del complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) de *QGIS* (o clasificación semiautomática), que ofrece herramientas avanzadas para el procesamiento de imágenes. Se optó por el método de clasificación *Random Forest*, porque ha demostrado proporcionar los mejores resultados. La FIGURA 2 muestra el esquema de la clasificación supervisada y no supervisada y la exploración complementaria semiautomática.

Finalmente, se empleó la herramienta *Google Earth Engine* (GEE) para construir un flujo de análisis multitemporal y clasificación no

supervisada para detectar anomalías y se construyeron y analizaron índices espectrales combinados para identificar indicios de contaminación plástica y, su validación, implementar diferentes métodos para identificar áreas con probable contaminación por plásticos y otros residuos antropogénicos permitiendo precisar las zonas afectadas, y se combinaron técnicas de teledetección y análisis geoespacial avanzado para examinar la variabilidad temporal y espacial de los contaminantes, incluyendo el uso de algoritmos de lenguaje de máquina y la integración de datos multiespectrales para mejorar la precisión de la clasificación, permitiendo mapear las áreas afectadas y obtener información sobre las posibles fuentes de contaminación y su dinámica de dispersión en el tiempo.

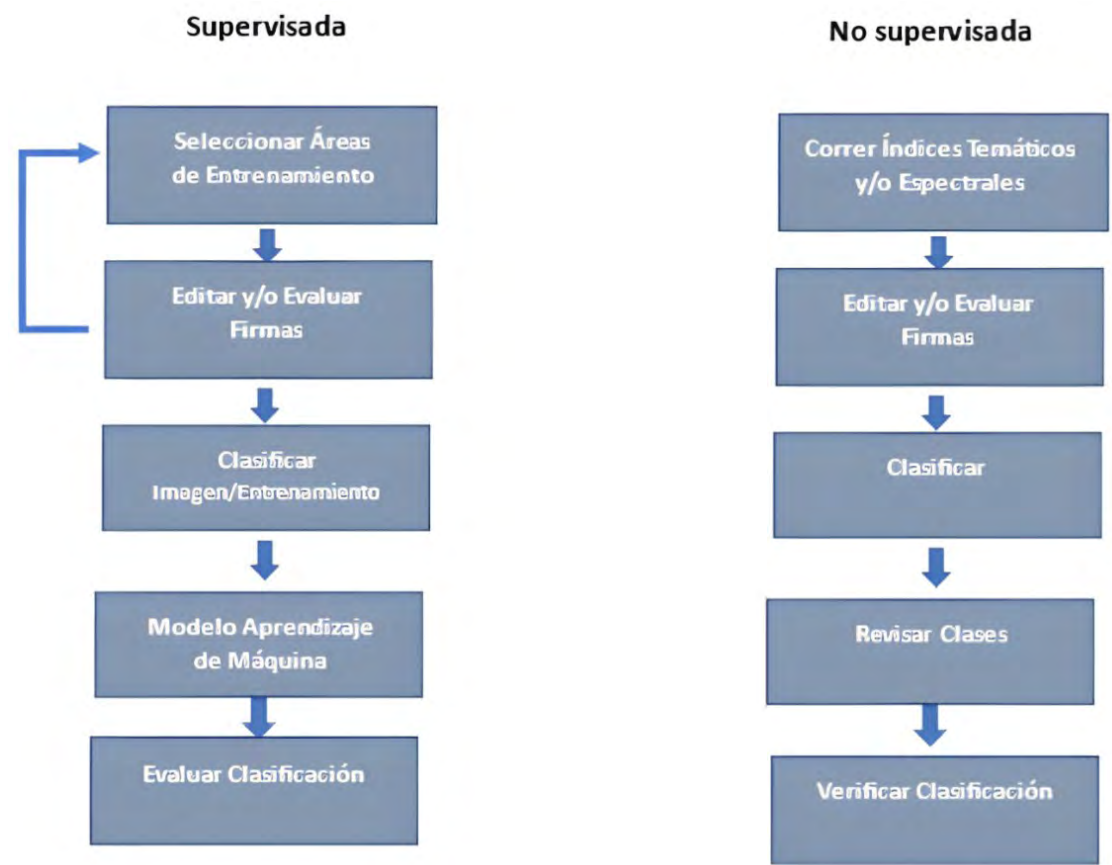


FIGURA 2. Modelos de Clasificación. Fuente: elaboración propia

3. Procesamiento y resultados

El viernes 31 de mayo de 2019, se formó una isla de basura de aproximadamente 18 kilómetros de diámetro cerca de las playas de Puerto Colombia, en las cercanías de Bocas de Ceniza, en el Atlántico colombiano (De las Salas, 2019). Al parecer, la contaminación se origina en el interior del país y es arrastrada a través del río Magdalena, catalogado en el puesto 15 de los ríos más contaminados del mundo, con gran cantidad de desechos de aproximadamente 16.700 toneladas de residuos contaminantes, incluyendo plásticos, hacia el mar (Lebreton *et al.*, 2017). Para el procesamiento digital de imágenes se realizó:

3.1 Detección de islas flotantes de residuos contaminantes (isla basura)

A partir de los datos de la plataforma *Copernicus HUB* y *GEE*, se desarrolló una visualización que permitió integrar la información de mayo de 2019 a mayo del 2021 para los modelos de entrenamiento en *QGIS* y, de julio del 2020 a agosto del 2021, para *GEE*. Se identificó la presencia de contaminantes antropogénicos en constante alteración del ecosistema, para determinar el comportamiento y movimientos de las islas de basura.

En la FIGURA 3 se expone el paso a paso para el análisis de la información y la aplicación de la clasificación no supervisada y en la FIGURA 4, el paso a paso para el análisis de la información con aprendizaje de máquina de una primera aproximación mediante la clasificación supervisada.

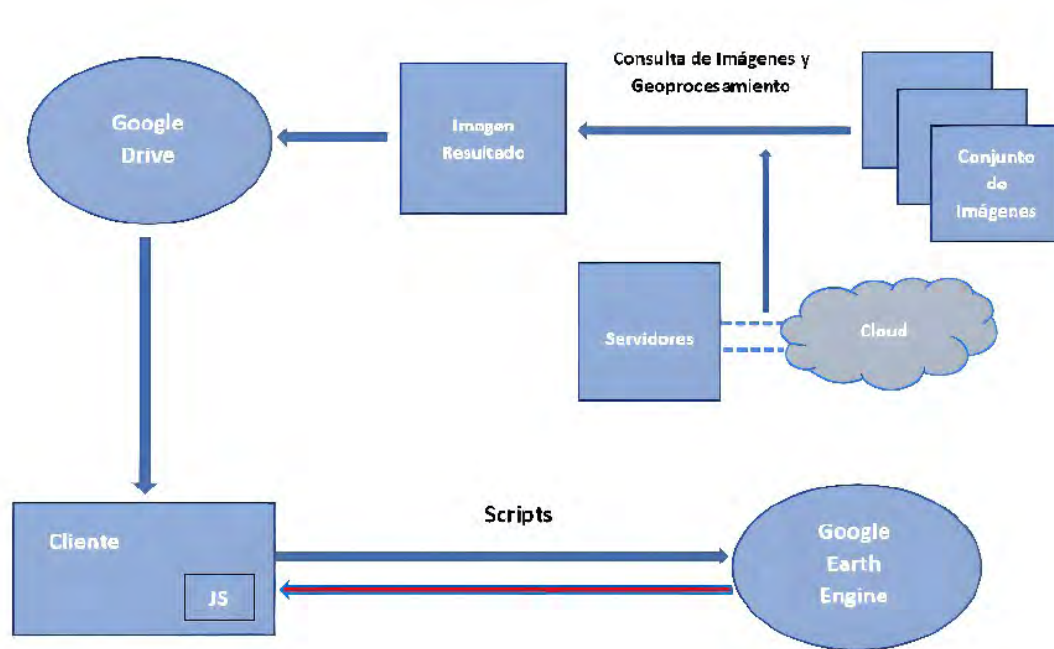


FIGURA 3. Modelo de clasificación no supervisada tomando como base. Fuente: elaboración propia

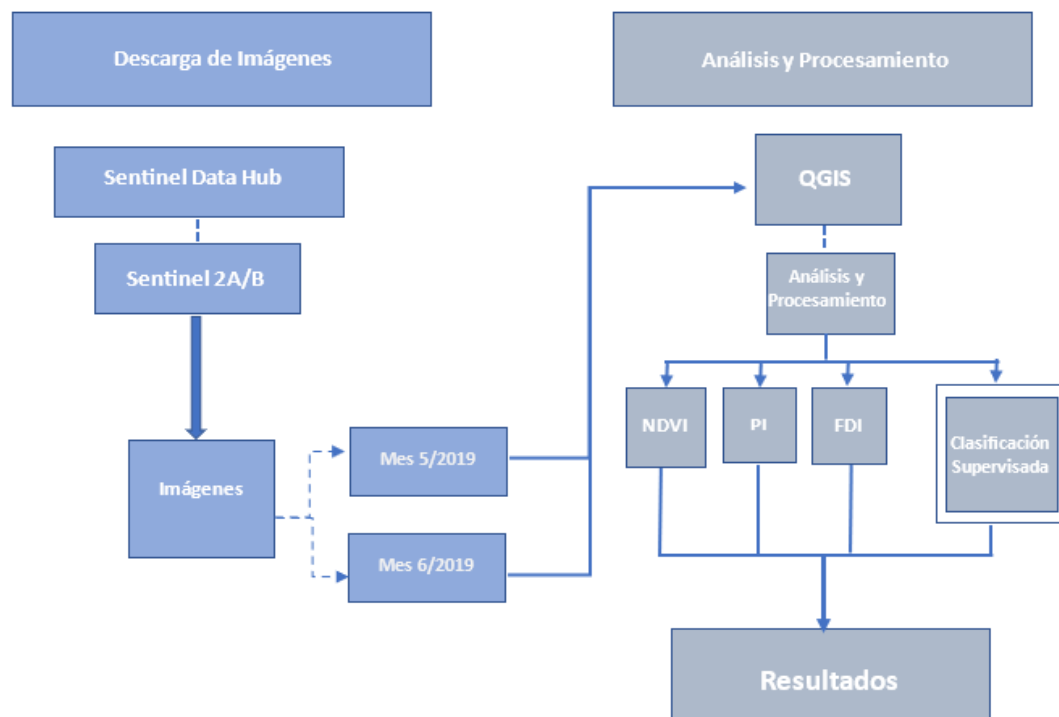


FIGURA 4. Modelo de clasificación supervisada, como lenguaje de máquina. Fuente: elaboración propia

Con la validación y geoposicionamiento de la proyección cartográfica y sistema de coordenadas, se realiza la corrección atmosférica

y la aplicación de la clasificación supervisada, identificando unos puntos de muestra para entrenar el algoritmo de clasificación (plástico,

agua, tierra y otros) de la imagen satelital, y seguido, la clasificación no supervisada, como parte de la aplicación del algoritmo de agrupación que identifica las celdas o píxel en clases o grupos, identificando patrones sin necesidad de muestras etiquetadas.

Por último, se genera el post procesamiento mejorando la calidad y precisión de la clasificación, incluso eliminando ruido (elementos o anomalías) y la fusión de algunas clasificaciones. Las clases de plásticos y

contaminantes oceánicos se determinan durante el proceso de clasificación creando firmas espectrales por clase, que difieren si es al agua o la tierra y siendo polietileno, polipropileno, policarbonato, PVC y PET, entre otros.

La FIGURA 5, del sensor Sentinel-2 de junio 2019, evidencia la gran cantidad de sedimentos, mancha que se extiende algunas millas náuticas del mar Caribe, por la desembocadura del río Magdalena.



FIGURA 5. Imagen Sentinel-2, junio 2019. Inclusión propia de la toponimia

3.2 Determinación y aplicación en la zona de interés

Para la identificación y aplicación del geoprocesamiento, se tienen en cuenta los satélites que, a través de la teledetección, capturan las bandas necesarias en escala de grises o monocromática con rango entre 0 y 256, para generar composiciones de color alternando las bandas de los canales RGB (Red, Green y Blue). Así, permite la generación de combinaciones de bandas para identificar la cobertura vegetal, zonas duras, zonas blandas y zonas con potencial hídrico, e incluso, identificar acciones negativas

de alto impacto, como la deforestación, incendios y problemáticas de contaminación del agua.

El satélite Sentinel-2 cuenta con un instrumento óptico multiespectral compuesto por trece bandas espectrales: cuatro bandas con una resolución espectral de 10 m, seis bandas con una resolución de 20 m y tres bandas con una resolución de 60 m, permitiendo identificar información en diferentes escenarios de precisión. Lo anterior se muestra en la TABLA 2.

De los productos del satélite Sentinel-2 se emplean 5 de estas combinaciones, incluyendo el color natural, falso color, infrarrojo y análisis de vegetación. Algunas de estas combinaciones se evidencian en la FIGURA 6, resaltando que cada

combinación e índice tiene sus limitaciones, pero utilizando varios tipos de combinaciones se puede detectar plásticos y contaminantes oceánicos con mayor precisión.

TABLA 2. Combinación de Bandas – Satélite Sentinel 2. Fuente: elaboración propia

Banda Sentinel-2	Long. de onda central (um)	Res. Espacial (m)
Banda 1 - Aerosol	0,43-0,45	60
Banda 2 - Blue	0,45-0,53	10
Banda 3 - Green	0,54-0,57	10
Banda 4 - Red	0,65-0,68	10
Banda 5 - Red edge 1	0,69-0,71	20
Banda 6 - Red edge 2	0,73-0,74	20
Banda 7 - Red edge 3	0,77-0,79	20
Banda 8 - Near Infrared (NIR) 1	0,78-0,90	10
Banda 8A - Near Infrared (NIR) 2	0,85-0,87	20
Banda 9 - Water vapour	0,93-0,95	60
Banda 10 - Cirrus	1,36-1,39	60
Banda 11 – SWIR 1	1,56-1,65	20
Banda 12 – SWIR 2	2,10-2,28	20



Figura 6. Falso Color bandas (8,11,2) detección de estados de la vegetación, zonas urbanas y resaltar características en el agua. Fuente: Sensor Sentinel 2, e inclusión propia de la combinación y la toponimia

3.3 Construcción de índices temáticos

Se procede a analizar varios índices temáticos dependiendo del enfoque de aplicación. Si es

para vegetación se puede aplicar el Índice Normalizado para Clasificación de Vegetación

(NDVI); o para contaminación plástica aplicar el Índice de Plástico (PI); o, finalmente el Índice de Desechos Flotantes (FDI), permitiendo detectar y evaluar la contaminación marina y fluvial de desechos flotantes, identificar áreas críticas y estudiar patrones de su dispersión.

Basando el proceso realizado por (Enfrin *et al.*, 2019), se tomaron las ecuaciones que definen estos índices aplicando el Índice de Desechos Flotantes (FDI) que utiliza los espectros del infrarrojo cercano (NIR), del borde rojo (RED

EDGE2) y del infrarrojo de onda corta (SWIR1), correspondientes a las bandas con coeficientes de longitud de onda (en nm) de 665, 833 y 1610, respectivamente (Sannigrahi *et al.*, 2022). Este índice se basa en la combinación de estas bandas espectrales para identificar y caracterizar los desechos flotantes en cuerpos de agua. Además, se ha mostrado eficaz para la detección y seguimiento de desechos plásticos y otros materiales flotantes en entornos acuáticos:

$$FDI = RED - REDEDE2 + (SWIR1 - REDEDE2) \frac{(833 - 665)}{(1610 - 665)} * 10$$

$$FDI = RED - REDEDE2 + (SWIR1 - REDEDE2) \frac{(833 - 665)}{(1610 - 665)} * 10$$

A continuación, se combinaron los 3 índices calculados así:

$$IF = (PI) + (NDVI) + (FDI)$$

$$IF = (PI) + (NDVI) + (FDI)$$

Donde (IF) equivale a la imagen final resultado de los tres índices espectrales

Utilizando estos índices, se desarrollaron modelos no supervisados con los parámetros mencionados para la detección de plásticos e islas de basura marina flotante en Bocas de Ceniza (Colombia). Con la herramienta GEE y las imágenes del satélite Sentinel-2A se realizaron pruebas de estos índices para generar clasificaciones supervisadas. Cabe destacar que estos índices estandarizados forman parte de los

estándares generados por expertos en el área (TABLA 3).

La construcción de índices temáticos o espectrales en Sentinel-2 para detectar contaminación ofrece diversas ventajas y aplicaciones, permitiendo resaltar características específicas y facilitando la detección y monitoreo de la contaminación y realizar un seguimiento espaciotemporal de manera efectiva.

Para clasificar los índices espectrales NDVI, FDI y PI con QGIS y GEE, se extrajeron los píxeles a cada uno de los polígonos, generando una base de datos con la nube de puntos y sus valores para cada banda. Este proceso se repite iterativamente para cada una de las clases en las fechas seleccionadas y unir así los conjuntos de datos clasificados. En la FIGURA 7 se muestra la respuesta PI o el índice de Plástico de acuerdo a la respuesta espectral.

TABLA 3. Ecuaciones para crear índices ND-VI, PI y FDI. Fuente: basado en la investigación ... e inclusión propia de la descripción

Construcción de Índices			
Nombre	Índices	Descripción	Imagen
Normalized Difference Vegetation Index (ND-VI) Ec. (3-1)	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Se fundamenta en la detección de cambios en el uso del suelo, la evaluación de la salud de la vegetación y la identificación de áreas afectadas por sequías o enfermedades vegetales. Proporciona información importante sobre la actividad fotosintética y el vigor de la vegetación en las áreas del suelo	Figura 5-7
Plastic Index (PI) Ec. (3-2)	$PI = \frac{NIR}{NIR + RED}$	Se basa en su capacidad para proporcionar información cuantitativa y espacialmente explícita sobre la presencia de contaminación plástica en las áreas determinadas	Figura 5-8
Floating Debris Index (FDI) Ec. (3-3)	$FDI = RNIR - R'NIR$ $R'NIR = REDGE2 + (SWIR1-REDGE2) * \frac{833 - 655}{1610 - 665} * 10$	Esta combinación permite detectar y evaluar la contaminación marina y fluvial causada por los desechos flotantes. Permite identificar áreas críticas, estudiar patrones de dispersión y evaluar el impacto de los desechos de los ecosistemas acuáticos y la vida marina	Figura 5-9

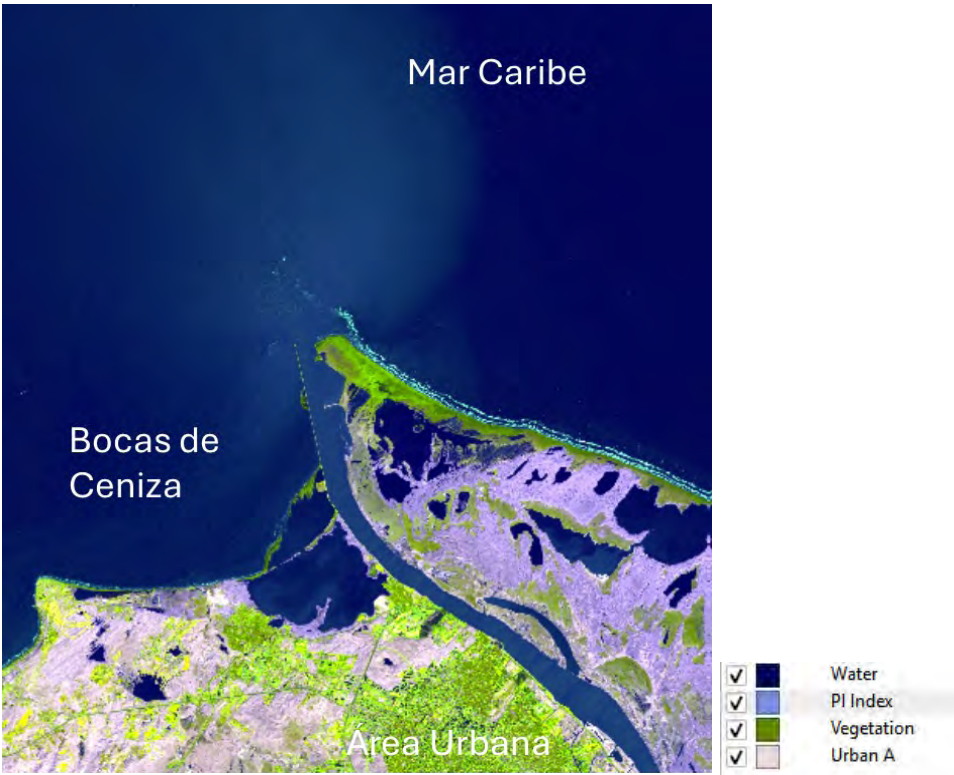


FIGURA 7. Índice Final IF. Sensor Sentinel 2A e inclusión propia de la combinación y la toponimia

3.4 Implementación de algoritmo de aprendizaje automático

Una vez analizada la literatura y métodos implementados se considera que el algoritmo a aplicar en la zona de estudio es el de clasificación de Bosque Aleatorio (*Random Forest*), dado que presenta mejores resultados al clasificar la contaminación antropogénica y plástico en el océano. Para ello, se realizaron los siguientes pasos: primero, cargar las bibliotecas necesarias, incluyendo el ensamblador de clasificadores SCP, en *QGIS*; a continuación, abrir el archivo de datos; luego determinar los atributos o clases del conjunto de datos; dependiendo del conjunto de datos se pueden excluir variables categóricas del entrenamiento y hacer un recuento de los valores de las clases; luego, descartar los valores NAN y los valores infinitos, que se relacionan con los extremos, positivos y negativos para extraer la clase del conjunto de datos; se prosigue con alinear las clases y dividir el conjunto de datos en un conjunto de entrenamiento y un conjunto de pruebas; configurar y entrenar el modelo con los

parámetros necesarios utilizando el conjunto de entrenamiento, para predecir con el conjunto de pruebas; y, generar la matriz de confusión, imprimir el informe de la clasificación generada definiendo la configuración óptima de los hiper parámetros del modelo basándose en la exactitud a través de la validación cruzada para, finalmente guardar el modelo entrenado.

La FIGURA 8 muestra a partir de la densidad de puntos la contaminación antropogénica y la suspensión o elementos contaminantes de plástico que se concentra a la altura de Bocas de Ceniza y, por acción del viento y el oleaje se van dispersando en mar abierto, asociado al perfil o comportamiento de la clasificación de la FIGURA 9, con la huella espectral notoria de la respuesta de detección de plástico flotante. El perfil espectral es muy diciente en especial la línea asociada al comportamiento de los componentes antropogénicos y de la detección de plástico que difiere de las otras clasificaciones.

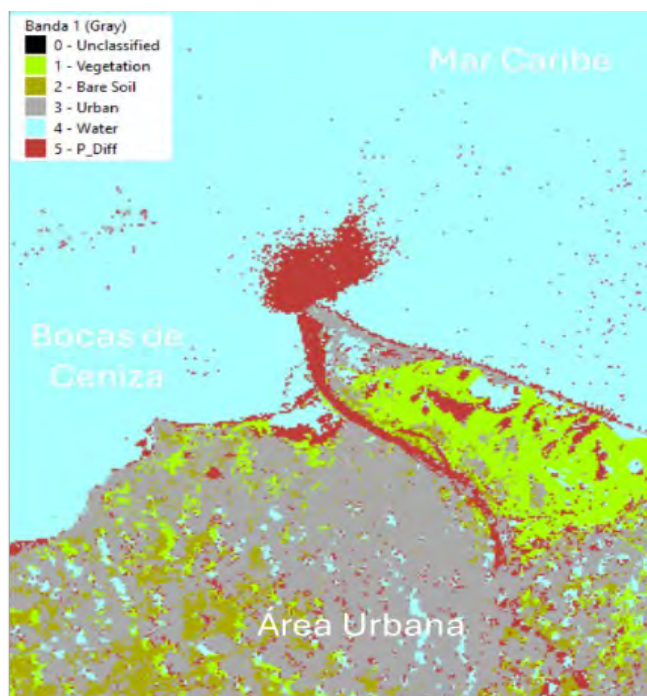


FIGURA 8. Resultados clasificación de clases Sentinel-2 mayo 22 del 2019 e inclusión propia de la combinación y la toponimia

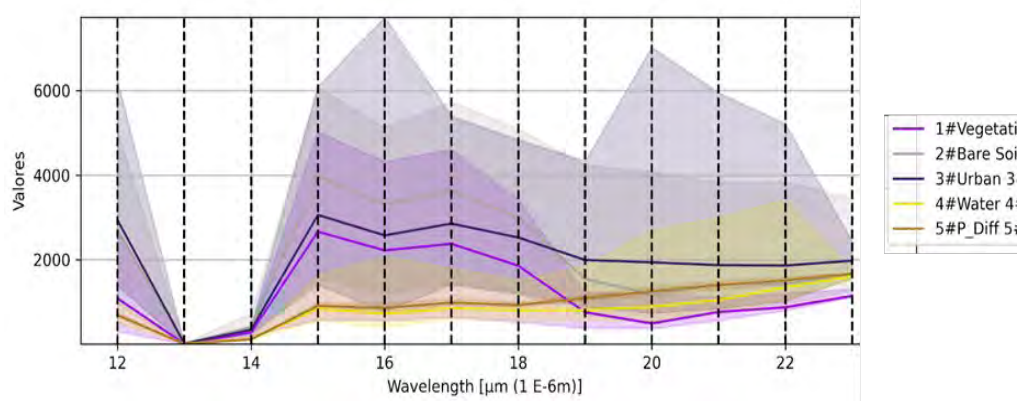


FIGURA 9. Perfil espectral clasificación Sentinel-2 mayo 22 del 2019

Durante los procesos de clasificación, el algoritmo alcanza resultados superiores al 90 % muy similar a los resultados de algunos estudios (Gómez-Jakobsen, 2016); sin embargo, se observó una exactitud del 95% en la clasificación de las clases PDiff, debido a la clara discriminación de estas clases respecto a las demás y el algoritmo logró una separación eficiente de las clases, siendo un aspecto interesante.

Comparando en otra ventana de tiempo se corrió de nuevo el algoritmo a la imagen del

sensor Sentinel-2 de junio 16 del 2019, arrojando concentración de partículas y permitiendo inferir que de un mes a otro, la concentración de contaminación antropogénica y la suspensión o elementos contaminantes de plástico se da, seguramente debido el arrastre aguas arriba y la intensificación de lluvias previstas en el centro del país en el segundo trimestre del año como se muestra en la FIGURA 10 la huella espectral de las islas basura flotante.

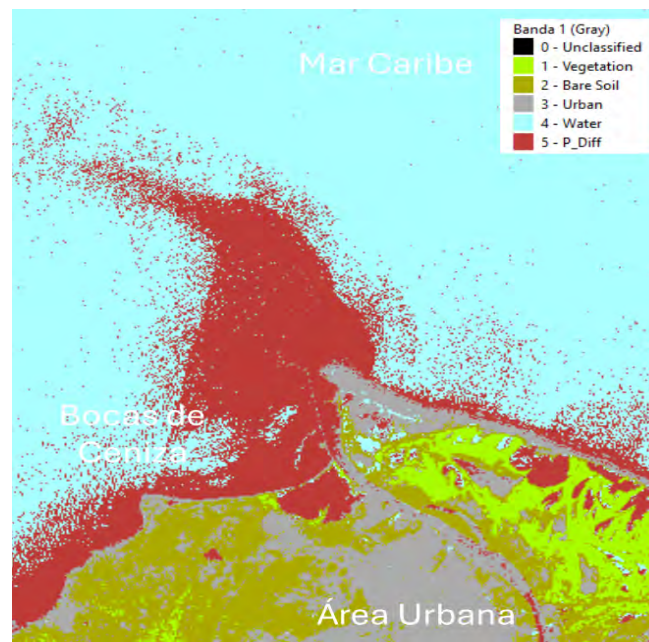


FIGURA 10. Resultados clasificación de clases Sentinel-2 junio 16 del 2019 e inclusión propia de la combinación y la toponimia

Después de analizar las iteraciones generadas, se determinó que el algoritmo *Random Forest* ofrece excelentes resultados en términos de tiempo de ejecución, precisión y exactitud. Por ello, se implementó ampliamente para la clasificación detallada de la zona de interés durante dos periodos de tiempo: mayo y de junio del 2019, comparativo para datos de entrenamiento.

Con el análisis multitemporal, se identificó un aumento en la contaminación y plástico flotante de la zona generando que la clase 'PDiff' o de contaminación oceánica destacando en contraste con la clase 'agua'. Este hallazgo indica variación entre las áreas afectadas por la presencia de plásticos y el entorno acuático por el aumento del cauce y el incremento temporal de los residuos en el río. Tras analizar las diferentes iteraciones, se concluye que la metodología permite obtener mejores resultados en los procesos de teledetección, porque integra los procesos de percepción remota aportando a futuras investigaciones.

La precisión del método *Random Forest* para detectar plástico y contaminación oceánica puede variar dependiendo del tipo y calidad de las imágenes Sentinel 2, la cantidad y calidad de los datos de entrenamiento, la experiencia y habilidad del usuario en la configuración y ajuste del algoritmo, y la complejidad de la clasificación requerida que tiene una alta precisión y exactitud en la detección de plástico y contaminación oceánica; sin embargo, su precisión puede variar según las condiciones específicas y de los

parámetros de configuración del algoritmo con análisis de resultados y evaluación de la precisión del método en cada caso.

3.5 Implementación de script de Google Earth Engine (GEE) para detección de plástico

Uno de los beneficios destacados en el desarrollo de esta metodología es la integración de información satelital con GEE. Así, a partir de los índices espectrales se procedió a construir un modelo para la detección no supervisada de plástico en el océano, aprovechando las utilidades de GEE, permitiendo el análisis de datos geoespaciales a gran escala y el acceso a datos geoespaciales como imágenes satelitales, datos climáticos, datos de la superficie terrestre y el uso de sus scripts.

Se emplearon datos del satélite Sentinel-2, que proporcionan información sobre la concentración de plástico en la superficie del océano, permitiendo identificar la presencia de objetos flotantes en el agua, mediante el cruce de los índices temáticos.

Se aplicó el código abierto disponible dispuesto en (*Google Colab*, s/f), ajustado y adaptado a la zona de estudio; se implementaron líneas de código adicionales para la importación de datos provenientes de COPERNICUS/S2SR de nivel de superficie (*Surface Reflectante*) favoreciendo la teledetección de contaminantes; y, se implementó la descarga de los resultados en línea en *Google Drive*, para el análisis y procesamiento posterior de las imágenes (FIGURA 11).

```
var region = ee.Geometry.Rectangle([
  [-74.9597279381032, 11.024932772208793, -74.70049688720702, 11.208262018712146]
]);

function maskS2clouds(image) {
  var qa = image.select('QA60');

  // Bits 10 and 11 are clouds and cirrus, respectively.
  var cloudBitMask = 1 << 10;
  var cirrusBitMask = 1 << 11;

  // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
```

FIGURA 11. Adaptación, construcción y mejora de Script. Adaptación propia

La FIGURA 12 evidencia el cono de sedimentación aguas abiertas que el río Magdalena arrastra aguas arriba y almacenadas en el sector de Bocas de Ceniza a partir de la reflectancia de Sentinel-2

y, las FIGURAS 13 y 14 detallan la respuesta a partir de la combinación de índices espectrales de Sentinel-2 GEE y la detección de anomalías.



FIGURA 12. Sentinel-2 GEE. Adaptación de localización propia a partir de coordenadas geográficas

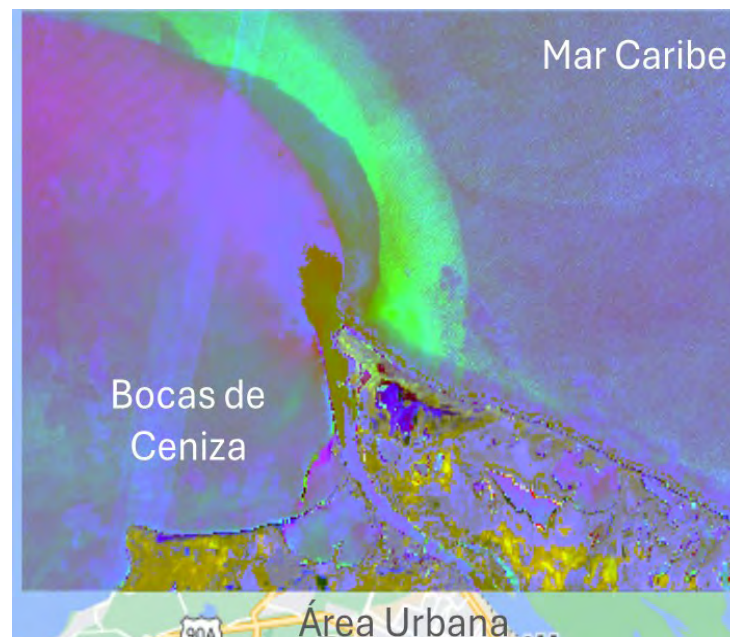


FIGURA 13. Combinación Índices Sentinel-2 GEE. Adaptación de localización propia a partir de coordenadas geográficas

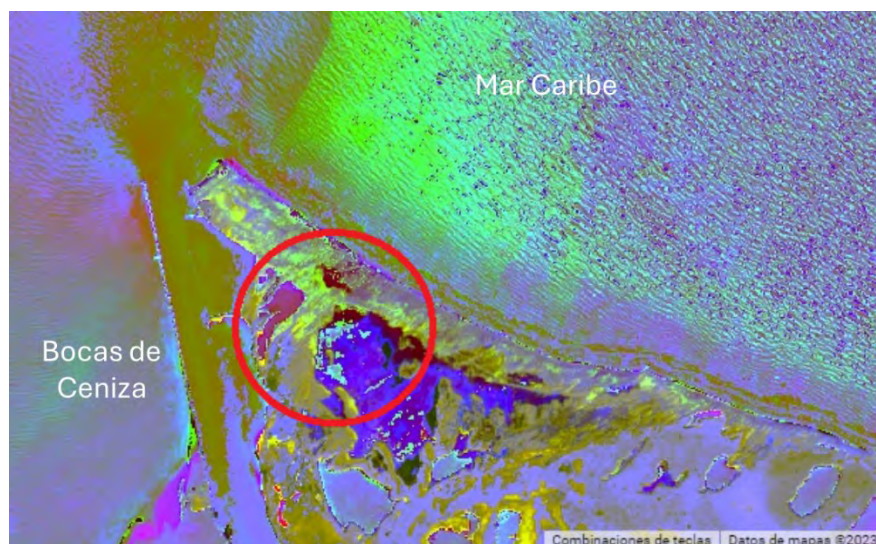


FIGURA 14. Detección de anomalías en detalle a partir combinación Índices Sentinel-2 GEE. Adaptación de localización propia a partir de coordenadas geográficas

El proceso se puede mejorar mediante el uso de GEE. Por ello, se buscó obtener datos precisos sobre la contaminación utilizando el motor de GEE y QGIS y de un localizador de contaminantes que emplea el Índice de Escombros Flotantes (FDI), el Índice de Plástico (PI) y el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NVDI). Esto se combina con el uso de un *script* en Javascript para GEE y Python para Google Collaboratory, ofreciendo una solución fácilmente modificable y utilizable para programadores con habilidades medias.

Como aporte, en Sign In - Google Accounts (s/f) a través del registro, se disponen algunos códigos o configuraciones que puedan ser adaptados a otras investigaciones y ejercicios de percepción remota y teledetección de residuos y contaminantes antropogénicos como una buena oportunidad para que desde la ciencia y procesos colaborativos se recopile información y se precise el modelo geolocalizador de contaminación por islas de basura y de también de los tomadores de decisiones para abordar los desafíos restantes en este campo.

4. Conclusiones

El uso de técnicas y tecnologías aportan metodológicamente a la automatización de procesos de validación y planificación, reduciendo los costos operacionales y aumentando la eficiencia en los procesos de teledetección. Al construir un conjunto de datos etiquetados y entrenados, se aumenta la precisión del modelo al diferenciar cada una de las categorías, incluyendo la detección de contaminación y plástico en el océano y determinar los índices espectrales y la clasificación de la contaminación en cuerpos de agua, ejecutando los algoritmos adecuados para crear un modelo de aprendizaje personalizado. De ello, la implementación del algoritmo *Random Forest* generó una clasificación eficiente de las categorías creadas, con una precisión promedio superior al 90% en las cinco clases definidas.

La integración de herramientas de geoprocésamiento de imágenes y teledetección automatiza y maximiza los beneficios en la clasificación y detección de coberturas terrestres y contaminantes y su análisis multitemporal, así como la contribución al desarrollar un clasificador en periodos de tiempo. Esta automatización mejora procesos y beneficia la

planificación contra la contaminación ambiental en océanos, lagos, ríos, entre otros.

Los resultados expuestos se llevaron a cabo en el marco de la Maestría en Energía y Sostenibilidad, programa que ha brindado conocimiento en temas relacionados con la eficiencia energética, el uso de fuentes renovables y la preservación del medio ambiente. El enfoque en energía y sostenibilidad ha proporcionado una base sólida para comprender el impacto de la contaminación en los cuerpos de agua como fundamento para el desarrollo de esta metodología innovadora que aporta a las dinámicas de desarrollo territorial.

Al construir un mosaico o imagen a partir de varias escenas, permite obtener una imagen completa, utilizando los valores de los píxeles correspondientes en otras escenas disponibles, aportando incluso que el clasificador automático elimina las nubes. Esta práctica permite obtener una imagen más limpia para el procesamiento del

modelo y la ejecución de algoritmo sin la necesidad de construir un mosaico, porque se puede clasificar una sola escena sin procesamiento previo, salvo los ajustes atmosféricos que son siempre necesarios.

Este enfoque multidisciplinario y el uso de herramientas avanzadas permitieron una comprensión amplia de la contaminación antropogénica en cuerpos de agua. La combinación de análisis satelital, algoritmos de *machine learning* y validación con zonas identificadas, ofrece un modelo que puede ser aplicado en futuras investigaciones para monitorear y gestionar la contaminación ambiental de manera efectiva y, de manera exploratoria visibles a los tomadores de decisiones para que orienten sus acciones correctivas y preventivas en el marco de un espacio geográfico y un territorio habitable y sostenible para todos.

5. Referencias citadas

- CHAMORRO, P. R. 2022. "Aplicación de los sensores remotos aerotransportados en las operaciones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento aéreo (ISR) y su importancia en la lucha contra el tráfico ilícito de drogas (TID) en el Perú". *Pensamiento Conjunto*, 10(2): 12-12.
- COPÉRNICO SERVICIO MARINO/CMEM. s/f. *Detección de la contaminación por plásticos*. Copernicus Europe's eyes on Earth. Disponible en <https://marine.copernicus.eu/es/servicios/contaminacion-por-plasticos/deteccion-de-la-contaminacion-por-plasticos>.
- DE LAS SALAS, D. A. Á. 2019. Así se formó la isla de basura que bordea las playas del Caribe. *El Tiempo* (7 junio). Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/como-se-formo-la-isla-de-basura-en-puerto-colombia-372138>
- DUMBILI, E. & L. HENDERSON. 2020. "The challenge of plastic pollution in Nigeria". M. TREVOR LETCHER [Editor(s)], *Plastic Waste and Recycling*. Chapter 22.
- ENFRIN, M.; DUMÉE, L. F. & J. LEE. 2019. "Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes—origin, impact and potential solutions". *Water Research*, 161: 621-638.
- GÓMEZ-JAKOBSEN, F. J. 2016. *Evaluación del estado de eutrofización del mar Alborán mediante el empleo combinado de imágenes de satélite y de muestreos in situ*. Universidad de Málaga. Departamento de Física Aplicada II. Málaga, España. Tesis de Doctorado. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10630/11689>.

GOOGLE COLAB. s/f. Disponible en:

<https://colab.research.google.com/drive/1M33BPuBlIM3rqL2r03wCHNKM-XJYOTkr?usp=sharing>.

LEBRETON, L. C. M.; ZWET, J. VAN DER; DAMSTEEG, J-W.; DE BOYAN, L.; ANDRADY, A. y J. REISSER. 2017. *Los veinte ríos que más plástico emiten al mar*. EpData. Disponible en:

<https://www.epdata.es > veinte-ríos-mas-plastico-emiten-...>

MÁRQUEZ CALLE, G. 2016. "Un río difícil. El Magdalena: historia ambiental, navegabilidad y desarrollo". *Memorias: Revista Digital de Historia y Arqueología desde el Caribe*, (28): 29-60.

SIGN IN - GOOGLE ACCOUNTS. s/f. Disponible en:

<https://code.earthengine.google.com/1c0ad8af56cfa1e0639c41ca85dd1a38>.

SANNIGRAHI, S.; BASU, B.; BASU, A. S. & F. PILLA. 2022. "Development of automated marine floating plastic detection system using Sentinel-2 imagery and machine learning models". *Marine Pollution Bulletin*, 178: 113527.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Bogotá, D.C., Colombia; noviembre, 2024
Revisión marzo, 2025

La perspectiva territorial en procesos de restauración ecológica participativa.

Lago de Tota, Boyacá, Colombia

A perspectiva territorial nos processos de restauração ecológica participativa.
Lagoa Tota, Boyacá, Colômbia

The territorial perspective in participatory ecological restoration processes.
Tota Lake, Boyacá, Colombia

Andrés Felipe Bautista Vargas

Universidad Pedagógica y Tecnológica (UPTC) , Facultad de Ciencias de la Educación
Escuela de Ciencias Sociales, Grupo de Investigación Vida Territorial Sostenible (VTS)
Grupo de Investigación en Estudios Micro y Macro Ambientales (MICRAM)
Tunja, Departamento de Boyacá, Colombia
andres.bautista@uptc.edu.co; bautistaandresfelioe@gmail.com

Bautista: <https://orcid.org/0000-0001-7781-2072>

Resumen

Los procesos de restauración ecológica asisten cada vez más a la participación social y comunitaria como estrategias socialmente necesarias. Adoptar enfoques territoriales y culturales si bien no es parte de su naturaleza objetiva, se erigen como elementos fundamentales en el conocimiento de los factores incidentes de los ritmos de degradación de áreas naturales y servicios ecosistémicos. Pero ¿cómo su inclusión promueve mejores procesos restaurativos? ¿Puede esta perspectiva responder a marcos socio-ecológicamente sostenibles? El presente documento analiza el papel del conocimiento ecológico tradicional campesino de la comunidad de Guáquira en procesos de restauración ecológica en el área de influencia de la Reserva Natural Xietí, cuenca del lago de Tota, Colombia. A través de la investigación acción-participativa (IAP), se identificaron prácticas campesinas y saberes que resisten a lógicas de producción del territorio, y que contribuyen a una mayor apropiación ecológica y política de las estrategias adaptativas, como de los factores que amenazan la biodiversidad.

PALABRAS CLAVE: participación comunitaria; restauración ecológica participativa; Reserva Natural Xietí; territorio.

Resumo

Os processos de restauração ecológica envolvem cada vez mais a participação social e comunitária como estratégias socialmente necessárias. A adoção de abordagens territoriais e culturais, embora não faça parte da sua natureza objetiva, constituem-se como elementos fundamentais no conhecimento dos fatores incidentes nas taxas de degradação das áreas naturais e dos serviços ecossistêmicos. Mas como é que a sua inclusão promove melhores processos restaurativos? Esta perspectiva pode responder a quadros socio-ecologicamente sustentáveis? Este documento analisa o papel do conhecimento ecológico camponês tradicional da comunidade Guáquira nos processos de restauração ecológica na área de influência da Reserva Natural Xietí, bacia do lago Tota, Colômbia. Através da pesquisa-ação participativa (PAR), foram identificadas práticas e conhecimentos camponeses que resistem à lógica da produção territorial e que contribuem para uma maior apropriação ecológica e política de estratégias adaptativas, bem como fatores que ameaçam a biodiversidade.

PALAVRAS-CHAVE: participação comunitária; restauração ecológica participativa; Reserva Natural Xietí; território.

Abstract

Ecological restoration processes increasingly involve social and community participation as socially necessary strategies. Adopting territorial and cultural approaches, although not part of their objective nature, stand as fundamental elements in the knowledge of the factors incident to the rates of degradation of natural areas and ecosystem services. But how does its inclusion promote better restorative processes? Can this perspective respond to socioecologically sustainable frameworks? This document analyzes the role of traditional peasant ecological knowledge of the Guáquira community in ecological restoration processes in the area of influence of the Xietí Natural Reserve, Lake Tota basin, Colombia. Through participatory action research (PAR), peasant practices and knowledge were identified that resist the logic of territorial production, and that contribute to greater ecological and political appropriation of adaptive strategies, as well as factors that threaten biodiversity.

KEYWORDS: community participation; participatory ecological restoration; Xietí Nature Reserve; territory.

1. Introducción

La restauración ecológica es un campo de estudio ampliamente reconocido por su carácter interdisciplinar. Su práctica es cada vez más importante para la recuperación de los atributos funcionales, estructurales y el restablecimiento de las condiciones históricas y ecológicas de las áreas naturales; sin embargo, la adopción de enfoques culturales y participativos, no es del todo un ámbito prioritario del objeto principal y de las estrategias de manejo en los ecosistemas degradados. Para Baker y Eckerberg (2013), Ballari *et al.*, (2020) y Ceccon *et al.*, (2020), la mayoría de procesos restaurativos se concentra en la composición y estructura biológica del ecosistema, y muy poco en los aspectos socioecológicos territoriales locales.

En ese sentido, se conoce que la restauración ya no es una práctica estrictamente ecológica, sino que demanda esfuerzos socioecológicos más amplios, luego que la pérdida progresiva de bosques y áreas naturales es una realidad asociada tanto a las prácticas de deforestación como al avance de monocultivos sobre áreas de importancia ambiental (Cavelier y Santos, 1999). Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), cerca de 9.108.474 hectáreas de áreas naturales en Colombia, se encuentran amenazadas por diferentes fenómenos naturales y antrópicos, especialmente, por estar localizadas en zonas altamente densificadas (Abud-H y Torres, 2016).

Las actividades económicas y prácticas socioculturales sobre áreas de interés ecológico siguen siendo un patrón que afecta la cultura ambiental y los parámetros de sus relaciones con la naturaleza (Harvey, 1996; Miranda, 2013; Joaqui-Daza; Murcia y Guariguata, 2014). Una naturaleza desconocida frente al valor cultural y político en términos de bienestar social e inmaterial y la capacidad de oferta en bienes y servicios ecosistémicos generalmente ignorado frente a sus verdaderos aportes ecológicos (Palomino *et al.*, 2019).

En esa línea, los procesos restaurativos evidencian enormes desafíos. Por un lado, propender por la integridad del ecosistema en su

relación biológica y ecológica, reconociendo la dimensión social y humana como parte de esa naturaleza social y política en permanente interacción, sinergias y geografías. Por otro lado, debe incluir miradas más amplias en sus conexiones territoriales y escalas espacio-temporales, al constituir una práctica diacrónica dada la inestabilidad política, comunitaria, institucional y las amenazas futuras frente al cambio climático y la sobre explotación de los recursos naturales (Frietsch *et al.*, 2023).

En ese sentido, las estrategias deben incluir el contexto territorial y participativo, es decir, un conocimiento real del territorio y sus territorialidades, actores y los conflictos presentes, luego que no es posible construir marcos socio-ecológicamente sostenibles, sin la participación de las comunidades locales, y la incorporación de una perspectiva territorial que considere también sus conocimientos tradicionales, ecológicos, percepciones y acervos culturales, en tanto que, son precisamente, la línea base de las acciones que actualmente más contribuyen a los esfuerzos de conservación y restauración deseados (Vargas y Mora 2007; Moore *et al.*, 2022).

En este contexto, proponer un enfoque territorial circunscribe un cambio de perspectiva en los procesos restaurativos, en el que el diseño, como la elección de las estrategias, la escala y los niveles de intervención, deban fijarse más allá de las trayectorias de referencia ecológica del ecosistema, a una verdadera inclusión de la dimensión social y cultural de los territorios, al reconocerlo como parte de esa naturaleza socialmente necesaria, particularmente, cuando las dinámicas naturales no pueden ser indiferentes, ni aisladas de los tiempos de las relaciones sociales y prácticas culturales gestados en la producción social de los territorios, en tanto que son sistemas complejos e interdependientes (Silva *et al.*, 2021 Pueyo-Ros, 2018; Cerón *et al.*, 2022; Ballari *et al.*, 2020).

Así las cosas, el documento busca enriquecer otras lecturas de los procesos restaurativos, en función de las relaciones multidimensionales y las

espacio-temporalidades que se gestan, luego que los actores, como los conocimientos tradicionales locales y enfoques, entre ellos, los de perspectiva participativa y territorial no son comunes en los procesos restaurativos. Esta perspectiva, en lo particular, ofrece una aproximación metodológica, respecto a las potencialidades de la participación comunitaria y los saberes tradicionales ecológicos locales campesinos, como estrategias y alternativas intrínsecas al manejo y conservación de los servicios ecosistémicos y culturales. Este escenario, sin ser claramente una regla general, posibilita un diálogo continuo para la construcción de marcos socio-ecológicamente más sostenibles frente a los procesos restaurativos, y desde luego, enfoques plurales de la restauración ecológica (Hernández y Ramos 2023).

El artículo es el resultado de una investigación adelantada en el área de influencia de la Reserva Natural Xieti, comprendida dentro del bosque altoandino de la cuenca del lago de Tota; caracterizada por su alto valor ecológico, al ser una de las muestras de biodiversidad más relevantes de Colombia. En primera instancia, se describen los enfoques metodológicos en razón de la combinación de técnicas e instrumentos cualitativos aplicados. En una segunda parte, se relacionan los resultados a partir de identificar los saberes y el conocimiento ecológico local tradicional campesino, frente al apalancamiento de la participación comunitaria como resorte de las estrategias de mayor contribución a procesos de restauración participativa. Finalmente, la discusión desde las representaciones y prácticas materiales e inmateriales que realiza la comunidad de Guáquira, en aras de enriquecer la lectura sobre los enfoques restaurativos.

2. Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque de acción-participación (IAP), combinando diferentes estrategias de tipo cualitativo que permitieron considerar la relevancia del papel comunitario y cultural frente a las acciones y estrategias que pueden adelantarse para dirimir los conflictos de uso,

manejo y gestión de los servicios ecosistémicos y culturales (Sletto *et al.*, 2013; Bautista *et al.*, 2021). Los ecosistemas naturales son elementos por sí mismos vulnerables y sus condiciones si bien dependen de las acciones desarrolladas, la adopción de enfoques bioculturales está tomando nuevos caminos metodológicos e interdisciplinarios que contribuyen a otras formas posibles de conocimiento de los territorios, sus dinámicas y relaciones naturales. Esto es, una comprensión más amplia de las interrelaciones entre los procesos ecológicos y las dinámicas culturales (Toledo, 2013).

En ese sentido, el enfoque metodológico partió de dos aspectos significativos. El primero, la dimensión cultural, no necesariamente incorporada como una variable de mayor aliento en los procesos restaurativos, como consecuencia del interés y prioridad sobre los componentes ecológicos (Gonzales-Molina *et al.*, 2022). Segundo, las comunidades locales son vinculadas desde unas perspectivas muy limitadas en los diagnósticos iniciales, socioambientales e incluso como garantía de continuidad de los proyectos gestados, y muy poco desde su práctica territorial aplicada, es decir, desde sus lugares y apropiaciones territoriales, conocimientos, saberes tradicionales y prácticas culturales (Vargas y Mora 2007; Nogue, 2015).

En ese contexto, la investigación trazó dos líneas metodológicas. La perspectiva cultural entendida desde sus lugares territoriales como una oportunidad para sinergizar otras vías de análisis que permitan conocer como las representaciones, los lenguajes y los valores inherentes a la percepción, uso y prácticas desarrolladas por la comunidad de Guáquira, en sus actividades habituales, saberes y cotidianidades, cuentan con capacidades adaptativas y, por tanto, acciones que ya son inherentes a sus modos de vida (Jiménez, 2019). Desde la perspectiva participativa, como un escenario abierto, diverso en sus formas e ideas, memorias colectivas, creaciones y expresiones en función del conocimiento territorial-local y su aporte a la comprensión de las relaciones entre factores sociales y ecológicos, y las estrategias

que pueden visibilizarse como posibles comunitaria en los procesos restaurativos (TABLA alternativas en la construcción colectiva y 1).

TABLA 1. Estrategias metodológicas y enfoques perseguidos. Fuente: elaboración propia a partir de proyecto de investigación

PERSPECTIVA CULTURAL	ENFOQUES
Saberes y prácticas tradicionales campesinas	Siembras Principales productos cultivados Prácticas agropecuarias Conocimientos Usos del suelo Abonos
Relaciones con el agua y clima	Memorias territoriales del agua Usos del agua Actividades pesqueras Clima
Manejo local y gestión territorial	Manejo residuos solidos Conflictos, usos e intereses Plantas nativas y vegetación
Perspectiva participativa	Enfoques
Grupos focales Talleres de participación comunitaria Entrevistas semiestructuradas Aplicación y levantamiento cartográfico Vuelos de dron Muralismo	Cartografía social comunidad educativa 'Institución Jorge Eliecer Gaitán' Cartografía social comunidad Guáquira Mapeo recorridos territoriales Mapeo entrevistas semiestructuradas Actividades Revegetalización Reserva Natural Xietí Taller actividades y practicas territoriales Jornadas verdes

3. Materiales y métodos

Para llevar a cabo la recolección de datos e información se desarrollaron diferentes visitas de campo y observación participante a la Reserva Natural Xietí, y su área de influencia. Se conformaron equipos de investigación interdisciplinarios que permitieron la triangulación de los instrumentos en tanto recorridos territoriales, aplicación de entrevistas semiestructuradas, georreferenciación de puntos y especies reconocidas a través de *SW_Maps*.

Así mismo, el apoyo de vuelos de dron para la delimitación del área y la cobertura, según la

localización de las unidades de vivienda cercanas. Registro fotográficos y videos para el conocimiento de las representaciones de la comunidad en términos de las relaciones, prácticas, usos del suelo y conflictos presentes. Técnicas cualitativas, como la conformación y perfiles de los grupos focales en la relación (agricultores-productores; padres de familia, líderes y lideresas sociales de la comunidad, docentes-estudiantes, activistas ambientales-ediles) adoptando líneas y perspectivas perseguidas en la FIGURA 1.

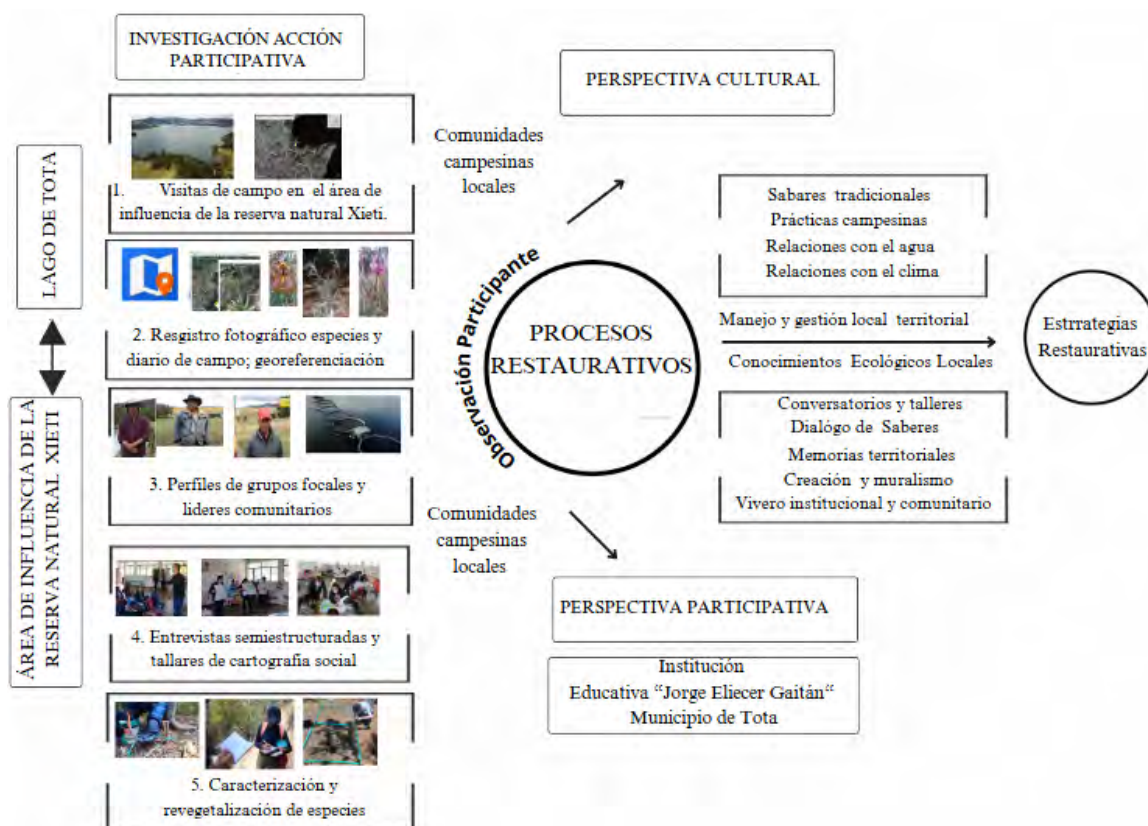


FIGURA 1. Técnicas y diseño metodológico. Fuente: elaboración propia a partir de la investigación

4. Área de estudio

La Reserva Natural Xieti está localizada en la vereda Guáquira, municipio de Tota-Boyacá. Se encuentra al margen del lago de Tota, sector Nor-Occidental entre $72^{\circ}56'22''$ W y $5^{\circ}34'35''$ Norte. Cuenta con una extensión aproximada de 3,35 ha, y se caracteriza por abundantes plantaciones forestales de pino, ciprés, y áreas con poca cobertura vegetal. No obstante, su inmediatez al lago de Tota, como sus características y fines hace que sea un área estratégica en la construcción de la dinámica natural del territorio y de las relaciones comunitarias que se tejen en su área de influencia, desde luego, enmarcado por una serie de características propias de la localización del lago de Tota, su valor ambiental y servicios ecosistémico y culturales (FIGURA 2).

5. Resultados

Los procesos de restauración ecológica deben ser vistos desde múltiples perspectivas disciplinares y multidimensionales. Esto significa que la comprensión de los factores sociales y ecológicos no deben erigirse solo como elementos fundamentales de los objetivos de las estrategias restaurativas, sino que son precisamente el punto de partida, desde los cuales se tejen nuevas oportunidades para el conocimiento local territorial-ambiental y la inclusión de otros lenguajes que hacen parte de la naturaleza política de los territorios y de su dimensión humana.

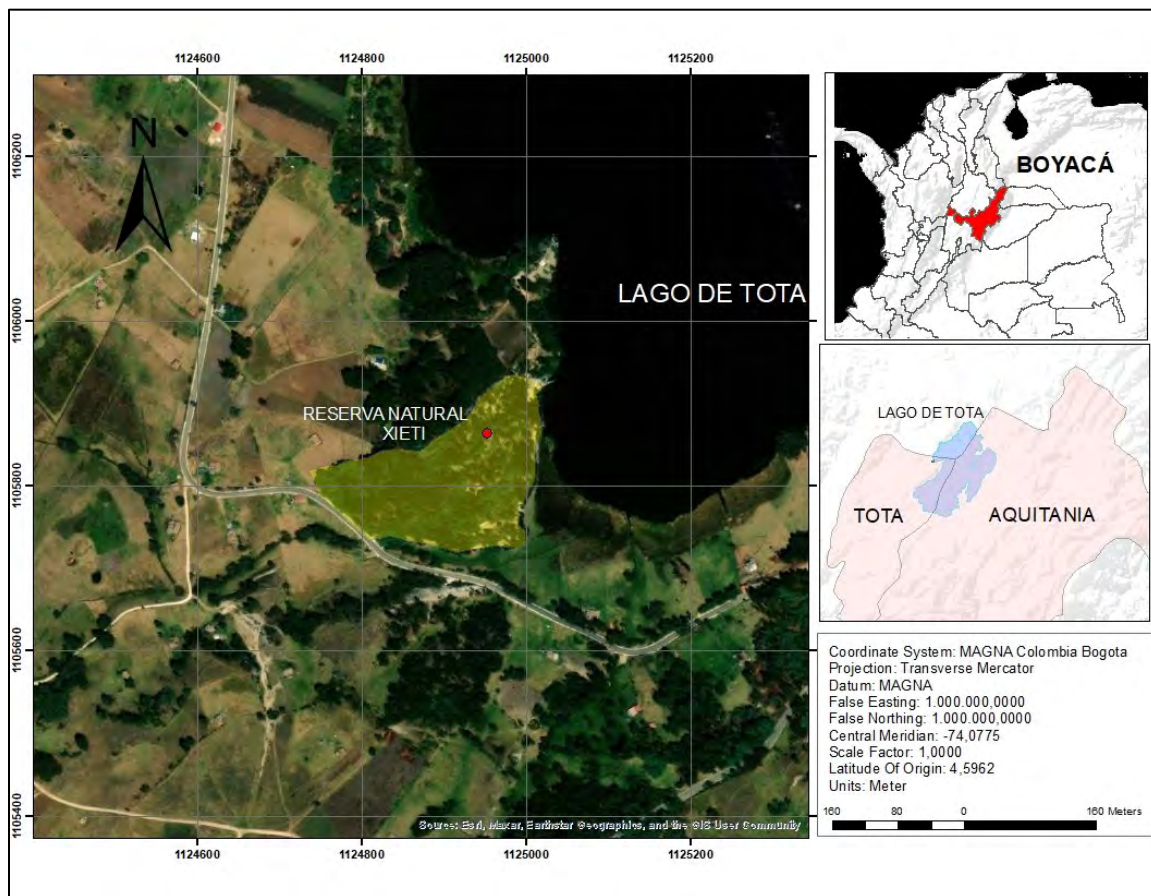


FIGURA 2. Localización del área de estudio. Fuente: Fuente: elaboración propia a partir de cartografía digital. Vuelos de dron

Promover de forma simultánea el análisis de los atributos sociales y ecológicos, concita no solo mejores estrategias de manejo complementarias, sino que ofrece una respuesta más integrada a la luz de los factores que más afectan a la biodiversidad ecosistémica, entendiendo que las relaciones e intercambios no son lineales, ni inmediatos, sino que son espacio-temporales. Contar con marcos interdisciplinarios y participativos, hace de la restauración un verdadero proceso político, luego que la combinación de conocimientos científicos diversos y saberes tradicionales ecológicos incorpora elementos que pueden sumar a la sostenibilidad social y ecológica de los territorios y sus sistemas ambientales. La reserva natural y el área de influencia del lago de Tota, si bien son

espacios naturales de manejo especial, enfrentan enormes desafíos, entre ellos, la piscicultura, el monocultivo de cebolla larga, el cultivo de trucha, la pesca artesanal, el crecimiento excesivo de macrófitas provenientes de los fertilizantes orgánicos (gallinaza) que inciden con gran imposición sobre los ecosistemas, el paisaje y el hábitat presente. Estos procesos siguen ganando terreno no solo sobre la base natural del ecosistema, también en la identidad de las comunidades locales y la comunidad de Guáquira, a través de las transformaciones de sus relaciones históricas con el territorio, el agua y el lugar.

De acuerdo con Don Víctor Trujillo, habitante local, el uso del suelo y la vocación del área en general ha dejado profundas huellas en las

prácticas de la comunidad (Grupos de Investigación, 2021a). Uno de los efectos de mayor consideración es “la contaminación en el área circunvecina del Lago de Tota, por escorrentía de agentes químicos y la eutrofización generada por el monocultivo de cebolla que se estima entre 3,000 y 1,350 toneladas.” (Jaramillo et al., 2020: 66). Dichos eventos son la suma también de un ingente de problemáticas y expresión de los conflictos territoriales y las tensiones en un contexto, donde la propia dinámica natural del lago de Tota y las actividades asociadas, confluyen y divergen en una suerte de intereses y disputas territoriales que afectan los servicios ecosistémicos y sus valores culturales.

Para la comunidad de Guáquira, la sensibilidad ecosistémica, la pérdida de especies nativas como el pez graso (*Rhizosomichthys totae*), la vulnerabilidad de las comunidades locales faunísticas y florísticas inmediatas y el agua como principal modelador de las relaciones de producción social y económica son en esencia el resultado de creciente amenaza sobre el área y oferta natural. Estas tensiones son si se quiere, producto de la dinámica histórica del territorio local y de sus lógicas de producción agraria y agropecuaria, cuyos efectos son presentes y persistentes en las interrelaciones naturales y, por lo tanto, en las estrategias adaptativas.

En ese contexto, la FIGURA 3 muestra a las comunidades campesinas localizadas en el área de influencia de la reserva natural, y como parte de las estrategias adaptativas, reconocen su participación en comitivas de siembra, preparan abono orgánico, y el interés por la preservación de sus saberes ecológicos tradicionales, como es el caso de sus narrativas sobre los nutrientes del suelo, el cual puede mejorarse con buenos aportes orgánicos que, asociados a la producción agroecológica, pueden diversificar los oligoelementos para disminuir la dependencia de insumos externos (Santocoloma, 2015).

Siguen utilizando algunas especies forestales, como es el caso del aliso (*Alnus acuminata*) y el sauco (*Sambucus*), para la protección de quebradas en razón del control de la erosión y la siembra de especies vegetales nativas que poco a poco han desaparecido del área, como es el

caso del roble (*Quercus robur*), el hayuelo (*Dodonaea viscosa*) o el arrayán (*Luma apiculata*) que anteriormente se encontraban en las riberas del lago de Tota. Este y otros aspectos propios de sus memorias colectivas permite establecer que cada una de las estrategias restaurativas que quieran implementarse parten, en primera medida, del conocimiento ecológico de las comunidades y de pensar el territorio, no solo desde sus potencialidades ecosistémicas y naturales, sino desde su sentido colectivo y vital cotidiano (Montañez, 2016). Lo anterior permite considerar que adoptar una perspectiva participativa de la restauración, fortalece tanto el diseño de las estrategias según sus relaciones históricas territoriales, como promueve la dimensión social y humana cada vez más incorporada en estos procesos. Para este caso, las redes vecinales, la participación en siembras y parcelas, el conocimiento ecológico sobre el manejo del suelo y su aplicación para la disminución de los conflictos de uso, y los procesos de educación ambiental comunitarios adelantados en el área, son las verdaderas acciones que contribuyen a mitigar las afectaciones ejercidas en el área. Siguen utilizando algunas especies forestales, como es el caso del aliso (*Alnus acuminata*) y el sauco (*Sambucus*), para la protección de quebradas en razón del control de la erosión y la siembra de especies vegetales nativas que poco a poco han desaparecido del área, como es el caso del roble (*Quercus robur*), el hayuelo (*Dodonaea viscosa*) o el arrayán (*Luma apiculata*) que anteriormente se encontraban en las riberas del lago de Tota. Este y otros aspectos propios de sus memorias colectivas, permite establecer que cada una de las estrategias restaurativas que quieran implementarse, parten en primera medida, del conocimiento ecológico de las comunidades y de pensar el territorio, no solo desde sus potencialidades ecosistémicas y naturales, sino desde su sentido colectivo y vital cotidiano (Montañez, 2016).

Lo anterior permite considerar que adoptar una perspectiva participativa de la restauración, fortalece tanto el diseño de las estrategias según sus relaciones históricas territoriales, como

promueve la dimensión social y humana cada vez más incorporada en estos procesos. Para este caso, las redes vecinales, la participación en siembras y parcelas, el conocimiento ecológico sobre el manejo del suelo y su aplicación para la disminución de los conflictos de uso, y los procesos de educación ambiental comunitarios adelantados en el área, son las verdaderas acciones que contribuyen a mitigar las afectaciones ejercidas en el área.

Para Turbay *et al.*, (2013), los procesos restaurativos deben fijarse no solo en términos de las estrategias específicas para el restablecimiento de las áreas degradadas, sino también deben buscar formas adaptativas más amplias desde las comunidades, considerando sus prácticas y conocimientos tradicionales locales para direccionarlos en el largo plazo, de forma que puedan ser socialmente construidos y escalados sobre bases sólidas de participación comunitaria y de una conciencia territorial de lugar, que favorezcan sus relaciones con el ecosistema.

En este contexto, la comunidad reconoce los valores ecológicos presentes, especies faunísticas y vegetales, como es el caso del pájaro cucarachero, especie endémica, originaria de la cuenca del lago de Tota, la cual ha fortalecido procesos comunitarios alrededor de su protección, al involucrarse en actividades pedagógicas de avistamiento y educación ambiental locales (AICCA, 2020). El conocimiento de plantas nativas medicinales y su uso, como es el caso la salvia (*Salvia officinalis*) (dolor de estómago y cicatrizante), ajeno (*Artemisia absinthium*), ruda (*Ruta graveolens*), yerbabuena (*Mentha spicata*), jarilla (*Larrea*) (dolor de huesos), caléndula (*Calendula*) yerbamora (*Solanum nigrum*), mastranto (*Mentha suaveolens*), guaba (*Inga edulis*) (desinflamatorio).

Por otra parte, la FIGURA 4 expone especies de flora y fauna existentes, fines y meses de siembra

y cosecha que dan un contexto del uso en diferentes prácticas de preservación, por ejemplo, algunas especies vegetales favorecen la fijación de nitrógeno, donde el grupo de leguminosas y especies forestales, cumplen una función de regular los procesos erosivos, aportar nutrientes, y la disponibilidad de agua. Acciones para conservar la cubierta del suelo, las cuales contribuyen a reducir la pérdida de su estructura a través de la menor compactación, mayor cobertura vegetal, y abonos orgánicos incorporados a través de la siembra de plantas para protegerlo de la erosión (Mora, 2008; Wanumen, 2018). Para Don Fredy Cépeda, agricultor por más de 20 años en el área, estas acciones implican de por sí un esfuerzo material y cultural que no necesariamente logra recuperar de formas asistida las áreas disturbadas, por ello sugiere que el suelo "*a mayor cobertura vegetal o de material orgánico vivo o muerto, evita la degradación, la radiación solar y la filtración de agua, lo cual mantiene la humedad y la incidencia de plagas*" (Grupos Investigación, 2021b).

En este sentido, las estrategias restaurativas, dependen también de las relaciones socioecológicas presentes, y de las sinergias, intercambios, sentires, que no pueden reducirse al marco de los factores ecológicos o de las amenazas, tensiones y disturbios localizados. Deben incluirse las voces del territorio, sus lenguajes y prácticas culturales gestadas (Vázquez *et al.*, 2013). Queda claro entonces, que el lago de Tota, como la reserva natural y áreas de interés ecológico cercanas, debe perfilarse en una entramado natural y territorial más amplio, al ser parte de la estructura socioecológica también de las comunidades que lo habitan, de sus representaciones sociales y de la carga inmaterial y simbólica que existe en el paisaje, en sus relaciones ribereñas y en una identidad con el lago, dialéctica y campesina diferenciada, como se puede advertir en la FIGURA 5.

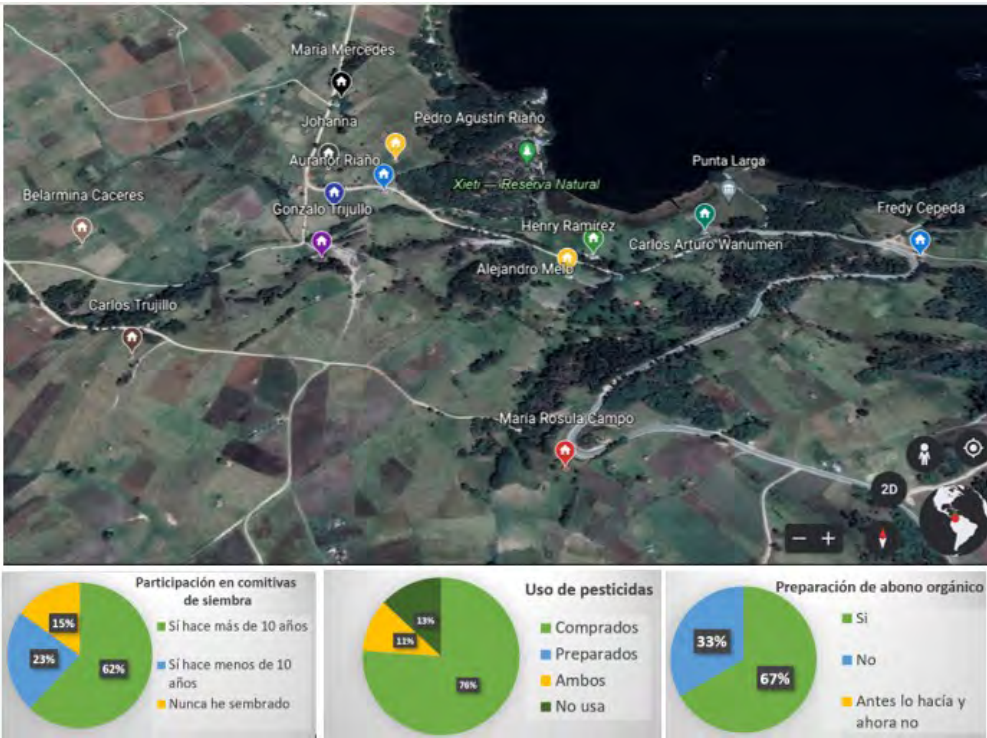


FIGURA 3. Recorridos y entrevistas semiestructuradas en el área de influencia de la Reserva Natural Xieti. Fuente: elaboración a partir de proyecto de investigación



FIGURA 4. Cultivo cebolla larga, vereda Guaquirá; Vivero; Pájaro cucarachero. Fuente: elaboración a partir de proyecto de investigación



FIGURA 5. Cultivo de Trucha, actividades agrícolas, pesqueras. Fuente: elaboración a partir de proyecto de investigación

En esa idea las estrategias desarrolladas tuvieron un carácter adaptativo e incluyeron un abordaje más amplio en las dimensiones territoriales. Esto se logró a través la participación activa de las comunidades, de la concienciación de patrones culturales locales asociados, y de una verdadera práctica no detrimental que, para este caso, partió del reconocimiento de la estructura ecológica y, eventualmente como ha venido afectando modos de vida y sus racionalidades ambientales-territoriales (Aguilar *et al.*, 2019; Jiménez, 2019; Toledo *et al.*, 2019).

De aquí que la participación comunitaria y los talleres de cartografía social, agruparon otra parte del enfoque metodológico que permitió un dialogo de saberes desde el conocimiento local, el diseño de proyectos ambientales escolares e identificar algunos servicios culturales y ecosistémicos del área. Por ejemplo, los tipos de juncos (*Schoenoplectus californicus*, *Junco microcephali* y *J. efusus*) y el cucarachero (*Troglodytes aedon*) en el que los primeros, le sirven al segundo, para la construcción de nidos.

La identificación de plantas nativas e invasoras que hacen parte del ecosistema natural de la reserva y de su área de influencia, como la Salvia (*Salvia*), Acacia (*Acacia mangium*) y el Pino Pátula (*Pinus patula*), el cual genera limitaciones a la regeneración de especies naturales, y es una de las especies de mayor incidencia en la germinación de plantas nativas.

Es importante señalar que los talleres de cartografía social observados en la FIGURA 6 y en la TABLA 2, facilitaron el reconocimiento de los disturbios, las tensiones, y una perspectiva clara sobre la necesidad de un abordaje sistemático y sistémico de las problemáticas más relevantes del área. De esta forma se pasó de un análisis multiescalar eminentemente ecológico, a la inclusión de una perspectiva territorial y cultural como parte de la mitigación y concienciación de las causas y razones de las tensiones, amenazas y los intereses territoriales que cabalgan en vía o en oposición a mejorar las relaciones socioecológicas con el ecosistema.

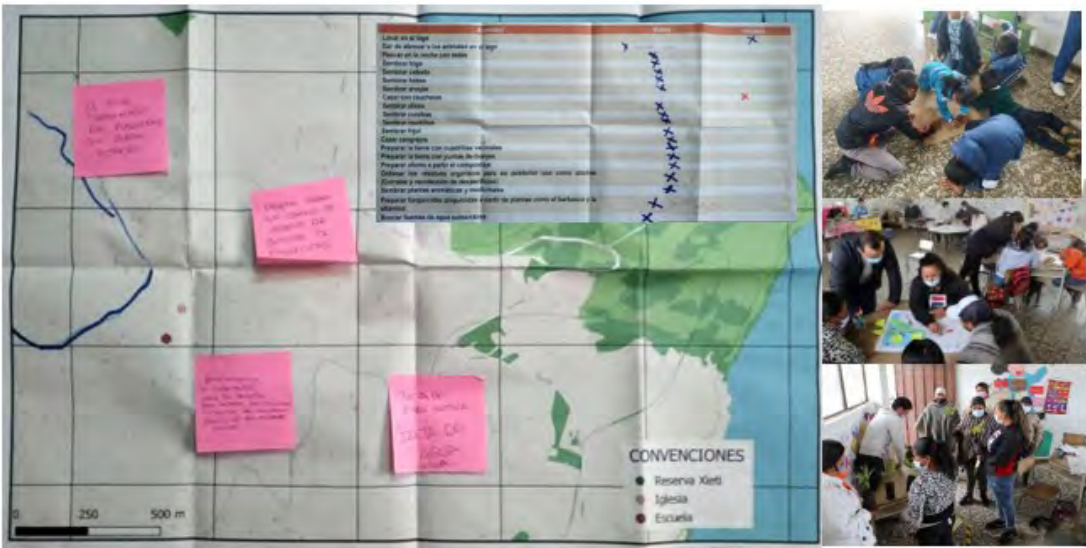


FIGURA 6. Taller de participación comunitaria, escuela de padres. Colegio Jorge Eliecer Gaitán. Sede Rural Guáquira. Fuente: elaboración a partir de proyecto de investigación

TABLA 2. Talleres de participación comunitaria, factores tensionantes, escenarios territoriales. Fuente: elaboración propia a partir de proyecto de investigación

Factores Tensionantes	Disturbios	Escenarios Naturales	Escenarios Sociales
Transformación ecosistémica	Biodiversidad	Pérdida de la calidad de los servicios ecosistémicos	Calidad de Vida
Variabilidad climática	Especies nativas e invasivas	Número de individuos y poblaciones Ciclo de nutrientes Patrones de precipitación Interacción entre especies	Patrones culturales Disminución cultivos y cosechas Nuevos regímenes de lluvias
Monocultivos	Vocación del suelo	Erosión, estructura y composición del suelo Eliminación de Hábitats	Silvicultura Piscicultura Cambios socioculturales Homogenización del paisaje
Sobreexplotación	Degradación del suelo y extinción de especies	Desequilibrios ecosistémicos Pérdida de especies endémicas Erosión Contaminación Sobrepastoreo	Capacidad de abastecimiento

Esto evidenció la disminución de la calidad de los servicios ecosistémicos como el agua, el cual conllevó a nuevos patrones culturales y prácticas que atomizaron el imaginario sobre el uso del recurso, destinado a labores de la piscicultura y el

monocultivo de la cebolla. Segundo, la variabilidad climática, la cual afectó los regímenes de lluvia y precipitación, cambiando formas históricas de siembra y el cultivo como lo relata Doña María Mercedes: “Las épocas de lluvia

históricamente inician en febrero y a terminan en mayo, pero en los últimos años las épocas de sequía junto a los fuertes vientos y nevadas, han aumentado considerablemente". (Grupo de Investigación, 2021c).

Otro de los factores identificados se asoció con la sobreexplotación del suelo, cuya acción se relaciona de forma importante en toda la investigación, particularmente, en la expansión de la frontera agrícola para los monocultivos, las actividades turísticas, los criaderos de trucha, y los excedentes de fertilizantes y agroquímicos vertidos en el área de influencia, los cuales reducen sustancialmente la capacidad de nutrientes, su retención y aumentan el grado de perturbaciones en la cubierta del suelo (Sanabria, 2019).

Con todo los procesos de restauración ecológica desarrollados en el área fue un escenario que permitió la integración del conocimiento local territorial, la inclusión de saberes ecológicos y prácticas que visibilizaron las relaciones de producción social de una cultura apostada al recurso agua, el conflicto de tierra y la comprensión de unos factores tensionantes que expresan la multidimensionalidad del territorio, y la necesaria vinculación de las relaciones sociales y biofísicos en sus escalas temporales y espaciales (Galvis *et al.*, 2020; Rodríguez *et al.*, 2021).

En esa línea, la participación comunitaria con enfoque territorial, representan estrategias metodológicas que pueden extrapolarse a otros procesos de conservación, planificación y gestión de los recursos naturales, entendiendo que se trata de un proceso político, cultural y diverso en sus formas y expresiones, y del cual se desprenden formas múltiples de conocimiento ecológico, campesino, y herramientas que contribuyen a lecturas del contexto natural, inmaterial, y los factores directos e indirectos comprometidos en la estabilidad ambiental de los ecosistemas y del área de influencia del lago de Tota (Vargas y Mora, 2007).

6. Discusión

La participación comunitaria adquiere desafíos cada vez más complejos. La experiencia

restaurativa refleja que la naturaleza de los problemas ambientales es implacable frente a las posibilidades de los territorios y su capacidad resiliente. La participación activa de las comunidades ha demostrado no sólo mejores respuestas a la luz de su vinculación como gestores estratégicos de los procesos restaurativos, sino que son precisamente las comunidades y aquellos conocimientos campesinos ecológicos tradicionales, los llamados a reconocerse como parte de los caminos metodológicos a retomarse en un entramado más amplio.

La transformación acelerada de los ecosistemas sigue siendo un asunto no menor. Los datos relevan que buena parte de los ecosistemas en el territorio nacional, se encuentran en estado de alarma dada su fragilidad y la continua exposición a innumerables actividades que inciden en su sustentabilidad y provisión (Solorza-Bejarano, 2018). Las estrategias institucionales y políticas, si bien han respondido a una revalorización de la naturaleza y sus servicios ecosistémicos, la reglamentación presente es todavía vulnerable frente a las realidades de la oferta ambiental y los procesos asociados a la alteración de su estructura ecológica.

Acciones, planes y estrategias restaurativas, sin el reconocimiento ampliado de los legados cultural-ecosistémico de las comunidades locales, disminuyen las probabilidades de éxito. Según Hernández y Ramos (2023), la dimensión social no es un aspecto relevante de los estudios restaurativos. Se estima que solo del 20 a 30% de las publicaciones a escala global la incluyen, y por tanto, se requiere de un esfuerzo mayor de la promoción e incorporación de una visión socioecológica del territorio.

Los procesos restaurativos continúan a escala planetaria, y sus abordajes interdisciplinarios, multidimensionales son cada vez más prácticos y utilitarios. Dentro de las tendencias actuales, la gobernanza ambiental y multinivel, muestra nuevos caminos a la luz de las prioridades de análisis, donde los alcances de las estrategias restaurativas son en esencia territoriales, al comprender que las afectaciones a los

ecosistemas son más culturales que naturales, y las medidas o estrategias adaptativas deben enfocarse a la prevención más que a la intervención según las necesidades inmediatas (Ballari *et al.*, 2020; Zuleta *et al.*, 2020).

En este sentido, las redes de restauración (RE) advierten vacíos y omisiones en materia de política pública, de hecho, se considera que muchas de ellas, si bien trascendentales para los procesos adaptativos de cambio climático global, responden a luchas del poder local y regional. Es así como las herramientas de gestión implican fuentes de financiamiento, líneas de trabajo asistidas, adaptativas, y otras emergentes, que incluyan el conocimiento de los conflictos territoriales, la tenencia de la tierra, hábitos de consumo, la convergencia interinstitucional, prácticas no perjudiciales, y la participación comunitaria como uno de los principales retos activos (Méndez-Toribio *et al.*, 2017; Gómez-Ruiz y Lindig-Cisneros, 2017; Pérez *et al.*, 2018; Moreno-Casasola *et al.*, 2022).

En las revisiones hechas por Méndez-Toribio *et al.*, (2017); Hernández y Ramos, (2023), persiste igualmente, el énfasis sobre la necesidad de aumentar la participación social, más allá de sus fases y protocolos, a escenarios realmente vinculantes en el que exista un abordaje más integral de la restauración, hacia perspectivas de carácter socio-ecológico y territoriales, luego que no sólo se trata de áreas degradadas, perturbadas, sino de sistemas naturales y humanos, patrones culturales y sus relaciones, poco entendidas en los procesos de restauración (Kibler *et al.*, 2018).

Si bien en la actualidad los procesos restaurativos combinan diferentes enfoques, técnicas, instrumentos y estrategias, continúa las críticas, especialmente, por adolecer de un compromiso de largo aliento, luego que no se abordan las desigualdades históricas y geográficas de las comunidades, se siguen perpetuando los legados de explotación, no hay un búsqueda de bienestar individual y comunitario, y no se tiene en cuenta sus contextos territoriales, ni conocimientos ecológicos, como escenarios que concitan una verdadera mirada de las realidades y de sus

habitantes (Sigman y Elías, 2021; Méndez-Toribio, 2021).

Ahora bien, ¿cómo la perspectiva territorial contribuye a marcos socio-ecológicamente sostenibles? Llama la atención, que la priorización funcional y ecosistémica, por sí misma, centra todo el protocolo de los proyectos restaurativos, dejando de lado, algunos elementos culturales locales, como sí los sistemas naturales fueran interdependientes o entidades separadas de las relaciones temporales, locales, regionales y globales del sistema social (Urquiza y Cárdenas, 2015).

Considerar los significados del territorio, las identidades, los servicios culturales, variables cognitivas y emocionales está siendo cada vez más utilizado en la agenda investigativa actual. Sin embargo, no son amplias las revisiones documentales y los trabajos frente a la relevancia del lugar, sus significados y las relaciones socioecológicas y como estas crean relaciones y experiencias con mayor sentido ambiental y de conservación (Broto *et al.*, 2010; Masterson *et al.*, 2017).

Metodológicamente, las publicaciones si bien ofrece una relación sistemática de técnicas o instrumentos (entrevistas, encuestas, test, formularios), aparece otro gran acervo cualitativo, como las narrativas bioculturales, el análisis de discurso, la selección de macrotemas, lecturas psicosociales y las representaciones sociales hacia una ecología política de la diferencia (Escobar, 2010; Gibson, 2015; Ramírez y Pedraza, 2022).

Finalmente, como advierte Biddau *et al.*, (2023: 4), "*se requiere de una mayor participación de las ciencias sociales y las humanidades para comprender mejor cómo las relaciones entre las personas y los lugares influyen en los procesos socioecológicos y viceversa*". Sin duda, un abordaje más sensitivo de la dimensión humana y de su perspectiva territorial, inspira el trabajo comunitario y el aprendizaje colectivo al fortalecer las miradas ambientales, político-institucional, y los intereses comunes, al evaluar las capacidades locales, como las oportunidades que puedan desarrollarse a partir de los arreglos o negociaciones que puedan llevarse a

escenarios más deseables, contribuyendo así, a maximizar la toma de decisiones, como los beneficios ecosistémicos y servicios culturales, en muchos casos desconocidos (González-Molina, *et al.*, 2022).

De acuerdo con Escobar (2010), es necesario una perspectiva eco-sistémica que incluya las voces del territorio y el respeto por la diversidad de pensamiento cultural de otros. Su construcción puede darse solo desde la autonomía de las comunidades, su vitalidad cotidiana, y la reivindicación del lugar como producto de las territorialidades diferenciadas y como una opción para co-crear nuevos metabolismos socioecológicos fundamentados en el conocimiento campesino y sus localidades habitadas (Quintas-Soriano *et al.*, 2022). Las reservas naturales, ocupan claramente ese lugar diferenciado y no sólo por tratarse de sus particularidades ecosistémicas, sino por sus valores culturales ecosistémicos que pueden estar implícitos en la inmaterialidad de sus relaciones sociales y paisajes.

En el caso de la Reserva Natural Xieti y la comunidad de Guáquira, cuenta con un sentido profundo por su labor campesina. El lago de Tota es una fuente de su identidad al referir inextricablemente unos modos de vida, un valor territorial y natural que se reafirma en su sentido de pertenencia y arraigo por el lugar. Se puede resaltar los valores culturales en cuanto a métodos de propagación, el conocimiento en sistemas agroforestales, el control de plagas y el intercale de cultivos para evitar problemas fitosanitarios; el corte manual, la selección de semillas, y especies para condiciones específicas de luz (Perring *et al.*, 2015; Ceccon, 2022).

Para autores como Moreno-Casasola *et al.*, (2022), dichas estrategias, puede reflejar ensambles inherentes al ecosistema y proporcionar bienes y servicios que las comunidades no valoran; por eso se hace mayor énfasis en la integralidad ecológica y en menor medida, en devolver las condiciones históricas previas (McDonald *et al.*, 2016).

No cabe duda entonces, que implementar alguna estrategia restaurativa, implica posicionar a cada uno de los actores presentes en el

territorio; metodológicamente es una de las tareas más complejas, luego que no se incluye una comprensión clara del contexto social-territorial y cultural, y de los aportes contribuidos finalmente. Lo que ha supuesto un mayor énfasis en las funciones ecológicas, descuidando valores y acervos culturales que suman al proceso (Keenleyside *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2020).

Cada una de estas premisas permite considerar que los procesos restaurativos más allá de las técnicas o diseños establecidos para el ecosistema de referencia, deben incorporar las percepciones y las prácticas culturales, como parte de las estrategias de manejo, pues se trata de promover canales permanentes, duraderos y significativos que faciliten aprendizajes colectivos y, por consiguiente, mejores resultados tratando de reducir o mejorar los conflictos, modificando las relaciones e interacciones que se tienen con los entornos naturales, y enriquecer la perspectiva humanística de la restauración y sus beneficios (Ceccon *et al.*, 2020).

7. Conclusiones

La adopción de enfoques con perspectiva territorial es hoy una prioridad. La restauración es un campo que requiere abordajes interdisciplinarios y multiescalares, pero, sobre todo, vistos desde la multidimensionalidad de los territorios y sus interrelaciones naturales. Se requiere la construcción de vínculos conceptuales con las ciencias sociales y avenidas metodológicas participativas que multipliquen las miradas sobre los factores que amenazan la biodiversidad y sus estructuras socioecológicas.

La dimensión humana, y la perspectiva territorial es una clara agenda investigativa en esta materia. Vincular la participación comunitaria de forma duradera, no solo ha demostrado respuestas más efectivas a la sostenibilidad de los territorios y sus dinámicas naturales, sino que fortalece el sentido de pertenencia por el sistema natural y el lugar, en cuanto al compromiso de las acciones colectivas ambientales, como por los aspectos simbólicos e inmateriales que se movilizan a partir del arraigo y la defensa por los valores culturales y naturales que connota.

Si bien las estrategias restaurativas se dirigen a la trayectoria histórica de referencia de los componentes ecológicos y disturbados, es necesario preguntarse también por la trayectoria y la base socio-ecológica del territorio. Esto es, patrones culturales-locales, conflictos territoriales, la tenencia histórica de tierra, los factores tensionantes, y la poca o nula convergencia interinstitucional, componentes que deben ser evaluados en sus espacialidades e intereses y micropolíticas, luego que construyen otro tipo de narrativas que, pueden coincidir con los impactos esperados de las estrategias, como generar resultados y valores culturales no esperados, no materializados y hasta estigmatizados por la poca relevancia, pero que pueden beneficiar al ecosistema, y su capacidad de resiliencia.

La prevalencia de las estrategias no puede desarrollarse solo sobre del valor ecosistémico, porque descuida esos otros lenguajes, y la misma naturaleza social y política de las áreas, sus territorialidades, tiempos y espacialidades que también son parte fundamental de la evaluación de los procesos restaurativos, toda vez que existen tensiones y luchas, singularidades, condiciones socio-ecológicas que persisten, y permanecen. Explorar campos más profundos sobre la identidad, los significados territoriales, el sentido de pertenencia del lugar, puede movilizar acciones conductuales y perceptivas que estimulen cambios que amenazan la biodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas. Es necesario reavivar las relaciones con las ciencias sociales, las humanidades, que permitan adoptar enfoques socioecológicos

locales y del lugar, luego que amplían otras dimensiones de la restauración, dinamizan las investigaciones, y promueven un activismo comunitario.

Precisamente esta investigación muestra que, adoptar un enfoque territorial, cultural y participativo contribuye a lecturas más profundas de los procesos restaurativos, en términos de los conocimientos campesinos que incorporan otra visión del contexto, del lugar y de los tiempos ecosistémicos que deben darse a los procesos. El diálogo de saberes favoreció la construcción de una memoria histórica y colectiva local, y desde la cual se pudieron reconocer acciones priorizantes frente al uso del suelo, el manejo del recurso hídrico, y sus relaciones económicas y productivas, como a la mitigación de prácticas detrimentales.

En consecuencia, se trata de una comunidad campesina, que construye sus territorialidades y memorias colectivas través de la vida en el campo, desde los liderazgos de la reserva natural, y en interacción con el lago de Tota. Fuente que colige no sólo relaciones de producción materiales e inmateriales, sino desde la cual, se crean y recrean los imaginarios geográficos, las relaciones institucionales, las representaciones sociales y los lenguajes políticos que son finalmente, expresión de un paisaje cultural que actualmente es escenario de tensiones y formas de apropiación diferenciada del territorio, en el que las prácticas agrícolas, las actividades turísticas, y los usos del suelo confluyen en un disputa de intereses, construcciones sociales y simbólicas del territorio.

8. Nota

Esta investigación es el resultado del proyecto "Estrategias de restauración ecológica en bosque altoandino, vereda Guáquira municipio de Tota" En el marco de la convocatoria de fortalecimiento 03 de la dirección de Investigaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) en el año 2021-2022. Código SGI 3088.

9. Referencias citadas

ABUD H., M. y A. M.TORRES, G. 2016. "Caracterización florística de un bosque alto andino en el parque nacional natural Puracé, Cauca, Colombia". *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 20(1): 27-39. Disponible en: <https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.1.3>.

- AICCA. 2020. *Cartilla: La cuenca del Lago de Tota y su estructura ecológica*. Bogotá D.C, Colombia. Disponible en: <https://condesan.org/recursos/cartilla-la-cuenca-del-lago-tota-estructura-ecologica/>.
- AGUILAR-CORREA, C.; VALENCIA-FUENTES, C.; HUENTEMILLA-REBOLLEDO, M.; VALDERRAMA-GONZÁLEZ, D.; ROJAS-CORREA, Á.; MÉNDEZ-CONTRERAS, M. y C. TAPIA-HERNÁNDEZ. 2019. "Percepción sobre servicios ecosistémicos culturales asociados al bosque nativo por parte de un grupo universitario de estudiantes de pedagogía". *Revista Electrónica Educare*, 23(3): 378-401.
- BAUTISTA, A.; PEDRAZA, Y. y F. DÍAS. 2021. "Reconocimiento de los saberes campesinos a través del mapeo comunitario". *Cuadernos Geográficos*, 60(2): 297-313 Disponible en: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i2.9647>.
- BIDDAU, F.; D'ORIA, E. & S. BRONDI. 2023. "Coping with territorial stigma and devalued identities: How do social representations of an environmentally degraded place affect identity and agency?" *Sustainability*, 15(3): 26-86. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su15032686>.
- BALLARI, S.; C. ROULIER, E.; NIELSEN, C.; PIZARRO & C. ANDERSON. 2020. "A review of ecological restoration research in the global south and north to promote knowledge dialogue". *Conservation & Society*, 18(3): 298-310. Disponible en: https://doi.org/10.4103/cs.cs_19_91.
- BAKER, S. & K. ECKERBERG. 2013. "A policy analysis perspective on ecological restoration". *Ecology and Society*, 18(2): 17. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05476-180217>.
- BROTO, V. C.; BURNINGHAM, K.; CARTER, C. & L. ELGHALI. 2010. "Stigma and attachment: Performance of identity in an environmentally degraded place". *Soc. Nat. Resour*, 23: 952-968. Disponible en: [Doi 10.1080/08941920802705776](https://doi.org/10.1080/08941920802705776).
- CAVELIER, J. y C. SANTOS. 1999. "Efectos de plantaciones abandonadas de especies exóticas y nativas sobre la regeneración natural de un bosque montano en Colombia". *Revista de Biología Tropical*, 47(4): 775-784. Disponible en: <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/19234/19304>.
- CECCON, E.; MÉNDEZ-TORIBIO, M. & C. MARTÍNEZ-GARZA. 2020. "Social participation in forest restoration projects: Insights from a National Assessment in Mexico". *Human Ecology*, 48(5): 609-617.
- CECCON, E. 2022. "La dimensión social en la restauración ecológica: un reto y una posible solución a la crisis socioecológica". *Boletín de la Sociedad Científica Mexicana de Ecología*, 2(1): 34-40. Disponible en: <https://scme.mx/boletin-de-la-scme/>.
- CERÓN H. A.; FERNÁNDEZ, G.; FIGUEROA, A. e I. RESTREPO. 2020. "El Enfoque de Sistemas Socioecológicos en las Ciencias Ambientales". *Investigación & Desarrollo*, 27(2): 85-109. Disponible en: <https://doi.org/10.14482/indes.27.2.301>.

- ESCOBAR, A. 2010. *Territorios de diferencia: lugar, movimientos, vida, redes*. Departamento de Antropología. Universidad de Carolina del Norte, Chapel Hill. Enviñon Editores. Popayán, Colombia. Disponible en: <https://www.ram-wan.net/restrepo/documentos/Territorios.pdf>.
- FRIETSCH, M.; LOOS, J.; LÖHR, K.; SIEBER, S y J. FISCHER 2023. "Garantizando el futuro de la restauración de ecosistemas mediante el aumento de la capacidad de adaptación". *Commun Biol*, 6(377): 1-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04736-y>.
- GALVIS, M.; MORA, A. y O. VARGAS. 2020. *Sucesión y restauración ecológica en claros experimentales de plantaciones de Cupressus lusitanica* (Mill). Editorial UPTC. Colombia. Disponible en: <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3944>.
- GIBSON, S. 2015. "De las representaciones a la representación: sobre representaciones sociales y psicología discursiva-retórica". En: G. SAMMUT; E. ANDREOULI; G. GASKELL & J. VALSINER (Eds.), *The Cambridge Handbook of Social Representations*, pp. 210-223. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido.
- GONZÁLEZ-MOLINA, H. Z.; TRILLERAS, J. M.; PYSZCZEK, O. L. y L. P. ROMERO-DUQUE. 2022. "Restauración ecológica participativa y servicios ecosistémicos culturales: una relación necesaria". *Acta Botánica Mexicana*, 129: e1929. Disponible en: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1929>.
- GÓMEZ-RUIZ, P. y R. LINDIG-CISNEROS. 2017. "La restauración ecológica clásica y los retos de la actualidad: La migración asistida como estrategia de adaptación al cambio climático". *Revista De Ciencias Ambientales*, 51(2): 31-51. Disponible en: <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.2>.
- GRUPOS DE INVESTIGACIÓN. 2021a. *Entrevista Víctor Trujillo*. Vereda Guaquira. Municipio de Tota. Departamento de Boyacá, Colombia.
- GRUPOS DE INVESTIGACIÓN. 2021b. *Entrevista Fredy Cepeda*. Vereda Guaquira. Municipio de Tota. Departamento de Boyacá, Colombia.
- GRUPOS DE INVESTIGACIÓN. 2021c. *Entrevista María Mercedes Riaño*. Vereda Guaquira. Municipio de Tota.
- HARVEY, D. 1996. *Justicia, naturaleza, y la geografía de la diferencia*. Instituto de Altos Estudios Nacionales del Ecuador (IAEN). Ecuador Disponible en: https://traficantes.net/sites/default/files/pdfs/PC18_Harvey_web.pdf.
- HERNÁNDEZ, R. C. y P. A. RAMOS. 2023. "La restauración socioecológica: potencialidades del uso del enfoque de los sistemas socioecológicos y el marco analítico de sistemas de innovación social". *Ecología Austral*, 33(3): 839-851. Disponible en: <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.3.0.2113>.

- JARAMILLO-GARCÍA, F.; RODRÍGUEZ-SOSA, N.; SALAZAR-SALAZAR, M.; HURTADO-MONTAÑO, A. y M. RONDÓN-LAGOS. 2020. "Contaminación del lago de Tota y modelos biológicos para estudios de Genotoxicidad". *Ciencia en Desarrollo*, 11(2): 65-83. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/012>.
- JIMÉNEZ, D. 2019. *Geo-grafías comunitarias. Mapeo Comunitario y Cartografías Sociales: procesos creativos, pedagógicos, de intervención y acompañamiento comunitario para la gestión social de los territorios*. Edición corregida y aumentada. Camidabit-Los Paseantes, Sierra del Tentzon. Puebla, México.
- JOAQUI-DAZA, S. y A. FIGUEROA. 2014. "Factores que determinan la resiliencia socio-ecológica para la alta montaña andina". *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25): 45-55. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/750/75039185003.pdf>.
- KIBLER, K. M.; COOK, G.; CHAMBERS, L. G.; DONNELLY, M.; HAWTHORNE, T. L.; RIVERA, F. & L. WALTERS. 2018. "Integrating sense of place into ecosystem restoration a novel approach to achieve synergistic social-ecological impact". *Ecology and Society* 23(4): 25. Disponible en: [Doi.org/10.5751/ES-10542-230425](https://doi.org/10.5751/ES-10542-230425).
- KEENLEYSIDE, K.; DUDLEY, N.; CAIRNS, S.; HALL, C. y S. STOLTON. 2014. *Restauración ecológica para áreas protegidas: principios, directrices y buenas prácticas*. Gland, 54 Switzerland: IUCN. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/PAG018-Es.pdf>.
- LEE, J.-H.; PARK, H.-J.; KIM, I. & H. KWON. 2020. "Analysis of cultural ecosystem services using text mining of residents' opinions". *Ecological Indicators*, 115: 106368. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106368>.
- MASTERSON, V. A; STEDMAN, S.; ENQVIST, J.; TENGÖ, M.; GIUSTI, M.; D. WAHL y U. SVEDIN. 2017. "La contribución del sentido de lugar a la investigación de sistemas socioecológicos: una revisión y una agenda de investigación". *Ecología y Sociedad* 22(1): 49. Disponible en: <https://doi.org/10.5751/ES-08872-220149>.
- MIRANDA, L. 2013. "Cultura ambiental: un estudio desde las dimensiones de valor, creencias, actitudes y comportamientos ambientales". *Producción + Limpia*, 8(2): 94-105. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/>.
- MURCIA, C. y M. R. GUARIGUATA. 2014. *La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades*. Disponible en: <https://doi.org/10.17528/cifor/004519>.
- MCDONALD, T.; JONSON, J. & K. W. DIXON. 2016. "National standards for the practice of ecological restoration in Australia". *Restor Ecol*, 24: S4-S32. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/rec.12359>.
- MÉNDEZ-TORIBIO, M.; MARTÍNEZ-GARZA, C.; GUARIGUATA, M.R. & E. CECCON. 2017. "Los planes de restauración de Latinoamérica: avances y omisiones". *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2): 1-30. Disponible en: <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.1>.

- MÉNDEZ-TORIBIO, M.; MARTÍNEZ-GARZA, C. y E. CECCON. 2021. "Desafíos durante las fases de ejecución, resultados y monitoreo de la restauración ecológica: Aprendiendo de una evaluación a nivel de país". *PLoS ONE*, 16(4): e0249573. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249573>.
- MOORE, E.; HOWSON, P. & M. GRAINGER. 2022. "The role of participatory scenarios in ecological restoration: a systematic map protocol". *Environ Evid*, 11: 23. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13750-022-00276-w>.
- MORA, J. 2008. "Persistencia, conocimiento local y estrategias de vida en sociedades campesinas". *Revista de Estudios Sociales*, (29): 122-133. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/res/n29/n29a08.pdf>.
- MONTAÑEZ, G. 2016. "Territorios para la paz en Colombia: procesos entre la vida y el capital". *Bitácora Urbano Territorial*, 26(2): 11-28. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/bitacora.v26n2.59298>.
- MORENO-CASASOLA, P. 2022. "The challenge of participatory restoration in rural areas. Botanical Sciences". 100(Special): S218-S244. Disponible en: <https://doi.org/10.17129/botsci.3149>.
- NOGUÉ J. 2015. "Sentido del lugar, paisaje y conflicto". *Geopolítica(s). Revista de estudios sobre espacio y poder*, 5(2): 155-163. Disponible en: https://doi.org/10.5209/rev_GEOP.2014.v5.n2.48842.
- PÉREZ, D.; MELI, P.; RENISON, D.; BARRI, F.; BEIDER, A.; BURGUEÑO, G.; y R. TORRES. 2018. "La Red de Restauración Ecológica de la Argentina (REA): Avances, vacíos y rumbo a seguir". *Ecología austral*, 28(2): 353-360. Disponible en: <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.2.0.659>.
- PALOMINO, M.; VICTORIA, C.; VINASCO, M.; MONTENEGRO, S.; FORERO, V.; VALDERRAMA, C. y S. BARRERA. 2019. "Los servicios ecosistémicos culturales". En: S. MONTENEGRO y J. OSORIO (Eds.), *Servicios ecosistémicos: un enfoque introductorio con experiencias del occidente colombiano*, pp. 236-250. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Disponible en: <https://libros.unad.edu.co/index.php/selloeditorial/catalog/view/122/118/757>.
- PERRING, M. P.; STANDISH, R. J.; PRICE, J. N.; CRAIG, M. D.; ERICKSON, T. E.; RUTHROF, K. X.; WHITELEY, A. S.; VALENTINE, L. E. & R. J. HOBBS. 2015. "Advances in restoration ecology: Rising to the challenges of the coming decades". *Ecosphere*, 6(8): 1-25 Disponible en: <https://doi.org/10.1890/ES15-00121.1>.
- PUEYO-ROS, J. 2018. "Serveis ecosistèmics, valors del paisatge i sostenibilitat cultural en projectes de restauració ecològica". *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 64(2): 291-311. Disponible en: <https://doi.org/10.5565/rev/dag.433>.
- QUINTAS-SORIANO, C.; BRANDT, J. y C. V. BAXTER. 2022. "Un marco para evaluar las trayectorias de acoplamiento y desacoplamiento en sistemas socioecológicos fluviales". *Sustain Sci*, 17: 121-134. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01048-0>.

- RAMÍREZ, J. F. e Y. PEDRAZA-JIMÉNEZ. 2022. "Representaciones sociales sobre educación ambiental desde un contexto rural". *Praxis & Saber*, 13(34): e13936. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/22160159.v13.n34.2022.13936>.
- RODRÍGUEZ, K. J.; HERRERA, C. A. y F. E. MARTÍNEZ. 2021. "Entre conservar y producir. La relación sociedad-naturaleza y los conflictos socioecológicos en el lago de Tota, Boyacá, Colombia". *Región y sociedad*, 33: e1419. Disponible en: DOI: [10.22198/rys2021/33/1419](https://doi.org/10.22198/rys2021/33/1419).
- SANTACOLOMA-VARÓN, L. E. 2015. "Importancia de la economía campesina en los contextos contemporáneos: una mirada al caso colombiano". *Entramado*, 11(2): 38-50. Disponible en: <https://doi.org/10.18041/entramado.2015v11n2.22210>.
- SANABRIA, L. 2019. *Factores causantes de deterioro del Lago de Tota, asociados con actividad agroindustrial. Una revisión bibliográfica*. Universidad Colegio Mayor De Cundinamarca. Facultad De Ciencias De La Salud. Trabajo Especial de Grado. Disponible en: <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/>.
- SIGMAN, E & M. ELIAS. 2021. "Three Approaches to Restoration and Their Implications for Social Inclusion". *Ecological Restoration*, 39(1-2): 27-35. Disponible en: <https://doi.org/10.3368/er.39.1-2.27>.
- SILVA, E.; DERAK, M.; CLIMENT-GIL, E.; ALEDO, A.; BONET, A.; LÓPEZ, G. y J. CORTINA-SEGARRA. 2021. "Planificación participativa de la restauración ecológica en un paisaje semiárido altamente antropizado". *Ecosistemas*, 30(3): 2.266. Disponible en: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2266>.
- SLETTTO, B.; BRYAN, J.; TORRADO, M.; HALE, C. y D. BARRY. 2013. "Territorialidad, mapeo participativo y política sobre los recursos naturales: la experiencia de América Latina". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 22(13): 193-209. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v22n2.37014>.
- SOLORZA-BEJARANO, J. 2018. (Ed). *Ecología y cambio climático en ecosistemas de alta montaña en Colombia*. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Alcaldía de Bogotá. Disponible en: <https://jbb.gov.co/>.
- TURBAY, S.; MALDONADO, C.; MONTALVO, E.; VELÁSQUEZ, H. y J. C. PERDOMO. 2013. "Lecciones de una experiencia de restauración ecológica en el Parque Nacional Natural Las Orquídeas, Colombia". *Gestión y Ambiente*, 16(1): 5-16. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/37189>.
- TOLEDO, V. M. 2013. "El paradigma biocultural: crisis ecológica, modernidad y culturas tradicionales". *Sociedad y Ambiente*, 1(1): 50-60.
- TOLEDO, V. M.; BARRERA-BASSOLS, N. y E. BOEGE. 2019. *¿Qué es la diversidad biocultural*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México.

- URQUIZA, A. y H. CADENAS. 2015. "Sistemas socio-ecológicos: elementos teóricos y conceptuales para la discusión en torno a vulnerabilidad hídrica". *ORDA, L'Ordinaire des Amériques*, (218). Disponible en: <https://journals.openedition.org/orda/1774>.
- VÁZQUEZ-GARCÍA, A.; ORTIZ-TORRES, E.; ZÁRATE-TEMOLTZI, F. e I. CARRANZA-CERDA. 2013. "La construcción social de la identidad campesina en dos localidades del Municipio de Tlaxco, Tlaxcala, México". *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 10(1): 01-21. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/>.
- VARGAS, O. y F. MORA. 2007. "La restauración ecológica. Su contexto, definiciones y dimensiones". En: *Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino*, pp. 19-40. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- WANUMEN, A. 2018. *Dinámica de la cobertura del suelo y percepción del recurso hídrico en la cuenca del lago de Tota*. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Trabajo de Grado (Maestría en Manejo, Uso y Conservación del Bosque). Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13181>.
- ZULETA, G. A.; HAMERLYNCK, O.; LIU, J.; MORALES, N.; DORADO, A.; ROVERE, E.; ESPINOZA-MENDOZA, V. E. ; M. FERNÁNDEZ C. 2020. "Gobernanza de la restauración ecológica a distintas escalas: global, regional, sub-nacional". En: ORTÍN VUJOVICH (Eds.), *Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina*. Argentina.

Lugar y fecha de finalización del artículo:

Tunja-Colombia; diciembre, 2024

Revisión: mayo, 2025

Competitividad en empresas rurales de México. Caso de la industria de ónix y mármol, estado de Puebla, municipio de Tecali de Herrera

Competitividade em empresas rurais no México.
Caso da indústria de ónix e mármore, estado de Puebla, município de Tecali de Herrera

Competitiveness in rural enterprises in Mexico.
Case of the onyx and marble industry, Puebla State, Tecali de Herrera Municipality

Abdiel Menchaca Aguilar¹, José Pedro Juárez-Sánchez¹, Benito Ramírez-Valverde¹,
Ángel Bustamante-González¹ y Gustavo Ramírez Valverde²

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Santiago Momoxpan, municipio de San Pedro Cholula, México

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, municipio de Texcoco, estado de México, México

men.abdiel@gmail.com; pjuarez@colpos.mx; bramirez@colpos.mx; angelb@colpos.mx;
gramirez@colpos.mx

Menchaca: <https://orcid.org/0000-0003-4335-0580>

Juárez: <https://orcid.org/0000-0001-8417-1752>

B. Ramírez: <https://orcid.org/0000-0003-2482-5667>

Bustamante: <https://orcid.org/0000-0002-0727-9505>

G. Ramírez: <https://orcid.org/0000-0003-3466-991X>

Resumen

La minería es clave en la economía de México por su aporte al PIB y generación de empleos, destacando sus productos no metálicos, elaborados en pequeños talleres con baja tecnología. Este estudio tuvo por objetivo evaluar la competitividad de talleres artesanales de mármol y ónix en Tecali de Herrera, Puebla. Se usó el método deductivo, tomando como unidad de análisis los talleres de manufactura. Los resultados muestran que la competitividad fue baja (28,7), muy similar entre artesanos pluriactivos (28,4) y no pluriactivos (28,9). Los talleres pequeños (25,9) fueron menos competitivos que los grandes (80,1). La relación beneficio/costo (RB/C) reflejó esta tendencia, con mayor rentabilidad en talleres grandes. Se concluye que la competitividad limitada se debe a restricciones tecnológicas y económicas. Sin embargo, la pluriactividad no afecta la competitividad, y el sector presenta ventajas comparativas y competitivas que pueden ser aprovechadas para mejorar su desempeño.

PALABRAS CLAVE: artesanía; empresa familiar; innovación; pluriactividad; recursos productivos.

Resumo

A mineração é fundamental para a economia do México devido à sua contribuição para o PIB e à geração de empregos, destacando-se os produtos não metálicos, produzidos em pequenos ateliês com baixa tecnologia. Este estudo teve como objetivo avaliar a competitividade de ateliês artesanais de mármore e ónix em Tecali de Herrera, Puebla. Utilizou-se o método dedutivo, tendo como unidade de análise os ateliês de manufatura. Os resultados mostram que a competitividade foi baixa (28,7), muito semelhante entre artesãos pluriativos (28,4) e não pluriativos (28,9). As pequenas oficinas (25,9) eram menos competitivas que as grandes oficinas (80,1). A relação benefício/custo (RB/C) refletiu essa tendência, com maior rentabilidade nos ateliês maiores. Conclui-se que a competitividade limitada se deve a restrições tecnológicas e econômicas. No entanto, a pluriatividade não afeta a competitividade, e o setor apresenta vantagens comparativas e competitivas que podem ser aproveitadas para melhorar seu desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: artesanato; empresa familiar; inovação; pluriatividade; recursos produtivos.

Abstract

Mining is essential to Mexico's economy due to its contribution to GDP and job creation, with non-metallic products standing out, produced in small workshops with low technology. This study aimed to evaluate the competitiveness of artisanal marble and onyx workshops in Tecali de Herrera, Puebla. The deductive method was used, with manufacturing workshops as the unit of analysis. The results show that competitiveness was low (28,7), very similar between pluriactive (28,4) and non-pluriactive (28,9) artisans. Small workshops (25,9) were less competitive than large ones (80,1). The benefit-cost ratio (BCR) reflected this trend, showing higher profitability in larger workshops. It is concluded that limited competitiveness stems from technological and economic constraints. However, pluriactivity does not affect competitiveness, and the sector has comparative and competitive advantages that can be leveraged to improve its performance.

KEYWORDS: crafts; family business; innovation; pluriactivity; productive resources.

1. Introducción

En el sector minero existe una gran diversidad de productos que se derivan de su transformación como piedras preciosas, semipreciosas, materiales industriales y decorativas. En el mundo existen 130.000 empresas de carácter industrial, de las cuales, 2.000 son de carbón mineral, metales preciosos y diamantes, acaparando el 90% del valor total de la producción (Parejo y Parejo, 2012). El 70% de los productos minerales se distribuye en China, Turquía, India, Japón, Corea, Indonesia, Australia, Rusia, Estados Unidos, Canadá, Perú, Bolivia, Chile, Brasil y México (Concha, 2017). La extracción y procesamiento de estos materiales contribuyen a la economía mundial con el 11,5% del Producto Interno Bruto (PIB) y emplea a 30 millones de personas [Organización Internacional del Trabajo (OIT), 2015]. Su contribución a la generación de puestos laborales en cada país depende de su estructura económica y del tamaño de la minería a gran escala, en comparación con otras actividades económicas (Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible, 2023). A escala mundial en 2022, la industria de minerales metálicos, su crecimiento fue de 1.8% y los no metálicos tuvieron un decremento de 1.3% [Cámara Minera de México (CAMIMEX), 2023].

En México, en el año 2022, el sector minero-metalúrgico representó el 8,6% del PIB Industrial y el 2,4% del PIB Nacional. El 80,7% del valor de la producción se concentra en el oro (32%), cobre (22,3%), plata (17,3%) y zinc (9,1%). En ese año, empleó directamente a 417.380 personas (CAMIMEX, 2023). Las minas con mayor capitalización representan el 4% de las unidades económicas del subsector, concentran el 69,2% del personal ocupado y el 87% de la Producción Bruta Total-PBT [Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2019]. Estas se caracterizan por emplear maquinaria de última generación, capital financiero extranjero y una amplia integración a los mercados internacionales (Concha, 2017).

En relación a la explotación de los minerales no metálicos, existen 2.563 unidades que se dedican principalmente a la extracción de materiales para la construcción y rocas de

granito, mármoles, toba y ónix. En cuanto a su tamaño, el 7,3% son empresas medianas, emplean al 17,8% del personal y contribuyen con el 10% de la PBT. Las pequeñas representan el 17,7%, concentran, el 8,3% del personal y participan con el 2,3% de la PBT; y las micro tienen mayor presencia (70,9%), generan menor empleo (4,8%) y contribuyen con el 0,7% del PBT (INEGI, 2021). Las pequeñas y microempresas se caracterizan por producir a baja escala, emplean mano de obra familiar y el empleo es precario e informal. También utilizan instrumentos de trabajo rudimentarios y escasamente participan en los mercados internacionales [Organización Internacional del Trabajo (OIT), 2015].

La problemática a la que se enfrenta este tipo de empresas mineras, dificulta y frena su competitividad y rentabilidad. Se bosqueja la hipótesis que los talleres productores de artesanías de ónix y mármol, laboran con baja rentabilidad y competitividad a causa de su bajo nivel tecnológico, altos costos de producción, esquemas inconvenientes de ventas y diseño de los productos. El objetivo de la investigación fue evaluar el grado de competitividad de los talleres artesanos de ónix y mármol del municipio de Tecali de Herrera, Puebla.

1.1 Aspectos cualitativos y cuantitativos de la competitividad

El mármol travertino y ónix tomaron gran interés debido a su alta demanda y por la expansión de las ciudades en diversas regiones de México. Es utilizado en la industria de la construcción (acabados arquitectónicos de edificios tanto en exteriores como interiores, columnas, pisos, escaleras) y de ornato (muebles, artículos ornamentales y esculturas), (Secretaría de Economía, 2014). En general, estos productos son elaborados en talleres pequeños que buscan la manera de permanecer en el mercado y para lograrlo, están obligados a ser productivos y competitivos. Aquí es relevante el término de productividad, el cual ha evolucionado con el tiempo; Adam Smith (1994) reconocía que la productividad del trabajo era la principal forma de crecimiento y acumulación de riqueza. En la

revolución industrial, se agregan los factores de producción, la tierra y capital. El primero, especializado en la producción agrícola y el segundo, en las manufacturas (Krugman y Obstfeld, 2006). En las últimas décadas del siglo XX, con las teorías del crecimiento endógeno, la inversión en tecnología y capital humano, adquiere relevancia la productividad.

Porter (2016) introduce el término competitividad para explicar las diferencias del progreso económico y entender la conducta de la economía de los países. Paralelamente está la competitividad empresarial; Berumen (2006) la define como la capacidad de una empresa para conservar o incrementar su participación en el mercado por actos de innovación. Esto lleva a decir que la competitividad es un concepto teórico, multidimensional y relativo, asociado a mecanismos del mercado (Siudek y Zawojka, 2014). Con respecto a la innovación, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2005) distingue diversos tipos de innovación: en el producto; en el proceso productivo; en el proceso organizativo y en la apertura de nuevos mercados. Aquí, la innovación es un proceso continuo y sistemático que contribuye a un mejor aprovechamiento de recursos y capacidades (Arcos, 2018). En este contexto, las pequeñas empresas solo pueden recurrir a la innovación básica, por medio de la diferenciación y el liderazgo en costos. En la primera, se puede optar por economías de escala para influir en los costos de producción, disminución de los costos laborales, tratos en compras y en nuevos canales de distribución. En este sentido, existen evidencias de que las microempresas tienen posibilidades de producir con mayor eficiencia (Ramírez *et al.*, 2010).

Con respecto a la innovación por medio de la diferenciación, las pequeñas empresas pueden esbozar nuevos productos para satisfacer la demanda, mejorar la calidad de los productos por medio de la adopción de nuevas técnicas o control de calidad, la búsqueda de nuevos canales de distribución comercialización y ventas que admita tener nuevos mercados. Es por ello que se sugiere implementar fundamentalmente en los talleres industrializados, pero es una

opción viable en los pequeños, ya que en ellos se pueden efectuar innovaciones en sus prácticas productivas para subsistir (Correa y González, 2017). También se considera que, a partir de la innovación de los procesos productivos, se puede contribuir a la diversificación de la producción e incrementar el crecimiento en este tipo de talleres.

Otro enfoque complementario es la teoría de los recursos; esta describe cómo los empresarios buscan generar valor a partir de los recursos disponibles y capacidades (Dollinger, 2008). Aquí, la heterogeneidad es una condición básica y necesaria, pero no suficiente para una ventaja sostenible, ya que una empresa puede tener activos heterogéneos, pero no las otras condiciones sugeridas por la teoría basada en recursos, y esos activos sólo generarán una ventaja a corto plazo hasta que sean simulados. También se ha puesto escasa atención al proceso para descubrir estos recursos y convertirlos de insumos en productos heterogéneos y obtener mayores ganancias (Álvarez y Busenitzb, 2001).

Aquí, se puede lograr una ventaja competitiva con recursos tecnológicos, financieros, físicos, humanos, procesos, información y conocimiento (Wernerfelt, 1984). Por su parte, Grant (2010) plantea que el análisis estratégico debe realizarse a través del análisis de los recursos individuales de la compañía y cómo estos trabajan de forma coordinada para crear capacidades. Dadas sus circunstancias los talleres de la industria del ónix y mármol, la estrategia basada en los recursos es cardinal. En general, las microempresas rurales se caracterizan por emplear tecnologías tradicionales y ello contribuye a lograr bajos rendimientos (Golikova y Kuznetsov, 2017), al utilizar equipos relativamente viejos, elevan los costos de producción, y repercute en la calidad de los productos, lo cual significa que, si no aplican estándares de calidad, no habrá buenos resultados en la productividad ni competitividad (López, 2016). Es el caso de los talleres de ónix y mármol, que solo pueden acceder a la innovación básica a través de la diferenciación y reducción de costos.

Es por lo que Mohamad *et al.* (2017) mencionan que el emplear tecnologías recientes

puede conducir al éxito a las pequeñas y microempresas. En donde los talleres pueden diseñar nuevos productos, realizar mejoras en la calidad de los productos mediante la adopción de nuevas técnicas o control de calidad, a través de nuevos canales de distribución que les permita ganar nuevos mercados. Cherkos *et al.* (2018) argumentan que existe relación entre los factores internos y externos, y mencionan que, los elementos político y legal, están relacionados con la infraestructura productiva. En la teoría de los recursos, se tiene que, no solo los internos a la empresa impactan directamente en la competitividad, sino también los factores externos, ya que existe un entorno empresarial exógeno que causa problemas y afecta el funcionamiento de las empresas [Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2018].

Uno de estos factores que afecta su desarrollo es el acceso al capital financiero (Msamula *et al.*, 2016), y se agudiza cuando los costos de las materias primas son altos. En el caso de este tipo de talleres, uno de sus principales problemas para el acceso al crédito es la falta de garantías y las altas tasas de interés. Además, las agencias crediticias tienen una percepción negativa de los microempresarios, al considerar que el riesgo de que fracasen es alto (Sitharam y Hoque, 2016). Otro elemento a considerar en la innovación es la escasa infraestructura física y la disposición para generar empleos y ganancias en los talleres pequeños, convirtiéndose en un obstáculo. La OCDE (2005) en este sentido, argumenta que la escasez de recursos económicos y el bajo potencial de innovación son los principales obstáculos en la competitividad.

También se tiene que tomar cuenta en la competitividad, la capacidad de desarrollo de los recursos humanos, al existir relación entre la gestión de estos recursos y la competitividad (Kraja y Osmani, 2013). Se piensa que las empresas no pueden mantener su ventaja competitiva, debido a la mala administración y falta de educación administrativa. En este sentido, entre los recursos humanos que afectan a la microempresa destacan la escolaridad y la edad de los propietarios de la empresa (Ayandibu

y Houghton, 2017), además, de las destrezas, habilidades, competencias, experiencia y creatividad de sus empleados. Los talleres artesanos, por lo regular, no son competitivos debido a la escasa educación administrativa y financiera, y para lograrlo es necesario tener un adecuado control administrativo de los egresos e ingresos (Castro, 2010) con el fin de lograr una mayor rentabilidad y solo se logrará, mediante la capacitación constante de quienes laboran en los talleres.

Entonces, la competitividad se entiende como un concepto amplio que es más que sostener niveles elevados de inversión, se deben de precisar los determinantes internos de la misma, y ello va a depender de la habilidad que tiene para desarrollar capacidades de acuerdo a sus recursos tangibles e intangibles; además, está sujeta a fuerzas externas como políticas, crisis y el entorno desde lo local al internacional. Lo cierto es que una empresa que tenga a largo plazo una mayor capacidad innovadora y productiva, infraestructura, capital humano, recursos económicos y financieros está en una posición competitiva.

Para medir la competitividad, generalmente, se utiliza el índice de productividad y de rentabilidad (Estrada *et al.*, 2006). La productividad, refleja la capacidad de una empresa para producir más a partir de la misma cantidad de insumos o producir lo mismo, con menos cuantía de recursos [Fundación de Investigaciones Económicas Latinoamericanas (FIEL), 2002]. La rentabilidad tiene varios métodos para medirse, uno de ellos divide las ventas entre los activos o entre la inversión de los accionistas (Robles, 2012). Gitman y Zutter (2012) mencionan que estos indicadores son importantes, ya que de la rentabilidad dependen las ganancias de un negocio y Porter (2008) argumenta, que las fuerzas competitivas son el origen de la rentabilidad. En donde, el problema principal radica en que los márgenes de rentabilidad y productividad más altos, se dan en sectores con dotaciones intensas de capital (Sánchez, 1994), y las pequeñas empresas viven inaceptables tasas de supervivencia, escasa productividad y rendimientos (Singh, 2018).

Entonces, la competitividad depende de la habilidad que tienen las empresas para desarrollar capacidades de acuerdo a sus recursos; además, está sujeta a fuerzas externas, políticas, crisis y el entorno global. Lo cierto es que una empresa que tenga a largo plazo una mayor capacidad innovadora y productiva, infraestructura, capital humano, recursos económicos y financieros, debería estar en mejor posición competitiva. Esto último, según Suñol (2006), debería estar ligada al aumento sostenido de los niveles de vida de la población, así como a mejoras en la infraestructura productiva. La revisión de literatura indica que no existen estudios suficientes relacionados con la evaluación de la competitividad y los factores determinantes de la microempresa y la pequeña industria minera. Por lo tanto, los talleres tienen dificultades para alcanzar márgenes de rentabilidad adecuados y obtener ingresos que les permita mejorar las condiciones de vida a los artesanos que laboran en esta industria.

2. Metodología

En la investigación se emprendió una revisión bibliográfica sobre la competitividad y su relación con la innovación. Se realizaron recorridos de campo en 2020, se empleó el método deductivo, la unidad de análisis fueron los talleres de manufactura de ónix y mármol y el marco de muestreo, lo constituyó el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2019), en la fabricación de otros productos a base de minerales (datos a noviembre 2019). El tamaño de la muestra, se obtuvo a través de un muestreo cuantitativo (Fórmula 1) utilizando la varianza máxima ($p_n=0,5$ y $q_n=0,5$).

$$n = \frac{NZ^2_{\alpha/2} p_n q_n}{Nd^2 + Z^2_{\alpha/2} p_n q_n} \quad (1)$$

Donde:

n = Tamaño de Muestra

$Z_{\alpha/2}$ = Confiabilidad. Valor de Z (distribución normal estándar)

N = Tamaño de la Población

d = Precisión

p = Posibilidad de ocurrencia

q = Posibilidad de no ocurrencia

La unidad de análisis estuvo compuesta por 236 talleres y una confiabilidad del 95% ($Z_{\alpha/2} = 1,96$) y una precisión del 12,1% ($d=0,121$), se agregó un 10% de seguridad. El tamaño de la muestra fue de 56 encuestados. Se recolectó la información a través de la técnica del cuestionario y se dividió en variables sociales, productivas y económicas. Las variables, se clasificaron según las estrategias genéricas de Porter (2016), al mencionar que una empresa, puede definir su actuación a partir de estrategias de liderazgo en costos y diferenciación; y Grant (2010) clasifica los recursos en tangibles (tecnológicos, económicos y productivos), intangibles (organización, comercialización, promoción) y humanos (empleo, experiencia y capacitación).

Se calculó el grado de competitividad de los talleres, mediante un índice integrado de la forma siguiente: **a)** en la variable tecnología se evaluó la maquinaria y herramienta que usan los artesanos, comparándola con la que existe en la industria de su ramo. El empleo se comparó de acuerdo al número de empleados del taller, por tamaño del establecimiento según el INEGI, 2019. Los salarios pagados y los ingresos obtenidos, se evaluaron proporcionalmente al salario mínimo vigente. La comercialización se valoró, de acuerdo a los canales existentes en la cadena de comercialización del ónix y mármol según la Secretaría de Economía (2011). La promoción se evaluó de acuerdo con los medios existentes en la localidad y los utilizados. La Innovación se calificó conforme a si han realizado innovaciones en su taller en los últimos 10 años; **b)** se asignó un valor nominal al indicador de 100 puntos y se ponderó cada variable en partes iguales para cada uno; **c)** se obtuvo el producto individual de cada variable según la evaluación y al final, se sumaron. El cálculo se puede expresar bajo la expresión matemática siguiente (Fórmula 2).

$$ICTA = \sum_{i=1}^k [(\beta_i)(V_i)] \quad 0 \leq ICTA \leq 100 \quad (2)$$

Donde:

ICTA = Índice de Competitividad de Talleres Artesanales

β_i = Valoración de variable

V_i = Valor constante de la variable

k = Número de variables del modelo de competitividad

Se elaboraron tres categorías de competitividad: de 0 a 33,3 indica baja competitividad, de 33,4 a 66,6 medianamente competitivo y de 66,7 a 100, altamente competitivo. Con la finalidad de encontrar qué factores inciden en la innovación de los talleres artesanales, se realizó una regresión logística con el método de Wald (hacia adelante), con variables socioeconómicas y del proceso productivo. La variable respuesta es si el taller presenta innovaciones o no. Se excluyeron variables independientes con nula incidencia en la variable dependiente, hasta obtener el modelo correcto. La rentabilidad económica, se valoró con la relación beneficio/costo (RB/C). La fórmula para su cálculo fue la siguiente (Fórmula 3):

$$RBC = \frac{\text{Ingresos por ventas (IV)}}{\text{Costos totales (CT)}} \quad (3)$$

Los ingresos por ventas fueron definidos por la ecuación (IV) = Precio por cantidad. Los costos totales fueron definidos por $CT = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$. Para estimar la rentabilidad en los talleres, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: $RBC > 1$ indica que los beneficios superan los costos. Con un $RBC = 1$ no hay ganancias, ya que los beneficios son iguales a los costos. La $RBC < 1$, señala que los costos son mayores que los beneficios. Es de destacar que la mayoría de talleres son pequeños (83,9%), fueron pocos los medianos (14,3%) y muy escasos los grandes (1,8%), es por lo que la información se analizó comparando dos grupos de talleres: los que solo se dedican a laborar en los talleres (38) se les llamó talleres artesanos y los que además de trabajar en las artesanías y tienen otro empleo (18) se les denominó talleres pluriactivos. Para el

análisis de la información, se utilizó estadística paramétrica y no paramétrica.

2.1 Área de estudio

La investigación se realizó en la cabecera municipal de Tecali de Herrera (FIGURA 1) debido a que concentra a la mayoría de los talleres artesanales y el municipio posee grandes yacimientos de mármol y ónix. Se considera que es uno de los principales productores de artesanías tanto del estado de Puebla como a escala nacional. Se sitúa en la parte central del estado de Puebla; se ubica en los paralelos 18° 48' y 19° 00' de latitud norte y los meridianos 97° 53' y 98° 05' de longitud occidental (INEGI, 2010).

Para 2020, el municipio tenía 22.331 habitantes, de los cuales el 50,1% pertenecen al género masculino; tiene un alto grado de marginación. El 23,2% de sus residentes presentan rezago educativo (Secretaría de Bienestar, 2022), su escolaridad promedio era de 8,7 años. Su principal actividad económica es la elaboración artística del mármol y ónix. La población ocupada, ascendía a 7.413 personas, de las cuales, el 43,2%, laboran en la industria, el 31,8% eran comerciantes y trabajadores en servicios diversos, el 13,8% se ocupan como funcionarios, profesionistas, técnicos y administrativos y el 10,5% son trabajadores agropecuarios (INEGI, 2015).

3. Resultados y discusión

Se encontró que la actividad minera está a cargo del sexo masculino; la mayoría (94,6%) son naturales del municipio y están casados (73,2%). Son personas jóvenes adultas (46,4 años), y estadísticamente ($t = 2,965$; $p = 0,004$), tienen la misma edad (41,1 años) que los artesanos del país (Hernández, 2013). Por grupos, los artesanos que solo se dedican a esta actividad son más jóvenes (44,2 años) que los artesanos pluriactivos o con otro empleo (51,2 años). Por tipo de empresa, los medianos (47 años) y los pequeños (44 años) estadísticamente tienen la misma edad ($t = 0,591$; $p = 0,557$) y el empresario dueño de la empresa grande posee 36 años.

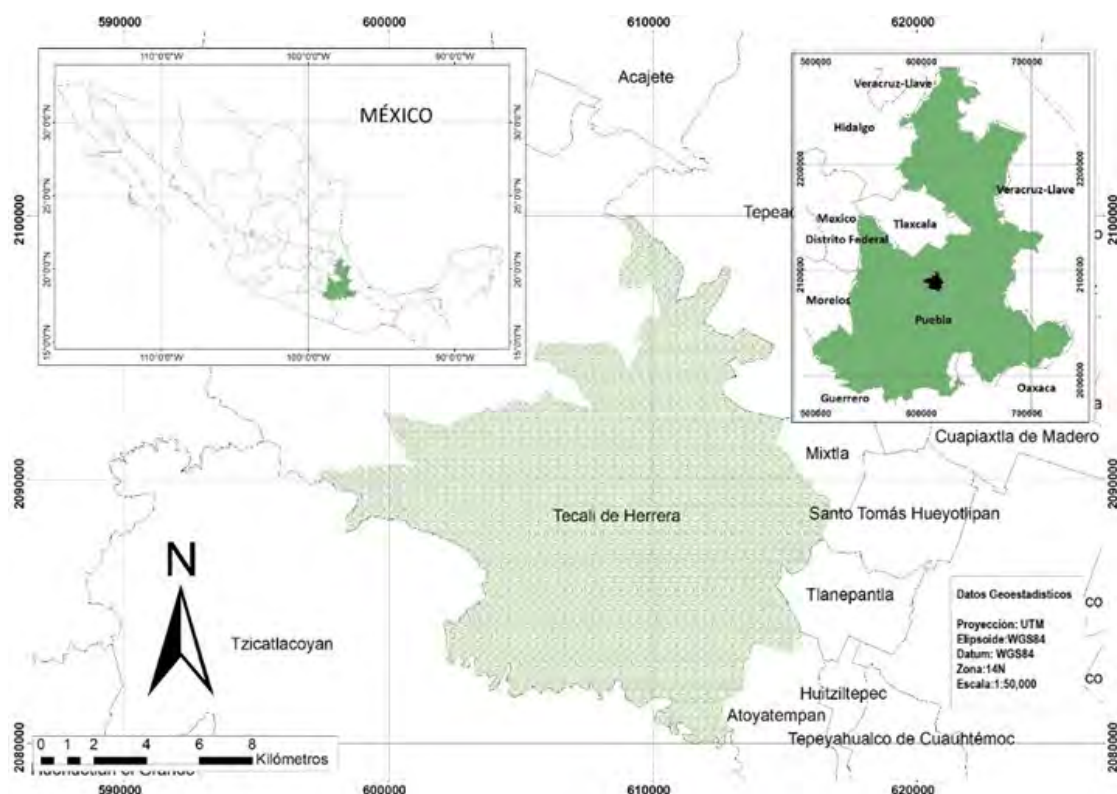


FIGURA 1. Ubicación del municipio de Tecali de Herrera, Puebla. Fuente: elaboración propia

Su escolaridad promedio es casi de secundaria terminada (8,5 años), estadísticamente ($t = 0,628$; $p = 0,533$) poseen los mismos años de enseñanza los pluriactivos (9,0 años) y los artesanos (8,3 años). También se puede decir que los entrevistados de los talleres pequeños tienen la menor escolaridad (8,3 años) comparada con la que dijeron tener los de los talleres grandes (12 años) y los medianos (10,3 años). Pero estadísticamente ($t = 2,165$; $p = 0,035$) su educación fue superior a la de las personas que laboran en este tipo de actividad a escala nacional, que fue de 7,6 años. Se halló una correlación negativa ($r = -0,580$; $p < 0,001$) entre edad y escolaridad, que indica que los habitantes de la comunidad de mayor edad detentan una menor escolaridad. En este sentido, Torres y Ochoa (2018), argumentan que el 4% de los que se dedican a la producción de artesanías lograron una formación universitaria, lo cual puede influir en la apropiación de nuevas tecnologías, pero

también indica que su escolaridad no es la más apropiada para dirigir este tipo de empresas.

La agricultura es el trabajo que más combinaron con las actividades artesanales (38,9%), seguida de la cría de animales (16,7%) y negocios propios (11,1%). Pecqueur (2013), encontró que en los talleres pequeños combinan estrategias de adaptación, en respuesta a sus bajos ingresos para reorganizar su economía, destacando las actividades agropecuarias como principal actividad que complementa sus ingresos. El ser artesano es un oficio que heredaron y que continúan de generación en generación; ello influyó para que los entrevistados se incorporaran al trabajo a muy temprana edad (12,8 años). Estadísticamente ($t = 1,636$; $p = 0,108$), los artesanos pluriactivos (14,3 años) y los artesanos (12,1 años), comenzaron a laborar a la misma edad. En este sentido, Pérez *et al.* (2017) argumentan que es común que laboren familiares tan pronto tienen la edad y la madurez

en tareas sencillas como la limpieza en el taller. Aunque también se debe considerar que la pobreza y las bajas tasas de escolaridad, contribuyen para que los artesanos comiencen a trabajar a una edad temprana. Es por ello que más de la mitad (55,4%) aprendió este oficio por medio de sus padres.

Los talleres artesanales fueron establecidos por sus actuales propietarios (57,1%) o por sus padres (28,6%) principalmente. Comparando grupos, los talleres de artesanos pluriactivos fueron establecidos en mayor proporción (61,1%) por sus actuales dueños, que los artesanos (55,3%). Los que recibieron el taller en herencia, no hicieron ninguna inversión, y los que no lo obtuvieron en legado, el 60,7% empleó sus recursos y en menor medida, pidieron créditos.

En el espacio de estudio predominan los talleres pequeños (83,9%), seguido de los medianos (14,3%) y los grandes (1,8%). Los talleres pluriactivos están conformados solo por talleres pequeños (88,9%) y medianos (11,1%). Taylor (2004) argumenta que esta industria despegó durante la primera mitad del siglo XX y estaba constituida fundamentalmente por pequeñas empresas. En los talleres de estudio predominó la informalidad (el 16,7% paga impuestos), lo que ocasiona que tengan una escasa oportunidad de obtener créditos para financiar sus negocios. Esto es propio de este tipo de emprendimientos, ya que su acceso a servicios financieros se correlaciona con el tamaño del establecimiento y aumenta conforme la compañía crece (Orueta *et al.*, 2019).

El proceso de fabricación de artesanales se inicia con la selección de la piedra, según el tamaño y material de la pieza a diseñar o trabajar; posteriormente, se realizan cortes para poder trabajarla, después pasa al tallado para darle forma. El siguiente paso es el pulido y/o abrillantado, le sigue el armado, cuando la pieza consta de varias partes y termina con el pintado en determinadas piezas.

El 87,5% de los talleres trabaja con maquinaria. Tanto los talleres pluriactivos (69,2%), como los artesanos (78,6%), estadísticamente ($\chi^2 = 0,978$; $p = 0,807$) cuentan con la misma maquinaria básica, uno o dos

motores trifásicos y un taladro de banco. Pero se encontró que tienen mayor maquinaria los talleres medianos (100%) que los pequeños (85,1%), los cuales además de tener maquinaria básica, el 50% posee laminadora (máquina para hacer cortes precisos de piedra y placas de mármol u ónix) y trozadora, y el porcentaje restante tiene montacargas y/o grúas. Las empresas grandes, emplean alta tecnología en el proceso productivo; tienen equipo de transporte y maquinaria de vanguardia como cortadoras y grúas mecanizadas, montacargas y camiones de transporte de material.

En el empleo de herramientas, no se encontró diferencia estadística ($\chi^2 = 6,077$ $p = 0,639$) entre los artesanos pluriactivos (50,0%) y artesanos (52,6%), ya que ambos utilizan pulidoras eléctricas. Solo una pequeña porción empleó instrumentos rudimentarios como barras de punta (12,6%) y cinceles (13%). De acuerdo al tamaño del taller, se encontró diferencia estadística ($\chi^2 = 27,924$ $p = <0,001$), debido a que solo una pequeña porción de los talleres pequeños (8,5%) y en mayor medida los medianos (75,0%), cuenta con poleas eléctricas o manuales que les permite incrementar su volumen de producción y producir figuras de mayor dimensión. Las empresas grandes cuentan con herramienta mecanizada y manual. Según los resultados, la capacidad tecnológica se relaciona con el tamaño del taller y es trascendental para la competitividad, porque representa uno de los factores que contribuyen a la generación de ingresos (Hernández *et al.*, 2007). Los talleres pequeños muestran problemas productivos de calidad e innovación; los medianos están en transición tecnológica, y los grandes, emplean alta tecnología en su proceso productivo. Los resultados explican la tendencia en el sector, ya que la llegada de maquinaria y tecnología, ha aumentado la brecha tecnológica entre empresas. Es por lo que los artesanos con técnicas rudimentarias suelen ser menos competitivos (Méndez *et al.*, 2018).

Los talleres artesanales presentan dificultades en la innovación debido a la falta de dinero, fuentes de financiamiento, apoyos gubernamentales y a que los precios de los

productos no aseguran la inversión realizada. Solo el 33,9% ha realizado modificaciones a su proceso productivo, en la fase de corte. Por tipo de taller, los pluriactivos han realizado más innovaciones (50%) que los artesanos (23%). Los cambios fueron para producir más rápido (21,1%), diversificar la producción (21,1%), disminuir los costos (21,1%) y hacer menos cansado el trabajo (5,3%). Esto representa 'barreras a la innovación' y, ante ello, se debe desarrollar la tecnología, la capacidad financiera, administrativa y de marketing (Revanasiddappa y Reanasiddappa, 2018).

Los resultados encontrados, en el modelo de regresión logística de Wald, fueron que la innovación está relacionada con la antigüedad de los talleres porque les ha dado experiencia y ventaja comparativa con relación a los artesanos de otras regiones. En general, los talleres iniciaron sus actividades en promedio en el año de 1999, los artesanos pluriactivos iniciaron antes (1999) que los artesanos (2002). Otra variable incidente fue la promoción de sus productos por medio de fuentes electrónicas, puesto que en las últimas décadas se ha convertido en un medio accesible para ellos (TABLA 1).

TABLA 1. Estimadores del modelo de regresión logística con el método de selección por pasos hacia adelante (Wald). Fuente: elaboración propia con datos de campo

VARIABLE	B	E. T.	WALD	P.	EXP (B)
Antigüedad de la actividad	0.688	0.251	7.527	0.006	1.989
Promoción por medios electrónicos	2.062	0.743	7.710	0.005	7.860
Constante	0.718	1.732	8.163	0.004	0.007

Los resultados indican que los medios electrónicos son importantes para la innovación y competitividad; en ese sentido, el 41,1% de los artesanos utilizó internet para promocionar sus mercancías. De este porcentaje, las redes sociales (65,2%), la página Web de su negocio (17,4%) y el correo electrónico (4,3%) fueron los medios más utilizados. No existió diferencia estadística ($\chi^2=0,874$ $p= 0,350$) entre los artesanos pluriactivos (50%) y los artesanos (36,8%) en la utilización de estos medios. Aunque se observa escasa innovación. Morales y Camacho (2019) argumentan que una forma de obtener ventajas comparativas consiste en la explotación de habilidades, recursos y saberes heredados, experiencia que carecen los competidores.

En los talleres se emplean en promedio a 4,1 personas; contratan más los artesanos (4,9) que los artesanos pluriactivos (2,2). Los talleres pequeños ocuparon menos personal (2,3), en comparación con los medianos (4,6) y grandes (60). El salario semanal promedio fue de USD 57,9 y estadísticamente ($t=-1,912$; $p= 0,070$), los salariales fueron similares al promedio (USD 64,5)

que tienen las personas con estudios de primaria en el país, pero son estadísticamente ($t=-3,494$; $p=0,002$) inferiores a los que terminaron la secundaria (USD 70,1). En los talleres pluriactivos pagan un salario menor (USD 55,9) que en los talleres artesanos (USD 58,5). Los pequeños pagan menos (USD 57,2), en comparación con los medianos (USD 59,4) y grandes (USD 71,9). En relación a esto, Aguilar *et al.* (2009) mencionan que en las maquiladoras textiles rurales, las retribuciones salariales tienden a incrementarse a medida que crece el volumen de las empresas.

Pocos talleres (7,3%) otorgaron prestaciones laborales a sus empleados; similares resultados se encontraron en talleres pluriactivos (9,1%) y artesanos (6,7%). En las pequeñas empresas, los asalariados no percibieron ninguna prestación, en las medianas, el 28,6% y en las grandes la totalidad cuenta con ellas. Se puede decir que los trabajadores que reciben beneficios sociales, se desempeñan en compañías con más inversión (Juárez y Ramírez, 2011). En relación a los ingresos semanales promedio, son menores en los artesanos pluriactivos (USD 107,9) que en los

artesanos (USD 331,4). De manera específica, los talleres pequeños tienen los ingresos más bajos (USD 77,2), en comparación con los medianos (USD 164,2) y grandes (USD 9.583,1). En la percepción de sus ingresos influyó las ganancias que tienen, ya que los pequeños (12,8%) y los medianos (25%), argumentaron que sus beneficios son altos y en las grandes, los consideraron muy altos. A pesar de ello, estas actividades son esenciales en el desarrollo rural y en la economía de los hogares, al ser una actividad complementaria a otras actividades económicas (Forstner, 2013). Todo ello indica que, a menor tamaño del taller, se tiene menos personal, salarios y prestaciones.

Los talleres comercializan sus productos a minoristas (35,7%), mayoristas (28,6%) y directamente al consumidor en tiendas de artesanías (10,7%). El principal canal de comercialización para los artesanos pluriactivos

(50,0%) y artesanos (38,6%) fue la venta al mayoreo a tiendas de artesanías de la comunidad. Por tamaño, los pequeños venden a minoristas (40,4%) y mayoristas (25,0%), los medianos distribuyen a mayoristas (25,5%) y minoristas (37,5%). Las empresas grandes realizan sus ventas al mayoreo. Tal como lo señala Mendoza (2020), los sistemas de comercialización que emplean no retribuyen de manera conveniente al artesano, debido a que los intermediarios se quedan con la mayor parte del valor añadido.

El análisis del ICTA demostró que la competitividad del sector es baja (28,7), estadísticamente ($t=-0,108$; $p=0,915$) fue similar entre los artesanos pluriactivos (28,4) y los artesanos (28,9). Pero los talleres pequeños (25,9) fueron menos competitivos que los medianos (38,5) y los grandes (80,1). (TABLA 2).

TABLA 2. Indicador de competitividad y relación beneficio costo de talleres artesanales de Tecali de Herrera.
Fuente: elaboración propia

TIPO DE TALLER	ICTA	RELACIÓN BENEFICIO-COSTO
Pluriactivo	28.4	1.44
Artesano (no pluriactivo)	28.9	1.46
TAMAÑO		
Pequeño	25.9	1.42
Mediano	38.5	1.53
Grande	80.1	1.94

El ICTA fue similar tanto en los talleres artesanos pluriactivos como no pluriactivos, pero se diferenció por el tamaño del establecimiento, por lo que se confirma que la capacidad de innovación, tecnología, los ingresos, número de empleos y los canales de comercialización son la base de la competitividad de los artesanos. Al respecto, Zayas *et al.* (2015) mencionan que las micro, pequeñas y medianas empresas, no son competitivas por falta de innovación y desarrollo tecnológico y las empresas que continúan en el mercado, son las que toman en cuenta estos factores.

La RB/C tuvo un comportamiento similar a la competitividad, a mayor tamaño de los talleres se incrementa su rentabilidad. Ello se confirma al encontrar una correlación positiva entre RB/C y ventas de artesanías mensuales ($r= 0,279$; $p= 0,041$), entre los ingresos del taller ($r= 0,302$; $p= 0,026$) y el número de empleados en el taller ($r= 0,387$; $p=0,015$), lo que indica que el nivel de ventas e ingresos, así como los empleos generados, influyen positivamente en la rentabilidad de los talleres. Al respecto, la tecnología y la contratación de empleados son

variables que influyen en los ingresos y el desempeño general de los negocios artesanales.

4. Conclusiones

La producción de artesanías de mármol y ónix, es una actividad económica que adquiere cada vez mayor importancia en los espacios rurales con estos yacimientos. Aquí, la producción de artesanías, es la principal actividad económica y, la agricultura y ganadería se convierte en un complemento a los ingresos. Sin embargo, la producción de artesanías no es competitiva, ya que el tamaño del establecimiento, la tecnología empleada y la mano de obra frenan las capacidades de innovación y competitividad.

En esta actividad, predominan los talleres pequeños e informales que utilizan mano de obra familiar e informal, venden a tiendas de artesanías locales a baja escala, poseen escasa tecnología que obstaculizan el uso adecuado de los recursos y de bajos ingresos, que limitan la transformación tecnológica y la inserción a nuevos mercados. En los talleres medianos y grandes se accede más a innovaciones tecnológicas, que permiten ofrecer mayor volumen de producción, crear más fuentes de

empleo, mejores canales de comercialización y mejores ingresos.

Se determinó que los artesanos tienen ventaja comparativa para la innovación como la antigüedad de la actividad, ya que, con los años, han creado fama al ser considerados los mejores artesanos de ónix y mármol del país. Una ventaja competitiva encontrada fue el uso de la TICs para la promoción de las artesanías, como una alternativa de relativa facilidad de acceso para dar a conocer sus productos. Se considera que hacen falta estrategias de desarrollo integrales que permitan aprovechar estas ventajas para beneficio de los pobladores.

La relación beneficio costo y competitividad de los talleres pequeños fue la más baja; para los talleres medianos y grandes resultó una actividad económicamente rentable. Es por esto que el Estado debe participar desde todos sus niveles de gobierno, a través de políticas públicas, que fomenten una industria más igualitaria y competitiva. Estos temas toman mayor relevancia al considerar la contribución que realiza el sector artesanal a la economía nacional y al beneficio que acarrea a las comunidades rurales.

2. Referencias citadas

- AGUILAR, I.; JUÁREZ, J. y B. RAMÍREZ. 2009. "Maquila y desarrollo agrícola: estudio en dos municipios del estado de Puebla". *Geografía Agrícola*, (43): 87-99.
- ÁLVAREZ, S. A. & J. B. BUSENITZ. 2001. "The entrepreneurship of resource-based theory". *Journal of Management*, (27): 755-775.
- ARCOS, P. C. 2018. "Gestión unificada de recursos para la innovación sistémica". *Revista San Gregorio*, (22): 78-85.
- AYANDIBU, A. O. & J. HOUGHTON. 2017. "External forces affecting small businesses in South Africa: A case study". *Journal of Business and Retail Management Research (JBRMR)*, 11(2): 49-64.
- BERUMEN, S. 2006. *Competitividad y desarrollo local*. (1 Ed). ESIC. Madrid, España.
- CÁMARA MINERA DE MÉXICO (CAMIMEX). 2023. *Informe Anual 2023 de la Cámara Minera de México. LXXXVI Asamblea General Ordinaria*. Cd. de México, pp. 361. Disponible en: https://www.camimex.org.mx/application/files/7416/8935/9978/info_2023.pdf.

- CASTRO, E. 2010. "Las estrategias competitivas y su Importancia en la buena gestión de las empresas". *Ciencias Económicas*, 28(1): 248-271. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/277261587>.
- CORREA, L. Á. y A. R. GONZÁLEZ. 2017. "Efecto de los factores de innovación en el desempeño económico de los talleres artesanales de la zona metropolitana de Zacatecas". *Investigación y Ciencia*, 25(70): 63-68.
- CHERKOS, T.; ZEGEYE, M.; TILAHUN, S. & M. AVVARI. 2018. "Examining significant factors in micro and small enterprises performance: case study in Amhara region, Ethiopia". *Journal of Industrial Engineering International*, (14): 227-239.
- CONCHA, E. 2017. "Minería global contemporánea o financiarizada". *Ola financiera*, 10(2): 81-116. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/ROF/article/view/61009/53810>.
- DOLLINGER, M. J. 2008. *Entrepreneurship Strategies and Resources*. Marsh Publications (4th ed). Lombard, Illinois, U.S.A.
- ESTRADA, S.; PAYAN, A. F. y H. F. PATIÑO. 2006. "El sector calzado del área metropolitana centro occidente. Rumbo a la productividad y competitividad con ingenio e innovación". *Scientia et Technica*, 2(31): 189-194. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84911639033.pdf>.
- FUNDACIÓN DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS LATINOAMERICANAS (FIEL). 2002. *Productividad, competitividad, empresas. Los engranajes del crecimiento*, Argentina, p. 220. FIEL. Buenos Aires, Argentina.
- FORSTNER, K. 2013. "La artesanía como estrategia de desarrollo rural: El caso de los grupos de artesanas en la región de Puno (Perú)". *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 10(72): 141-158. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/>.
- GITMAN, L. J. y C. J. ZUTTER. 2012. *Principios de administración financiera*. Pearson. México.
- GOLIKOVA, V. & B. KUZNETSOV. 2017. "Suboptimal Size: Factors Preventing the Growth of Russian Small and Medium-Sized Enterprises". *Foresight and STI Governance*, 11(3): 83-93. Disponible en: <https://cyberleninka.ru/article/n/suboptimal-size-factors-preventing-the-growth-of-russian-small-and-medium-sized-enterprises>.
- GRANT, R. M. 2010. *Dirección estratégica. Conceptos técnicas y aplicaciones*. Economía Civitas. Madrid, España.
- HERNÁNDEZ, D. 2013. "Por un desarrollo artesanal integral". En: F. J. SALES-HEREDIA (comp.), *Las artesanías en México situación actual y retos*, pp. 17-29. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. México, D. F. Disponible en: <http://biblioteca.diputados.gob.mx/>.
- HERNÁNDEZ, J. de la P.; YESCA, M. y M. L. DOMÍNGUEZ. 2007. "Factores de éxito en los negocios de artesanías en México". *Estudios Gerenciales*, 23(104): 77-99. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/212/21210404.pdf>.

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y GEOGRAFÍA (INEGI). 2021. *La industria minera ampliada. Censos Económicos 2019*, p. 91. México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825198848>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y GEOGRAFÍA (INEGI). 2019. *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. (15 de febrero 2020). Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y GEOGRAFÍA (INEGI). 2015. *Encuesta Intercensal 2015. Dirección General de Estadísticas Sociodemográficas*. (16 de agosto 2020). Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/> .
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y GEOGRAFÍA (INEGI). 2010. *Compendio de información geográfica municipal 2010. Tecali de Herrera, Puebla*. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21153.pdf .
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA (IICA). 2018. *Gestión empresarial estratégica. El análisis interno y externo. Programa de fortalecimiento de capacidades agroalimentarias y asociativas*. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/>.
- INSTITUTO INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE. MUJERES y LA MINA DEL FUTURO. 2023. *Informe Mundial*. The International Institute for Sustainable Development. Canadá.
- JUÁREZ, J. P. y B. RAMÍREZ. 2011. "Flexibilidad laboral en la industria de la confección en espacios rurales de México. El caso de dos municipios en el estado de Puebla, México". *Gaceta Laboral*, 17(1): 63-82. Disponible en: <http://ve.scielo.org/>.
- KRAJA, Y. & E. OSMANI. 2013. "Competitive advantage and its impact in small and medium enterprises (SMEs) (Case of Albania)". *European Scientific Journal*, 9(16): 76-85. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/236409958.pdf>.
- KRUGMAN, P. R. y M. OBSTFELD. 2006. *Economía Internacional. Teoría y Práctica*. Pearson Educación, S.A. Madrid, España.
- LÓPEZ, D. C. 2016. "Factores de calidad que afectan la productividad y competitividad de las micros, pequeñas y medianas empresas del sector industrial metalmecánico". *Entre Ciencia e Ingeniería*, 10(20): 99-107.
- MÉNDEZ, R.; ÁLVAREZ, A.; ANDOCILLA, J. M. y E. M. MEDINA. 2018. "Prácticas en el manejo de madera y su incidencia en el sector artesanal de Ambato". *ESPACIO I+D, Innovación más Desarrollo*, 7(17): 9-21. Disponible en: <https://doi.org/10.31644/IMASD.17.2018.a01>.
- MENDOZA, J. R. 2020. "Producción y comercialización de artesanía en fibra vegetal elaborada en el caserío de Chuniguillay - distrito de Jesús, Cajamarca, Perú". *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas*, 25(2): 71-89. Disponible en: <http://dx.doi.org/i0.30972/rfce.2524566>.

- MOHAMAD, R. K.; MOHD-NOR, M. N. & S. M. ALI. 2017. "The impact of internal factors on small business success: a case of small enterprises under the FELDA scheme". *Asian Academy of Management Journal*, 22(1): 27-55. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/>.
- MORALES, L. A. y A. L. CAMACHO. 2019. *Productividad de las empresas y su competitividad en los mercados. Un enfoque a micro y pequeñas empresas*. Pearson Educación de México, S. A. de C. V. Cd. México.
- MSAMULA, J.; VANHAVERBEKE, W. & H. PETRO. 2016. "Rural entrepreneurship in Tanzania: Why are micro and small enterprises not creating value in furniture manufacturing industry?" *Transnational Corporations Review*, 8(4): 250-264. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19186444.2016.1265768>.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE). 2005. *Oslo Manual. Guidelines for collecting and interpreting innovation data*. Organisation For Economic Co-Operation And Development, Paris, Francia.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO (OIT). 2015. *La minería: un trabajo peligroso*. Disponible en: <https://www.ilo.org/es/resource/la-mineria-un-trabajo-peligroso>. [Consulta: mayo, 2021].
- ORUETA, I.; ECHAGÜE, M.; BAZERQUE, P.; CORREA, A.; GARCÍA, C.; GARCÍA, D. y S. RODRÍGUEZ. 2019. *La financiación de las micro, pequeñas y medianas empresas a través de los mercados de capitales en Iberoamérica*. Fundación Instituto Iberoamericano de Mercados de Valores (IIMV). Caracas, Venezuela. Disponible en: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1454>.
- PAREJO, C. y J. PAREJO. 2012. "La minería metálica en el mundo. El caso particular de Extremadura". En: *La agricultura y la ganadería extremeñas en 2012*, pp. 103-118. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Escuelas de Ingenierías Agrarias. Universidad de Extremadura, Caja de Ahorros de Badajoz. España. Disponible en: <https://www.unex.es/>.
- PECQUEUR, B. 2013. "Territorial development. a new approach to development processes for the economies of the developing countries". *Revista internacional Interdisciplinar INTERthesis*, 10(2): 8-32. Disponible en: <https://periodicos.ufsc.br/>.
- PÉREZ, L.L.; GUZMÁN, I. A. y P. S. DEL CARPIO. 2017. "Niñez trabajadora y oficios artesanales. Jóvenes en la ciencia". *Revista de divulgación científica*, 3(2): 1278-1284. Disponible en: <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/>.
- PORTER, M. E. 2016. *Ventaja competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior*. Grupo Editorial Patria, Ciudad de México.
- PORTER, M. E. 2008. *Ser competitivo*. Ediciones Deusto (9 ed.). Barcelona, España.
- RAMÍREZ, N.; MUN GARAY, A.; RAMÍREZ, M. y M. TEXIS. 2010. "Economías de escala y rendimientos crecientes. Una aplicación en microempresas mexicanas". *Economía Mexicana Nueva Época*, 19(2): 213-230. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/>.

- REVANASIDDAPPA, K. B. & C. REANASIDDAYYA. 2018. "The barriers to innovation for in Indian MSMEs sector an analytical study". *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*, 5(3): 65-73. Disponible en: <https://ijrar.org/papers/IJAR19D1007.pdf>.
- ROBLES, C.L. 2012. *Fundamentos de Administración Financiera*. Red tercer milenio, Estado de México, México.
- SÁNCHEZ, A. 1994. "La rentabilidad económica y financiera de la gran empresa española. Análisis de sus factores determinantes". *Revista española de financiación y contabilidad*, (78): 159-179. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=44122>.
- SECRETARÍA DE BIENESTAR (SB). 2022. *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2022*. Unidad de Planeación y Evaluación de Programas para el Desarrollo. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/698274/21_169_PUE_Tepexi_de_Rodr_guez.pdf.
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA (SE). 2014. *Perfil de mercado del mármol*. Coordinación General de Minería, SE, p. 26. Disponible en: <https://www.economia.gob.mx/>.
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA (SE). 2011. *Estudio de la cadena productiva del ónix. Documento de análisis*. Disponible en: <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/>.
- SINGH, R. K. 2018. "Small enterprises development: Challenges and opportunities". In: A. FARAZMAND (eds.), *Global Encyclopedia of Public Administration, Public Policy, and Governance*. Springer, Cham. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-31816-5_2762-2.
- SITHARAM, S. & M. HOQUE. 2016. "Factors affecting the performance of small and medium enterprises in KwaZulu-Natal, South Africa". *Problems and Perspectives in Management*, 14(2):277-288. Disponible en: [DOI:10.21511/ppm.14\(2-2\).2016.03](https://doi.org/10.21511/ppm.14(2-2).2016.03).
- SIUDEK, T. & A. ZAWOJSKA. 2014. "Competitiveness in the economic concepts, theories and empirical research". *Acta Scientiarum Polonorum*, 13(1): 91-108.
- SMITH, A. 1994. *La Riqueza de las Naciones*. Alianza Editorial. Madrid, España.
- SUÑOL, S. 2006. "Aspectos teóricos de la competitividad". *Ciencia y Sociedad*, (2): 179-198. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87031202.pdf>.
- TAYLOR, H. L. 2004. "La explotación de un recurso mineral en la frontera norte de México. La comercialización del ónix mármol de Baja California 1890-1958". *Región y Sociedad*, XVI(30): 117-158.
- TORRES, A. J. y G. L. OCHOA. 2018. "Desigualdad salarial asociado al uso de las TIC's en México". *Cuadernos de Economía*, 37(74): 353-390. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v37n74.56549>

- WERNERFELT, B. A. 1984. "Resource-Based View of the Firm". *Strategic Management Journal*, 5(2): 171-180. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2486175>.
- ZAYAS, I.; PARRA, D.; LÓPEZ, R. I. y J. de D. TORRES. 2015. "La innovación, competitividad y desarrollo tecnológico en las MIP y ME's del municipio de Angostura, Sinaloa". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(3): 603-617. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/>.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Puebla, México; agosto, 2024

Método de Elementos Finitos para el análisis de la falla de Boconó

en Mesa de Los Indios, estado Mérida, Venezuela

Método dos Elementos Finitos para análise da falha de Boconó
em Mesa dos Índios, estado de Mérida, Venezuela

Finite Element Method for analysis of the Boconó Fault,
Mesa de los Indios, Mérida State, Venezuela

**Jackeline Coromoto Peña Suárez¹, Marisela Sánchez Ávila², Jesús Alberto Torres Hoyer³,
Ricardo Picón Rodríguez⁴, Wilmer José Barreto⁵ y Roberto José Torres Hoyer³**

¹ Universidad Católica de Temuco, Facultad de Ingeniería, Temuco, Chile

² Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geomecánica / Alcaldía de Campo Elías, Gerencia de Infraestructura, Mérida, Venezuela

³ Universidad Católica de Temuco, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigación GEOKIMÜM / Universidad de Los Andes, Grupo de Investigación de Geología Aplicada (GIGA), Mérida, Venezuela

⁴ Universidad Católica de Temuco, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigación GEOKIMÜM / Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), Departamento de Estructuras, Decanato de Ingeniería Civil, Barquisimeto, Venezuela

⁵ Universidad Católica de Temuco, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigación GEOKIMÜM / Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), Departamento de Hidráulica y Sanitaria, Decanato de Ingeniería Civil, Barquisimeto, Venezuela

jpena@uct.cl; marisesa.162@gmail.com; j.torresa@uct.cl; wbarreto@uct.cl; rtorres@uct.cl

Peña: <https://orcid.org/0000-0001-6025-6428>

Sánchez: <https://orcid.org/0009-0006-0089-4579>

Torres J.: <https://orcid.org/0000-0002-3573-8350>

Picón: <https://orcid.org/0000-0001-6356-7360>

Barreto: <https://orcid.org/0000-0002-1861-0742>

Torres R.: <https://orcid.org/0000-0002-3701-2561>

Resumen

La población de la Mesa de Los Indios, en el estado Mérida, Venezuela, está afectada por la falla de Boconó, que causa deslizamientos y daños en viviendas y vías. Un estudio geológico que incluyó análisis de campo y laboratorio permitió obtener propiedades geomecánicas, para generar simulaciones con el Método de Elementos Finitos. Por medio de los resultados se identifican zonas, calibrando el modelo y con ello las zonas de mayor amenaza, alineadas con áreas dañadas y permitiendo calcular la dirección de esfuerzos en la región y el comportamiento. Estos hallazgos facilitan la planificación de infraestructura y viviendas en zonas vulnerables, mejorando la comprensión del comportamiento geomecánico local.

PALABRAS CLAVE: simulación geomecánica; elementos finitos; falla geológica; susceptibilidad.

Resumo

A população de Mesa de Los Índios, no estado Mérida, Venezuela, é afetada pela falha de Boconó, que causa deslizamentos e danos em casas e estradas. Um estudo geológico, incluindo análise de campo e de laboratório, forneceu propriedades geomecânicas, utilizando simulações com o Método de Elementos Finitos. Os resultados identificam áreas de maior risco alinhadas com zonas danificadas, validando o modelo e permitindo inferir a direção das tensões na região. Esses achados facilitam o planejamento de infraestrutura e moradias em áreas vulneráveis, melhorando a compreensão do comportamento geomecânico

PALAVRAS-CHAVE: simulação geomecânica; elementos finitos; falha geológica; suscetibilidade.

Abstract

The population of Mesa de Los Indios, in Mérida State, Venezuela, is affected by the Boconó Fault, which causes landslides and damage to homes and roads. A geological study, including field and laboratory analysis, provided geomechanical properties, using simulations with the Finite Element Method. The results identify high-risk areas aligned with damaged zones, validating the model and allowing for inference of stress direction in the region. These findings support planning for infrastructure and housing in vulnerable areas, improving the understanding of local geomechanical behavior.

KEYWORDS: geomechanical simulation; finite elements; geological fault; susceptibility.

1. Introducción

Con el rápido avance en el poder computacional, los ingenieros y geocientíficos han visto un aumento considerable en la capacidad para resolver problemas geomecánicos de alta complejidad que son críticos para la seguridad, la exploración de recursos y la mitigación de riesgos en regiones afectadas por fallas geológicas activas. Uno de los métodos numéricos destacados para abordar estos desafíos es el Método de los Elementos Finitos (MEF), el cual ha demostrado ser útil para la simulación de condiciones de esfuerzos y desplazamiento en zonas de fallas, tanto en estudios de ingeniería estructural como en aplicaciones geológicas avanzadas, incluyendo el análisis del riesgo. El MEF permite a los investigadores observar y prever cómo se distribuyen las tensiones y deformaciones en los terrenos, algo fundamental para evaluar la estabilidad de estructuras en áreas sísmicamente activas y prever posibles riesgos geotécnicos (Uzcátegui, s/f; Zhou *et al.*, 2009).

Estudios previos han resaltado la utilidad del MEF en la simulación de fallas tectónicas. Por ejemplo, investigaciones sobre el movimiento de fallas sísmicas han logrado reproducir con precisión la magnitud de sismos en la superficie terrestre y subrayar la relevancia de la llamada zona de proceso. Al incluir esta zona en el modelo, se mejora notablemente la respuesta del modelo en relación a la zona sísmica en áreas adyacentes a las fallas. Este enfoque ha sido aplicado exitosamente para simular grandes terremotos en Tottori (Japón), o en Venezuela (Mérida), proporcionando un marco para entender la dinámica de sismos similares en otras regiones tectónicamente activas. Pero en primera instancia se requiere realizar reconocimientos en campo que permitan detectar los desplazamientos y obtener la información necesaria para el modelado, la cual se realiza empleando el Programa ABAQUS (Fukushima *et al.*, 2010; Torres e Infante, 2004; Elberg, 2002).

Por otra parte, se ha utilizado el MEF en la evaluación de riesgos de emanaciones de agua subterránea en minería sobre fallas en estratos

de carbón. Estas investigaciones revelan que la configuración geométrica de las fallas tiene un impacto directo en la susceptibilidad a la filtración y el colapso, un riesgo significativo en operaciones mineras. Los resultados muestran que la zona intacta, rodeada de zonas de fracturas inducidas por la minería, es clave para prevenir emanaciones de agua, lo cual resulta fundamental para la planificación y mitigación de riesgos en estos entornos (Lianchong *et al.*, 2011).

De manera similar, el MEF en tres dimensiones se ha aplicado para explorar cómo las fallas de deslizamiento horizontal afectan la distribución de tensiones y la calidad de los reservorios en yacimientos de metano en formaciones de carbón, tales como las de la Formación Shanxi. En este caso, las simulaciones destacan que la magnitud de las tensiones varía considerablemente a ambos lados de la falla, influyendo en las propiedades petrofísicas del reservorio y afectando la capacidad de producción de los pozos de extracción de gas. La segmentación de la tensión horizontal mínima *in situ* también impacta en la ubicación óptima de pozos, lo que proporciona información crucial para la planificación de la explotación de recursos en zonas de fallas complejas (Yina *et al.*, 2019). Además, los modelos muestran que la orientación y configuración de las fallas impactan significativamente la concentración de tensiones, lo que afecta la eficiencia de extracción de recursos en diferentes secciones de la zona de falla.

En estudios regionales, como los realizados en el noreste de la India y la cuenca de Bengala, el MEF ha permitido simular la distribución de esfuerzos y el patrón de fallas en zonas tectónicas altamente activas. Los resultados subrayan la importancia de la falla de Dauki, que influye aproximadamente el 25% del desplazamiento superficial regional. Los patrones de esfuerzo simulado reproducen las condiciones tectónicas observadas en la región, evidenciando la interacción entre las fallas de deslizamiento y deformación, y proporcionando

un marco para comprender la dinámica sísmica en el noreste de India y las cordilleras Indo-Burma. Este tipo de simulaciones no solo contribuyen a la predicción de riesgos sísmicos, sino también a la evaluación de deformaciones regionales que afectan la infraestructura y la habitabilidad de estas áreas (Islam *et al.*, 2011). De igual manera, se ha usado el MEF en la simulación de la falla La Hechicera, Mérida-Venezuela, realizando un modelo ideal elástico, pero las aproximaciones de los modelos generados, permiten establecer analogías para las estructuras conformadas en niveles estructurales superiores (Cabello y Navarrete, 2005).

Actualmente, el conocer e interpretar los mecanismos de la naturaleza resulta fundamental para el emplazamiento seguro de las distintas obras de ingeniería, considerando que cada día la población se ubica en regiones más susceptibles a desastres de origen natural. La Simulación Geomecánica es una herramienta que sirve de gran ayuda para resolver problemas complejos, los cuales no tienen solución analítica (Torres e Infante, 2004). En el subtramo San Juan de Colón–San Félix de la Autopista San Cristóbal–La Fría, Táchira-Venezuela, se empleó el MEF. Como base para el análisis de estabilidad, de los taludes, que en conjunto indica que es factible realizar el conjunto de análisis a proponer, por lo que ha sido incluido en softwares comerciales dentro de sus análisis continuos (Torres y Torres, 2013).

La población de la Mesa de los Indios se encuentra en el municipio Campo Elías, estado Mérida, Venezuela, a 1.427 msnm, la cual ha sido afectada por deslizamientos, con diversos daños a la infraestructura. Uno de los factores que intervienen en estos problemas es la falla de Boconó, la principal estructura geológica que atraviesa los andes venezolanos (Gordones y Meneses, 2001) y que tiene una de las trazas en un área cercana a la población mencionada (Ramírez-Gil, *et al.*, 2023; Bellizzia y Pimentel, 1994).

En este trabajo, se presenta un análisis detallado del comportamiento de las fallas geológicas mediante el uso del Método de los

Elementos Finitos, al integrar información geológica detallada con simulaciones numéricas, donde se obtienen resultados concluyentes sobre los patrones de distribución de tensiones y desplazamientos en distintos tipos de fallas y configuraciones de geología estructural. Estos hallazgos no solo destacan la importancia de considerar las características específicas de cada zona de falla, sino también la necesidad de integrar factores adicionales como la heterogeneidad del campo de tensiones y la configuración geométrica de la falla, para analizar comportamientos precisos y útiles para la ingeniería geotécnica y la gestión de riesgos en áreas vulnerables. Este análisis proporciona así un marco sólido para la evaluación y mitigación de riesgos en zonas con actividad tectónica significativa, y ofrece una valiosa guía para futuros estudios en la simulación geomecánica de fallas complejas (Chollett, 2023).

2. Metodología

La investigación constó de 4 etapas fundamentales; la primera, preliminar, donde se revisó el material bibliográfico, cartográfico, aerofotográfico, entre otros, del área en estudio, que permitieron tener el comportamiento de los esfuerzos que actúan en la zona de estudio. Posteriormente, una etapa de campo [FIGURA 1](#), donde se realizó un recorrido exhaustivo de la zona de estudio para identificar los lugares donde se desarrollaron estudios más específicos caracterizando los materiales presentes, que alimentaron el modelo.

Las zonas de mayor interés fueron caracterizadas en función de sus materiales, pasando al análisis de laboratorio para suelos o macizos rocosos, donde se describieron detalladamente y se tomaron las muestras necesarias. Los materiales fueron sometidos a una serie de mediciones y ensayos de laboratorio para caracterizarlos. Para los materiales sueltos se empleó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y clasificación de los macizos rocosos mediante el Índice de Resistencia Geológica (GSI), (Hoek y Brown, 1997; Bienawski, 1979; González, *et al.*,

2004); adicionalmente a la clasificación fueron tomados datos cuali y cuantitativos de las discontinuidades y matriz rocosa, que permitieron, junto a los ensayos de laboratorio,

obtener las propiedades a utilizar en el modelo, para finalmente realizar las simulaciones pertinentes en las zonas de interés.



FIGURA 1. Medición en terreno para el modelado, estrías y movimiento de la falla

Las muestras recolectadas fueron tratadas de manera diferente según su naturaleza; para los suelos se realizaron los ensayos de granulometría (ASTM D-422), límites de consistencia (ASTM D-4318), para la clasificación mediante el SUCS (Badillo y Rodríguez, 2004), además de determinar su peso específico, contenido de humedad natural y resistencia a la compresión simple (ASTM D-2166), tal y como se aprecia en la FIGURA 2. Por su parte, a las muestras de matriz rocosa se les realizaron los ensayos de compresión uniaxial y densidad. En estos modelos se trabajaron con cuarcitas de la Asociación Tostós y Areniscas de la Formación

La Quinta, aflorantes en el Sector Mesa de Los Indios, Mérida, Venezuela.

En el proceso de modelado y simulación se utilizó el software ABAQUS. Un análisis por el MEF consta principalmente de tres etapas: la primera elaboración del modelo que debe replicar las condiciones observadas para mantener la correspondencia con el medio geológico; la segunda el procesamiento de las ecuaciones resultantes, y por último; la presentación y análisis de los resultados obtenidos (Chandrupatla y Belengundo, 1999; Vasiljević, 2023).



FIGURA 2. Ensayos de compresión inconfiada de rocas y suelos del sector Mesa de Los Indios

Las condiciones de borde impuestas replican lo observado en terreno, seleccionando un bloque que se empotra y el segundo se coloca de manera que se permita un movimiento transcuriente dextral, cónsono con el sistema de fallas presente junto con las cargas generales que replican la presión litoestática en ambos modelos (FIGURA 3). También se aplican las cargas asociadas a las viviendas en el sector

correspondiente; el mallado se realiza con elementos hexagonales tridimensionales, lineales de integración reducida, C3D8R, se cuidan las relaciones de forma de los elementos. Por último, se realiza el análisis numérico de todos los parámetros definidos en la etapa anterior a través del Método de Elementos Finitos.

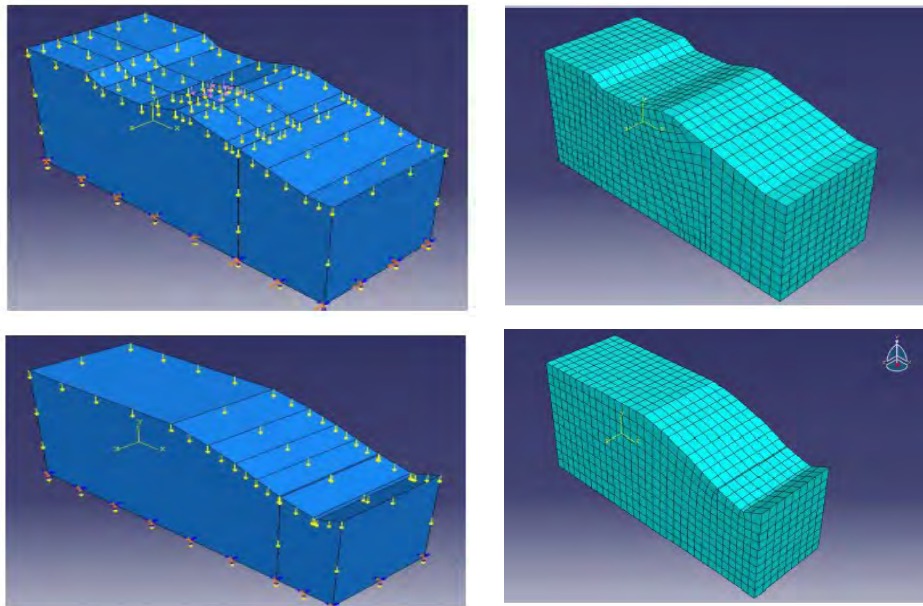


FIGURA 3. Mallado, cargas y condiciones de borde para los modelos considerados

3. Resultados y análisis

Las interpretaciones de las fotografías aéreas, junto con los levantamientos de campo, evidenciaron el comportamiento de la traza de la falla de Boconó en el sector Mesa de Los Indios, estado Mérida, Venezuela, esto en función de afloramientos encontrados midiendo desplazamientos, así como geoformas estudiadas en un contexto regional y local.

En el afloramiento de cuarcitas de la Asociación Tostós del sector en estudio, se

identificaron tectoglifos del tipo estrías de falla, con orientación NE-SW, la deformación de los minerales permitieron ratificar el sentido del movimiento de la falla.

El grado de fracturamiento de los macizos rocosos en el área es un indicativo del nivel de esfuerzos tectónicos presentes, lo cual permite, medir la dirección de dichos esfuerzos, información que se utilizó para la calibración del modelo (TABLA 1 y 2).

TABLA 1. Propiedades geomecánicas utilizadas en los modelos elásticos

Material	Peso Específico (kg/m³)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Coefficiente de Poisson
Cuarcita	2630	5.98x10 ⁴	0.16
Arenisca	2620	3.14x10 ⁴	0.25

Cada modelo se calibró utilizando la variable U2, que representa el desplazamiento en el eje Y (para efectos prácticos vertical); se refinó el mallado hasta alcanzar los valores medidos en campo.

Se determinaron por medio de los cálculos correspondientes en el método, el

desplazamiento, los esfuerzos (S), las deformaciones (E). De los resultados del modelo 1, analizaron, a mayor detalle la deformación y los esfuerzos máximos principal (FIGURA 4 y TABLA 2).

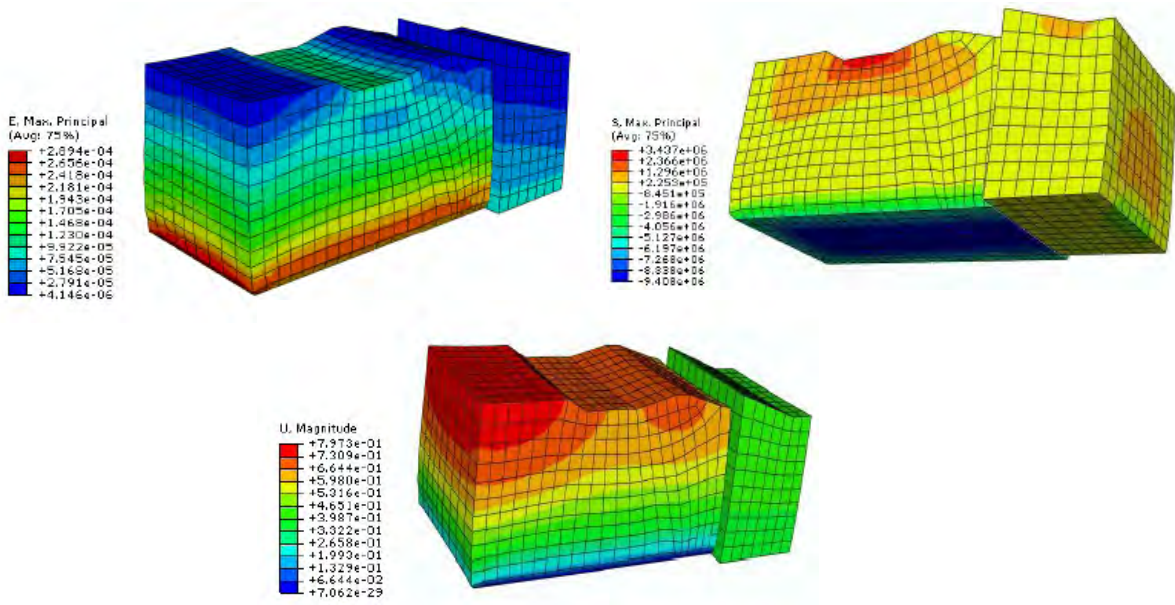


FIGURA 4. Desplazamientos, esfuerzos y deformaciones calculados para el modelo 1

TABLA 2. Resultados del modelo simulado por el Método de Elementos Finitos. Modelo 1

	Max	Min	X	Y	Z	XZ
Deformación	2,89e-4	-2,218e-5	3,044e-3	-1,321e-3	2,845e-4	2,350e-5
Esfuerzo	-9,408e6	-8,549e5	-1,011e7	-4,436e7	-1,033e7	2,952e5
Desplazamiento U	Total		-1,701e-1	-7,868e-1	3,796e-1	
	7,973e-1					

Los resultados del modelo 2 (FIGURA 5 y TABLA 3), permitió analizar el comportamiento de los desplazamientos medidos en terreno, determinando así los niveles de deformación y esfuerzos a los que se someten los materiales. Tras medir la deformación en el terreno y revisar las propiedades mecánicas de los materiales, se

ajustó el número de elementos en concordancia con las características de los materiales en el modelo idealizado. Este modelo, elaborado a partir del modelo de elevación digital, facilitó la comparación directa con los datos medidos en campo, y observables en la FIGURA 6.

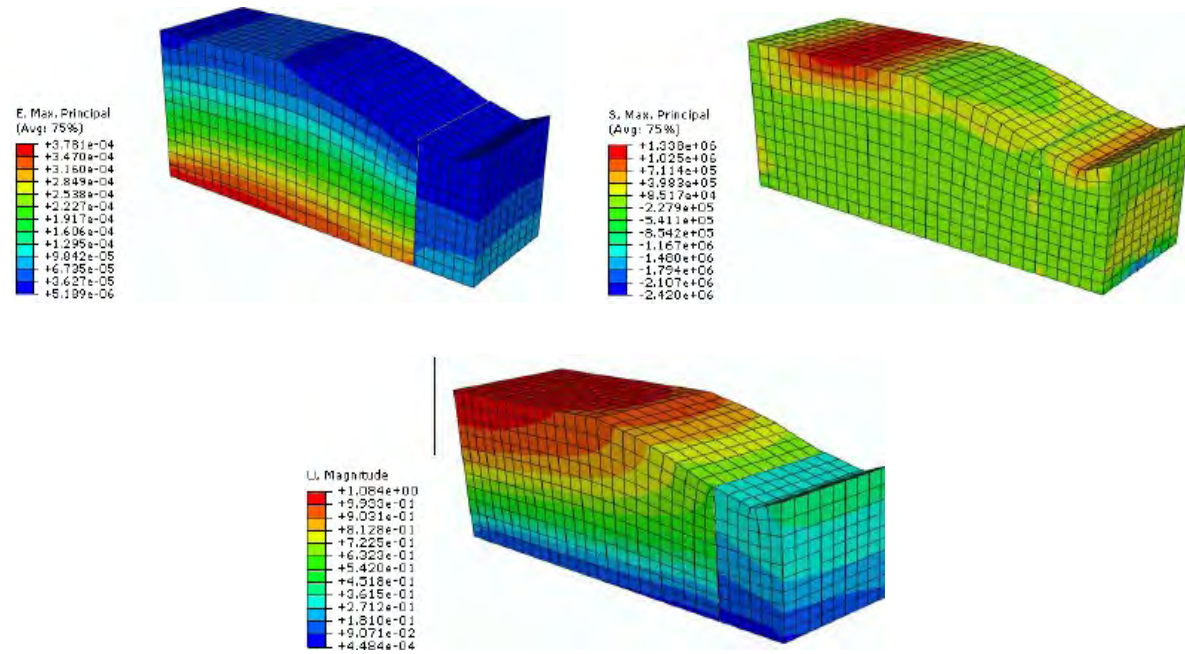


FIGURA 5. Desplazamientos, esfuerzos y deformaciones calculados para el modelo 2

TABLA 3. Resultados del modelo simulado por el Método de Elementos Finitos. Modelo 2

	Max	Min	X	Y	Z	XZ
Deformación	3,781e-4	-2,55e-5	3,041e-4	-1,474e-3	-3,779e-4	1,100e-5
Esfuerzo	-2,420e6	-4,893e7	9,670e6	-4,816e-7	-2,420e6	-1,861e5
Desplazamiento U	Total		-2,391e-1	-1,063	-3,416e-1	
	1,084					



FIGURA 6. Desplazamientos, y deformaciones en el área de estudio

4. Conclusiones y recomendaciones

Luego de haber modelado el área de estudio y sus adyacencias se puede decir que el patrón de comportamiento se mantiene en todos los modelos. Las deformaciones y los esfuerzos actúan de manera máxima en las mismas zonas, con algunas variantes como es el caso del modelo al que se le admite la carga sobre la base del poblado, así como la vergencia de los esfuerzos es la misma.

De manera general, en los modelos se observó que al desplazarse el bloque de las cuarcitas, las areniscas comienzan un proceso de asentamiento, esto explica los problemas en la vialidad que sufre el pueblo, así como también las viviendas que son afectadas y tienen grandes daños estructurales (Odreman y Ghosh, 1980; Bellizzia y Pimentel, 1994).

Con los valores obtenidos y la distribución de los mismos se puede decir que la traza de la falla de Boconó es la que controla estructuralmente el área, esto explica todos los indicios que se observan en la zona, así como también los valores obtenidos. En cuanto a la afectación del pueblo de la Mesa de Los Indios es importante tener en cuenta los desplazamientos que se generan.

Otro rasgo importante entre los modelos son los desplazamientos ya que, para los modelos realizados, el máximo ocurre a lo largo del eje Y, con valores por el orden de los 1,2m, todos con mayor ocurrencia en la parte superior del modelo.

En el modelado se tomó en consideración a la topografía del lugar, siendo este un factor importante a tener en cuenta, para llevarlos a generar modelos más cercanos a la realidad.

En cuanto a los esfuerzos los mismos actúan en conjunto, ya que siempre hacia la base, los esfuerzos son compresivos, mientras que en el tope, actúan como esfuerzos de tracción. A diferencia de ese comportamiento de manera general de los modelos.

Es necesario realizar estudios de vulnerabilidad y riesgo de la población, de manera de concientizar a las autoridades de las zonas con mayor vulnerabilidad.

Por otra parte, se debe analizar la infraestructura y evaluar las condiciones de habitabilidad para evitar que existan problemas ante un evento desencadenante de la amenaza.

5. Agradecimientos

Se agradece a María Elisa Elberg, por su aporte a la investigación, a todo el personal de los Laboratorios de Rocas de la Escuela de Ingeniería Geológica, de Materiales y Ensayos y de Mecánica de Suelos y Pavimento de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Los Andes, así como por su valiosa colaboración en el tratado de muestras durante esta investigación.

6. Referencias citadas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Ensayos de granulometría, ASTM D-422*. Disponible en: astm.org.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Límites de consistencia, ASTM D-4318*. Disponible en: astm.org.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Compresión uniaxial, ASTM D-2166*. Disponible en: astm.org.

BADILLO, J. y R. RODRIGUEZ. 2004. *Mecánica de Suelos*. Editorial Limusa. México DF.

BELLIZZIA, A. y N. PIMENTEL. 1994. Terreno Mérida: Un cinturón alóctono Hersiniano en la cordillera de Los Andes de Venezuela. *V Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera Cuencas Subandinas*, Memoria, pp. 271-290. Venezuela.

BIENAWSKI, Z. 1979. The geomechanics classification in rock engineering applications. In: *Proc. 4th International Conference on Rock Mechanics*. Vol. 2. Montreaux. Balkema, Switzerland.

CABELLO, D. y M. NAVARRETE. 2005. *Simulación geomecánica de la falla de la Hechicera a partir de un modelo Elastoplástico en base al Método de Elementos Finitos*. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

CHANDRUPATLA, T. y A. BELENGUNDO. 1999. *Introducción al estudio del elemento finito en ingeniería* (2° Edición). Pearson Educación. México.

CHOLLETT, E. 2023. "Seismic risk in Barquisimeto. Learning from the catastrophe in Turkey". *Gaceta Técnica*, 25(1): 78-92. Disponible en: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica251.5>.

ELBERG, M. 2002. *Proceso automatizado de refinamiento H-Adaptativo basado en índices de energía de deformación*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Postgrado de Ingeniería Estructural. Mérida, Venezuela.

FUKUSHIMA, K.; KANAORI & Y. F. MIURA. 2010. "Influence of fault process zone on ground shaking of inland earthquakes: Verification of Mj= 7.3 Western Tottori Prefecture and Mj= 7.0 West Off Fukuoka Prefecture earthquakes, southwest Japan". *Engineering Geology*, 116: 157-165. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.08.006>.

- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. y C. OTEO. 2004. *Ingeniería Geológica*. Editorial Person Prentice Hall. Madrid, España.
- GORDONES, G. y L. MENESES. 2001. "La representación de lo femenino y masculino en la iconografía prehispánica de la cordillera de Mérida, Venezuela". *Otras Miradas*, 1(1): 97-107.
- HOEK, E. & T. BROWN. 1997. "Practical estimates of rock mass strength". *Int J Rock Mech Min Sci*, 34(8):1.665-1.186. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(97\)80069-X](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(97)80069-X).
- ISLAM, S.; SHINJO, R. & J. KAYAL. 2011. "The tectonic stress field and deformation pattern of northeast India, the Bengal basin and the Indo-Burma Ranges: A numerical approach". *Journal of Asian Earth Sciences*, 40(1): 121-131. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.08.015>.
- LIANCHONG, L.; TIANHONG, Y.; ZHENGZHAO, L.; ZHU WANCHENG, Z. & T. CHUNAN. 2011. "Numerical investigation of groundwater outbursts near faults in underground coal mines". *International Journal of Coal Geology*, 85: 276-288. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.12.006>.
- ODREMAN, O. y S. GHOSH. 1980. "Estudio paleoambiental-paleontológico de facies de la Formación La Quinta, cerca de Mérida". *Boletín Geológico de Venezuela*. Caracas, Venezuela.
- RAMÍREZ-GIL, F.; DELGADO-MEJÍA, A.; FORONDA-OBANDO E. & L. OLMOS-VILLALBA. 2023. "Thermal finite element analysis of complex heat sinks using open-source tools and high-performance computing". *Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia*, (106): 124-133. Disponible en: <https://www.doi.org/10.17533/udea.redin.20220888>.
- TORRES, R. y E. INFANTE. 2004. *Influencia en las condiciones locales en la respuesta sísmica: Simulación geomecánica y aplicación a ejemplos naturales*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Mérida, Venezuela.
- TORRES, J. y R. TORRES. 2013. *Análisis de estabilidad cuasi-tridimensional de un talud de suelo empleando el Método de Elementos Finitos: Autopista San Cristóbal-La Fría, Venezuela*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Mérida, Venezuela.
- UZCÁTEGUI, M (s/f). *ABAQUS, Programa de Elementos Finitos*. Cecalcula. Mérida, Venezuela.
- VASILJEVIĆ, R. 2023. "Numerical methods and their application in dynamics of structures". *Vojnotehnicki glasnik/Military Technical Courier*, 71(2): 452-472. Disponible en: <https://doi.org/10.5937/vojtehg71-42781>.
- YINA, S.; XIEC, R.; WUD, Z.; LIUE, J. & W. DINGF. 2019. "In situ stress heterogeneity in a highly developed strike-slip fault zone and its effect on the distribution of tight gases: A 3D finite element simulation study". *Marine and Petroleum Geology*, 99: 75-91. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.10.007>.

ZHOU, Y.; HU, C. & Y. CAI. 2009. "Influence of an inhomogeneous stress field and fault-zone thickness on the displacements and stresses induced by normal faulting". *Journal of Structural Geology*, 31: 491-497. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2009.03.018>.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Temuco, La Araucanía, Chile; noviembre, 2024

Aportes para la contextualización y relevancia internacional del Geopatrimonio

del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, México

Contribuições para a contextualização e relevância internacional do Geopatrimônio
do Geoparque Mundial da UNESCO Mixteca Alta, México

Contributions to the contextualization and international relevance of the Geoheritage
of the UNESCO World Geopark Mixteca Alta, Mexico

José Luis Sánchez-Cortez¹, José Luis Palacio-Prieto², Quetzalcóatl Orozco-Ramírez¹,
Emmaline Rosado-González¹, Norma López-Castañeda¹ y Xóchitl Ramírez-Miguel¹

¹ Universidad Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geografía,
Unidad Académica de Estudios Territoriales-Oaxaca, Oaxaca, México

² Universidad Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geografía,
Coyoacán, México

jssancor@gmail.com; jsanchez@geografia.unam.mx; palacio@unam.mx; qorozco@geografia.unam.mx,
emma.rogz@gmail.com; normalc@geografia.unam.mx; xochitl@geografia.unam.mx

Sánchez: <https://orcid.org/0000-0002-1236-2848>

Palacio: <https://orcid.org/0000-0001-6651-0255>

Orozco: <https://orcid.org/0000-0002-3085-7406>

Rosado: <https://orcid.org/0000-0002-4959-7739>

López: <https://orcid.org/0009-0008-8488-1170>

Ramírez: <https://orcid.org/0009-0004-0559-3893>

Resumen

El geopatrimonio de un territorio reúne los rasgos geológicos y geomorfológicos clave para interpretar la historia del planeta. Su singularidad confiere su valor internacional, aspecto fundamental para la instauración de un Geoparque Mundial UNESCO. Este artículo expone el caso del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (México), contextualizando sus principales aspectos de importancia mundial. Se resalta la presencia de afloramientos metamórficos del proterozoico, evidencias paleoecológicas de los pastizales de Norteamérica, presencia de fósiles guías del Albiense y estructuras tectónicas y neotectónicas en los terrenos tectonoestratigráficos Mixteco y Zapoteco; también elementos culturales de categoría internacional. Se destaca la importancia de estos sitios a escala nacional, cumpliendo con el criterio de singularidad, establecido por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas. Para cumplimentar los objetivos de los Geoparques Mundiales UNESCO, se resalta la participación comunitaria, el grado de interacción de la sociedad con su geopatrimonio, así como la divulgación de estos elementos de interés.

PALABRAS CLAVE: geodiversidad; geositos; paleoambientes; patrimonio geológico

Resumo

O geopatrimônio de um território reúne as principais características geológicas e geomorfológicas para interpretar a história do planeta. Sua singularidade lhe confere valor internacional, aspecto fundamental para o estabelecimento de um Geoparque Mundial da UNESCO. Este artigo apresenta o caso do Geoparque Mundial Mixteca Alta da UNESCO (México), contextualizando seus principais aspectos de importância global. Destacam-se a presença de afloramentos metamórficos proterozóicos, evidências paleoecológicas das pradarias norte-americanas, presença de fósseis-guia do Albiano e estruturas tectônicas e neotectônicas nos terrenos tectonoestratigráficos Mixtecos e Zapotecas; além elementos culturais de categoria internacional. Ressalta-se a importância desses sítios em escala nacional, atendendo ao critério de unicidade estabelecido pela União Internacional de Ciências Geológicas. Para cumprir os objetivos dos Geoparques Mundiais da UNESCO, destacam-se a participação comunitária, o grau de interação da sociedade com seu geopatrimônio, bem como a disseminação desses elementos de interesse.

PALAVRAS-CHAVE: geodiversidade; geossítios; paleoambientes; patrimônio geológico.

Abstract

The geoheritage of a territory gathers the key geological and geomorphological features to interpret the history of the planet. Its uniqueness confers its international value, a fundamental aspect for the establishment of a UNESCO Global Geopark. This article presents the case of the Mixteca Alta UNESCO Global Geopark (Mexico), contextualizing its main aspects of global importance. It highlights the presence of Proterozoic metamorphic outcrops, paleoecological evidence of North American grasslands, Albian fossil guides, and tectonic and neotectonic structures in the Mixtec and Zapotec tectonostratigraphic terrains, as well as cultural elements of international importance. The importance of these sites on a national scale is highlighted, complying with the singularity criterion established by the International Union of Geological Sciences. In order to fulfill the objectives of the UNESCO Global Geoparks, community participation, the degree of interaction of society with its geoheritage, as well as the dissemination of these elements of interest are emphasized.

KEYWORDS: geodiversity; geosites; paleoenvironments; geological heritage.

1. Introducción

Las variables que conforman el paisaje y los elementos que nos permiten vislumbrar la historia evolutiva de nuestro planeta, como lo haría un templo o museo al aire libre, pueden ser considerados parte del geopatrimonio de un territorio (Newsome y Dowling, 2018; Reynard y Brilha, 2018; Santangelo y Valente, 2020). Algunos de los sitios que denotan un valor de singularidad científica, turística y/o educativa, pueden tomar la denominación de geositio/geomorfosito, según sea el caso (Palacio-Prieto, 2013). Los valores especiales que posee un determinado elemento geológico (*in situ o ex situ*), puede detonar en la aplicación de estrategias específicas de conservación para el beneficio de las generaciones presentes y futuras (ProGEO, 2017). Las estrategias de conservación pueden variar de acuerdo con el contexto político y administrativo de cada territorio (Caballero Cruz *et al.*, 2016). La intención de conservación del geopatrimonio aún es difusa; la sociedad, en general, no reconoce a plenitud la importancia del patrimonio geológico y la necesidad de su protección (Gordon, 2019); sin embargo, es un proceso que se va encaminado hacia el reconocimiento, en buena medida por las acciones del Programa de Ciencias de la Tierra de la UNESCO (UNESCO, 2015).

Ante esta necesidad los geoparques mundiales UNESCO surgen como una alternativa que busca promover la participación comunitaria en la gestión del territorio, promulgando el uso del geopatrimonio como una herramienta de desarrollo e identidad territorial (Farsani *et al.*, 2014), siendo los geositios y geomorfositos elementos fundamentales para cumplir este fin. Wimbledon (1996) establece que los geositios son elementos que permiten mostrar de manera prolija algún rasgo identitario de la historia de la tierra, ya sea en su conjunto o del lugar específico al cual pertenece; mientras que Panizza (2001) define a los geomorfositos como las formas específicas del relieve a las que se le puede atribuir un valor determinado.

Se ha estandarizado el hecho de que los geositios deban tener un valor científico preponderante para su consideración como tal

(Brilha 2018). Carcavilla *et al.*, (2019) manifiestan que es recomendable la participación de grupos muy nutridos de geocientíficos especialistas en diversas áreas (petrología, paleontología, mineralogía, sedimentología, geomorfología, entre otras), para generar un inventario del geopatrimonio. En el caso particular de los geoparques, los inventarios del geopatrimonio son el punto de partida para la gestión del territorio, y deben ir de la mano de otros aspectos complementarios: un adecuado marco normativo e institucional, estrategias de conservación y procesos educativos (Zouros, 2016; UNESCO, 2024).

Los geoparques deben contar con un patrimonio geológico de interés internacional (UNESCO, 2015, 2024; Martini *et al.*, 2022), ya que de eso depende su valor de singularidad en comparación con otros territorios, y sus valoraciones intrínsecas cumplen el rol de estandarizar la escala de importancia científica de cada sitio de interés patrimonial (Georgousis *et al.*, 2021). A la par, estos territorios procuran que sus geositios, además de sus intereses intrínsecos, posean una relación simbólica con las comunidades locales (UNESCO, 2015). Los geoparques fortalecen la identidad y los vínculos entre la población y su entorno, a través de las conexiones históricas que guardan las diferentes culturas con sus paisajes y elementos naturales (Alba *et al.*, 2023). El geopatrimonio puede establecer poderosos enlaces con las comunidades locales, hasta el punto de generar empoderamiento social y promover acciones encaminadas a su geoconservación (Prosser, 2019), entre las cuales, los geoparques aparecen como una alternativa muy viable y versátil (Gabriel *et al.*, 2018).

Otro aspecto para destacar en los Geoparques Mundiales de la UNESCO, como se establece en su definición, es el compromiso que tienen con la promoción de un desarrollo sostenible local: "*Los Geoparques Mundiales de la UNESCO son áreas geográficas únicas y unificadas en las que se gestionan sitios y paisajes de importancia geológica internacional, a través de un concepto holístico de protección, educación y desarrollo*

sostenible" (UNESCO, 2024: 1). Es en este sentido que a partir de 2015, cuando es asumida la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas, el Programa Internacional de Geociencias y Geoparques de la UNESCO y la Red Global de Geoparques, tomaron el compromiso de promover en estos territorios estrategias que contribuyeran a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (Rosado-González, *et al.*, 2020, 2022; Sá, *et al.*, 2024).

El Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (GMUMA), cuenta con el reconocimiento de la UNESCO desde mayo 2017 (Palacio-Prieto *et al.*, 2019), y una característica muy relevante del geopatrimonio local es su fuerte relación con las comunidades indígenas, en particular el vínculo que une la cosmovisión local y la geodiversidad; sus leyendas, oralidad y toponimia, dan testimonio de esta cualidad (Rosado-González, 2016; Rosado-González y Ramírez-Miguel, 2017). Previamente, a través de la aplicación de un proceso metodológico participativo desarrollado con las comunidades locales, se identificaron 48 geositos de importancia internacional, nacional, regional y local, en los cuales destaca su alto valor cultural, arqueológico y antropológico (FIGURA 1).

Entre los principales aspectos considerados en el este trabajo, se describen los afloramientos de rocas del Proterozoico correspondientes al microcontinente Oaxaquia, evidencias paleoecológicas del Pleistoceno, presencia de fósiles invertebrados extintos del Albiense (Cretácico Inferior), evidencias tectónicas y neotectónicas, así como elementos y manifestaciones culturales.

El presente trabajo no corresponde a un inventario sistemático de geositos, más bien tiene como objetivo profundizar en los diferentes aspectos que exponen los intereses geológico y geomorfológico presentes en el GMUMA, y brindar argumentos que validen la relevancia internacional de sus geositos. De igual forma, esta recopilación de información geológica actúa como un caso de estudio en el que se ejemplifica cómo se insertan los contextos geológicos de importancia global dentro del concepto de geoparques, siendo un soporte científico técnico, a manera de un marco de referencia práctico,

para aquellos territorios que están en proceso de construcción de un geoparque.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El GMUMA es un territorio que comprende nueve municipios, ubicados en el centro oeste de la región Mixteca Alta del estado de Oaxaca; juntos corresponden a un total de 415 km² y una población aproximada de 7.000 habitantes (Lorenzen, 2021). Su gradiente altitudinal oscila entre los 2.050 y 2.890 msnm, siendo un relieve típico montano, con valles y lomeríos. Debido a su localización hacia el borde de la Sierra Madre del Sur y la Sierra Madre Oriental, concurre una gran diversidad de elementos geológicos, principalmente rocas de diferentes tipos, edades y condiciones (grado de alteración, nivel de intemperismo, diaclasamiento), que están distribuidas en todo el territorio, así como manifestaciones tectono-estructurales locales y regionales. En el territorio del GMUMA afloran secuencias sedimentarias de la cuenca Tlaxiaco, que se ubican sobre un basamento cristalino (Complejo Oaxaqueño), que ha aportado sedimentos desde el Cretácico Inferior (Formaciones San Isidro, Teposcolula y Yucunamá), con depósitos sedimentarios alternados de tipo marino en plataforma continental, hasta secuencias posteriores de sedimentos continentales fluviales (Mixteca Alta Aspiring Geopark, 2015; Santamaría-Díaz *et al.*, 2008), (FIGURA 1).

Entre los atributos más importantes de la geodiversidad y el geopatrimonio del GMUMA tenemos aquellos que están relacionados con las geoformas y procesos erosivos generados por acción natural y antrópica, juntamente con la pérdida de suelo y cobertura vegetal, vinculado a la sobreexplotación agrícola, pastoreo y la susceptibilidad erosiva impuesta por una litología frágil. Los grandes circos erosivos y las huellas de la pérdida del suelo han sido definidos como un verdadero desastre ecológico (Mendoza, 2002; Guerrero-Arenas *et al.*, 2010; Sandoval-García *et al.*, 2021); sin embargo, esta circunstancia de vulnerabilidad ambiental y el paisaje derivado han sido utilizados como una

estrategia para promover la geoconservación y educación en el GMUMA, haciendo énfasis en la necesidad de implementar buenas prácticas

agrícolas, ganaderas y ambientales para contrarrestar este proceso erosivo.

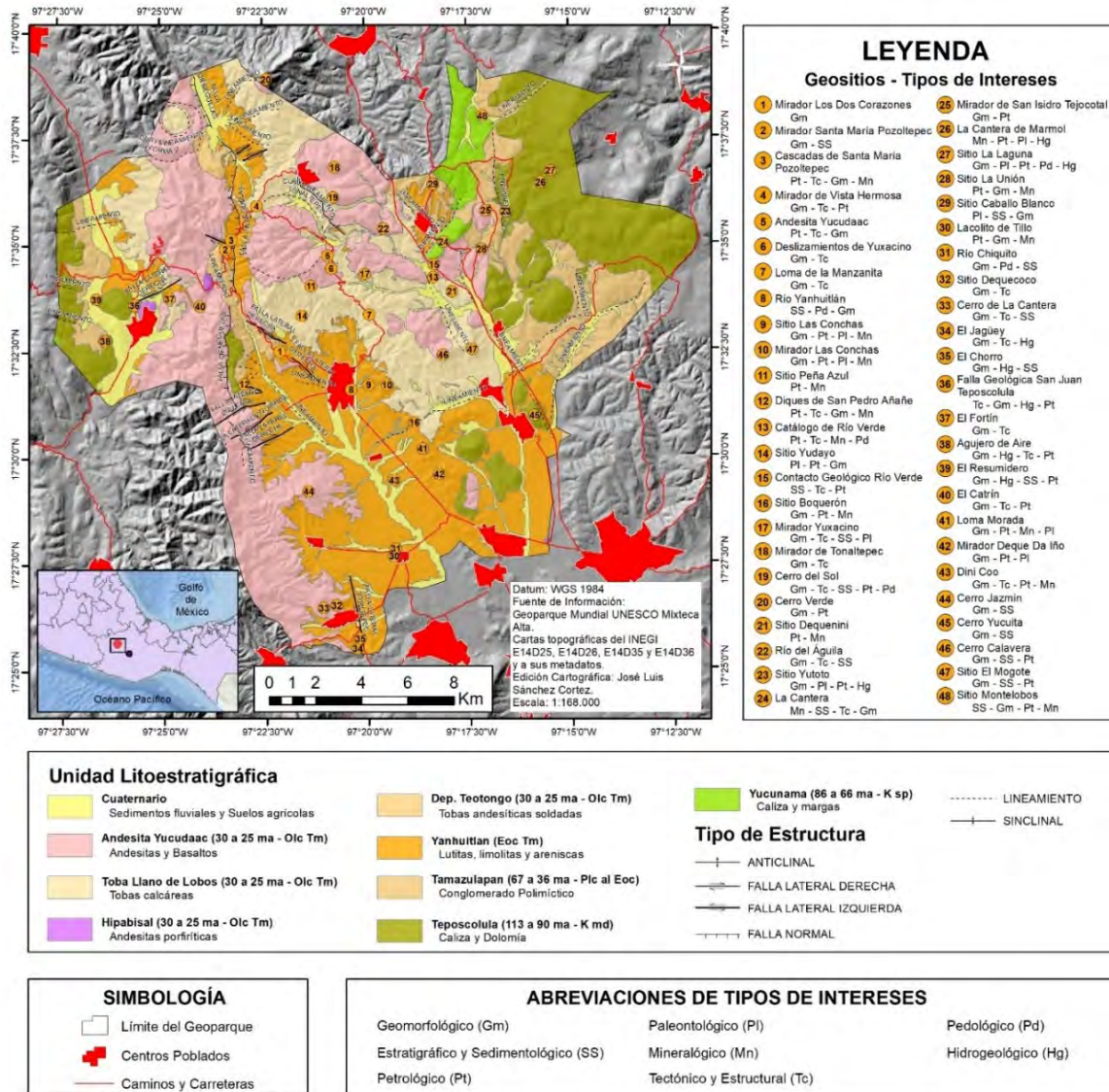


FIGURA 1. Mapa geológico del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, en el cual constan los 48 geositos que forman parte de este territorio

2.2 Métodos

En el presente trabajo se aplicó un proceso analítico bibliográfico y descriptivo de los principales intereses geológico y geomorfológico del Geoparque Mixteca Alta, y se complementó con la recopilación de información geológica y geomorfológica en el área del GMUMA,

utilizando técnicas de mapeo geológico y geomorfológico de carácter selectivo, empleando criterios de observación directa de cada rasgo de interés (Lahee, 1985; Lugo Hubp, 1988), integrado con la observación de perfiles a lo largo de senderos interpretativos empleados

dentro del territorio, así como el análisis de secciones y mapas geológicos locales disponibles.

Las estructuras observadas en campo fueron interpretadas según minutas y anotaciones con criterios geológicos y geomorfológicos (ubicación, datos estructurales, datos cartográficos, singularidades, litologías, exposición, texturas, dimensiones), suplementadas con información bibliográfica de cada sitio. Finalmente, luego del análisis bibliográfico se establecieron los aspectos e intereses geológico y geomorfológico de mayor singularidad en el área del geoparque. Las particularidades más importantes de un determinado sitio y criterio direccionan el valor internacional de algunos de los geositos inventariados en el geoparque, de acuerdo con las directrices establecida por la IUGS (2023); de igual manera, en este análisis también se consideraron los geosenderos que poseen en su recorrido los geositos o elementos naturales de interés internacional.

3. Resultados

A continuación, como parte de los resultados obtenidos se enlistan los principales criterios o intereses geológicos y/o geomorfológicos que se consideran con una alta singularidad. Estos criterios se han establecido en un orden relacionado con la escala geográfica de su importancia y su relación temporal (tiempo geológico).

3.1 Caracterización de sitios para interpretación geológica

Rodinia fue un super continente tres veces más antiguo que la Pangea; formado hace unos 1.100 o 1.000 millones de años, caracterizado por una intensa actividad tectónica (con alta frecuencia de procesos sísmicos, magmáticos y vulcanismo). Rodinia carecía de rastros de animales o de plantas, por lo que se le considera como un super continente estéril (Plummer, 2024). Hace aproximadamente 750 millones de años, Rodinia se comenzó a fraccionar en Laurencia o Laurasia (vinculada con la actual Norte América) y Gondwana (vinculada con la actual Sudamérica),

formando un océano entre ambas, denominado Panthallasa, o Pantalasa. En medio de Pantalasa había una enorme cordillera submarina que separó a los continentes. Hace 750 millones de años se presentan eventos de deformación a consecuencia de esta ruptura.

La orogenia *Greenville* se ubica al este de Norte América o margen este norteamericano (entre 900 y 1.000 millones de años). En Oaxaca, a 5 kilómetros del GMUMA, existen rocas de la misma edad, que se relacionan con el evento de la orogenia *Greenville* (FIGURA 2), aunque Ortega-Gutiérrez (1984) indica que es un evento diferente, relacionado con el otro lado de la costa estadounidense, es decir con la geología de las Rocosas. Desde 1991 se crea la hipótesis de Oaxaquia, representado por una teoría que explica la presencia de un microcontinente con una extensión cercana a 1 millón de km², que actualmente abarca desde el estado de Oaxaca hasta Tamaulipas (Hoffman, 1991; Centeno-García, 2017; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1995, 2018).

Se ha llegado a la conclusión de la existencia de Oaxaquia, ya que se ha encontrado que las rocas de los cinturones metamórficos de los estados de Tamaulipas, Hidalgo y Oaxaca tienen la misma edad del cinturón orogénico *Greenville*, es decir, cuando se formó Rodinia (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1995). Estas rocas, corresponden al segundo afloramiento rocoso más antiguo de México, sólo superado por los afloramientos metamórficos ubicados en el estado de Sonora (1.600 millones de años) (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018). Oaxaquia contiene minerales particulares, que se forman bajo condiciones de alta presión por choque de placas tectónicas (Mora *et al.*, 2019).

Oaxaquia se considera una pieza importante del rompecabezas de Rodinia y Pangea. Incluso hay pruebas isotópicas que refieren que Oaxaquia está más relacionada geológicamente con Sudamérica que con Norteamérica (Ruiz *et al.*, 1988). Sin embargo, no se conoce a ciencia cierta cómo migró Oaxaquia hacia su posición actual, entre 950 y 505 millones de años, ya que se perdió el registro de minerales y rocas que lo confirmen. Los modelos paleogeográficos de la evolución tectónica que se han establecido

exponen que Oaxaquia navegó hacia el norte y se incorporó a Laurentia (Weber y Schulze, 2014), existen evidencias fósiles de trilobites y otros organismos invertebrados que lo confirmarían. En esos tiempos se menciona que Oaxaquia

estaba muy pegado a Colombia (Sudamérica) y los fósiles encontrados en Oaxaca son similares a los encontrados en Sudamérica.



FIGURA 2. Afloramiento de rocas metamórficas (ortogneis, paragneis, anfibolitas y granulitas) correspondientes al Complejo Oaxaqueño (Proterozoico). Estas estructuras forman parte del Sendero de los Mil Millones de Años

3.2 Fósil de *Hippurite* (Rudista), *Coalcomana ramosa* (Boehn), fósil guía del Albiense

Los *Hippurites* pertenecen a un grupo de organismos bivalvos denominados Rudistas, los cuales son animales ya extintos que aparecieron a finales del Jurásico (160 millones de años aproximadamente) y se extinguieron a partir de la última gran mortandad, a finales del Cretácico (66 millones de años), he allí su gran importancia paleontológica (Oviedo-García, 2005; Mitchell, 2011). Estos organismos estaban constituidos por dos valvas (bivalvo), una de las cuales poseía una estructura de paredes gruesas, cilíndrica, alargada y cónica (en su parte inferior), fijada al sustrato, la cual se denomina valva derecha, mientras que la otra valva correspondía a una estructura móvil tipo 'tapa', ubicada en la parte

superior del animal, la cual se le denomina valva izquierda.

La *Coalcomana ramosa* (Boehm) es un organismo Rudista, considerada como una de las especies más importantes para la paleontología y la geología de México (Alencaster y Pantoja, 1986), (FIGURA 3), ya que es una especie cuya presencia indica el rango crono-estratigráfico correspondiente al Albiense (entre 113 y 100 millones de años), además indica el ambiente de depositación de los sedimentos, siendo un organismo que habitó en ambientes marinos bentónicos, fijos en sustratos resistentes, conformando comunidades numerosas, tal como los actuales arrecifes coralinos.



FIGURA 3. Registros fósiles de *Hippurites Coalcomana* (rudistas), encontrados en el geositio La Laguna del Geosendero Yutoto; A) Plano longitudinal de la valva derecha de una *Coalcomana* sp.; B) Plano transversal de la valva derecha de una *Coalcomana ramosa* (Boehn)

3.3 Paleoecología, fósiles de la megafauna del Pleistoceno y pastizales de América del Norte

Otro de los principales intereses geológicos percibidos en el territorio geoparque está vinculado con la paleoecología de la Mixteca Alta; Johnson *et al.* (2008) y Martorell *et al.* (2022) hacen alusión a la distribución de los pastizales de América del Norte, estableciendo que en la actual Región Chocholteca y Mixteca oaxaqueña, se corresponden al paleolímite sur de estos importantes ecosistemas, debido a la presencia de tobas volcánicas que propician el desarrollo de suelos delgados y calcáreos. Estos ambientes fueron un hábitat favorable para la megafauna del Pleistoceno Superior. Los hallazgos de restos fósiles de mamuts, caballos, perezosos gigantes, entre otros, en el territorio del GMUMA, son un testimonio importante para corroborar estas afirmaciones. En este mismo sentido, Ceballos *et al.* (2010) y Carbot-Chanona *et al.* (2022) mencionan que los corredores ubicados entre el Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur corresponden a uno de los grandes corredores biológicos y rutas migratorias de megafauna durante el Pleistoceno, ya que también se han encontrado restos de estos mamíferos en Centro y Sudamérica (Agenbroad, 1984; Lucas *et al.*, 2022).

En el geositio del río Yanhuitlán (FIGURA 4B), se han estudiado paleosuelos con un registro de 13.000 años, que incluyen vestigios de la última gran glaciación del Pleistoceno, lo cual está relacionado con las migraciones y cambio de hábitat de los ejemplares extintos de la megafauna del Pleistoceno (Mueller *et al.*, 2012; Solís y Bocco, 2018). En el Centro de Interpretación del GMUMA, existe una colección de especímenes fósiles procedentes de los geositios Yudayo y Caballo Blanco (FIGURA 4).

3.4 Tectonismo y neotectonismo de la Región Mixteca

Entre los aspectos que se consideran de importancia internacional resaltan las condiciones tectónicas, neotectónicas y estructurales de la Mixteca Alta, derivadas de las circunstancias innatas del estado de Oaxaca. Oaxaca se encuentra en la zona de convergencia de cuatro placas tectónicas que se desplazan entre sí (Pacífico hacia el noroeste, Norteamérica hacia el occidente, Cocos hacia el noreste y Caribe hacia el oriente), convirtiendo esta zona en una porción de debilidad cortical (Kostoglodov y Pacheco, 1999; González Huizar, 2019).

El GMUMA se ubica en una zona geológica compleja, asociada a procesos tectónicos en los terrenos tectono estratigráficos Mixteco y

Zapoteco (Sedlock *et al.*, 1993). El 25% de los sismos ocurridos en México se presentan en el estado de Oaxaca; tan solo entre enero y diciembre de 2023, a nivel estatal se registraron un total de 6.782 episodios con magnitudes mayores a 3, mientras que, en el geoparque, se han registrado 63 sismos con magnitudes mayores a 3, desde 1979 hasta la fecha (Servicio Sismológico Nacional, 2024), asociado a fallas laterales activas con dirección N-S y NW-SE (Sistemas Caltepec, Cieneguilla y Oaxaca). Los geositos falla geológica de San Juan Teposcolula,

El Catrín y Mirador de Vista Hermosa (FIGURA 5) son algunos en los que se puede percibir los efectos del tectonismo dentro del GMUMA. Otra de las principales manifestaciones de los procesos tectónicos en el geoparque es la formación del Nudo Mixteco (sector sur del límite de la placa norteamericana) y la formación de una divisoria continental, de la cual nacen tres cuencas hidrográficas que drenan sus aguas hacia el océano Pacífico (río Balsas y río Verde) y el golfo de México (río Papaloapan), (FIGURA 6).



FIGURA 4. A) Restos fósiles de diversos especímenes de megafauna del Pleistoceno, encontrados en los geositos Yudayo y Caballo Blanco. B) Afloramiento capas de paleosuelos, cuyas edades reportadas corresponden a 13.000 años de antigüedad

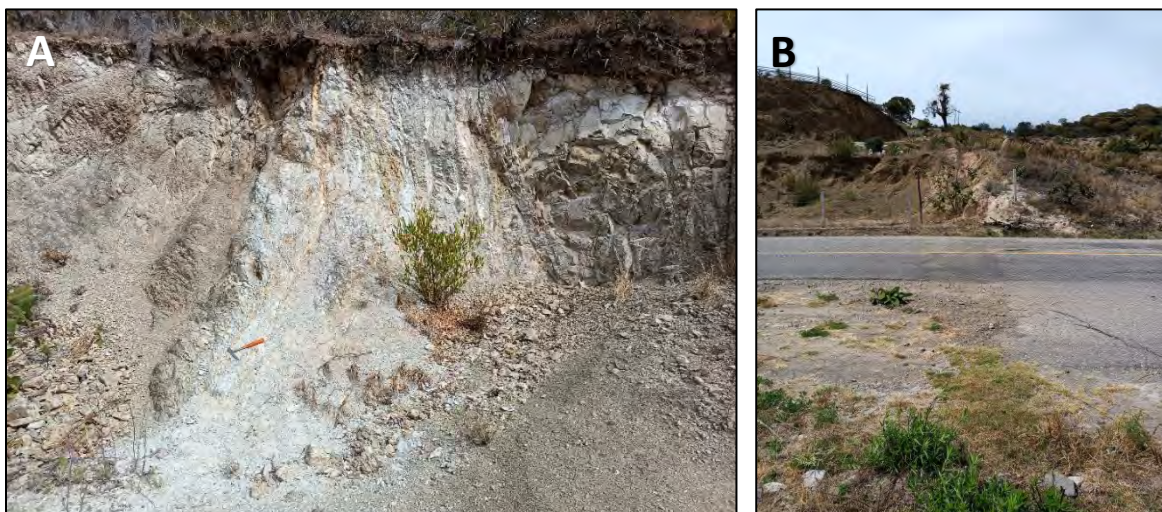


FIGURA 5. Evidencias de fallas laterales activas. A) Falla de Tooxi (geosito 1); B) Falla geológica de San Juan Teposcolula (geosito 38)

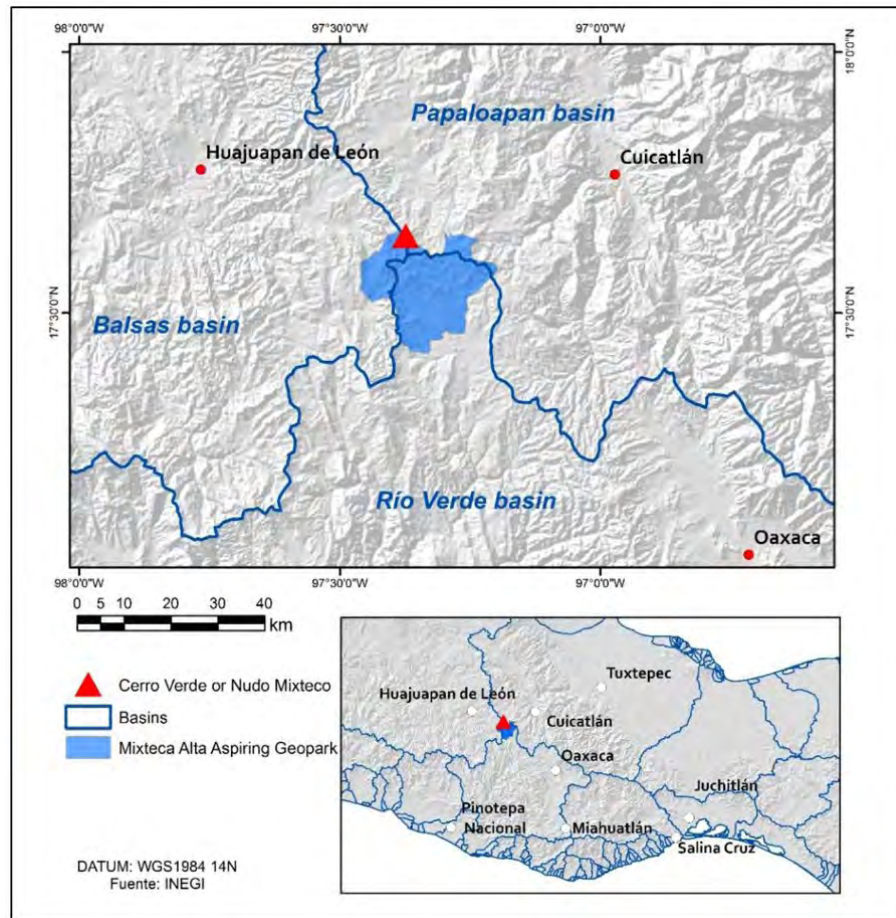


FIGURA 6. Ubicación de la divisoria de las cuencas hidrográficas del río Balsas, río Verde (drenan sus aguas hacia el Pacífico) y río Papaloapan (drena hacia el golfo de México). Esta divisoria de carácter continental se ubica justo en los geositos Mirador de Vista Hermosa (geosito 4) y Cerro Verde (geosito 20)

3.5 Valor cultural: manifestaciones culturales tradicionales como respuesta a los procesos erosivos

En complemento con lo antes descrito, Palacio-Prieto *et al.* (2016) y Fernández de Castro-Martínez (2020) mencionan que en el área del GMUMA los elementos geológicos y geomorfológicos patrimoniales de interés, están vinculados con tres eventos principales: 1) los procesos erosivos que se dan de manera natural en este territorio, en conjunción con la erosión de origen antrópico, los cuales al conjugarse crean un espectáculo de geoformas erosivas y diversos patrones de modelado, que fungen como una verdadera aula temática sobre la erosión; 2) los afloramientos de suelos antiguos o paleosuelos, los cuales se encuentran enterrados o aflorando

en los cauces de los ríos del valle de Yanhuatlán. Estos suelos antiguos registran acontecimientos históricos ambientales, biológicos, culturales, sociales en el GMUMA; 3) los elementos culturales que se asocian a los recursos geológico, geomorfológicos y paisajísticos, como los *lamabordos* (FIGURA 7A) o terrazas de cultivo prehispánicas y los sitios arqueológicos, los cuales son ejemplos de la mixtura y adaptación de las culturas ancestrales a su entorno.

Además de que los paleosuelos son una fuente importante de datos prehistóricos, estos se usan en la actualidad para la elaboración de piezas de alfarería en el municipio de Santo Domingo Tonaltepec. En estas localidades las mujeres alfareras utilizan las técnicas y los conocimientos heredados por sus antecesoras,

siendo transmitidos durante siglos y sus piezas se encuentran muy diseminadas por toda la región (Spores y Balkansky, 2013; Pérez Rodríguez, 2020).

Con relación a la erosión como proceso natural y su aprovechamiento por las comunidades, se han datado terrazas tipo *lamabordo* de 3.400 años en la zona limítrofe del GMUMA (Leigh *et al.*, 2013). La invención de las terrazas tipo *lamabordo* fue uno de los desarrollos tecnológicos que permitieron el desarrollo civilizatorio y urbano de la población durante la prehistoria; de hecho, se afirma que debido a este desarrollo tecnológico, el Valle de Nochixtlán, una zona que comparte una porción con el GMUMA, tuvo una mayor concentración poblacional de la que tiene actualmente (Spores, 1969). Así mismo, los *lamabordos* moldearon el paisaje prehispánico de la región y determinaron en buena medida el patrón de los asentamientos humanos (Pérez Rodríguez, 2016). La técnica de construcción de *lamabordos* se mantiene hasta nuestros días, y está asociada a un tipo de sistema agrícola muy particular que, además de ser parte del patrimonio cultural y material de las comunidades mixtecas, tiene un papel muy importante en la seguridad alimentaria de las comunidades, en particular de las que están ubicadas en los lomeríos y son una estrategia para adaptarse a la variabilidad ambiental actual (Bocco *et al.*, 2019, Orozco-Ramírez *et al.*, 2020).

3.6 Meteorito de Yanhuítlán

El 31 de diciembre de 1864, Leopoldo Río de la Loza elabora un informe a manera de reporte, sobre la caída de un aerolito de gran tamaño en la zona de Santo Domingo Yanhuítlán, el mismo que establece que: "*Se cree que cayó en la Mixteca alta, al pie de un cerro conocido bajo el nombre de Deque-Yucunino, a siete mil pies ingleses de elevación, como a los 17° 29' de latitud, y a 1° 47' de longitud oriental de México, en un pueblo llamado Santo Domingo Yanhuítlán, cabecera del partido de su nombre, distrito de Teposcolula, del cual dista cuatro leguas, y veinticinco de la ciudad de Oaxaca, que es la capital del Departamento a que pertenece el pueblo.*" (Río de la Loza, 1865: 5).

En esta descripción se establece que el peso del meteorito es de 916 libras, o 421 kilogramos. Además, se expresa que las medidas aproximadas de la masa metálica son: 71 cm de truncamiento a truncamiento, 45 cm en su mayor latitud o eje transversal, y 43 cm de altura. Actualmente, el meteorito reposa y está expuesto en las instalaciones del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (FIGURA 7B). No se sabe a ciencia cierta el sitio exacto de la caída de este aerolito; sin embargo, el registro histórico del acontecimiento es una gran oportunidad para profundizar sobre este hecho, y se abre la posibilidad de localizar en territorio elementos potenciales afines a este patrimonio.



FIGURA 7. A) Estructuras tradicionales para la contención de sedimentos, y generación de suelos agrícolas, denominadas *lamabordos*; B) Meteorito de Yanhuítlán, el cual reposa en el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México

4. Discusión

Tanto para los visitantes, turistas y viajeros en general, y para quienes observan los paisajes existentes en la Mixteca Alta (Bautista Santiago, 2022), es imposible no otorgar un alto valor estético, considerando las variables de los contrastes de colores y estructuras visibles en todo este territorio, así como aspectos imponentes que destacan sin dificultad, como en el caso de las cárcavas, valles estrechos o sus diques andesíticos (Barrientos-Zavala *et al.*, 2023). No obstante, estas circunstancias están íntimamente ligadas a procesos geológicos, geomorfológicos, mineralógicos, actividad biogeoquímica, hidrológica, actividades antrópicas, entre otras, que han repercutido directa o indirectamente en la distribución de la cobertura vegetal. Y mucho más allá de estos efectos que resaltan a primera vista, existen elementos singulares para este contexto local, regional, nacional e incluso internacional, que han sido expuestas en este trabajo.

Los Geoparques Mundiales UNESCO aparecen como una etiqueta internacional que promulga la creación de un mecanismo de cooperación y desarrollo, a partir de territorios que, con un patrimonio geológico de valor internacional y un enfoque comunitario, garanticen la conservación de ese patrimonio, comprometiendo a las comunidades locales, con el objeto de forjar una gestión sostenible (UNESCO, 2015; Henriques y Brilha, 2017; Rosado-González *et al.*, 2020). Los Geoparques brindan un testimonio incondicional del geopatrimonio global y propagan su conservación (Du y Girault, 2018), y el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta cumple ambos criterios.

La evaluación o caracterización de la particularidad científica de este patrimonio es el soporte necesario para definir la singularidad geológica de un geoparque, empero, cuando el geopatrimonio es identificado por la sociedad en general, el geopatrimonio también obtiene un valor adicional de identidad o de relación con las comunidades locales (Girault, 2019). Si un geocientífico clasifica un elemento geológico de importancia internacional, sin que la comunidad

se haya apropiado o involucrado en el proceso de catalogación, ese elemento de singularidad o valor internacional pasa a ser un elemento sin contexto para las comunidades; no obstante, cuando un geositio es aceptado por la comunidad científica y la población local, su valor patrimonial es mucho más simbólico (Gray, 2013).

Evaluar el valor de singularidad puede ser importante a la hora de establecer la importancia científica del geopatrimonio, pero ¿cuán importante es un elemento geológico o geomorfológico de importancia mundial para las comunidades locales? Eso va a depender del nivel de interacción, divulgación o involucramiento que se logre desplegar a nivel de la sociedad, en lo que respecta a la exposición de su importancia (Rodrigues *et al.*, 2023). Por ello es necesario promover una interacción más estrecha entre la comunidad académica y la sociedad al momento de identificar y proponer geositios.

En este sentido, ¿se garantiza que el geopatrimonio del GMUMA posee un valor internacional? pues de acuerdo con lo establecido por la IUGS (2023) (Unión Internacional de Ciencias Geológicas, por sus siglas en inglés), el término de patrimonio de importancia internacional aplica a territorios que poseen características geológicas que se consideren entre los mejores ejemplos de su género a nivel nacional, o en la red regional a la que pertenezca, y en el marco de su contexto geológico principal. Por ejemplo, los geoparques en China poseen condiciones y características únicas que representan la diversidad geológica nacional, cuya conservación es imperiosa, ya que algunos de estos territorios son extremadamente sensibles al impacto humano (Zhao y Wang, 2002; Xu y Wu, 2022).

Dicho esto, el geopatrimonio presente en el GMUMA no es la excepción en cuanto a su valor científico, ya que podemos puntualizar como ejemplos, los afloramientos metamórficos del Complejo Oaxaqueño (evidencias del microcontinente Oaxaquia, y el segundo tipo de roca con mayor antigüedad en México), la presencia de fósiles de rudistas *Coalcomana*

ramosa (Boehm) (catalogada como una de las especies más importantes para la paleontología y la geología de México por Alencaster y Pantoja en 1986), así como la formación del Nudo Mixteco y de la divisoria continental, de la cual nacen tres cuencas hidrográficas que drenan sus aguas hacia el océano Pacífico (río Balsas y río

Verde) y el golfo de México (río Papaloapan), los que cumplen lo establecido en las directrices de la IUGS. Es importante vincular las relaciones de este geopatrimonio con los demás geositos y los geosenderos ubicados en el territorio (FIGURA 8 y TABLA 1).

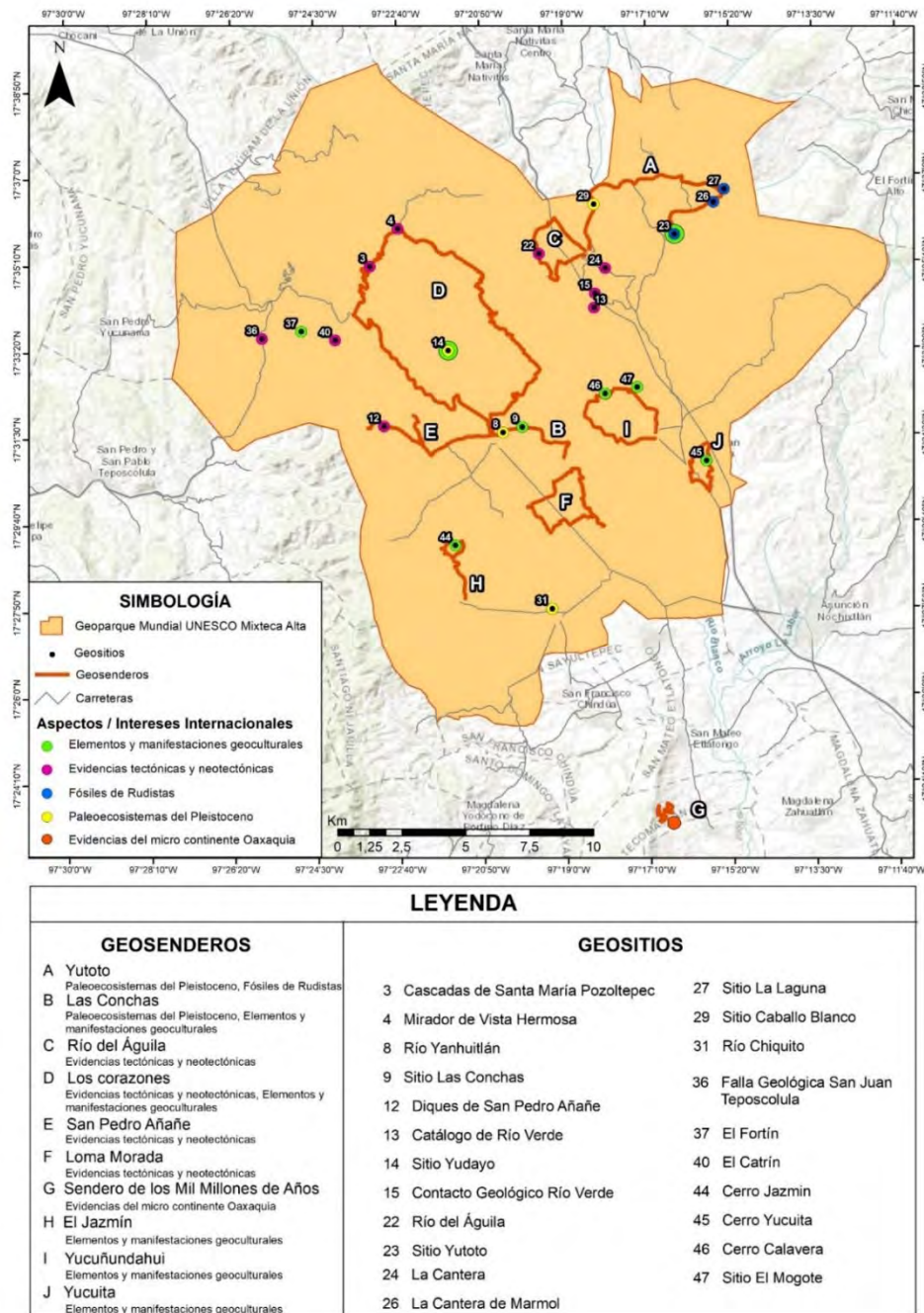


FIGURA 8. Mapa de ubicación de los geositos y geosenderos que guardan relación con los aspectos/intereses de relevancia internacional en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta

TABLA 1. Listado de los aspectos/intereses internacionales, y los geositos y geosenderos ligados a cada uno de ellos

Aspectos / Intereses Internacionales	Geositos	Geosendero
Evidencias del micro continente Oaxaquia	(*)	Sendero de los Mil Millones de Años
Paleoecosistemas del Pleistoceno	Río Yanhuatlán Sitio Yudayo Sitio Caballo Blanco Río Chiquito	Las Conchas Yutoto
Fósiles de Rudistas	Sitio Yutoto La Cantera de Marmol Sitio La Laguna	Yutoto
Evidencias tectónicas y neotectónicas	Cascada de Santa María Pozoltepec Mirador de Vista Hermosa Diques de San Pedro Añãñe Catálogo de Río Verde Contacto Geológico Río Verde Río del Águila La Cantera Falla Geológica San Juan Teposcolula El Catrín Dino Coó	Los Corazones San Pedro Añãñe Río del Águila Loma Morada
Elementos y manifestaciones geoculturales	Sitio Las Conchas Sitio Yudayu Sitio Yutoto El Fortín Cerro Jazmín Cerro Yucuita Cerro Calavera Sitio El Mogote	Los Corazones Las Conchas El Jazmín Yutoto Yucuita Yucuñundahui

(*) El Geoparque Mixteca Alta aún no cuenta con un geosito específico identificado como parte de este aspecto/interés; sin embargo, si presenta una ruta interpretativa denominada 'Sendero de los mil millones de años', la cual involucra los afloramientos del Complejo Oaxaqueño y otros geositos dentro del GMUMA. Vale puntualizar que tampoco existe en el GMUMA un geosito establecido para el aspecto/interés relacionado con la caída del Meteorito de Yanhuatlán

El reconocimiento internacional de poseer un patrimonio de singularidad global puede ser un detonante para movilizar o potenciar otros elementos patrimoniales que, de manera directa o indirecta, puedan tener relación con su geopatrimonio. Los geoparques no se manejan en función de un elemento geológico o geomorfológico de importancia global, este es solo un componente que da fundamento al geoparque. Los geoparques son una estrategia

que involucra al patrimonio natural y cultural del territorio, así como a las estructuras de gestión y manejo, fomentando actividades de conservación, desarrollo, divulgación, educación y uso sostenible de los elementos que conforman el patrimonio geológico y/o geomorfológico de importancia global. En este sentido las comunidades son el motor que impulsa y sustenta al territorio geoparque, con la base de su patrimonio.

5. Conclusiones

A partir del presente trabajo se ha realizado un análisis de los principales aspectos e interés geológicos y geomorfológicos de importancia internacional dentro del territorio del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, en el cual se han establecido varios elementos singulares que denotan la particularidad intrínseca que el GMUMA posee. Los intereses expuestos muestran una diversidad de procesos y eventos que repercuten en la complejidad del paisaje y los elementos naturales presentes. La cultura mixteca, sus tradiciones locales y su relación con el entorno, crean manifestaciones patrimoniales que sin lugar a duda representan un agregado que realza el valor funcional y aplicado del geopatrimonio. Existe mucho trabajo realizado en la Mixteca Alta sobre elementos culturales, arqueológicos y antropológicos, entorno a los *lamabordos*, las técnicas de agricultura tradicional y la distribución de sus asentamientos, recursos y formas de comunicación, son décadas de investigaciones en estos ámbitos.

Si bien los inventarios y descripciones realizadas en este manuscrito son concordantes con la información disponible que ha sido generada por los cuerpos académicos y científicos desplegados en el GMUMA, existen aspectos que deben ser profundizados. Tal es el caso de los yacimientos paleontológicos de las cuencas cretácicas y cenozoicas, en donde se

encuentran fósiles e icnofósiles de invertebrados marinos y continentales que requieren identificación y clasificación; de igual forma, en el caso de la caída del meteorito de Yanhuatlán, se abre la posibilidad de desplegar tareas de búsqueda del sitio de impacto, y la determinación de minerales asociados.

Junto con la contextualización de la relevancia internacional del geopatrimonio existente en el GMUMA, el mayor aporte de este trabajo radica en la generación un marco de referencia nacional y regional, que permite ejemplificar como se insertan los contextos geológicos singulares dentro de un territorio geoparque. A pesar de que la identificación de sitios de patrimonio geológico relevante es una condición fundamental en un geoparque, su definición y caracterización puede resultar confusa; en este sentido, un estudio de caso brinda modelos aplicados para la tipificación de dicho geopatrimonio para un área que avizora convertirse en geoparque. Asimismo, se enfatiza en que, a los sitios y características de importancia mundial descritas por geocientíficos, se les suma la cosmovisión y las relaciones comunitarias que existen en este territorio, lo que fortalece el sentido de identidad de los grupos locales con su entorno y su patrimonio, fomentando el sentido de pertenencia local en las actuales y futuras generaciones.

6. Agradecimientos

Los autores extienden su agradecimiento por el continuo soporte a las autoridades municipales y agrarias de los Municipios de Santo Domingo Yanhuatlán, San Juan Teposcolula, Santo Domingo Tonaltepec, San Bartolo Soyaltepec, San Juan Yucuita, Santa María Chachoapam, San Andrés Sinaxtla, San Pedro Topiltepec y Santiago Tillo, en representación de las comunidades que conforman el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta.

7. Referencias citadas

- AGENBROAD, L.D. 1984. "New World mammoth distribution". En: P. S. MARTIN & R.G. KLEIN (Eds.), *Quaternary Extinctions, a prehistoric revolution*, pp. 90-108. University of Arizona. Tucson, USA.
- ALBA, S.; BALDO, M.; DE BENEDETTI, L.; DEIMICHEI, S.; MAZZINO, F.; MARGAGLIOTTI, A.;... & I. TOCCO TUSSARDI. 2023. "A participatory inventory project to Kick-Start the creation of a Hospital Park: The experience of the University of Verona (North-Eastern Italy)". *Sustainability*, 15(5): 3905. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su15053905>.

- ALENCASTER, G. y J. PANTOJA. 1986. "Coacomana ramosa (Bohm) (Bivalvia-Hippuritacea) del Albiano temprano del cerro Tuxpan, Jalisco". *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 47(1): 33-46.
- BARRIENTOS-ZAVALA, K.J.; CHAKO-TCHAMABÉ, B.; SILIS-ESQUIVEL, J.; ALCALÁ-REYGOSA, J.; FERNÁNDEZ DE CASTRO MARTÍNEZ, G.; MARÍN-GUZMÁN, A. P. & A. MONTES DE OCA. 2023. "Distribution and Characterization of the Mixteca Alta-UNESCO Geopark Dikes as Evidence of an Extensional Tectonic Regime in Western Oaxaca, Mexico". *Investigaciones geográficas*, 111. Disponible en: <https://doi.org/10.14350/rig.60696>.
- BAUTISTA SANTIAGO, N.A. 2022. "Paisajes mediáticos de la Mixteca oaxaqueña: imágenes para un futuro étnico". *Cuicuilco. Revista de Ciencias Antropológicas*, 29(85): 137-163.
- BOCCO, G.; CASTILLO, B. S.; OROZCO-RAMÍREZ, Q. y A. ORTEGA-ITURRIAGA. 2019. "La agricultura en terrazas en la adaptación a la variabilidad climática en la Mixteca Alta, Oaxaca, México". *Journal of Latin American Geography*, 18(1): 141-168.
- BRILHA, J. 2018. "Geoheritage and geoparks". En: E. REYNARD y J. BRILHA (Eds.), *Geoheritage. Assessment, Protection, and Management*. pp. 323-334. Elsevier.
- CABALLERO CRUZ, P.; HERRERA MUÑOZ, G.; BARRIOZABAL ISLAS, C. y M. T. PULIDO. 2016. "Conservación basada en comunidad: importancia y perspectivas para Latinoamérica". *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 26(48): 335-352.
- CARBOT-CHANONA, G.; GÓMEZ-PÉREZ, L. E. & M. A. COUTIÑO-JOSÉ. 2022. "A new specimen of *Eremotherium laurillardi* (Xenarthra, Megatheriidae) from the Late Pleistocene of Chiapas, and comments about the distribution of the species in Mexico". *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 74(2): A070322. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2022v74n2a070322>.
- CARCAVILLA, L.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; GARCÍA-CORTÉS, A. & J. VEGAS. 2019. "Geoheritage and geodiversity". Instituto Geológico y Minero de España.
- CEBALLOS, G.; ARROYO-CABRALES, J. & E. PONCE. 2010. "Effects of Pleistocene environmental changes on the distribution and community structure of the mammalian fauna of Mexico". *Quaternary Research*, 73: 464-473. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2010.02.006>.
- CENTENO-GARCÍA, E. 2017. "Mesozoic tectono-magmatic evolution of Mexico: An overview". *Ore Geology Reviews*, 81: 1.035-1.052. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.010>.
- DU, Y. & Y. GIRAULT. 2018. "A genealogy of UNESCO Global Geopark: Emergence and evolution". *International Journal of Geoheritage and Parks*, 6(2): 1-17. Disponible en: [10.17149/ijgp.j.issn.2577.4441.2018.02.001](https://doi.org/10.17149/ijgp.j.issn.2577.4441.2018.02.001).

- FARSANI, N. T.; COELHO, C. O. A.; COSTA, C. M. M. & A. AMRIKAZEMI. 2014. "Geo-knowledge management and geoconservation via Geoparks and Geotourism". *Geoheritage*, 6: 185-192. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0099-7>.
- FERNÁNDEZ DE CASTRO-MARTÍNEZ, G. 2020. *Fotogrametría digital y modelado del terreno por erosión hídrica en la cuenca alta del río Verde, Oaxaca*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Tesis Doctoral.
- GABRIEL, R.; MOREIRA, H.; ALENCOÃO, A.; FARIA, A.; SILVA, E. & A. A. SÁ. 2018. "An emerging paradigm for the UNESCO Global Geoparks: The Ecosystem's Health Provision". *Geosciences*, 8, 100. Disponible en: [doi:10.3390/geosciences8030100](https://doi.org/10.3390/geosciences8030100).
- GEORGOUSIS, E.; SAVELIDI, M.; SAVELIDES, S.; HOLOKOLOS, M.V. & H. DRINIA. 2021. "Teaching Geoheritage values: Implementation and thematic analysis evaluation of a synchronous Online Educational Approach". *Heritage*, 4(4): 3.523-3.542. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/heritage4040195>.
- GIRAULT, Y. 2019. "Methodological proposal for the valorization of the geodiversity of rural areas comparable with the Zat Valley". En Y. GIRAULT (Ed.), *UNESCO Global Geoparks: Tension Between Territorial Development and Heritage Enhancement*, pp., 111-132. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc.
- GONZÁLEZ HUIZAR, H. 2019. "La Olimpiada XXIV de Ciencias de la Tierra: Los Grandes Terremotos en México". *GEOS*, 39(1): 1-21.
- GORDON, J. E. 2019. "Geoconservation principles and protected area management". *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(4): 199-210. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.12.005>.
- GRAY, M. 2013. *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature (2nd. ed.)*. Wiley Blackwell, Chichester, UK.
- GUERRERO-ARENAS, R.; JIMÉNEZ, H. E., y R. E. SANTIAGO. 2010. "La transformación de los ecosistemas de la Mixteca Alta oaxaqueña desde el Pleistoceno Tardío hasta el Holoceno". *Ciencia y Mar*, 14: 61-68.
- HENRIQUES, M. H. & J. BRILHA. 2017. "UNESCO Global Geoparks: a strategy towards global understanding and sustainability". *Episodes*, 40(4): 349-355. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18814/epiiugs/2017/v40i4/017036>.
- HOFFMAN, P. F. 1991. "Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside out?" *Science*, 252: 1.409-1.412.
- INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCE (IUGS). 2023. *Guidelines for the assessment of the international significance of geological heritage in UNESCO Global Geoparks applications*. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386952>.

- JOHNSON, E.; NIELSEN-MARSH, C. M. & M. A. GUTIERREZ. 2008. "Exploration of diagenetic profiles at mammoth localities on the North American grasslands". *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 250: 113-127.
- KOSTOGLODOV, V. y J. F. PACHECO. 1999. *Cien años de sismicidad en México*. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <https://usuarios.geofisica.unam.mx/vladimir/sismos/100a%F1os.html>. [Consulta: marzo, 2024].
- LAHEE, F.H. 1985. *Geología Práctica*. Ed. Omega. Barcelona, España.
- LEIGH, D. S.; KOWALEWSKI, S. A. & G. HOLDRIDGE. 2013. "3400 years of agricultural engineering in Mesoamerica: lama-bordos of the Mixteca Alta, Oaxaca, Mexico". *Journal of Archaeological Science*, 40(11): 4.107-4.111.
- LORENZEN, M. 2021. "Nueva ruralidad y migración en la Mixteca Alta, México". *Perfiles latinoamericanos*, 29(58): 00011. Disponible en: <https://doi.org/10.18504/pl2958-011-2021>.
- LUCAS, S. G.; ROMERO, J. E.; VÁSQUEZ, O. J. & G. E. ALVARADO. 2022. "The fossil vertebrates of Guatemala". *Revista Geológica de América Central*, 66: 1-32. Disponible en: DOI: [10.15517/rgac.v66i0.48590](https://doi.org/10.15517/rgac.v66i0.48590).
- LUGO HUBP, J. 1988. *Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos)*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México.
- MARTINI, G.; ZOUROS, N.; ZHANG, J.; JIN, X.; KOMOO, I.; BORDER, M.; ... & A. A. SÁ. 2022. "UNESCO Global Geoparks in the "World after": a multiple-goals roadmap proposal for future discussion". *Episodes Journal of International Geoscience*, 45(1): 29-35. Disponible en: <https://doi.org/10.18814/epiugs/2021/021002>.
- MARTORELL, C.; GARCÍA, D.; BEJARANO, O.; PÉREZ, S. y J. ULRICH. 2022. *Los pastizales Chocholtecos: Capítulo 1*. Disponible en: <https://www.facebook.com/watch/?v=687583152313834>. [Consulta: marzo, 2024].
- MENDOZA, E. 2002. "El ganado comunal en la Mixteca Alta: de la época colonial al siglo XX. El caso de Tepelmeme". *Historia Mexicana*, 51: 749-785.
- MITCHELL, S. F. (Ed). 2011. The Ninth International Congress on Rudist Bivalves, 18th to 25th June 2011, Abstracts, Articles and Field Guides. *The Ninth International Congress on Rudist Bivalves*. Disponible en: <https://tedbusinesspro.com/sfmgeology/pdfs/>.
- MIXTECA ALTA ASPIRING GEOPARK. 2015. *Application dossier for the Global Geopark Network*. Oaxaca, México.
- MORA, C. I.; VALLEY, J. W. & F. ORTEGA-GUTIÉRREZ. 2019. "The temperature and pressure conditions of Grenville-age granulite facies metamorphism of the Oaxacan Complex, southern Mexico". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 6(2): 222-242.

- MUELLER, R. G.; JOYCE, A. A. & A. BOREJSZA. 2012. "Alluvial archives of the Nochixtlan valley, Oaxaca, Mexico: Age and significance for reconstructions of environmental change". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 321/322: 121-136. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.01.025>.
- NEWSOME, D. & R. DOWLING. 2018. "Geoheritage and geotourism". En: E. REYNARD & J. BRILHA (Eds.), *Geoheritage. Assessment, Protection, and Management*, pp. 305-321. Elsevier.
- OROZCO-RAMÍREZ, Q.; BOCCO, G. & B. SOLÍS-CASTILLO. 2020. "Cajete maize in the Mixteca Alta region of Oaxaca, Mexico: adaptation, transformation, and permanence". *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(9): 1.162-1.184.
- ORTEGA-GUTIÉRREZ, F. 1984. "Evidence of Precambrian evaporites in the Oaxacan granulite complex of southern Mexico". *Precambrian Research*, 23: 377-393.
- ORTEGA-GUTIÉRREZ, F.; RUIZ, J. & E. CENTENO-GARCÍA. 1995. Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic. *Geology*, 23(12): 1.127-1.130.
- ORTEGA-GUTIÉRREZ, F.; ELÍAS-HERRERA, M.; MORÁN-ZENTENO, D. J.; SOLARI, L.; WEBER, B. & L. LUNA-GONZÁLEZ. 2018. "The pre-Mesozoic metamorphic basement of Mexico, 1.5 billion years of crustal evolution". *Earth-Sciences Reviews*, 183: 2-37. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.006>.
- OVIEDO-GARCÍA, A. 2005. *Rudistas del Cretácico Superior del Centro Al Sureste de México (Recuento sistemático de rudistas americanos)*. Universidad Autónoma de Barcelona. Unidad de Paleontología del Departamento de Geología. Tesis Doctoral. Disponible en: <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Paleo-3.pdf>.
- PALACIO-PRIETO, J. L. 2013. "Geositos, geomorfositos y geoparques: importancia, situación actual y perspectivas en México". *Investigaciones geográficas*, 82: 24-37.
- PALACIO-PRIETO, J. L.; ROSADO-GONZÁLEZ, E.; RAMÍREZ-MIGUEL, X.; OROPEZA-OROZCO, O.; CRAM-HEYDRICH, S.; ORTIZ-PÉREZ, M. A.; ... & G. FERNÁNDEZ DE CASTRO-MARTÍNEZ. 2016. "Erosion, culture and geoheritage; the case of Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca, México". *Geoheritage*, 8: 359-369. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12371-016-0175-2>.
- PALACIO-PRIETO, J. L.; FERNÁNDEZ DE CASTRO MARTÍNEZ, G. y E. R. ROSADO GONZÁLEZ. 2019. "Geosenderos en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, Oaxaca, México". *Cuadernos Geográficos*, 58(2): 111-125. Disponible en: DOI: <https://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i2.7055>.
- PANIZZA, M. 2001. "Geomorphosites: concepts, methods and examples of geomorphological survey". *Chinese Science Bulletin*, 46: 4-5.

- PÉREZ RODRÍGUEZ, V. 2016. "Terrace agriculture in the Mixteca Alta Region, Oaxaca, Mexico: ethnographic and archeological insights on terrace construction and labor organization". *Culture, Agriculture, Food and Environment*, 38(1): 18-27.
- PÉREZ RODRÍGUEZ, V. 2020. "Estudio etnoarqueológico de la alfarería en Santo Domingo Tonaltepec, Oaxaca". *Cuadernos del Sur*, 25(48): 6-28
- PLUMMER, P. S. 2024. "Evolution and extinction in a supercontinental world: did the breakup of Rodinia provide metazoans with evolutionary salvation?" *Australian Journal of Earth Sciences*, 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/08120099.2024.2364710>.
- PROGEO. 2017. Geodiversidad, Patrimonio Geológico y Geoconservación. La guía de ProGEO. Disponible en: http://www.progeo.ngo/downloads/ProGEO_leaflet_ES_2017.pdf.
- PROSSER, C. D. 2019. "Communities, Quarries and Geoheritage-Making the Connections". *Geoheritage*, 11: 1.277-1.289. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00355-4>.
- REYNARD, E. & J. BRILHA. 2018. "Geoheritage: A multidisciplinary and applied research topic". En: E. REYNARD & J. BRILHA (Eds), *Geoheritage. Assessment, Protection, and Management*. pp. 3-9. Elsevier.
- RÍO DE LA LOZA, L. 1865. *Descripción del aerolito de Yanhuatlán*. Imprenta de J. M. Andrade y F. Escalante. Disponible en: <https://memoricamexico.gob.mx/swb/memorica/Cedula?old=Kd07-W8B1i1oLPn4We5e>.
- RODRIGUES, J.; COSTA E SILVA, E. & D. I. PEREIRA. 2023. "How can geoscience communication foster public engagement with geoconservation?" *Geoheritage*, 15(32). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12371-023-00800-5>.
- ROSADO-GONZÁLEZ, E. M. 2016. *El Geoparque Mixteca Alta, Oaxaca; propuesta de incorporación a los Geoparques Globales de la UNESCO*. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis Licenciatura.
- ROSADO-GONZÁLEZ, E. M. y X. RAMÍREZ-MIGUEL. 2017. "Importancia del trabajo comunitario participativo para el establecimiento del Geoparque Mundial de la UNESCO Mixteca Alta, Oaxaca, México". *Investigaciones Geográficas*, 92. Disponible en: <https://doi.org/10.14350/rig.59435>.
- ROSADO-GONZÁLEZ, E. M.; SÁ, A. & J. L. PALACIO-PRIETO. 2020. "UNESCO Global Geoparks in Latin America and the Caribbean and their contribution to Agenda 2030 Sustainable Development Goals". *Geoheritage*, 13(21). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00459-2>.

- ROSADO-GONZÁLEZ, E. M.; FERRARO CASTILLO, F. X.; PALACIO-PRIETO, J. L. y A. A. SÁ. 2022. "La Investigación-Acción Participativa como estrategia clave en la consolidación y gestión de los Geoparques Mundiales de la UNESCO: los casos del Mixteca Alta Geoparque Mundial de la UNESCO (México) y del Minero Litoral del Biobío Geoparque Aspirante (Chile)". *Museologia e Patrimônio - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Museologia e Patrimônio – UNIRIO*, 15(1): 150-163.
- RUIZ, J.; PATCHETT, P. J. & F. ORTEGA-GUTIERREZ. 1988. "Proterozoic and Phanerozoic basement terranes of Mexico from Nd isotopic studies". *Geological Society of America Bulletin*, 100: 274-281.
- SÁ, A. A.; ROSADO-GONZALEZ, E.; VAZ, N.; LOURENÇO, J.; SILVA, E. y MARTÍNEZ-MARTÍN, J. E. 2024. "A comunicação e a educação como pilares do desenvolvimento sustentável em Geoparques Mundiais da UNESCO". En: F. F. L. LUBECK FILHO, y L. CARVALHO (Orgs), *Comunicação & Desenvolvimento*. pp. 27-37. FACOS-UFSM.
- SANDOVAL-GARCÍA, R.; GONZÁLEZ-CUBAS, R. & J. JIMÉNEZ-PÉREZ. 2021. "Multitemporal analysis of the change in land cover in the Mixteca Alta Oaxaqueña". *Revista mexicana de ciencias forestales*. Disponible en: DOI: [10.29298/rmcf.v12i66.816](https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.816).
- SANTAMARÍA-DÍAZ, A.; ALANIZ-ÁLVAREZ, S. A. & A. F. NIETO-SAMANIEGO. 2008. "Deformaciones cenozoicas en la cobertura de la falla Caltepec en la región de Tamazulapam, sur de México". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25 (3): 494-516.
- SANTANGELO, N. & E. VALENTE. 2020. "Geoheritage and Geotourism Resources". *Resources*, 9(80): 1-5. Disponible en: DOI:[10.3390/resources9070080](https://doi.org/10.3390/resources9070080).
- SEDLOCK, R. L.; ORTEGA-GUTIÉRREZ, F. & R. C. SPEED. 1993. "Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico: Boulder". *Geological Society of America, Special Paper*, 278: 153.
- SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL. 2024. *Catálogo de sismos*. Disponible en: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>. [Consulta: marzo, 2024].
- SOLIS, B. & G. BOCCO. 2018. "Terraces and landscape in Mixteca Alta, Oaxaca, Mexico: Micromorphological indicators". *Spanish Journal of Soil Science*, 8(2): 194-213. Disponible en: DOI: [10.3232/SJSS.2018.V8.N2.05](https://doi.org/10.3232/SJSS.2018.V8.N2.05).
- SPORES, R. 1969. "Settlement, farming technology, and environment in the Nochixtlan Valley". *Science*, 166(3905): 557-569.
- SPORES, R. & A. BALKANSKY. 2013. *The Mixtecs of Oaxaca. Ancient times to the present* (The Civilization of the American Indian Series, volume 267). University of Oklahoma Press. Norman, Publishing Division of the University. USA.
- UNESCO. 2024. *UNESCO Global Geoparks*. Disponible en: <https://www.unesco.org/en/igpp/geoparks/about?hub=67817>. [Consulta: agosto, 2024].

UNESCO. 2015. *Statutes of the International Geoscience and Geoparks Programme and Operational Guidelines for UNESCO Global Geoparks*. Disponible en:

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000234539>.

WEBER, B. & C. H. SCHULZE, C.H. 2014. "Early Mesoproterozoic (> 1.4 Ga) ages from granulite basement inliers of SE Mexico and their implications on the Oaxaquia concept –evidence from U-Pb and Lu-Hf isotopes on zircon". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 31(3): 377-394.

WIMBLEDON, W. A. 1996. "GEOSITES-a new conservation initiative". *Episodes*, 19(3): 87-88.

Disponible en: <https://doi.org/10.18814/epiugs/1996/v19i3/009>.

XU, K. & W. WU. 2022. "Geoparks and geotourism in China: A sustainable approach to Geoheritage conservation and local development—A review". *Land*, 11(9): 1.493. Disponible en:

<https://doi.org/10.3390/land11091493>.

ZHAO, X. & M. WANG. 2002. "National geoparks initiated in China: Putting geoscience in the service of society". *Episodes*, 25: 33-37.

ZOUROS, N. 2016. "Global Geoparks Network and the New UNESCO Global Geoparks Programme". *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50: 284-291.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Oaxaca, México; enero, 2025

NOTAS Y DOCUMENTOS

***NOTAS E DOCUMENTOS /
NOTES AND DOCUMENTS***

Geografías morales: interfaz disciplinario entre la geografía y la ética desde el concepto de justicia

Geografias morais: interface disciplinar entre a geografia e a ética
a partir do conceito de justiça

Moral Geographies: disciplinary interface between Geography and Ethics
from the concept of justice

Esteban Figueroa Navarrete

Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Geografía
Santiago, Chile
ecfigueroa@uc.cl

<https://orcid.org/0000-0002-7020-4493>

Resumen

Geográficamente un interfaz es un lugar de encuentro, de contacto y transición entre elementos, facilitando la comprensión de fenómenos espaciales. Se intentó explorar el interfaz disciplinario entre la geografía y la ética desde el concepto de justicia. Los conceptos son expresiones de nuestro interés y cada disciplina conduce sus investigaciones a través de ellos. El interfaz disciplinario permitiría interesarse en cómo el concepto de justicia organiza metodológicamente a la geografía ante el descubrimiento. Esto obliga a trascender los límites, es decir, convertir a la geografía en filosofía de sí misma, es invocarse en el interfaz disciplinario. No es sólo abordar la realidad desde contradictorios, es pensar éticamente el quehacer geográfico. La justicia no sólo remite a un equilibrio, sino a una instancia de cooperación racional entre partes. Este enfoque interdisciplinario es crucial, ya que permite que las teorías éticas integren una dimensión espacial, esencial para comprender y abordar las injusticias geográficas.

PALABRAS CLAVE: interfaz disciplinario; descubrimiento; teorías éticas; injusticias geográficas.

Resumo

Geograficamente, uma interface é um local de encontro, contato e transição entre elementos, facilitando a compreensão dos fenômenos espaciais. Foi feita uma tentativa de explorar a interface disciplinar entre a geografia e a ética a partir do conceito de justiça. Os conceitos são expressões de nosso interesse e cada disciplina conduz sua pesquisa por meio deles. A interface disciplinar permitiria que nos interessássemos em como o conceito de justiça organiza metodologicamente a geografia diante da descoberta. Isso nos obriga a transcender os limites, ou seja, transformar a geografia em uma filosofia de si mesma, é invocar-se na interface disciplinar. Não se trata apenas de abordar a realidade a partir de pontos de vista contraditórios, mas de pensar eticamente sobre a tarefa geográfica. A justiça não se refere apenas a um equilíbrio, mas a uma instância de cooperação racional entre as partes. Essa abordagem interdisciplinar é fundamental, pois permite que as teorias éticas integrem uma dimensão espacial, o que é essencial para entender e lidar com as injustiças geográficas.

PALAVRAS-CHAVE: interface disciplinar; descoberta; teorias éticas; desigualdades geográficas.

Abstract

Geographically, an interface is a place of encounter, contact and transition between elements, facilitating the understanding of spatial phenomena. An attempt was made to explore the disciplinary interface between geography and ethics from the concept of justice. The concepts are expressions of interest, and each discipline conducts its research through them. The disciplinary interface would allow us to be interested in how the concept of justice methodologically organizes geography in the face of discovery. This forces us to transcend the limits, that is, to turn geography into a philosophy of itself, that is, to invoke itself at the disciplinary interface. It is not only to approach reality from contradictory points of view, but also to think ethically about the geographic task. Justice does not only refer to a balance, but to an instance of rational cooperation between parties. This interdisciplinary approach is crucial, as it allows ethical theories to integrate a spatial dimension.

KEYWORDS: disciplinary interface; discovery; ethical theories; geographic inequities.

1. Introducción

Un interfaz se puede entender como una estructura de comunicación entre sistemas, en el cual se propicia el diálogo entre ellos fomentando la integración y la comprensión de lo real de cada uno de estos sistemas. Geográficamente, un interfaz es un lugar de encuentro, de contacto y transición entre elementos, facilitando la comprensión de fenómenos espaciales (Bosque y Zamora, 2002).

Si llevamos este término al plano disciplinario, podemos afirmar que un interfaz será un espacio que invita a nuevas lecturas de las relaciones, aspectos y patrones que existen entre determinadas disciplinas.

Para fines del presente artículo, exploraremos el interfaz disciplinario entre la geografía y la ética desde el concepto de justicia. Los conceptos son expresiones de nuestro interés y cada disciplina conducen sus investigaciones a través de ellos (Wittgenstein, 2021).

La comprensión y el conocimiento del mundo pasan por los conceptos. Smith (1997) señala que existirán conceptos que permitirán a la geografía evidenciar lo bueno y lo malo del mundo, a lo que agregamos lo planteado por MacIntyre (1981), quien dice que algunos de estos serán verdaderas virtudes en los cuales podemos caracterizarnos a nosotros mismo en el mundo y en diferencia o igualdad con otros.

El entrelazamiento disciplinar entre la ética y la geografía pasaría por una conexión entre los conceptos claves de cada una de ellas. La cuestión para sortear cualquier complejidad es dar imagen, una lógica representacional en la geografía a los conceptos éticos (Bonfiglioli, 2016).

La justicia, como un concepto ético trascendental, trasciende el ámbito filosófico para integrarse y manifestarse en diversas disciplinas del conocimiento. La geografía, en particular, ha dedicado esfuerzos significativos a su comprensión, abarcando desde enfoques prácticos hasta una intencionalidad material, es decir, lo qué es efectivamente un acto justo. La percepción, la esencia y la interpretación de la justicia en el contexto geográfico emergen en la

interacción interdisciplinaria, donde convergen múltiples perspectivas y saberes.

Aquí lo tratamos como el nodo entre la geografía y la ética en el campo de las geografías morales. Estas últimas la comprendemos, tal como lo plantea Smith (1997), como una forma de explorar cómo las concepciones de lo correcto e incorrecto, no solo se evidencian sino también relacionan en el espacio geográfico. Desde prácticas humanas a reflexiones sobre la justicia, responsabilidades y valores, se construyen, consensan y manifiestan en diferentes contextos geográficos, revelando la importancia de la dimensión ética en la geografía.

El concepto de justicia puede organizar e incluso normar investigaciones empíricas que invitan a una lectura moral (Smith, 1997). La idea de que los conceptos son sólo expresiones discursivas dista de que estos sí constituyen una imagen representativa en el espacio geográfico.

El concepto de justicia se vuelve trascendental en cuanto no representa sólo a un objeto, sino más bien a una clase de objetos. En la geografía moral sería oportuno aprehenderlo desde una distinción como acto de pensamiento, contenido de pensamiento y el objeto del concepto (Brugger, 1958).

Sería pertinente entonces, identificar aquellos fenómenos geográficos a los cuales aplicar el concepto de justicia. Rouse (2007) sugiere hacerlo para aquellos fenómenos que sean capaces de evidenciar lo correcto e incorrecto, evitando -y en una interpretación a Barnett (2014)-, el agotamiento normativo que pueden realizar los conceptos éticos como el de justicia.

2. Método

Se realizó un análisis crítico del interfaz disciplinario entre la geografía y la ética, es decir, a una reflexión centrada en la comprensión y propuestas que se le da al concepto de justicia entre ambas disciplinas. La metodología fue de tipo investigación teórica exclusivamente cualitativa, la cual involucró una revisión exhaustiva de literatura existente ahondando en una reflexión crítica sobre cómo la justicia puede organizar metodológicamente la geografía.

Se buscó trascender los límites tradicionales de la geografía, integrándola con perspectivas filosóficas para ofrecer una comprensión más abierta y desde un plano ético de los fenómenos espaciales.

La literatura geográfica proporcionó una comprensión de cómo los espacios y lugares están organizados y cómo las inequidades espaciales pueden evidenciarse desde un debate sobre lo justo. Determinar qué es justo y qué no lo es implica, primero analizar las relaciones de poder, las estructuras sociales que las soportan y los valores culturales que se relacionan en la distribución de recursos, derechos y oportunidades.

Las diferentes teorías de la justicia ofrecieron marcos normativos que podían ser aplicados para evaluar y abordar estas inequidades. Esta revisión permitió identificar puntos de convergencia y divergencia entre las dos disciplinas, estableciendo una base sólida para el análisis crítico.

Se desarrolló una suerte de marco teórico que permitiera integrar la comprensión del concepto de justicia desde la geografía y la ética. Para aquello fue indispensable adoptar una posición crítica que cuestionase las estructuras de poder inherentes en la organización espacial.

Esto proporcionó una guía que permitió reflexionar sobre cómo las prácticas geográficas podían ser reformuladas para promover la justicia en el ámbito geográfico, abordando problemas como la segregación urbana y la distribución desigual de recursos. No es solo un diagnóstico de las desigualdades existentes, es cómo reorientamos los análisis de patrones históricos a un ámbito ético del pensamiento geográfico.

La reflexión crítica permitió evaluar los hallazgos desde un enfoque que considerase implicaciones más amplias sobre el interfaz disciplinario. Reveló que la integración de la ética y la justicia en la geografía no solo enriquece la comprensión de los fenómenos espaciales, sino que también ofrece nuevas herramientas para abordar problemas sociales y ambientales urgentes.

3. Resultados

3.1 La justicia en geografía

Todo concepto posee una historia; sin embargo, se ven sometidos y tensionados por la misma. A su vez, la geografía entendida como el espacio final del concepto agita las propias determinaciones de este, lo asimila, pero a la vez lo expulsa en un continuo proceso reformante.

Lo anterior se justifica en el planteamiento de Santos (2000) de que el espacio no debe entenderse solo como un escenario pasivo donde los hechos ocurren sin más. Debe entenderse como una continua construcción activa y dinámica, influenciada por las múltiples relaciones existentes.

El espacio final entonces debe pensarse como aquella condensación de las interacciones sociales, donde el concepto muestra su constante transformación. Ni estático o determinado por únicos factores, sino que constituido por las relaciones que propician estas agitaciones, los conceptos nos invitan a pensarlos como construcciones ideológicas que influyen en cómo se organiza y percibe el espacio geográfico.

Tenemos que el concepto es una representación racional de la esencia de la realidad. Es una expresión abstracta de un objeto, sin definirlo, pero representando "*lo que es*" (Brugger, 1958: 104). Al ser una referencia racional tiende a la objetividad, en cuanto concibe al objeto de forma intelectual, lo que dará lugar a la comunicación por medio de signos, términos o palabras. Así, el concepto es el momento intermedio entre el objeto y su definición.

Este es el proceso de producción del concepto en sí mismo; es la relación caótica entre lo existente y lo potencial. Es el instante en que el concepto toma conciencia de algo, se deja a sí mismo para producirse como revelación de este algo, el cual se da como existente por el concepto que lo revela, a esto Sartre (2020) le llama la prueba ontológica.

Los conceptos van constantemente cambiando. Esto propone una oportunidad para develar qué queda del concepto de justicia en la filosofía, es decir, qué unidad constituye el nuevo proceso creativo y qué queda en la ciencia

(Deleuze y Guattari, 1997). La geografía no posee energía creadora de conceptos -como si lo es la filosofía-, la primera otorga los elementos centralizadores que permitirán al concepto de justicia operar y movilizarse dentro de la misma.

Confiere las determinaciones de contenido metodológico para su desempeño teórico y práctico. Esto es fundamental, pues sin ellas el concepto de justicia es inerte, se aísla y se vuelve injustificado, por tanto, deja su función reveladora para la geografía. En cambio, el concepto que logra fluir en el espacio geográfico permite la conexión *intra-consistente* (con los conceptos que ya están en la geografía) y *exo-consistente* (con los que están en el plano), (Deleuze y Guattari 1997).

El concepto de justicia puede movilizar las herramientas geográficas para la acción y transformación social. Este concepto no es solo un principio ético o filosófico abstracto, sino que un motor para transformar realidades socioespaciales.

El concepto de justicia ofrece un marco de acción, cuya incorporación en la geografía permite robustecer las herramientas geográficas para la reducción de las desigualdades, fomentando la integración social. La apertura de la geografía hacia otras disciplinas como la filosofía ética, obliga a la primera a situarse en la comprensión de los comportamientos morales de la sociedad en el espacio geográfico.

Esta relación -casi exclusivamente-, de la geografía yendo hacia la filosofía moral y no está buscando elementos espaciales para su desarrollo disciplinar; es algo que Smith (1998) enfatiza como una debilidad del interfaz disciplinario.

Así, son los geógrafos que constituyen el análisis de tránsito entre ambas disciplinas. Preferentemente se han intensificado la búsqueda de elementos que confiera encuadres definitorios sobre la justicia social, ambiental, urbana u otra, por sobre la justicia a secas. Es la corresponde isomórfica del concepto de justicia en el espacio geográfico; es a lo que nos remite específicamente.

En vez de representar clases de objetos, en la geografía se ha preferido por la particularidad de

este. Se evita la abstracción y se obliga a una representación de lo que efectivamente debe ser justicia social en geografía. Dinámicas contradictorias, relaciones injustas, reivindicaciones, tensiones jerárquicas son algunos de los fenómenos que se exploran desde la justicia social.

No negamos que la justicia puede ser entendida desde múltiples enfoques. Cada uno de ellos ofrece herramientas y metodologías que abordan diferencialmente las complejas relaciones de poder y desigualdad en el espacio geográfico.

Nos referimos a la particularidad que ofrece el objeto de estudio geográfico, el cual posibilita una representación concreta de estas relaciones, puntualizando que el pensamiento geográfico puede detenerse en hechos específicos y abordables, sin embargo, también puede movilizarse a terrenos más reflexivos y abstractos de los mismos hechos.

La construcción de la justicia social pasa por la hibridación y pluralidad de los grupos sociales que participan en ella. El problema está en cómo movilizar identidades territoriales hacia una concepción única de justicia. Esto es, qué elementos comunes pueden organizar diferencias evitando lo que Sánchez (1992) llama una dominación de un modelo de convivencia sobre otro.

Las normas, reglas o principios que pueden nacer de un interfaz disciplinario 'geo-ético' procurarían que las apropiaciones del espacio geográfico se den en relaciones armónicas entre las sociedades y estas con la naturaleza. Así como la verdad es la virtud del pensamiento, Rawls (2012) sostiene que la justicia será la de las instituciones sociales.

Que la justicia sea una virtud, no logra explicar mucho en geografía. La justicia remite a algo, sí, la cuestión está a qué remite. Ahí lo social toma un rol importante pues le confiere al concepto de justicia una operabilidad, es decir, una orientación en su despliegue, un objetivo.

El interfaz disciplinario entre la geografía y la ética permitiría interesarse en cómo el concepto de justicia organiza metodológicamente a la geografía ante el descubrimiento. Esto es, cómo

las funciones de aprehensión que se le está dando al espacio geográfico por medio de un concepto de tendencia universal, originan o no procesos de reflexión sobre la disciplina. Es llevar el compromiso de comprensión y transformación de la sociedad, en constante intervención con el espacio geográfico, a un plano filosófico moral de la geografía.

Las estructuras teóricas en las cuales se ha erigido la geografía son determinaciones que trascender si queremos consolidar un interfaz disciplinario. Estas se vuelven circunscripciones referenciales en las que el pensar se da desde ángulos de reflexión ya dados, que restringen el problematizar lo real (Zemelman, 2012).

En otros términos, es diferenciar el proceso de explicación y aprehensión del espacio geográfico desde un plano moral. El primero deviene de estructuras acumuladas de teoría. Es reducir el objeto a elementos que le confieran particularidad, con el propósito de establecer una ley general de justicia en geografía. El resultado de esto no es más que el constante rebote ante los límites de la propia disciplina; es el sometimiento de los conceptos a una semejanza y equivalencia designada (Brugger, 1958; Deleuze, 2002).

Esto obliga a trascender los límites, es decir, convertir a la geografía en filosofía de sí misma, es invocarse en el interfaz disciplinario. Con esto, lo conocido acumulado históricamente se va volviendo desconocido y así se establece una condición de lo posible; aquí comienza la aprehensión.

Si trascendemos los límites de las estructuras teóricas estaremos reorientando el concepto de justicia hacia la base objetiva en que se sustenta la reflexión. Esto es, evitar reducir al concepto como un mero campo posible de explicación del espacio geográfico y construir, e incluso recomponer las mediaciones existentes en la relación sujeto-objeto (Zemelman 2012).

Aun así, no pretendemos optar por la construcción de un 'corpus teórico' de justicia en geografía. Más bien, exigir al concepto de justicia la posibilidad de reconectar con una razón articulada no jerarquizada de contenidos, en los cuales conjuntamente se cuestionen las

estructuras formales de la teoría y se propongan estrategias de razonamiento sobre el espacio geográfico.

El pensamiento geográfico es anterior a la institucionalización de la geografía como disciplina. Esto se sostiene en la idea de que es difícil pensar a un individuo o grupo que no haya cuestionado sus propias formas de existencia (Holt-Jensen, 1992). Sin embargo, la instauración de la geografía como ciencia nos posibilita la discusión sobre las formas de aprehensión del espacio geográfico, es decir, escenarios de disputas del objeto e incluso de la realidad, a otras disciplinas en un plano moral.

Una cuestión sobre los conceptos, y más aún sobre el de justicia, exige saber qué entendemos como geografía y cómo razonamos sobre el espacio geográfico. No sólo es la evolución disciplinar afectada por la historia, sino también el entendimiento del objeto ante el propio desarrollo científico. No sugerimos sólo construir complejas explicaciones de un fenómeno geográfico que nos remita a la justicia, sino también dar posibilidad de aprehensión del espacio geográfico desde un plano moral.

Un aspecto central en la discusión sobre justicia en geografía es la idea de justicia espacial, la cual aborda cómo la distribución del espacio y sus recursos afecta a las personas de manera desigual. Harvey (2012) argumenta que la injusticia social se manifiesta espacialmente, y que para abordar estas injusticias es necesario comprender las estructuras y procesos que crean desigualdades espaciales. La justicia espacial, entonces, no puede ser entendida sin un análisis crítico del espacio geográfico y su organización.

La perspectiva latinoamericana también ha contribuido significativamente a este debate, destacando las particularidades del contexto regional. Milton Santos, geógrafo brasileño, subraya la importancia de considerar la realidad socioespacial de los países en desarrollo. Santos (2000) enfatiza que el espacio geográfico debe ser entendido como un producto social, donde las relaciones de poder y las dinámicas económicas juegan un papel crucial. Desde su punto de vista, la justicia implicaría reconocer y

abordar las desigualdades que surgen de estas relaciones.

Otro aspecto importante es el rol de los movimientos sociales en la configuración del espacio y en la lucha por la justicia espacial. Doreen Massey (2005) destaca la importancia de los movimientos sociales en la configuración del espacio y la reivindicación de derechos territoriales. Massey argumenta que el espacio no es simplemente un contenedor de procesos sociales, sino que es activamente producido y reproducido por las acciones humanas, incluidas las luchas por la justicia. Esta perspectiva refuerza la idea de que para abordar la justicia en geografía es necesario considerar las prácticas y resistencias de los actores sociales.

El enfoque de la geografía crítica, representado por autores como Edward Soja, proporciona herramientas teóricas y metodológicas para analizar las relaciones entre espacio y justicia. Soja (2010) introduce el concepto de 'tercer espacio', que integra las dimensiones física, social y cultural del espacio. Este enfoque permite un análisis más holístico de cómo se manifiestan las injusticias y cómo se pueden plantear alternativas más justas. Soja argumenta que para avanzar hacia una mayor justicia espacial es necesario adoptar una perspectiva interdisciplinaria y crítica que integre múltiples dimensiones del espacio.

Así, se refuerza la idea de que la discusión sobre justicia en geografía no puede ser ajena a la evolución de la disciplina y al entendimiento del espacio geográfico desde una perspectiva moral. Autores, como los mencionados, han contribuido significativamente a esta discusión proporcionando marcos teóricos y análisis que destacan la importancia de considerar las desigualdades espaciales y las luchas por la justicia. Estas contribuciones subrayan que la geografía es una herramienta poderosa para entender y transformar las injusticias en el mundo contemporáneo.

Para abordar la justicia espacial desde un plano moral es necesario reconocer las desigualdades inherentes a la distribución espacial de recursos y oportunidades. La justicia espacial implica una crítica a las formas en que

los espacios son producidos y utilizados, destacando cómo estas prácticas pueden perpetuar o desafiar las injusticias existentes. Los estudios en América Latina muestran que las políticas de reconocimiento, aunque bien intencionadas, a menudo no son suficientes para transformar las estructuras de poder subyacentes. En muchos casos, estas políticas pueden incluso reforzar la subalternidad de ciertos grupos si no se acompañan de medidas efectivas para redistribuir recursos y oportunidades (Tutor, 2024). La justicia espacial debe entenderse como un enfoque interdisciplinario que no solo abarca la geografía, sino también la sociología, la economía, la política y el derecho. Este enfoque holístico permite una comprensión más completa de cómo las injusticias se manifiestan en el espacio y proporciona herramientas para abordarlas de manera integral. Al reconocer la intersección de diferentes disciplinas y perspectivas, se puede robustecer aún más una geografía que promueva la equidad y la justicia en su configuración y uso.

Es permitir un proceso de apertura hacia niveles de realidad potencial, en que la aprehensión no se condicione por las exigencias de objetividad emanada por un corpus teórico (Zemelman, 2012). Así, estaremos posibilitando la articulación entre fenómenos que incluso parecieran independientes entre sí. Con esto, los conceptos dejan de ser interpretables desde un plano referencial de correspondencia empírica.

Las estructuras acumuladas de teoría sirven para contener datos empíricos que permitan la explicación. Sin embargo, el problematizar el objeto requiere necesariamente reconstruir al objeto. Así, los conceptos de tendencia universal en el interfaz disciplinario debiesen evitar mecanismos limitantes de reflexión, por tanto, fijarse en seleccionar factores similares de representación de un fenómeno (Deleuze, 2002).

La reorganización del espacio geográfico a niveles de la explicación permite construir una base empírica con la cual hacer ciencia geográfica. Sin embargo, una reorganización del espacio geográfico a niveles de la aprehensión requiere preocuparse por los contenidos inmersos en este. Así, podemos mediar entre la

realidad y las explicaciones, dando énfasis en sortear las especulaciones para centrarnos en el valor epistemológico de los conceptos que se utilizan (Silveira 2003).

3.2 Universalidad versus particularidad

Para comprender la formación de la justicia social es necesario partir por comprender la justicia. No puede haber una comprensión total y general de algo sin tener en cuenta sus aspectos específicos y particulares.

La justicia social, entonces, es una extensión de estos principios al ámbito de las relaciones sociales y económicas. Para entender plenamente un concepto o fenómeno moral es necesario considerar sus características individuales y únicas que le confiere la ética en este caso. Según Sen (2009), la justicia no se trata solo de diseñar instituciones justas, sino también de analizar las realizaciones concretas de las personas y cómo estas se ven afectadas por diferentes arreglos institucionales. Sen (2009) introduce la noción de capacidades, que se refiere a las oportunidades reales que tienen las personas para llevar la vida que valoran.

Young (1990) en tanto, argumenta que la justicia debe considerar no solo la distribución de recursos, sino también las estructuras de poder y las diferencias culturales que afectan a los individuos. Para él es importante reconocer y respetar las diferencias sociales y culturales en la formulación de cualquier principio de justicia, lo que implica una comprensión más inclusiva y pluralista de la justicia social.

Sandel (2009) expone cómo diferentes concepciones de la justicia influyen en la vida pública y las políticas sociales. Él asume que la ética y la moral deben proporcionar elementos que dé a la formulación de principios de justicia sentido inclusivo y equitativo. Según Sandel, una comprensión completa de la justicia social debe integrar una reflexión ética sobre los valores y principios que guían nuestras decisiones colectivas.

Nussbaum (2006) amplía la teoría de capacidades propuesta por Sen, argumentando que la justicia debe garantizar que todos los individuos tengan la oportunidad de desarrollar

y ejercer sus capacidades fundamentales. Sostiene que la justicia social implica no solo la igualdad de oportunidades, sino también el apoyo necesario para que cada individuo pueda alcanzar su pleno potencial, reconociendo las diferencias y necesidades particulares de cada persona.

La formación de la justicia social requiere una comprensión profunda y detallada de la justicia en general. Los diferentes enfoques vistos subrayan que la justicia social no solo se refiere a la equidad en la distribución de recursos, sino también a la consideración ética y moral de las oportunidades y realizaciones individuales.

Por tanto, a diferencia de Smith (1997) creemos que la geografía debe atender los temas éticos desde una cuestión meta disciplinar. Es conferir materialidad en la geografía a cuestiones que parecen ser sólo de pensamiento. No se puede percibir completamente la diversidad de definiciones de justicia y las diferentes formas de vida en el mundo sin tener en cuenta las particularidades de cada sociedad, su historia, sus prácticas e incluso sus valores.

Tampoco conviene afirmar la idea de que las generalizaciones y los conceptos universales a menudo son abstracciones simplificadas que no capturan la complejidad y diversidad inherentes a la realidad. Es necesario prestar atención a los detalles y a las peculiaridades para obtener una imagen más completa y precisa de lo que queremos mostrar como justicia en geografía.

Brennetot (2010) señala que una perspectiva crítica debe considerar la diversidad de experiencias espaciales y las múltiples formas en que la injusticia puede manifestarse en diferentes contextos. Esto incluye la necesidad de reconocer cómo las desigualdades estructurales se reproducen y se intensifican en diferentes lugares y escalas.

Harvey (2012) sostiene que la justicia espacial implica entender cómo el espacio geográfico es producido y reproducido a través de relaciones de poder y procesos históricos. Este, critica las simplificaciones excesivas y aboga por un análisis detallado de los procesos socioespaciales para identificar las raíces de la injusticia. Esta perspectiva nos obliga a considerar las

particularidades de cada contexto espacial y a evitar conclusiones generalizadas que puedan ocultar dinámicas locales importantes.

Astudillo y Sandoval (2019) argumentan que las políticas espaciales y la gobernanza deben diseñarse considerando las características únicas de cada territorio. Su investigación sobre desastres socionaturales en Chile muestra cómo las respuestas políticas y las estrategias de recuperación pueden ser más efectivas cuando se basan en un entendimiento profundo de las condiciones locales. Así, la justicia espacial no solo es una cuestión de principios universales, sino también de prácticas y políticas adaptadas a las realidades específicas de cada comunidad y entorno geográfico.

La cuestión está -y en una referencia a Billington en Smith (1997)-, es cómo podemos hacer juicios geográficamente, es decir, aceptar que existen diferentes ideas sobre cómo comportarse en un lugar en oposición a otro. Lo que puede ser justo en lugar podrá ser injusto en otro.

Convendría discutir la justicia como acto. Esto nos remitiría a establecer contextos, parámetros variables que dan al concepto singularidad. Deleuze y Guattari (1997) sostienen que todo concepto tiene una historia, el concepto es ante todo territorial por ello su presencia es materialmente explícita en el espacio.

Podemos dejar de lado las sucesivas definiciones que hacen referencia a la justicia y centrarnos en comprender qué aspectos se sitúan efectivamente en el interfaz disciplinario. Esto permitiría desplazar los sesgos que no son más que cuestiones decorativas del concepto.

Sería posible establecer un concepto de justicia 'natural', es decir, uno que evoque movimientos propios del concepto, por tanto, parte de una predicción de lo que puede o no a llegar a hacer (Figueroa, 2023). A diferencia de una justicia 'histórica', la cual estaría determinada por la acción humana concreta, las interacciones en el espacio geográfico y sus efectos en una justicia 'natural'.

Los supuestos morales están ligados a la construcción social de diferentes grupos, quiénes están incluidos y excluidos, y así sucesivamente.

Encontramos en el interfaz disciplinario la oportunidad de desarrollar moralmente cuestiones geográficas que tensionan constantemente lo histórico y natural del concepto de justicia.

No es sólo abordar la realidad desde contradictorios o elementos disímiles. Es pensar éticamente el quehacer geográfico. La justicia no sólo repite a un equilibrio, sino a una instancia de cooperación racional entre partes.

En primer lugar, pensar éticamente la geografía requiere una reflexión profunda sobre nuestras acciones y sus impactos en diferentes comunidades y el medio ambiente. La relación entre las personas y su entorno está cargada de significados y valores que deben ser respetados y considerados en la práctica geográfica (Tuan, 1977). Esta perspectiva nos invita a entender la geografía no sólo como un estudio del espacio, sino como una práctica que influye directamente en la vida de las personas.

Además, la justicia en la geografía va más allá de un simple equilibrio. La justicia espacial implica una distribución equitativa de recursos y oportunidades, asegurando que todas las comunidades tengan acceso a los mismos beneficios (Massey, 2005). Esta noción de justicia espacial se basa en la cooperación racional entre las partes involucradas, promoviendo un diálogo constructivo y soluciones inclusivas.

La cooperación racional es esencial para abordar los desafíos complejos de la geografía contemporánea. El espacio social es producto de relaciones sociales y que la producción de espacio debe ser una actividad colaborativa y democrática (Lefebvre, 2014). Esta idea subraya la importancia de trabajar juntos para crear espacios que reflejen las necesidades y aspiraciones de todas las personas.

Hay que reconocer que la ética en geografía no es un objetivo estático, sino un proceso dinámico. Esto implica un compromiso constante con la revisión y adaptación de nuestras prácticas para enfrentar nuevas injusticias y desigualdades. Así, pensar éticamente el quehacer geográfico es un llamado a transformar nuestra práctica profesional en una herramienta de justicia y cooperación. Esto requiere una comprensión

profunda de las relaciones humanas y espaciales, un compromiso con la equidad y la inclusión, y una disposición para trabajar colectivamente hacia un futuro más justo.

4. Conclusiones

Las condiciones de los fenómenos geográficos desde una lectura moral ofrecen complejizar las estructuras teóricas con las que opera la geografía. El diseño de la ciudad, la distribución del espacio, el acceso a lugares limpios, la convivencia entre diferencias pasa por una lectura desde los argumentos éticos.

Cómo construimos sociedades más justas no pasa sólo por elaborar complejas teorías. Sino más bien como sostenemos diversos criterios que logren explicar el comportamiento de la estructura de la sociedad (Caballero, 2006).

Hopkins (2020) enfatiza en que los geógrafos sociales ya han explorado las vivencias de aquellos que han experimentado lo catalogado como injusto (acceso a la vivienda, a la centralidad, etc.). Sin embargo, Olson (2018) afirma que lo moral aún está al margen de los trabajos teóricos y empíricos de la disciplina geográfica.

La relación entre la geografía y la ética plantea desafíos para pensar en proyectos morales que tengan impacto positivo en el territorio. Sería provechoso seguir explorando el interfaz disciplinario, considerando las posibilidades para el desarrollo del pensamiento de ambas disciplinas.

La geografía debe dejar de evitar los caminos que la conectan con los temas morales. Separándose de las discusiones éticas la geografía le quita argumentos interpretativos a la

materialización de lo ético en el espacio geográfico.

Sólo renovando constantemente los estudios en geografía, podemos seguir explorando los límites a las concepciones que llegan de otras disciplinas. La justicia es un concepto que remite a otros -equidad, igualdad, reciprocidad, entre otros-, lo que propone una lectura profunda y rigurosa de sus características.

No sólo es invitar a la geografía teorías éticas sobre la justicia. Es dialogar con ellas, otorgar las bases espaciales a lo ético. No basta con reprochar a las teorías su falta de espacialidad, es intentar conectar con ellas en el interfaz disciplinario y construir nuevas interpretaciones para acercarnos a una justa transformación social.

Este enfoque interdisciplinario es crucial, ya que permite que las teorías éticas integren una dimensión espacial, esencial para comprender y abordar las injusticias geográficas (Correa Casanova *et al.*, 2018). Así, la geografía no sólo critica la falta de espacialidad en las teorías éticas, sino que también se enriquece al incorporar estos marcos teóricos, creando nuevas interpretaciones y herramientas para la transformación social justa.

Finalmente, podemos aceptar que el camino es siempre complejo; sin embargo, existen avances que consolidan el interfaz disciplinario entre la ética y la geografía. No son pocos los autores que han intentado darle espacialidad a lo ético, con sus limitaciones y alcances, han construido una ruta a seguir para que el tránsito intelectual entre ambas disciplinas se dé sin especulaciones, sin sustancias ambiguas, sino más bien desde un diálogo riguroso y consciente.

5. Referencias bibliográficas

ASTUDILLO, F. y J. SANDOVAL. 2019. "Justicia espacial, desastres socionaturales y políticas del espacio". *Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía*, 28(2): 303-321.

Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n2.73520>.

BARNETT, C. 2014. "Geography and ethics III; From moral geographies to geographies of worth". *Progress in Human Geography*, 38(1): 151-160. Disponible en:

<https://doi.org/10.1177/0309132513514708>.

- BILLINGTON, R. 1993. *Living philosophy: An introduction to moral thought* (2nd ed.). Routledge. London, UK.
- BONFIGLIOLI, S. 2016. "Moral re-turns in geography. Chora: On ethics as an image". *Progress in Human Geography*, 40(6): 1-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0309132515627018>.
- BOSQUE, J. y H. ZAMORA. 2002. "Visualización geográfica y nuevas cartografías. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*", 2: 61-77.
- BRENNETOT, A. 2010. "Pour une géoéthique. Éléments pour une analyse des conceptions de la justice spatiale". *L'Espace Géographique*, 39(1): 75-88.
- BRUGGER, W. 1958. *Diccionario de Filosofía*. Herder. Barcelona, España.
- CABALLERO, J. 2006. "La teoría de la justicia de John Rawls". *Ibero Forum*, 2: 1-22.
- CORREA CASANOVA, M.; ARENAS, F. y V. ALVARADO. 2018. *Ética en geografía. Reflexiones sobre espacios y territorios para el mundo en que estamos y el que se nos viene*. Serie GEOlibros. Santiago de Chile:
- DELEUZE, G. 2002. *Diferencia y repetición* (1st ed.). Amorrortu. Buenos Aires, Argentina.
- DELEUZE, G. y F. GUATTARI. 1997. *¿Qué es la filosofía?* (4th ed.). Anagrama. Barcelona, España.
- FIGUEROA, E. 2023. "El concepto de sociedad civil: Una reflexión geográfica/rizomática". *Revista Geográfica Venezolana*, 64(1): 85-95.
- HARVEY, D. 2012. *Rebel cities: From the right to the city to the urban revolution*. Verso Books. New York, USA.
- HOLT-JENSEN, A. 1992. *Geografía, historia y conceptos* (1st ed.). Vicens-Vives. Barcelona, España.
- HOPKINS, P. 2021. "Social geography III: Committing to social justice". *Progress in Human Geography*, 45(2): 382-393. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0309132520913612>.
- LEFEBVRE, H. (2014). *La producción del espacio*. Praxis. Santiago, Chile.
- MACINTYRE, A. 1981. *After virtue: A study in moral*. Duckworth. London, UK.
- MASSEY, D. 2005. *For Space*. SAGE Publications. London, UK.
- NUSSBAUM, M. 2006. *Frontiers of Justice: Disability, Nationality, Species Membership*. Belknap Press. Cambridge, MA. USA.
- OLSON, E. 2018. "Geography and ethics III: Whither the next moral turn". *Progress in Human Geography*, 42(6): 937-948. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0309132517732174>.

- RAWLS, J. 2012. *Teoría de la justicia*. Fondo de Cultura Económica. Ciudad de México, México.
- ROUSE, J. 2007. "Social practices and normativity". *Philosophy of the Social Sciences*, 37(1): 1-11.
- SÁNCHEZ, J. 1992. *Geografía política*. Colección Espacios y Sociedades. Síntesis. Madrid, España.
- SANDEL, M. J. 2009. *Justice: What's the Right Thing to Do?* Farrar, Straus and Giroux. New York, USA.
- SANTOS, M. 2000. *La Naturaleza del espacio. Técnica y tiempo, razón y emoción*. Ariel. España.
- SARTRE, J. P. 2020. *El ser y la nada*. Ermitaño. Santiago, Chile.
- SEN, A. (2009). *The Idea of Justice*. Belknap Press. Cambridge, MA, USA
- SILVEIRA, M. L. 2003. "Por una epistemología geográfica". En R. BERTONCELLO y A. F. A. CARLOS (Eds.), *Procesos territoriales en Argentina y Brasil*, pp. 15-26. Universidad de Buenos Aires., Argentina.
- SMITH, D. M. (1998). "Geography and moral philosophy: Some common ground". *Ethic, Place and Environment*, 1(1): 7-34.
- SMITH, D. M. 1997. "Geography and ethic, a moral turn". *Progress in Human Geography*, 21(4): 583-590.
- SOJA, E. W. 2010. *Seeking Spatial Justice*. Minneapolis: University of Minnesota Press. USA.
- TUAN, Y. F. 1977. *Space and Place: The Perspective of Experience*. University of Minnesota Press. USA.
- TUTOR, A. 2024. "La justicia espacial desde América Latina: Abordajes, cuestionamientos y expansiones". *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 28(2): 1-17. Disponible en: <https://doi.org/10.1344/sn2024.28.47014>.
- WITTGENSTEIN, L. 2021. *Investigaciones filosóficas*. Trotta. Madrid, España.
- YOUNG, I. M. 1990. *Justice and the Politics of Difference*. Princeton University Press. Princeton (NJ), USA.
- ZEMELMAN, H. 2012. *Los horizontes de la razón. I. Dialéctica y apropiación del presente* (3rd ed.). Anthropos. Barcelona, España.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Santiago de Chile; agosto, 2024

La Participación en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)

Participação na Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH)

Participation in Integrated Water Resources Management (IWRM)

Mayra Medina

Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL)
Rubio, estado Táchira, Venezuela
maymedinass@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1053-7779>

Resumen

El acceso seguro al agua es un derecho de todos los seres humanos sin embargo, los problemas de escasez e inadecuada calidad afectan cada vez más a un número significativo de personas en el mundo; en este contexto, el presente artículo es el resultado de una investigación de carácter documental con el objetivo de vincular y valorar el papel de la Participación en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Los resultados evidencian la importancia de la participación activa de diferentes actores sociales e institucionales para la implementación de políticas públicas, para la democratización en la toma de decisiones y por consiguiente para el ejercicio de la gobernanza del agua asegurando el manejo adecuado y sostenible de estos importantes y vitales recursos.

PALABRAS CLAVE: cuencas hidrográficas; recursos hídricos; gobernanza del agua; desarrollo sostenible.

Resumo

O acesso seguro à água é um direito de todos os seres humanos, no entanto os problemas de escassez e qualidade inadequada afetam cada vez mais um número significativo de pessoas no mundo; Nesse contexto, este artigo é resultado de uma pesquisa documental com o objetivo de relacionar e avaliar o papel da Participação na Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Os resultados mostram a importância da participação ativa de diferentes atores sociais e institucionais para a implementação de políticas públicas, para a democratização na tomada de decisões e conseqüentemente, para o exercício da governança da água, garantindo a gestão adequada e sustentável desses importantes e vitais recursos.

PALAVRAS-CHAVE: Bacias hidrográficas; recursos hídricos; governança da água; desenvolvimento sustentável.

Abstract

Safe access to water is a right of all human beings however, the problems of scarcity and inadequate quality increasingly affect a significant number of people in the world; in this context, this article is the result of a documentary research with the aim of linking and assessing the role of Participation in Integrated Water Resources Management (IWRM). The results show the importance of the active participation of different social and institutional actors for the implementation of public policies, for democratization in decision-making and consequently, for the exercise of water governance ensuring the adequate and sustainable management of these important and vital resources.

KEYWORDS: watersheds; water resources; water governance; sustainable development.

1. Introducción

A través del tiempo, el hombre ha experimentado diferentes formas de relacionarse con el agua; desde la gestión ambiental tradicional en la que la cuenca hidrográfica es simplemente una fuente surtidora del vital líquido, pasando por diferentes formas de manejo, hasta la gestión integrada de los recursos hídricos, enfoque basada en principios de sustentabilidad y en la que la cuenca es un sistema biofísico social integrado que debe ser objeto de planificación y tratamiento de políticas públicas que apunten al desarrollo humano.

Como recurso vital, el tema del agua ocupa parte importante en discusiones, foros y declaraciones acordadas en diferentes ámbitos que coinciden en la necesidad de un manejo de los recursos hídricos consustanciado con principios de sustentabilidad, gobernabilidad y racionalidad pues de lo contrario, siempre estará presente la posibilidad de conflictos. En el contexto global, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ONU, 2015), soportada en 17 objetivos y metas, refiere en su objetivo de desarrollo sostenible -ODS- 6, la importancia de garantizar el acceso al agua potable, el saneamiento y la higiene, pues representan la necesidad humana más básica para el cuidado de la salud y el bienestar; no cabe duda de que el desarrollo y el mantenimiento de la seguridad hídrica y el acceso equitativo a los servicios de agua son esenciales para garantizar la paz y la prosperidad de la humanidad. Sin embargo, en la actualidad la amenaza del cambio climático, los conflictos bélicos en diferentes regiones del mundo, el impacto de la pandemia del Covid-19, entre otros, conforman situaciones que inciden en la seguridad de una gestión adecuada del agua.

La realidad muestra retos pendientes; p. ej., en el contexto regional, América Latina a pesar de contar con abundantes recursos hídricos y algunos avances en cuanto a su gestión, sigue enfrentando retos que limitan la disponibilidad y seguridad hídrica a toda la población; estos retos demandan políticas públicas basadas en acciones sostenibles que requieren de recursos financieros, recursos humanos, marco

institucional y legal, todo ello apuntando a garantizar la gobernanza de este recurso vital.

A pesar de ello, diferentes experiencias investigativas evidencian la importancia de la Participación en la GIRH. En Venezuela, Ramírez (2007) desarrolló una investigación cualitativa denominada "Mujeres del agua: Desarrollo, participación y corresponsabilidad de la mujer como ejercicio cotidiano", con el objetivo de conocer el significado de la participación en el contexto de la comunidad Las Brisas del Paraíso, de la Cota 905, barriada popular ubicada al suroeste de la ciudad de Caracas. El trabajo se enfocó en los representantes que asistían a las Mesas Técnicas de Agua, en su mayoría mujeres; los resultados muestran que el significado de la participación está asociado a la idea de unión, de comunidad, de comunicación, y de desarrollo para el bien común; en definitiva, un espacio social abierto que involucra y compromete a los miembros de la comunidad en la solución de sus problemas urgentes.

También en Venezuela, pero en el contexto rural específicamente en cuencas altas andinas, Medina (2012) realizó una investigación con la finalidad de analizar el uso y manejo del recurso hídrico así como la participación de los usuarios de la subcuenca del río Queniquea, importante reserva de agua que junto a otras subcuencas alimentan el Acueducto Regional del Táchira (ART) del que depende aproximadamente el 80-90% de la población de esta entidad regional. Bajo las premisas de la metodología cualitativa y el método estudio de caso, los resultados indicaron que el manejo del agua se reduce a prácticas tradicionales, se consume agua sin potabilizar, no existe planificación ni control en materia de recursos hídricos y, por el contrario, el uso actual está lejos de formar parte de una política pública. En tanto la participación de los usuarios e instituciones es muy limitada, lo que en definitiva no se corresponde con lo que debería ser una GIRH, enfoque alternativo, multidisciplinar y holístico cónsono con el desarrollo sostenible y local. Ante esta realidad, la investigación propuso la implementación de líneas de acción para fomentar la participación,

requisito fundamental de una gobernabilidad efectiva y principio fundamental de una GIRH.

Más reciente, en el año 2022, Nieto realizó el trabajo especial de grado 'La Participación Comunitaria en la Gestión del Agua; como aporte para el Desarrollo Local Sostenible en la Parroquia Santa Ana', Cuenca - Ecuador, con el propósito de visibilizar las formas de participación de los actores sociales en el proceso de organización del sistema comunitario de agua potable; el trabajo se desarrolló con el método de investigación Acción Participativa a fin de sistematizar experiencias, nuevos saberes y capacidades, que permitieron concluir que de la participación comunitaria depende la consolidación o el debilitamiento de las organizaciones y, en este caso, de la gestión del agua, por consiguiente del desarrollo local sostenible. Además, que esa participación y gestión comunitaria no puede estar condicionada solo por los proyectos, razón que conduce a fortalecer las bases técnicas, financieras, legales a fin de mantener su identidad y función.

En la investigación 'La participación de los habitantes de San Rafael de Puriscal, en la gestión del recurso hídrico para el consumo humano', Otárola (2024) analizó la gestión del recurso hídrico por parte de las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados (ASADA) durante el año 2021, en San Rafael de Puriscal, Provincia de San José-Costa Rica, para la promoción y fortalecimiento del involucramiento de la población local en la temática. La investigación se enmarcó en el enfoque cualitativo, un estudio de caso con uso del paradigma naturalista a partir de la información de los diferentes actores sociales involucrados; los resultados reconocen el trabajo de gestión de la ASADA, pero es necesario mantener y fomentar la participación activa y comprometida de todos los usuarios, con la finalidad de asegurar la gestión del recurso hídrico.

Por su parte, Díaz (2024), en su Tesis de grado 'Revisión y propuesta de mejora sobre mecanismos de participación ciudadana en el ordenamiento y gestión del recurso hídrico en Colombia' logró identificar los diferentes

desafíos que limitan la participación ciudadana, entre los que destaca la falta de información confiable, la escasa coordinación inter institucional, la insuficiente capacitación de la ciudadanía en temas relacionados así como la ausencia de inclusividad en la toma de decisiones; sin embargo, en Colombia existe como aval, un marco legal que promueve la participación lo que puede evidenciarse en procesos de consulta relacionados con minería y uso del agua. El trabajo identifica los retos por superar en materia de gestión de recursos hídricos así como las estrategias para enfrentarlos y superarlos, procesos en los que la ciudadanía juega un papel fundamental.

Como puede apreciarse la Participación es un eje fundamental en la GIRH razón para fundamentar el presente artículo, resultado de una investigación de carácter documental con el objetivo de relacionar la importancia de la Participación en la gestión sostenible de los recursos hídricos, para lo cual se inicia con los diferentes enfoques de manejo y gestión del recurso hídrico, pues a pesar de la importancia y valor de la GIRH, aún pueden y de hecho persisten, otros enfoques de manejo; posteriormente, la GIRH desde su origen, conceptos y principios; y finalmente, lo que tiene que ver con la Participación como eje rector de la GIRH.

2. Enfoques previos a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)

En el plano de los conceptos propiamente dichos, Mirassou (2009) refiere los términos de Manejo Integral de Recursos Hídricos (MIRH) y Gestión Ambiental (GA) como enfoques previos a la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH).

El Manejo Integrado de Recursos Hídricos (en adelante, MIRH), consiste en el manejo de las aguas superficiales y subterráneas desde una mirada multidisciplinaria, centrada en las necesidades y demandas de agua por parte de la sociedad. A diferencia del manejo tradicional y fragmentado de los recursos hídricos, el MIRH apuesta por el manejo del agua a partir de la oferta y la demanda; desde su perspectiva integral considera el sistema natural con su

importancia crítica para la calidad y la disponibilidad del recurso, como también, el sistema humano en el que la participación juega un papel fundamental con relación a las prioridades de desarrollo, el uso del recurso, la producción de desechos y la contaminación.

El MIRH requiere promover la participación de los interesados en todos los niveles de una nación; con la participación es posible gestionar el desarrollo del sector hídrico en el marco del desarrollo sustentable participativo impulsado por la demanda (GWP, 2000); bajo este enfoque se promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

La Gestión Ambiental (en adelante, GA) conforma el conjunto de acciones y estrategias a través de las que se organizan las actividades humanas que influyen sobre el ambiente con el fin de lograr una adecuada calidad de vida, previniendo o mitigando los problemas ambientales; asociada al desarrollo sostenible, persigue el equilibrio adecuado para el desarrollo económico, crecimiento de la población, uso racional de los recursos y protección y conservación del medio ambiente. En consecuencia, un programa de GA busca respuestas adecuadas a los problemas generados de la relación sociedad y naturaleza; de allí la necesidad de ejecutar acciones tendientes a generar y rescatar conocimientos; monitorear las incidencias de las políticas públicas sobre la población (especialmente hombres y mujeres pobres del área rural) y los recursos del territorio, y sistematizar las experiencias para la construcción del modelo de desarrollo alternativo al cual aspira la sociedad (Mirassou, 2009; Massolo, 2024).

Conviene resaltar que estos enfoques surgieron, tal como el caso de la GIRH, de las conferencias internacionales de Dublín y Río de Janeiro (década de los años '90) relacionadas con temas de medioambiente y agua. Además, fueron pensados a fin de dar respuesta a los crecientes desafíos de los países relacionados

con la escasez y deterioro en la calidad del agua, situación que afecta las posibilidades de alcanzar estados de desarrollo humano, económico y social.

3. La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)

De acuerdo con la Asociación Mundial para el Agua (GWP, 2000), los problemas que enfrentan algunos países tales como extremas sequías, inundaciones, aprovechamiento excesivo de aguas subterráneas, enfermedades de origen hídrico, degradación de la tierra, del agua, de los ecosistemas, pobreza crónica en las zonas rurales y escalamiento de conflictos sociales por el agua, no están siendo solucionados por abordajes tradicionales y unisectoriales; por el contrario, cada vez reclaman la cooperación de múltiples sectores y, en consecuencia, es necesario asumir un nuevo paradigma en el manejo del agua, uno de ellos es el de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

El término GIRH es ratificado en el año 1992, en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, a través de la Agenda 21 y en la Conferencia de Dublín, acto en la que diversos autores coinciden en señalar como su origen. También se ha considerado a la GIRH en otros importantes escenarios como la Conferencia Ministerial de la Haya (2000), la Conferencia Internacional sobre Agua Dulce celebrada en Bonn (2001) y en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en Johannesburgo 30 (2002). Estos hechos muestran que la última década del siglo XX presenció significativos esfuerzos internacionales por un mejor manejo del agua, en su mayoría relacionados con el suministro de agua y saneamiento, el desarrollo de capacidades, la GIRH y las relaciones entre el agua y el medio ambiente.

La GIRH alcanza su trascendencia, al menos como propuesta, en los foros mundiales tal como en el IV Foro Mundial sobre el agua realizado en México (2006), estableció como eje temático 2 el enfoque de la GIRH con la finalidad de garantizar y cubrir las necesidades de acceso al agua, especialmente de los grupos vulnerables; su uso debe gestionarse en forma sustentable lo que

compromete su administración para las presentes y futuras generaciones (UNESCO, 2006).

En este sentido, se entiende a la GIRH como un proceso integral que promueve el desarrollo y gestión coordinados del agua, del suelo y de los recursos relacionados a fin de maximizar el resultante bienestar económico y social de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de ecosistemas vitales. Esta definición surge como la de mayor aceptación e implica una mayor coordinación en el desarrollo y gestión de tierras, aguas superficiales y subterráneas, cuencas fluviales y entornos costeros y marinos adyacentes, e intereses aguas arriba y aguas abajo; pero también requiere la reforma de los sistemas sociales con el fin de habilitar a la población para que los beneficios derivados de dichos recursos se reviertan en soluciones sostenibles.

La GIRH constituye un cambio de paradigma y se diferencia de los enfoques tradicionales porque asume a la cuenca como unidad espacial, y porque considera ampliar la decisión participativa de todos los grupos de interés. En consecuencia, las cuencas hidrográficas deben ser tomadas como unidades espaciales y territoriales para la gestión del agua en atención a que son las principales formas terrestres dentro del ciclo hidrológico, ya que captan y concentran el agua proveniente de las precipitaciones condicionando una interrelación e interdependencia (externalidades o efectos externos) entre los usos y usuarios; en ellas interactúan los recursos naturales no renovables y bióticos (flora y fauna) en un proceso permanente y dinámico; también porque en el territorio de las cuencas se interrelacionan los sistemas socioeconómicos, formado por los usuarios de la cuenca, sean habitantes o interventores externos de la misma, cada grupo con sus propios intereses (CapNet, PNUD, 2008; Gentes y Ruíz, 2008).

En la práctica implica crear una mayor conciencia sobre el agua entre los responsables de diseñar las políticas en el ámbito de la economía y en los sectores relacionados con el agua, activar canales de comunicación más

eficaces y un proceso de toma de decisiones consensuado entre los organismos gubernamentales, organizaciones y grupos de interés no gubernamentales, así como también estimular la población a superar las definiciones sectoriales tradicionales (Ferrera, 2008).

A juicio de la GWP (2000), la GIRH debiera soportarse en tres dinámicas muy importantes: 1) integración en la GIRH, pues se trata de una situación en la que interactúan diferentes elementos interdependientes que forman un todo; 2) integración del sistema natural, porque para la calidad y disponibilidad del recurso es necesario integrar el manejo del recurso agua en cualquiera de sus formas, estados y ubicaciones atendiendo siempre los intereses de los usuarios; e 3) integración del sistema humano, porque se debe determinar el uso del recurso, la producción de desechos y la contaminación del recurso, a fin de establecer las prioridades de desarrollo.

En consecuencia, es necesaria la incorporación de políticas públicas; la vinculación directa con el sector privado, el cual debe participar activamente; la vinculación a la política económica nacional e influenciar las decisiones en el sector económico y, la vinculación directa con todos los actores interesados en la planificación y toma de decisiones.

Sí de asegurar el éxito de la GIRH se trata, se requiere atender además, tres criterios dominantes relacionados con las condiciones sociales, económicas y naturales: 1) eficiencia económica en el uso del agua; 2) equidad social y, 3) sustentabilidad ecológica y medioambiental. El panorama se complementa con un marco reglamentario de políticas, roles institucionales y las funciones adecuadas en los diferentes niveles; además, instrumentos de manejo a fin de operacionalizar las acciones necesarias.

En conclusión, la GIRH como concepto va ampliando su alcance no sólo temporal sino espacial y multidisciplinar, y como enfoque ayuda a administrar y desarrollar en diferentes escalas los recursos hídricos en forma sostenible y equilibrada, desde lo local a lo global, atendiendo los intereses sociales, económicos y ambientales de los diferentes grupos de usuarios; en ello radica su importancia. Y para lograrlo se apoya en

la participación de los ciudadanos y en un marco adecuado de gobernabilidad que permita ir desarrollando acuerdos normativos e institucionales efectivos a fin de tomar decisiones más equitativas y sostenibles.

4. La participación como eje rector de la GIRH

En 1992, la Conferencia Internacional sobre Agua y el Medioambiente, celebrada en Dublín, Irlanda, declaró en un informe caracterizado por su enfoque multidisciplinario y holístico, cuatro principios rectores de apoyo a la GIRH, que también sustentaron el enfoque del MIRH y los cambios posteriores del sector del agua; estos principios dan cuenta de la importancia del agua dulce como recurso limitado y vulnerable pero esencial para la vida (Principio 1); de la importancia de un enfoque participativo para lograr el desarrollo y la adecuada la gestión de los recursos hídricos (Principio 2); del papel de la Mujer en la gestión y cuidado de los recursos hídricos (Principio 3); y del valor económico que implica su uso (Principio 4).

A los efectos de esta investigación interesa destacar el Principio 2 relacionado con la Participación, por lo que se hace referencia a dos de los significados que en la literatura internacional se asignan a la participación de la sociedad en asuntos públicos: participación ciudadana y participación social.

La participación ciudadana no significa sustitución de los representantes políticos en el sentido que *"no se trata de sustituir a los gobernantes o representantes elegidos, ni en el Estado ni en la comunidad autónoma, ni en el municipio, por otras personas designadas por determinados grupos o asociaciones civiles en representación de estos."* (Cunill, 1991:40). La participación ciudadana se entiende como la intervención de los individuos en actividades públicas en tanto portadores de interés social; esta participación no es una alternativa a la democracia representativa, sino sólo un complemento a la misma.

La participación ciudadana a juicio de Gadea (2005), se define como una acción, un conjunto de actividades que los individuos llevan a cabo para intervenir en la gestión de los asuntos

públicos; estas actividades o acciones bajo diferentes calificativos, y con diferencias sustanciales entre ellas, apuntan hacia una profundización en la democracia en el sentido de ampliar las oportunidades de participación de la ciudadanía.

Vargas (2010) agrega que la participación ciudadana es sólo un término categórico del poder ciudadano; implica redistribución de poder a fin de que, lo que el autor denomina los no ciudadanos, sean integrados para compartir los beneficios de la sociedad; sin embargo, advierte la existencia de una diferencia crítica entre un ritual vacío de participación y tener el poder real necesario para afectar el resultado de un proceso.

En esto consiste la capacidad real de la participación ciudadana de redistribuir el poder, pues las estrategias comunicativas y los mecanismos de participación que se integran a los marcos normativos son definidos por los actores relevantes o poderosos; por lo tanto, el nivel en que la participación ciudadana permite a los ciudadanos tener el poder real de influir en el proceso de la política, depende directamente del cálculo de distribución de poder tolerada por los actores relevantes, manifestado de manera formal en los marcos normativos o en el diseño de las modalidades de participación a seguir.

Por otra parte, el término participación social se refiere a la intervención de los ciudadanos en asociaciones voluntarias y movimientos sociales (fenómenos de agrupación social) para la defensa y el logro de sus intereses sociales; se trata, por tanto, de una participación en las organizaciones de la sociedad civil. A juicio de Cunill (1991), se traduciría en que los individuos se relacionan con otros grupos sociales y no con el Estado; como práctica que se desarrolla en el espacio de la sociedad civil, puede estar orientada tanto a intereses privados como públicos.

La participación social y participación ciudadana tienen importantes puntos de contacto; ambos tipos de participación ocupan un espacio social común cuando la participación social se dirige a intervenir sobre asuntos públicos; es decir, sobre cuestiones a las que otorga el mismo tratamiento que a las cuestiones decididas por una autoridad pública, formal

identificable a través del procedimiento oficial establecido por la ley.

Por su parte, la participación ciudadana implica necesariamente una relación con las instituciones políticas, mientras que en la participación social esta relación es contingente; de esta forma se introduce una segunda distinción entre participación social y ciudadana, derivada de una de las características básicas atribuidas a la sociedad civil: su autonomía respecto del Estado.

Al menos en teoría, la sociedad civil constituye una esfera históricamente compuesta de derechos individuales, libertades y asociaciones voluntarias, cuya autonomía y concurrencia mutua en la persecución de sus intereses e intenciones privados, quedan garantizadas por el Estado, que se abstiene de intervenir políticamente en la vida interna del ámbito de las actividades humanas; la participación social, en tanto que es ejercida en el seno de la sociedad civil, también se caracteriza por esta autonomía. Por su parte, la participación ciudadana constituye, sin embargo, un ámbito regulado por las instituciones estatales que establecen los canales y mecanismos a través de los cuales puede ser ejercida por los ciudadanos; la participación ciudadana es una acción que se ejerce a través de mecanismos institucionalizados, es decir, organizados como un sistema de reglas que regulan cierto tipo de acciones y relaciones sociales, dando respuesta a las siguientes cuestiones: quién, qué, por qué y cómo (Giner, 1996; Navarro y Pérez, 1994).

La respuesta a estas cuestiones constituye las dimensiones básicas para el análisis de la participación: 1) los actores que realizan la acción participativa; 2) los modos de acción o actividades en que se concreta la participación; 3) el ámbito de actuación sobre el que se ejerce; 4) los fundamentos o conjunto de valores que orientan y dan significado a la acción.

Específicamente sobre Participación Local, autores como Colino y Del Pino (2003) basados en la experiencia de proyectos en gobiernos locales españoles, señalan que la participación ciudadana se considera indispensable para hacer frente a los retos del entorno: procesos de

cambio social, restricciones presupuestarias, nuevas demandas, inmigración e integración social, globalización, integración europea, etc.

El nivel local conforma el ámbito en el que se evidencian las nuevas iniciativas; las administraciones locales tienen más posibilidades de crear condiciones para la inclusión de los individuos o de los colectivos interesados en las cuestiones públicas. En contraparte, los gobiernos locales aspiran conseguir a través de la información, ciudadanos que aumentarán su comprensión de las políticas, ello genera legitimidad; a través del aprendizaje, la opinión de los ciudadanos tomada en cuenta contribuye a mejorar las políticas públicas locales; a partir del intercambio, definir los problemas y debatir soluciones con los ciudadanos aumenta la eficacia de las decisiones y la rendición de cuentas; y en los procesos de co-decisión, incluir a los ciudadanos en la adopción de decisiones vinculantes para la comunidad en su calidad de afectados o de ciudadanos.

En cuanto a los posibles usos e intereses que se pueden alcanzar por los instrumentos de la participación, es importante considerar el desarrollo de la creatividad y competencia cívica; el logro de una participación lo más representativa posible de la ciudadanía; la conciliación de intereses divergentes; el cumplimiento de requisitos preceptivos de legislaciones sectoriales; la movilización de la implicación cívica o voluntaria; el perfeccionamiento de la gestión administrativa local y la vida política a través de una mayor información; establecimiento y mantenimiento de estructuras permanentes de participación; perfeccionamiento de planes y proyectos; combatir la desafección política y la formación de los ciudadanos para la democracia local.

Reconocer que la participación ciudadana es la clave para transformar el espacio local en un espacio público es apostar a crear condiciones para consolidar una gobernabilidad democrática; se refiere específicamente a que los ciudadanos intervengan en las actividades públicas representando intereses particulares (no individuales), en el ámbito de lo cotidiano que es

donde se da mayor proximidad entre autoridades y ciudadanos.

Ya en el plano de la GIRH la participación va más allá de la mera consulta, debe estar relacionada en todos los niveles y acompañar permanentemente el proceso de GIRH, por lo tanto, un enfoque participativo asegura la gestión sostenible de estos recursos vitales pero vulnerables (CapNet, PNUD, 2008).

Vista así, sus beneficios apuntan a la toma de decisiones en el nivel más factible (subsidiariedad), con una consulta pública total y un ingreso de los usuarios en la planificación e implementación de los proyectos sobre recursos hídricos, lo que conduce a proyectos más exitosos; también ayuda a asegurar que los recursos medioambientales sean protegidos y que los valores culturales y los derechos humanos sean respetados; ayuda a coordinar los intereses y a aumentar la transparencia y responsabilidad en la toma de decisiones; y sin duda, una mayor participación también puede mejorar la recuperación del costo, que es un factor clave para generar ingresos y financiar la GIRH.

Por consiguiente, el aumento de la participación pública en los procesos de toma de decisiones relativos al ambiente y al desarrollo es una característica esencial de la gobernanza para el desarrollo sostenible; en su momento, la Agenda 21, por ejemplo, sostenía que la participación comprometida con la toma de decisiones es fundamental para alcanzar el desarrollo sostenible y ya en el marco de las políticas públicas y como resultado de la tradición democrática, la participación ciudadana es, sin lugar a dudas, el prerrequisito para la democracia (Meadowcroft, 2003; Cabrero, 2000). Con los lineamientos de la Agenda 2030 se redimensiona la participación de los ciudadanos en la identificación y solución de los problemas ambientales complejos que caracterizan el planeta Tierra en la actualidad.

Con respecto a la implementación de una GIRH que garantice la sostenibilidad de los recursos hídricos, es preciso considerar los criterios de participación ciudadana y local; desde este paradigma y cuando se trata del agua, se

debería asegurar el equilibrio entre la oferta disponible del recurso y las necesidades de la sociedad a partir de la premisa de atender las demandas de todos los seres humanos para asegurar su calidad de vida, garantizando además la vida en el contexto de la cuenca hidrográfica como sistema ambiental.

En efecto, el desarrollo sostenible obtiene de la participación la posibilidad de generar las estrategias necesarias para una gobernanza exitosa, que en asuntos de recursos hídricos resulta imprescindible, pues el agua suele ser un elemento más de conflicto que de integración de las comunidades; de allí que, desde la comunicación, la consulta, hasta la evaluación y el control se matizan las características esenciales de la gobernanza que para efectos del desarrollo sostenible implicará necesariamente, un cambio social conscientemente dirigido. Ciertamente, a través de la participación se pueden acordar consensos y evitar los conflictos; se puede fomentar la integración de conocimiento, la gestión adaptativa de los actores involucrados: actores sociales y gobiernos.

Esta necesaria vinculación de participación y desarrollo sostenible está basada en el tejido de relaciones entre las personas, sus modos de organización y su papel en la toma de decisiones, sin desconocer que además, es una dimensión asociada a lo político institucional.

En consecuencia, asociar el concepto de capital social a la gestión del recurso hídrico es particularmente interesante en el contexto latinoamericano; el capital social constituye un activo intangible que obliga a incluir acciones de desarrollo en las siguientes áreas: en primer lugar, el clima de confianza interpersonal que tiene lugar al interno de una sociedad, país o localidad determinada; está relacionada con el clima de confianza o desconfianza de una sociedad, por tanto tiene relación con la legitimidad o no de las instituciones, con el nivel o no de confianza de las mismas; la asociatividad, es decir, la capacidad de una sociedad de generar diversas formas de cooperación en la búsqueda de sumar esfuerzos (Kliksberg, 2001). Es lo que señalan Puentes *et al.*, (2021) como la sinergia de una sociedad y es donde se compromete la

participación, pues constituye la densidad del tejido social. Finalmente, la conciencia cívica en tanto expresa las actitudes de las personas frente a situaciones de interés colectivo y la cuarta área se relaciona con la ética y los valores predominantes en la cultura de una sociedad; por lo tanto, resulta determinante el modo en que las sociedades en condiciones óptimas (activas) de participación, logren aumentar la confianza, mejorar la asociatividad, formar y fortalecer la conciencia civil y la ética; es decir, construir y movilizar el capital social.

5. A manera de reflexión

El uso y manejo de los recursos hídricos ha evolucionado en el tiempo en cuanto a las características y prioridades, desde una visión tradicional y antropocéntrica en la que predomina el uso de la cuenca hidrográfica como sistema reservorio y alimentador de agua, hasta paradigmas novedosos que bajo la concepción de integralidad promueven el manejo no solo del agua, sino de los suelos, el aire y los demás elementos (sociales y culturales) de los ecosistemas que conforman la cuenca hidrográfica.

Con relación a los enfoques, desde el Manejo Integrado de los Recursos Hídricos (MIRH), que considera como base el manejo adecuado de la oferta y demanda de los usuarios, pasando por la Gestión Ambiental (GA), que suma la complejidad para comprender la necesidad de compromiso entre sociedad y ambiente; hasta la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) que, como paradigma actual desde la integralidad y la complejidad, asume la gestión de los recursos hídricos desde lo ambiental, económico y social; estos enfoques destacan la importancia de la participación en la gestión de los recursos hídricos.

En cuanto a los principios que soportan los enfoques de manejo y gestión del agua, especialmente de la GIRH, es evidente que son el resultado de un proceso global de consultas y escenarios que se concretaron especialmente en el año 1992, con los Principios de Dublín, con las

recomendaciones para el agua dulce en la Agenda 21 y con la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD) celebrada en Río de Janeiro, en el marco de una gestión institucional de carácter internacional que iniciaba sus pasos como alternativa a los impactos negativos de un modelo de desarrollo imperante, no cónsono con la sustentabilidad.

De estos principios, el segundo se refiere a la participación en todos los niveles de usuarios e instituciones, a fin de garantizar la gestión adecuada del agua; en el plano de la GIRH, la participación sobrepasa la simple consulta, es el soporte para la implementación de un sistema de aguas sostenible en el entendido de que un enfoque participativo amplio que incluya todos los actores y niveles, conduce a generar y mantener canales de información, conciliar intereses y consultas, preocuparse y atender los asuntos locales, regionales, nacionales e inclusive internacionales, cuando se trata de la gestión de recursos hídricos a nivel de cuencas hidrográficas transfronterizas.

De manera particular en América Latina y el Caribe, a pesar de algunas experiencias valiosas en las que la participación de los diferentes usuarios se traduce en figuras legales que respaldan el uso sostenible de los recursos hídricos, es necesario además, flexibilizar marcos institucionales y legales que fomenten la participación activa de todos los actores sociales e institucionales presentes en el contexto de una cuenca hidrográfica; con participación plena en los procesos de toma de decisiones vinculadas a asuntos ambientales, se garantiza el ejercicio de ciudadanía y democracia, claves para asegurar el diseño y el éxito de políticas públicas que apunten a la gobernanza para el desarrollo sostenible del agua, un recurso vital pero vulnerable. En estos términos es posible alcanzar niveles de gestión basados en la cooperación y el desarrollo, minimizando así, los riesgos de conflicto que se derivan de un uso no sostenible.

6. Referencias citadas

- CABRERO, E. 2000. "Usos y costumbres en la hechura de las políticas públicas en México: Límites de las Policy Sciences en contextos cultural y políticamente diferentes". *Gestión y Política Pública*, IX(2): 189-229.
- COLINO, C. y E. DEL PINO. 2003. *Gobiernos locales e impulso democrático: las nuevas formas de la participación ciudadana en los gobiernos locales europeos*. Fundación Alternativas. Barcelona, España.
- CUNILL, N. 1991. *Participación Ciudadana*. Centro Latinoamericano de Administración para el Desarrollo (CLAD). Caracas, Venezuela.
- DÍAZ, M. 2024. *Revisión y propuesta de mejora sobre mecanismos de participación ciudadana en el ordenamiento y gestión del recurso hídrico en Colombia*. Universidad Santo Tomás. Trabajo de Grado. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/54106> . [Consulta: agosto, 2024]
- FERRERA, I. 2008. *Comprendiendo la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)*. Disponible en: <http://www.gwpcentroamerica.org/>. [Consulta: noviembre, 2022]
- GADEA, E. 2005. *Las políticas de participación ciudadana: nuevas formas de relación entre la administración pública y la ciudadanía. El caso de la ciudad de Valencia y su área metropolitana*. Universidad de Valencia. Facultad de Ciencias Sociales. Valencia, España. Trabajo de Grado. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/>. [Consulta: octubre, 2022].
- GENTES, I. y S. RUÍZ. 2008. "Retos y perspectivas de la gobernanza del agua y gestión integral de recursos hídricos en Bolivia". *European Review of Latin American and Caribbean Studies*, (85): 41-59. Disponible en: <http://intranet.catie.ac.cr/>. [Consulta: octubre, 2022]
- GINER, S. 1996. "Sociedad civil", en E. DÍAZ y A. RUIZ MIGUEL, *Filosofía política II. Teoría del Estado*. Ed. Trotta. Madrid, España.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP). 2000. *Manejo integrado de recursos hídricos*. (1ra. Impresión). Estocolmo, Suecia.
- KLIKSBERG, B. 2001. *El capital social. Dimensión olvidada del desarrollo*. Editorial Panapo. Caracas, Venezuela.
- MASSOLO, L. (Coord.). 2015. introducción a las herramientas de Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad de La Plata, Argentina. Disponible en: <https://www.bfa.fcnym.unlp.edu.ar/id/4155t>. [Consulta: enero, 2023].
- MEADOWCROFT, J. 2003. "Participación y estrategias para el desarrollo sostenible". *Revista Instituciones y Desarrollo*, 14-15: 123-138.

- MEDINA, M. 2012. *Participación local para la gestión integrada de recursos hídricos de las cuencas altas andinas. Caso de estudio: subcuenca río Queniquea, municipio Sucre, Estado Táchira. Venezuela*. Universidad de Málaga. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Málaga. España. Trabajo de Grado.
- MIRASSOU, S. 2009. *La Gestión Integral de los Recursos Hídricos: aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad del agua*. FLACSO, sede Argentina, Buenos Aires. Tesis de Doctorado. Disponible en: <http://flacsoandes.org/dspace/.../>. [Consulta: enero, 2023]
- NAVARRO, C y M. PÉREZ YRUELA. 1994. *Participación ciudadana en los municipios: algunas propuestas sobre enfoques teóricos y metodológicos. Aplicación al caso del Municipio de Córdoba*. Documento de Trabajo N° 94-15. Instituto de Estudios Sociales Avanzados (IESA). Córdoba, España.
- NIETO, F. 2022. *La participación comunitaria en la gestión del agua; como aporte para el desarrollo local sostenible en la parroquia Santa Ana*. Trabajo Especial de Grado. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23688> 2022. [Consulta: octubre, 2023]
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. (ONU). 2015. *La Agenda para el Desarrollo Sostenible*. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA y LA CULTURA (UNESCO). 2006. *Eje Temático No. 2. Enfoques Sobre la Instrumentación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). IV FORO MUNDIAL DEL AGUA*. Disponible en: <http://www.worldwaterforum4.org.mx/>. [Consulta: enero, 2023].
- OTÁROLA, W. 2024. *La Participación de los habitantes de San Rafael de Puriscal en la Gestión del recurso hídrico para consumo humano*. Universidad Nacional de Costa Rica. Facultad de Ciencias Sociales. Costa Rica. Trabajo especial de Grado. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11056/27762>. [Consulta: octubre, 2024].
- PUENTES, E.; HIDALGO-GUERRERO, A.; ORTIZ-BERNAL, Y. y C. BETANCOURT. 2021. "Indicadores de sostenibilidad social y su relación con el concepto de capital social". *Revista de Arquitectura*, 23(1): 97-10. Disponible en: <https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.3072>. [Consulta: agosto, 2024].
- RAMÍREZ, L. 2007. "Mujeres del agua: Desarrollo, participación y corresponsabilidad de la mujer como ejercicio cotidiano". *Revista Venezolana de Estudios de la Mujer*, 12(29): 63-90. Disponible en: <http://ve.scielo.org/>. [Consulta: abril, 2022].
- RED INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO DE CAPACIDADES EN LA GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS y PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. (CapNet, PNUD). 2008. *Habilidades de resolución de conflictos y negociación para la gestión integrada de los recursos hídricos*. Disponible en: <https://www.ais.unwater.org/>. [Consulta: agosto, 2022].

VARGAS, M. 2010. "Niveles de participación ciudadana en las políticas públicas: una propuesta para el estudio de mecanismos institucionales de participación". *TLATEOMANI. Revista Académica de Investigación*, 2. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/>. [Consulta: marzo, 2022]

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Rubio, estado Táchira, Venezuela; noviembre, 2024
Revisión: marzo, 2025

BIBLIOGRAFÍA CRÍTICA

**REVISAO
BIBLIOGRAFICA /
BOOKS REVIEW**



World Bank

TENDENCIAS RECIENTES DE POBREZA Y DESIGUALDAD AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: OCTUBRE 2024

Tendências recentes de pobreza e desigualdade
na América Latina e no Caribe: Outubro de 2024

Recent Trends in Poverty and Inequality Latin
America and the Caribbean: October 2024

(Spanish). Washington, D.C.
Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/099101724185031291>

Gastón Gaete Coddou

Universidad de Playa Ancha, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas
Departamento de Ciencias y Geografía
Valparaíso, Chile
ggaete@upla.cl

<https://orcid.org/0000-0001-8735-989X>

El documento titulado 'Tendencias recientes de pobreza y desigualdad en América Latina y el Caribe', publicado en octubre de 2024, cuya autoría es del Grupo del Banco Mundial, ofrece un análisis exhaustivo y actualizado sobre la evolución de la pobreza y la desigualdad en la región. Utilizando datos de la base socioeconómica propios de la Base de Datos Socioeconómicos para América Latina y el Caribe (SEDLAC), creada por el Banco Mundial y el Centro de Estudios Distributivos, Laborales y Sociales (CEDLAS), el estudio proporciona una visión detallada de los avances y desafíos en la lucha contra la pobreza y la desigualdad en América Latina y el Caribe (ALC).

A continuación, se presentan los alcances del contenido del documento, estructurado en secciones que abordan: el contexto macroeconómico, las tendencias de pobreza y desigualdad, los factores determinantes y las implicaciones para las políticas públicas.

1. Contexto macroeconómico y su impacto en la pobreza

El informe sitúa el análisis en el contexto macroeconómico de la región, destacando que en 2023 el Producto Interno Bruto (PIB) de ALC creció un 2,1%, una cifra moderada que se ubicó por debajo del promedio global. Este crecimiento, aunque positivo, refleja una recuperación lenta y desigual tras los impactos de la pandemia de COVID-19 y otros shocks económicos recientes. La región enfrenta un panorama de crecimiento moderado, con proyecciones para 2024 que indican una expansión del PIB regional del 1,9%, nuevamente por debajo del promedio mundial. Este contexto macroeconómico es fundamental para entender la dinámica de la pobreza, ya que el crecimiento económico es un determinante clave para la reducción de la pobreza y la mejora de los ingresos de los hogares.

El documento señala que, a pesar de las limitaciones en el crecimiento, factores como la recuperación del turismo, el incremento de las remesas y, en algunos casos, la inversión pública ha contribuido a impulsar la economía regional. Sin embargo, también se advierte sobre riesgos externos, como la desaceleración de las economías de Estados Unidos y China, la volatilidad en los precios de los *commodities* y el endurecimiento de las condiciones financieras globales. Estos factores podrían afectar la estabilidad económica de la región y, por ende, los esfuerzos para reducir la pobreza.

Un punto relevante es la inflación, que se ha moderado en la mayoría de los países de ALC, permitiendo a los bancos centrales flexibilizar sus políticas monetarias. No obstante, Argentina se presenta como una excepción, con niveles de inflación persistentemente altos. Este contraste subraya la heterogeneidad económica de la región y la necesidad de políticas específicas para abordar los desafíos de cada país.

En síntesis, el contexto macroeconómico descrito en el informe refleja un escenario de recuperación gradual pero incierta, con factores externos e internos que podrían influir en la trayectoria de la pobreza y la desigualdad en los próximos años. La estabilidad macroeconómica es esencial para la implementación de políticas efectivas de reducción de la pobreza y la desigualdad.

2. Tendencias de pobreza y desigualdad

Uno de los hallazgos más destacados del informe es la reducción de la pobreza en ALC, que en 2023 alcanzó su nivel más bajo en lo que va del siglo XXI. Según los datos presentados, una de cada cuatro personas en la región vive con ingresos por debajo de la línea de pobreza de US\$6,85 por día (PPA 2017). Esta reducción representa una disminución de 4,7 puntos porcentuales entre 2021 y 2023, un logro significativo que refleja, en gran medida, mejoras en el mercado laboral y el impacto de las transferencias públicas.

Sin embargo, el informe también advierte que el ritmo de reducción de la pobreza ha sido lento desde 2016, lo que subraya la necesidad de políticas más efectivas para acelerar este proceso. Además, se señala que las transferencias públicas, aunque importantes, han comenzado a disminuir en algunos países, lo que podría afectar negativamente a los hogares más vulnerables. Este punto es crucial, ya que plantea la pregunta sobre la sostenibilidad de las políticas de protección social en un contexto de restricciones fiscales.

En cuanto a la desigualdad, el informe indica que ALC sigue siendo una de las regiones más desiguales del mundo, con un coeficiente de Gini regional de 49,8 puntos en 2023. Aunque se observa una ligera disminución en la desigualdad entre 2021 y 2023, los niveles siguen siendo elevados, especialmente en países como Colombia y Brasil. Este diagnóstico refuerza la necesidad de políticas redistributivas que no solo se enfoquen en reducir la pobreza, sino también en abordar las disparidades estructurales que perpetúan la desigualdad.

Otro aspecto relevante es la brecha digital, que se presenta como un factor que exacerba las desigualdades existentes. El acceso a internet, especialmente entre los hogares pobres, es significativamente menor en comparación con los hogares no pobres. Esta brecha limita las oportunidades de acceso a servicios, educación y empleo, perpetuando así el ciclo de la pobreza. El informe subraya la importancia de abordar esta problemática para promover una mayor inclusión social y económica.

3. Factores determinantes de la pobreza y la desigualdad

El informe en cuestión identifica tres factores clave que han impulsado la reducción de la pobreza en ALC desde 2021: 1) el aumento de la tasa de empleo, 2) el incremento de los ingresos laborales y 3) el impacto de las transferencias públicas. Estos factores reflejan la importancia del mercado laboral como motor de la reducción de la pobreza, así como el papel de las políticas públicas en la protección de los hogares más vulnerables.

No obstante, el informe, a la par, señala que la calidad del empleo sigue siendo un desafío persistente. Aunque se ha observado un aumento en la tasa de empleo, la calidad de los puestos de trabajo, medida a través del Índice de Calidad del Empleo (ICE), se ha mantenido estancada en la mayoría de los países desde 2016. Esto indica que, si bien más personas tienen acceso a empleos, estos no necesariamente garantizan condiciones laborales adecuadas, como seguridad social, ingresos dignos y estabilidad laboral.

Asimismo, el informe destaca la existencia de brechas de género en la calidad del empleo, con las mujeres enfrentando condiciones laborales peores que los hombres en todos los países de la región. Esta problemática no solo afecta la equidad de género, sino que también limita el potencial de crecimiento económico y desarrollo social de la región.

Finalmente, el documento introduce el concepto de Brecha de Prosperidad (BP), un indicador que mide el déficit de ingresos promedio respecto a un umbral de prosperidad de US\$25 por día (PPA 2017). En 2023, la BP en ALC fue de 3,6, lo que significa que los ingresos de las personas tendrían que aumentar 3,6 veces para alcanzar el estándar mínimo de prosperidad. Este indicador subraya la magnitud del desafío que enfrenta la región para alcanzar niveles de bienestar comparables a los de las economías avanzadas.

4. Implicaciones para las políticas públicas

El análisis presentado en el informe en comento tiene importantes implicaciones para las políticas públicas en la región. En primer lugar, se destaca la necesidad de implementar políticas que no solo se enfoquen en el crecimiento económico, sino también en la mejora de la calidad del empleo. Esto incluye la promoción de empleos formales, la mejora de las condiciones laborales y la implementación de políticas de seguridad social que protejan a los trabajadores.

En segundo lugar, el informe subraya la importancia de abordar la brecha digital como un factor clave para la inclusión social y económica. Esto requiere inversiones en infraestructura

digital, programas de alfabetización digital y políticas que promuevan el acceso a internet en los hogares más vulnerables.

En tercer lugar, el documento plantea la necesidad de políticas redistributivas que aborden las disparidades estructurales que perpetúan la desigualdad. Esto incluye la implementación de políticas fiscales progresivas, la mejora de los sistemas de transferencias públicas y la promoción de la equidad de género en el mercado laboral.

Por último, el informe destaca la importancia de la cooperación regional y la coordinación de políticas para abordar los desafíos comunes que enfrenta la región. Esto incluye la colaboración en áreas como el comercio, la inversión y la cooperación técnica para promover un desarrollo más inclusivo y sostenible.

5. Reflexiones finales

El informe 'Tendencias recientes de pobreza y desigualdad en América Latina y el Caribe' ofrece un análisis exhaustivo y actualizado sobre la situación de la pobreza y la desigualdad en la región. Aunque se observan avances significativos, como la reducción de la pobreza y una ligera disminución de la desigualdad,

persisten desafíos estructurales que requieren atención urgente. La calidad del empleo, la brecha digital, las desigualdades de género y las limitaciones de las políticas de transferencias públicas son algunos de los temas clave que deben abordarse para lograr un desarrollo más inclusivo y sostenible en la región.

En este sentido, el documento no solo proporciona datos y análisis, sino que también plantea preguntas fundamentales sobre la efectividad de las políticas actuales y la necesidad de innovar en las estrategias para combatir la pobreza y la desigualdad. Este enfoque integral y crítico es esencial para orientar las decisiones de política pública y promover un cambio positivo en América Latina y el Caribe.

En definitiva, el informe en análisis subraya la importancia de un enfoque multidimensional para abordar la pobreza y la desigualdad, que incluya la mejora de la calidad del empleo, la reducción de la brecha digital, la promoción de la equidad de género y la implementación de políticas redistributivas efectivas. Solo a través de un enfoque integral y coordinado será posible lograr un desarrollo más inclusivo y sostenible en la región.

ÍNDICE ACUMULADO *ÍNDICE CUMULATIVO / ACCUMULATE INDEX*

Volumen 66(1), 2025 enero-junio

Editorial: Desarrollo y territorio. /6-9

Lista alfabética por autores

Álvaro González-Calderón, Carlos Pacheco-Angulo y Jesús Peña Guillén

Caracterización socio-ambiental y urbana de algunos emplazamiento metropolitanos de Latinoamérica y el Caribe mediante técnicas multivariantes, 2014-2018. /106-131

Ana Casado y Federico Ferrelli

Déficit y exceso hídrico bajo un clima variable, sudoeste bonaerense, Argentina. /12-30

Anna Lúcia Cardoso Martins, Edmilson Frabiciack dos Passos, Maria Fernanda Monteiro da Silva, Priscila Rificki, Jessé Alves Batista e Eleine Lima da Fonseca

Utilização da agricultura de precisão na produção de sorgo no estado de Rondônia, Brasil. /94-105

Christl Palme de Osechas, Reina Aranguren, José Choy, Carlos Guada y Luis Alberto Ramírez Méndez

Aplicación del método de Bakun & Wentworth para el análisis del terremoto de febrero 3, 1610, Andes venezolanos. /178-191

Dana Letza Nuñez Suárez, Indira Catalina Cubillos Santafe y Héctor Javier Fuentes López

Segregación y gentrificación urbana en el centro de Bogotá, D.C., Colombia, 2023. / 77-93

Fray Masias Cruz-Reyes, Miguel Ángel Comeca-Chuquipul, Ángel Aronés-Cisneros y Eduardo Huamani-Romero

Turismo rural una estrategia en la revalorización de los glaciares: el caso de Olleros, Ancash, Perú. /61-76

Gloria Yulier Cadena Montero

Pensar las migraciones contemporáneas. Categorías críticas para su abordaje. /245-254

Israel Cabeza-Morales y Franz Gutiérrez-Rey

Geografía y propiedad intelectual. Reflexiones desde los conceptos de territorio y escalaridad. /48-60

Jackeline C. Peña Suárez, Roberto J. Torres-Hoyer, Jesús Torres-Hoyer y Oswaldo J. Peña Villegas

Simulación hidrológica de la cuenca del río Motatán, estado Trujillo, Venezuela, por medio de WEAP. /192-204

Jorge Luis Ávila-Nuñez

Geohistoria de los cambios toponímicos del pico Bolívar de la Sierra Nevada de Mérida, Venezuela. /220-236

Jóvito Valbuena Gómez

LXV aniversario del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales “Dr. Antonio Luis Cárdenas Colmener”. Relato de su historia. /237-242

Juan Eduardo Jiménez-Caldera, Gren Durango-Severiche, Raúl Pérez-Arévalo, José Luis Serrano Montes, Jesús Rodrigo-Comino y Andrés Caballero-Calvo

Sociospatial Injustice manifestations arising from urban publics spaces' evaluation. /132-158

Lorenzo Bonisoli

Consideraciones profundas: vinculando normas personales con intenciones proambientales en el turismo centennial. /31-47

Noelia Principi

Modelo predictivo de expansión urbana en el partido de Luján, provincia de Buenos Aires, Argentina, mediante cadenas de Markov y autómatas celulares./205-217

Patricia López-Goyburu

Del Plan al Código. Plan urbano Ambiental y Código Urbanístico, Buenos Aires, Argentina, 1998-2018. /159-177

Índice por temas*Historia, teoría y métodos de la geografía***Jóvito Valbuena Gómez**

LXV aniversario del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales “Dr. Antonio Luis Cárdenas Colmener”. Relato de su historia. /237-242

*Geografía física***Ana Casado y Federico Ferrelli**

Déficit y exceso hídrico bajo un clima variable, sudoeste bonaerense, Argentina. /12-30

Christl Palme de Osechas, Reina Aranguren, José Choy, Carlos Guada y Luis Alberto Ramírez Méndez

Aplicación del método de Bakun & Wentworth para el análisis del terremoto de febrero 3, 1610, Andes venezolanos. /178-191

Jackeline C. Peña Suárez, Roberto J. Torres-Hoyer, Jesús Torres-Hoyer y Oswaldo J. Peña Villegas

Simulación hidrológica de la cuenca del río Motatán, estado Trujillo, Venezuela, por medio de WEAP. /192-204
Venezuela. /186-200

Jorge Luis Ávila-Nuñez

Geohistoria de los cambios toponímicos del pico Bolívar de la Sierra Nevada de Mérida, Venezuela. /220-236

*Geografía humana***Álvaro González-Calderón, Carlos Pacheco-Angulo y Jesús Peña Guillén**

Caracterización socio-ambiental y urbana de algunos emplazamiento metropolitanos de Latinoamérica y el Caribe mediante técnicas multivariantes, 2014-2018. /106-131

Patricia López-Goyburu

Del Plan al Código. Plan urbano Ambiental y Código Urbanístico, Buenos Aires, Argentina, 1998-2018. /159-177

Dana Letza Nuñez Suárez, Indira Catalina Cubillos Santafe y Héctor Javier Fuentes López

Segregación y gentrificación urbana en el centro de Bogotá, D.C., Colombia, 2023. / 77-93

Gloria Yulier Cadena Montero

Pensar las migraciones contemporáneas. Categorías críticas para su abordaje. /245-254

Israel Cabeza-Morales y Franz Gutiérrez-Rey

Geografía y propiedad intelectual. Reflexiones desde los conceptos de territorio y escalaridad. /48-60

Juan Eduardo Jiménez-Caldera, Gren Durango-Severiche, Raúl Pérez-Arévalo, José Luis Serrano Montes, Jesús Rodrigo-Comino y Andrés Caballero-Calvo
Sociospatial Injustice manifestations arising from urban public spaces' evaluation. /132-158

Geografía regional

Noelia Principi

Modelo predictivo de expansión urbana en el partido de Luján, provincia de Buenos Aires, Argentina, mediante cadenas de Markov y autómatas celulares. /205-217

Fray Masias Cruz-Reyes, Miguel Ángel Comeca-Chuquipul, Ángel Aronés-Cisneros y Eduardo Huamani-Romero

Turismo rural una estrategia en la revalorización de los glaciares: el caso de Olleros, Ancash, Perú. /61-76

Danny Díaz-Valdez, Wilson Jácome-Enríquez, Tomás Gómez-Navarro and Theofilos Toulkeridis
Ecotourism carrying capacity of the Cotopaxi National Park, Central Ecuador. /100-121

Ambiente y ordenación del territorio

Lorenzo Bonisoli

Consideraciones profundas: vinculando normas personales con intenciones proambientales en el turismo centennial. /31-47

Juan David Cruz-Negrete, Alex Ojeda-Gomez y Jorge Homero Wilches-Visbal

Converging Technologies to monitor pollution, and its legal approach for sustainable development. /51-60

Víctor Calderón-Fajardo y Abraham Nuevo López

El papel de los agentes sociales en el desarrollo endógeno: Caso Amazonía ecuatoriana. /61-76

Marcos Paulo Marques Araújo

Alavanca de política pública da economia circular e o planejamento estratégico/2030 do CONLESTE. /122-133

Maria Andreina Salas-Bourgoin

El papel del territorio y de las políticas territoriales en la estrategia de recuperación, transformación y resiliencia. /247-249

Otros

Anna Lúcia Cardoso Martins, Edmilson Frabiciack dos Passos, Maria Fernanda Monteiro da Silva, Priscila Rificki, Jessé Alves Batista e Elaine Lima da Fonseca

Utilização da agricultura de precisão na produção de sorgo no estado de Rondônia, Brasil. /94-105

Laura Beatriz Krama, Carlos Augusto Wroblewski e Marcelo Ng Wei Ban Hung

Contribuições do aerolevanteamento de precisão no diagnóstico territorial de zonas de comunidades tradicionais Caiçaras. /28-35

Volumen 66(2), 2025 julio-diciembre

Editorial: Una mirada al territorio. /267-270

Lista alfabética por autores

Abdiel Menchaca Aguilar, José Pedro Juárez-Sánchez, Benito Valverde-Ramírez, Ángel Bustamante González y Gustavo Ramírez Valverde

Competitividad en empresas rurales de México. Caso de la industria de ónix y mármol, estado de Puebla, municipio de Tecali, México. /438-454

Alexander Vergara, Dustin Tahisin Gómez-Rodríguez y Ehyder Mario Barbosa Pérez

Innovación tecnológica en la interpretación de riesgos naturales: aplicación de productos fotogramétricos Digitales. /273-289

Andrés Felipe Bautista Vargas

La perspectiva territorial en procesos de restauración ecológica participativa. Lago de Tota, Boyacá, Colombia. /416-437

Diego Arcesio Rodríguez Martínez y Sergio Andrés Laiton

Metodología para la detección de plásticos a través de sensores remotos, Bocas de Ceniza, Barranquilla, Colombia. /398-415

Esteban Figueroa Navarrete

Geografías morales: interfaz disciplinario entre la Geografía y la Ética desde el concepto de justicia. /491-502

Gastón Gaete Coddou

Tendencias recientes de pobreza y desigualdad América Latina y el Caribe: octubre 2024. /518-521

Giancarlo Alciaturi, María del Pilar García-Rodríguez y Virginia Fernández

Mapping a rice región in South America using Geo Big Data and Sentinel 2. /290-308

Jackeline Coromoto Peña Suárez, Marisela Sánchez Ávila, Jesús Alberto Torres Hoyer, Ricardo Picón Rodríguez, Wilmer José Barreto y Roberto José Torres Hoyer

Método de Elementos Finitos para el análisis de la falla de Boconó en Mesa de Los Indios, estado Mérida, Venezuela. /455-466

José Luis Sánchez-Cortez, José Luis Palacio-Prieto, Quetzalcóatl Orozco-Ramírez, Emmeline Rosado-González, Norma López-Castañeda y Xóchitl Ramírez-Miguel

Aportes para la contextualización y relevancia internacional del Geopatrimonio del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, México. /467-488

José Luis Muñoz Marcillo, Cristopher Cesar Caisa Melendrez, Grace Tatiana Páez-Barrera & Theofilos Toulkeridis

Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo y deforestación en la Reserva Ecológica Los Ilinizas, Ecuador andino. /378-397

Luis Francisco Balza-Moreno y Erika Melanyela Ramírez Roa

Áreas de restricción para la expansión urbana de la ciudad de Pregonero, estado Táchira, Venezuela, 2023. /309-328

Lemy Bran-Piedrahita, Alejandro-Valencia-Arias, Lucía Palacios-Moya y Daniel Cardona-Valencia Mayra Medina

Metodologías que orientan las investigaciones sobre procesos de desarrollo e innovación social. /348-364

Moisés Gonçalves do Carmo, Jesse Alves Batista e Elaine Lima da Fonseca

Variabilidad espacial de atributos químicos del suelo y estado nutricional del algodón, municipio de Vilhena,

Índice por temas

Historia, teoría y métodos de la geografía

Esteban Figueroa Navarrete

Geografías morales: interfaz disciplinario entre la Geografía y la Ética desde el concepto de justicia. /491-502

Geografía Física

Diego Arcesio Rodríguez Martínez y Sergio Andrés Laiton

Metodología para la detección de plásticos a través de sensores remotos, Bocas de Ceniza, Barranquilla, Colombia. /398-415

Alexander Vergara, Dustin Tahisin Gómez-Rodríguez y Ehyder Mario Barbosa Pérez

Innovación tecnológica en la interpretación de riesgos naturales: aplicación de productos fotogramétricos Digitales. /273-289

Giancarlo Alciaturi, María del Pilar García-Rodríguez y Virginia Fernández

Mapping a rice region in South America using Geo Big Data and Sentinel 2. /290-308

Jackeline Coromoto Peña Suárez, Marisela Sánchez Ávila, Jesús Alberto Torres Hoyer,

Ricardo Picón Rodríguez, Wilmer José Barreto y Roberto José Torres Hoyer

Método de Elementos Finitos para el análisis de la falla de Boconó en Mesa de Los Indios, estado Mérida, Venezuela. /455-466

José Luis Muñoz Marcillo, Cristopher Cesar Caisa Melendrez, Grace Tatiana Páez-Barrera & Theofilos Toulkeridis

Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo y deforestación en la Reserva Ecológica Los Ilinizas, Ecuador andino. /378-397

Moisés Gonçalves do Carmo, Jesse Alves Batista e Elaine Lima da Fonseca

Variabilidad espacial de atributos químicos del suelo y estado nutricional del algodón, municipio de Vilhena, estado de Rondônia, Brasil. /365-377

Rogelio Bernal-Morales, José Pedro Juárez-Sánchez, Benito Ramírez-Valverde, Ignacio Ocampo-Fletes y María de los Ángeles Velasco-Hernández

Impacto del cambio climático en el periodo de crecimiento del maíz en el oriente de Puebla, México. /329-347

Geografía humana

Abdiel Menchaca Aguilar, José Pedro Juárez-Sánchez, Benito Valverde-Ramírez, Ángel Bustamante González y Gustavo Ramírez Valverde

Competitividad en empresas rurales de México. Caso de la industria de ónix y mármol, estado de Puebla, municipio de Tecali, México. /438-454

José Luis Sánchez-Cortez, José Luis Palacio-Prieto, Quetzalcóatl Orozco-Ramírez,

Emmeline Rosado-González, Norma López-Castañeda y Xóchitl Ramírez-Miguel

Aportes para la contextualización y relevancia internacional del Geopatrimonio del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, México. /467-488

Luis Francisco Balza-Moreno y Erika Melanyela Ramírez Roa

Áreas de restricción para la expansión urbana de la ciudad de Pregonero, estado Táchira, Venezuela, 2023. /309-328

*Geografía regional***Andrés Felipe Bautista Vargas**

La perspectiva territorial en procesos de restauración ecológica participativa. Lago de Tota, Boyacá, Colombia. /416-437

*Ambiente y ordenación del territorio***Mayra Medina**

La participación en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). /503-515

*Otros***Gastón Gaete Coddou**

Tendencias recientes de pobreza y desigualdad América Latina y el Caribe: octubre 2024. /518-521

Lemy Bran-Piedrahita, Alejandro-Valencia-Arias, Lucía Palacios-Moya y Daniel Cardona-Valencia

Metodologías que orientan las investigaciones sobre procesos de desarrollo e innovación social. /348-364

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

Todos los trabajos remitidos a la Revista Geográfica Venezolana (RGV) deberán ser originales y no estar sometidos o editados en otras publicaciones periódicas de naturaleza similar (impresas o electrónicas). La Revista se rige por las normas del Código de Bioética de la COPE. El trabajo debe ser enviado vía correo electrónico (regeoven@gmail.com) al Editor de la Revista, donde será sometido a arbitraje bajo el sistema doble ciego. En este proceso participarán evaluadores provenientes de la institución editora como de otras instituciones y países. Fases del proceso de arbitraje: envío a los evaluadores, recepción de la evaluación/correcciones, notificación al autor(es). En el caso de presentarse controversia respecto a la posibilidad de publicación de un artículo, este será enviado a un tercer evaluador quien será el tercero en discordia. El proceso de arbitraje podrá arrojar como resultados: ser publicado sin modificación alguna; podrá ser publicado si se realizan las modificaciones indicadas; modificarse a fondo y ser sometido nuevamente a arbitraje y no apto para ser publicado. El tiempo de publicación de los artículos dependerá de este proceso evaluatorio y será aproximadamente de tres a seis meses. Para efectos de arbitraje los autores deben eliminar la personalización de la copia de Microsoft Office de su equipo. Anexa al trabajo los autores deberán enviar carta de originalidad y cesión de derechos (link disponible en las instrucciones On Line). Todos los trabajos sometidos a la RGV deben estar en formato Word, fuente Times New Roman de 12 puntos e interlineado a doble espacio. En todos los casos, sin formatos especiales ni tabulaciones. De contener figuras, tablas o elementos similares, y de ser necesario, debe especificarse el programa con el cual fueron hechos. Todos los autores deben incluir en su trabajo su **ID ORCID**.

ARTÍCULOS

Bajo esta categoría se incluirán trabajos de hasta 25 páginas (resumen, abstract, palabras clave, cuerpo del artículo, figuras, gráficos y referencias citadas), tamaño carta, escritos a doble espacio, con márgenes de 3 cm en los cuatro lados. También hay que indicar **lugar fecha y de finalización del artículo**. Luego, si fuese el caso, fecha de la revisión y corrección. Para que un trabajo se incluya en esta categoría debe contener lo siguiente:

TÍTULO

Debe ser preciso, breve y claro. Su extensión no deberá exceder las 15 palabras. Debe estar centrado en la parte superior de la primera página, en negrita y en minúscula. Luego colocar en portugués y a continuación en inglés, en texto normal e igualmente en minúscula.

NOMBRE DEL AUTOR(ES) Y FILIACIÓN

El nombre del o de los autores debe aparecer debajo del título, hacia el lado izquierdo. Inmediatamente debajo del nombre, debe colocarse filiación institucional. Correo electrónico e identificador ORCID.

RESUMEN

A continuación del nombre del autor(res), deberán incluirse tres resúmenes, (**español, inglés y portugués**) de no más de 150 palabras. El resumen en inglés se denominará Abstract y en portugués Resumo. Si el artículo está redactado en otro idioma (p. ej. francés) se deberá incluir también un resumen en ese idioma. El resumen debe ser claro y conciso, no siendo necesario referirse al texto del artículo; tampoco debe incluir citas ni referencias.

PALABRAS CLAVE

Inmediatamente después de cada resumen (español, inglés y portugués u otra lengua) debe aparecer la línea de palabras clave que identifican los aspectos centrales del artículo. Deben estar separadas por **puntos y comas**. De preferencia no deben ser más de 5.

Ejemplos:

Palabras clave: geomorfología; Venezuela; Andes; Mérida; valle del río Mocotíes

Palavras-chave: geomorfologia; Venezuela; Andes; vale do rio Mocotíes

Keywords: geomorphology; Venezuela; Andes; Mérida; Mocotíes River valley

TEXTO

El texto del artículo debe comenzar en página aparte. Los elementos estructurales deben ser: introducción, materiales y métodos, resultados, discusión de los resultados, conclusiones y referencias citadas. Esta estructura puede ser flexible dependiendo de la especialidad del tema tratado. En todos los casos se debe definir una **jerarquización de los títulos y subtítulos**; ejemplo: 1.; 1.1, 1.2; 2... Los nombres científicos deben escribirse en cursivas. La expresión latina *et al.*, también debe ir con letra cursiva. Para los números decimales debe usarse comas y no puntos. **Los agradecimientos deben ser concisos y aparecer antes de las Referencias citadas.**

La **introducción** deberá señalar, de preferencia, la naturaleza, importancia y alcance del problema tratado, así como los objetivos del trabajo.

Se hará una descripción concisa de los materiales y métodos usados bajo la denominación de **"metodología"** o **"materiales y métodos"**. Bajo materiales se consideran aspectos como mapas, aerofotografías, imágenes satelitales, equipos, productos, etc.; bajo la denominación métodos se consideran procedimientos, tratamientos y técnicas empleadas, técnicas de laboratorio, etc. En los **resultados** se presentarán los efectos de todos los hechos analizados. Estos podrán combinar discusión e interpretación. La **discusión** se centrará en los hallazgos encontrados incluyendo análisis de los mismos. Las **conclusiones** deben ser precisas y concisas y centrarse en lo más relevante de los resultados, así como resaltar el principal aporte del trabajo si fuere el caso.

REFERENCIAS CITADAS

Las referencias citadas en el texto deben señalarse entre paréntesis, con el apellido del autor seguido por una coma y el año de la publicación (Silveira, 2013). Cuando la cita sea textual deberá indicarse el número de página correspondiente (Silveira, 2013: 15). Si la referencia en el texto es de dos autores deben ir los apellidos de ambos autores seguido por una coma y el año de publicación (Rodríguez y Rojas-Suarez, 2008); si la referencia es de más de dos autores, se cita solo el primero acompañado de la expresión *et al.*, (Lemos *et al.*, 2006); pero, en las referencias citadas al final del texto **deben incluirse todos los autores**. En el caso de varios trabajos de un mismo autor o autores, elaborados en un mismo año, las referencias se indicarán con letra minúscula (a, b, etc.) colocadas inmediatamente después del año de publicación, ejemplo (Gómez, 2015a; Gómez, 2015b). Las referencias citadas en el texto se deben corresponder con una indicación completa en la lista de referencias citadas al final del artículo, y deben aparecer en estricto orden alfabético, respetando lo siguiente:

Artículos de revistas

ALTEZ, R. 2014. "Historia comparada de los sismos de Caracas: dinámica y variabilidad de las intensidades". *Revista Geográfica Venezolana*, 55(1): 129-153.

CHOY, J. E.; PALME, C.; GUADA, C.; MORANDI, M. & S. KLARICA. 2010. "Macroseismic Interpretation of the 1812 Earthquakes in Venezuela using intensity uncertainties and a priori fault-strike information". *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100(1): 241-255.

URQUIJO TORRES, P. S. y N. BARRERA BASSOLS, N. 2009. "Historia y paisaje. Explorando un concepto geográfico monista". *Andamios*, 5(10): 227-252.

PAKOKSUNG, K. & M. TAKAGI. 2021. "Assessment and comparison of Digital Elevation Model (DEM) products in varying topographic, land cover regions and its attribute: a case study in Shikoku Island Japan". *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(1): 465-484.

Capítulos de libros

FROLOVA, M. y G. BERTRAND. 2006. "Geografía y paisaje". En: D. HIERNAUX y A. LINDÓN (Dir.), *Tratado de Geografía Humana*, pp. 254-269. Anthropos Editorial, Barcelona - Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Sociales y Humanidades. México.

HERITAGE, J. 1990. "Etnometodología". En: J. ALBORÉS (ed.), *La Teoría Social hoy*, pp. 290-350. Alianza Editorial. Madrid, España.

Libros

VIVAS, L. 2015. *La megadiversidad físico-natural del territorio venezolano*. Gráficas El Portatítulo. Mérida, Venezuela.

PAGE, S. & C. M. HALL. 2003. *Managing Urban Tourism*. Prentice Hall. Essex, United Kingdom.

SANTOS, M. y M. L. SILVEIRA. 2001. *O Brasil: Território e Sociedade no início do século XXI*. Record. Rio de Janeiro, Brasil.

LEMOS, A. I. G.; SILVEIRA, M. L. y M. ARROYO (Comp.). 2006. *Questões territoriais na América Latina*. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO), Universidade de São Paulo (USP). Brasil / Buenos Aires, Argentina.

Congresos, Seminarios, Reuniones

ALVES, V. E. L. 2011. A expansão da produção de soja na fronteira agrícola dos cerrados brasileiros. Hegemonia das grandes empresas e processo de exclusão. IX ENANPEGE (*Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia*), pp. 1-18. Goiânia, Brasil. (9-12 de outubro).

AUDEMARD, F. A. 1993. Trench investigation across the Oca-Ancon fault system, Northwestern Venezuela. *Second International Symposium on Andean Geodynamics*, pp. 51-54. Oxford, England. (Extended abstract).

Otras publicaciones (tesis, informes, etc.)

ULLMAN, R. 1988. *Técnicas digitais de modelaje cartopográfico para ambientes urbanos*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. (Inédito).

SANTANA, D. 2013. *Precariópolis y privatópolis en la región metropolitana de Bogotá (1990-2010)*. Un análisis socioespacial de los barrios cerrados. Departamento de Geografía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Trabajo de Grado.

CAPRON, G. 1996. *La ville privée: les shopping centers à Buenos Aires*. Universidad Toulouse-2. Le Mirail, Francia. Tesis de Doctorado.

Si la referencia tiene como fuente a Internet, debe señalarse Disponible en: [http://www.\(dirección web\)](http://www.(dirección web)) y mencionar, de ser el caso la fecha de la consulta [Consulta: fecha], manteniendo la forma de citar previamente señalada para artículos de revistas, capítulos de libros, congresos, seminarios, reuniones y otras publicaciones, salvo que la publicación siga un formato electrónico, p. ej.:

SMALLER, C.; WEI, Q. & L. YALAN. 2013. *The quest for commodities: Chinese investment in farmland*. International Institute for Sustainable Development (June 26). Disponible en: <https://www.iisd.org/itn/2013/06/26/the-quest-for-commodities-chinese-investment-in-farmland/> [Consulta: octubre,2015]

YÁÑEZ, G.; REHNER, J. y O. FIGUEROA. 2010. "Redes empresariales e informales en el mercado inmobiliario de Santiago de Chile". *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 2010, vol. XIV, n° 331 (91). [ISSN: 1138-9788]

En todos los casos, cuando son **más de seis autores** se debe colocar los APELLIDOS e inicial del o de los nombres de los primeros seis autores seguido de puntos suspensivos y terminar con el APELLIDO e inicial del nombre del último autor. Ej.: VERMA, R. R.; MANJUNATH, B. L.; SINGH, N. P.; KUMAR, A.; ASOLKAR, T.; CHAVAN, V.;... & P. SINGH. 2018. "Soil mapping and delineation of management zones in the Western Ghats of coastal India". *Land Degradation & Development*, 29(12): 4.313-4.322.

TAPIAS, G.; GARCÍA, J.; MONSALVE, G.; BONILLA, M.; MARCANO, S.; NIÑO, A.;... y H. CÁRDENAS. 2001. *Estudio de diversidad biológica en la cuenca alta del río Pereño, Estado Táchira, Venezuela*. UNET, SIRCA, MARN. San Cristóbal, Venezuela.

En el caso de leyes para citarlas en el cuerpo del texto se debe señalar el nombre o número de acta y el año de publicación; ejemplo: (Ley N° 18525, 1986). En las referencias citadas debe colocarse: Número de la ley y denominación oficial si la tiene, título de la publicación en que aparece oficialmente, lugar de publicación y fecha (indicar día, mes y año). Ejemplo: Ley Orgánica de Ordenación del Territorio. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, Número 3.238 Extraordinario. Caracas, jueves 11 de agosto de 1983.

Forma de citar los textos publicados en la Revista Geográfica Venezolana (versión digital)

HIDALGO R.; DE SIMONE L.; SANTANA D. y F. ARENAS. 2016. "Geografías del comercio en Santiago de Chile (1990-1910): de la reestructuración comercial al policentrismo inmobiliario". *Revista Geográfica Venezolana*, 57(1): 14-37. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/regeoven>. [Consulta: insertar fecha de acceso o descarga]

FIGURAS

Los gráficos, croquis, fotografías, planos, láminas, mapas, etc. se **denominarán figuras**. Las figuras deben estar numeradas según su orden de aparición en el texto, en números arábigos. No deben tener ningún tipo de formato (cuadros, recuadros), ni deben aparecer los nombres de los autores. Al ser reducidas, deberán presentar características que no dificulten su lectura. Las figuras deben estar en formato digital con una resolución de 350 dpi en formato Tif.

TABLAS

Deberán estar montados en el procesador de texto word (versiones recientes) o en hoja(s) de cálculo tipo Excel (Windows), dependiendo de su complejidad. Además, su ubicación debe estar clara dentro del texto. En su parte superior se ordenarán con números arábigos (ej. Tabla 1) y, a continuación, llevarán una leyenda explicativa (título). Las notas al pie de las tablas se utilizarán para especificar información detallada (ejemplo: niveles de información estadística) y deben ser identificados con superíndices numerados.

PIE DE PÁGINA

No se recomienda el uso de los pie de página. No obstante, cuando el autor lo considere pertinente, **las notas deben ir al final del artículo, antes de las referencias citadas**. Deben respetar la secuencia en que aparecen en el texto.

NOTA

Si bien la Revista Geográfica Venezolana se edita en español, se aceptan artículos en inglés, francés y portugués. En cualquier caso es necesario que se incluyan los resúmenes en español, inglés y portugués.

Los trabajos que no sigan estas instrucciones se devolverán a los autores para que realicen los ajustes pertinentes

INSTRUCTIONS TO THE AUTHORS

All papers submitted to the “Revista Geográfica Venezolana” must be original and cannot be submitted or edited in other periodical publications of the same nature. Three copies of the manuscript must be sent to the editor of the magazine at “Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Oficina de Publicaciones, Universidad de Los Andes, Vía los Chorros de Milla, Mérida 5101, Venezuela” where the article will pass arbitration. The manuscript must be accompanied by a diskette containing the paper in the format of Word Document (Word). If the manuscript contains charts graphics, etc. The program used to make them must be specified.

PAPERS

Works submitted to this category must be, at most, 30 pages of length, letter size, double-spaced with 3 cm of margin. To be accepted into this category works must have:

TITLE

It must be brief and precise. It cannot have more than 15 words. It must be centered at the top of the first page in capital letters. If written in Spanish, the title must be written in English in lower caption under the Spanish title.

NAME AND ADDRESS

The name of the writer must appear under the title in the left of the page. Under the name of the writer must be written the address, fax, e-mail and telephone number of the writer.

ABSTRACT

After the name of the author(res), three abstracts (Spanish, English and Portuguese) of no more than 150 words should be included. The abstract in English will be called *Abstract* and in Portuguese *Resumo*. If the article is written in another language (e.g. French), an abstract in that language should also be included. The abstract should be clear and concise, it is not necessary to refer to the text of the article, nor should it include citations or references.

KEYWORDS

After each summary (English and Spanish), a list of keywords must be included. Key words must resume the main aspects of the paper. Semicolons must separate the key words. At most, 5 key words will be listed.

Examples:

Palabras clave: geomorfología; Venezuela; Andes; Mérida; valle del río Mocotíes.

Palavras-chave: geomorfologia; Venezuela; Andes; Mérida; vale do rio Mocotíes

Keywords: geomorphology; Venezuela; Andes; Mérida; Mocotíes River valley.

TEXT

The text of the paper must start in the following page. The structural elements must be: introduction, materials and methods, results, discussion of the results, conclusions and references quoted. This structure can be flexible depending on the capacities of the subject chosen. Scientific names must be underlined. When writing decimals comas are to be used. Acknowledgements must be brief and will be written before of the References.

The introduction must point out the nature, relevance as well as the objectives of the work.

A concise description of the materials and methods used will be made under the title “Methodology” or “Methods and Materials”. Under materials are considered tools like maps, photographs, satellite images, equipment, products, etc.; under methods are considered procedures, treatments, techniques employed, etc. In the results the effects of the analyzed facts will be presented. This can combine discussion and interpretation.

REFERENCES QUOTED

The references quoted in the text must be followed with the name of the author and the year of publication between parentheses. For example: (Pérez, 1999). When the reference is a textual quote the number of the page must be indicated (Pérez, 1999: 12). If the reference belongs to more than two authors only the name of the first must be written, followed by the words *et al.* In the References quoted at the end of the text all the authors must be included.

When several works by the same author written the same year are quoted, the references will be indicated with a lower caption letter following the year of publication like so: Gómez, 1999a; Gómez 1999b. All references must be accordingly indicated in the references at the end of the text and must appear in alphabetical order. Quotes at the end of the text will be as follows:

Articles from magazines

PERNIA, E. 1997. "Una metodología para la interpretación visual de imágenes digitales de percepción remota". *Revista Geográfica Venezolana*, 38(1): 11-22.

Articles from books

HERITAGE, J. 1990. "Etnometodología". In: J. Alborés (ed.), *La teoría social hoy*, pp. 290-350. Alianza Editorial. Madrid.

Seminars, reunions and conferences

KOBAL, J. J. 1987. El estudio de las acumulaciones del Cuaternario en el río Meta. *Memories from the Primer Congreso Colombiano de Geología*. 155-198. Bogotá-Colombia (27-29 October, 1986).

Other publications (thesis or other)

ULLMAN, R. 1998. *Técnicas digitales de modelaje cartopográfico para ambientes urbanos*. Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Especial graduation paper, 95 p. (unedited).

References from Internet, it must indicate as follow: <http://www.ula.ve>

How to cite texts published in the Revista Geográfica Venezolana (digital version)

HIDALGO R.; DE SIMONE L.; SANTANA D. & F. ARENAS. 2016. "Geographies of commerce in Santiago de Chile (1990-1910): from commercial restructuring to real estate polycentrism". *Revista Geográfica Venezolana*, 57(1): 14-37. Available at: <http://www.saber.ula.ve/regeoven>. [Consultation: insert date of access or download].

FIGURES

All graphics, pictures, maps, etc. will be called "figures" be sent in separate sheets (originals). For technical reasons the maximum size for figures will be 16 x 23 cm, which allows for its adaptation to the 1/16 size. After reduction letters must be 2,0 mm high and decimals must be visible. Figures must be numbered according to their appearance in the text in Arabic numbers. Figures must not have any kind of format (edges, etc.). The names of the authors (or drawers) must not appear. The figures must be clear and relatively simple so as to be understandable once reduced. The descriptions corresponding to the figures must come on separate pieces of paper. Photographs must be in black and white and copies must be done on good quality paper.

TABLES

Tables will be called Charts and must be done in word 7.0 or in Exel. The must come in the diskette containing the text with proper identification. Its location inside the text must be clear. Charts will be identified at the top with Arabic numbers (Chart 1) and will be followed by the title of the chart. Footnotes under the charts will be used to specify detailed information. And must be identified with numbered superindex.

FOOTNOTES

The use of footnotes is not recommended. However, if the author chooses to use them, they must be written at the end of the text before the references.

NOTE

The **Revista Geográfica Venezolana** is edited in Spanish. However, papers in English, French and Portuguese are accepted.

The works that don't meet these instructions will be returned to the authors so that they make the relevant changes

INSTRUCCIONES PARA LOS ÁRBITROS

La Revista Geográfica Venezolana es una publicación científica arbitrada, por lo que los artículos que se publican son sometidos, previamente, a evaluación por parte de personas especializadas en el tema tratado en los mismos.

A los árbitros se les envía una planilla guía en la que deben registrar todos aquellos aspectos que, a juicio de los editores, debe cumplir todo Artículo o contribución para la sección de Notas y Documentos.

El árbitro debe calificar el grado de cumplimiento de tales aspectos y emitir un dictamen definitivo referente a la calidad del artículo. En este sentido, a continuación se señalan algunas recomendaciones a ser tomadas en cuenta.

Los árbitros deben dar una apreciación general del trabajo (tema adecuado para la revista; citas ajustadas a las normas de publicación; extensión, etc.), así como señalar la originalidad (de ser el caso) y claridad (título, resumen). También deben incluir dentro de su evaluación la ortografía y la redacción como aportes para mejorar la calidad del artículo. Por último, emitir una evaluación global que especifique si el trabajo debe ser publicado sin modificación alguna; puede ser publicado si se realizan las modificaciones indicadas; debe ser modificado a fondo y ser sometido nuevamente a arbitraje o no debe ser publicado.

El artículo, una vez recibido, leído y evaluado, deberá ser devuelto al editor responsable en un lapso no mayor de 15 días hábiles. Si por alguna razón el árbitro tuviese algún inconveniente con este período para realizar la evaluación, deberá informarlo a la mayor brevedad. El trabajo debe ser tratado confidencialmente y su contenido es propiedad del autor o autores.

Los resultados de la evaluación deberán ser enviados vía correo electrónico (regeoven@gmail.com; regeoven@ula.ve) con indicación expresa que es una evaluación, o entregados personalmente, si fuere el caso, en la Oficina de Publicaciones del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales.



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
VENEZUELA



CDCHTA

El Consejo de Desarrollo Científico, humanístico, Tecnológico y de las Artes es el organismo encargado de promover, financiar y difundir la actividad investigativa en los campos científicos, humanísticos, sociales y tecnológicos.

Objetivos generales

EL CDCHTA, de la Universidad de Los Andes, desarrolla políticas centradas en tres grandes objetivos:

- Apoyar al investigador y sus generación de relevo.
- Vincular la investigación con las necesidades del país
- Fomentar la investigación en todas las unidades académicas de la ULA, relacionadas con la docencia y con la investigación.

Objetivos específicos

- Proponer políticas de investigación y desarrollo científico, humanístico, tecnológico y de las artes para la Universidad.
- Presentarlas al Consejo Universitario para su consideración y aprobación.
- Auspiciar y organizar eventos para la promoción y la evaluación de la investigación.
- Proponer la creación de premios, menciones y certificaciones que sirvan de estímulo para el desarrollo de los investigadores.
- Estimular la producción científica.

Funciones

- Proponer, evaluar e informar a las Comisiones sobre los diferentes programas o solicitudes.
- Difundir las políticas de investigación.
- Elaborar el plan de desarrollo.

Estructura

- Directorio: Vicerrector Académico, Coordinador del CDCHTA.
- Comisión Humanística y Científica.
- Comisiones Asesoras: Publicaciones, Talleres y Mantenimiento, Semanarios en el Exterior, Comité de Bioética.
- Nueve subcomisiones asesoras.

Programas

Proyectos, Seminarios, Publicaciones, Talleres y Mantenimiento, Apoyo a Unidades de Trabajo, Equipamiento Conjunto, Promoción y Difusión, Apoyo Directo a Grupos (ADG), Premio Estimulo al Investigador (PEI), Premio Estimulo Talleres y Mantenimiento, Proyectos Institucionales Cooperativos, Aporte Red Satelital, Gerencia <http://ula.ve/cdchta> / correo: cdcht@ula.ve

ALEJANDRO GUTIERREZ S. COORDINADOR GENERAL

ESTA VERSIÓN DIGITAL DE LA **REVISTA GEOGRÁFICA**
VENEZOLANA VOLUMEN 66(2), 2025 SE REALIZÓ CUMPLIENDO
CON LOS CRITERIOS Y LINEAMIENTOS ESTABLECIDOS PARA LA
EDICIÓN ELECTRÓNICA EN EL AÑO 2025.
PUBLICADA EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL SABERULA
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - VENEZUELA