





ISSN 1011-484X  
e-ISSN 2215-2563



**RGAC**



Revista Geográfica de América Central

**70 (1)**  
Enero-junio 2023

**ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR**



La REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL es una publicación de la Escuela de Ciencias Geográficas (Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar) de la Universidad Nacional de Costa Rica, editada periódicamente por la EUNA desde el año 1973. Dirigida a geógrafos y profesionales afines. Está destinada a difundir la Ciencia Geográfica y afines en todos los ámbitos, mediante la publicación de trabajos originales, informes inéditos o adelantos de investigación que tengan especial relación con América Central, abordando temáticas propias de la Geografía: estudios regionales, problemáticas urbano/rural, ordenamiento territorial, recursos naturales y su relación con el medio, manejo de cuencas hidrográficas, ciencias de la información geográfica, análisis demográfico, temas relacionados con epistemología y enseñanza de la Geografía. Además constituye un foro de expresión de la opinión profesional y de la discusión académica y como tal, en él tiene cabida todos los aportes científicos que buscan esta finalidad. Las opiniones contenidas en las contribuciones son de entera responsabilidad de sus autores y no representan, por lo tanto, la posición oficial de la entidad editorial.

## DIRECTORIO

### Rector

M. Ed. Francisco González Alvarado

### Decana

Dra. Grace Wong Reyes

### Director Escuela de Ciencias Geográficas

Máster Ligia Hernando Echeverría

### Editoras

M.Sc. Lilliam Quirós Arias (UNA)

Dra. Meylin Alvarado Sánchez

### Dirección editorial

Marianela Camacho Alfaro [marianela.camacho.alfaro@una.cr](mailto:marianela.camacho.alfaro@una.cr)

**Diseño de portada:** Bayron Josue Bolaños Alvarado

### Comité Editorial Nacional

Dra. Marilyn Romero Vargas, Universidad Nacional Costa Rica (UNA)

MSc. Dionisio Alfaro Rodríguez, Universidad Nacional Costa Rica (UNA)

Dr. Carlos Morera Beita, Universidad Nacional Costa Rica (UNA)

Dr. Rafael Arce Mesén, Universidad de Costa Rica (UCR)

MSc. Juan Carlos Parreaguirre, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica (UNED)

MSc. Javier Saborío Bejarano, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica (CATIE)

Dr. Horacio Alejandro Chamizo García, Universidad de Costa Rica (UCR)

Mag. Marta Aguilar Varela, Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica (IGN)

### Comité Editorial Internacional

Dr. Alcindo José de Sá, Universidad Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil.

Dr. Josep Pintó i Fusalba, Universitat de Girona, España.

Dr. David Robinson, University of Syracuse, E.U.

Dr. Álvaro Sánchez Crispin, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Dr. Fabián Araya Palacio, Universidad La Serena, Chile.

Dr. Glaucio José Marafon, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

Dra. Ana Claudia Ramos Sacramento de la Universidad Estadual de Rio de Janeiro, Brasil.

Dr. José Seguinot Barboza, Universidad de Puerto Rico, Recinto Río Piedras.

Dr. Max Furrier, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

Dr. Juan Manuel Diez Tetamanti, Universidad Nacional de la Patagonia, Argentina.

Dr. Noel Bonfilio Pineda Jaimés, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Dr. C. Pablo Bayón Martínez, Universidad de La Habana, Cuba.

Dr. Gustavo D. Buzai, Universidad Nacional de Luján, Argentina

Dr. Armando García de León Loza, Universidad Nacional Autónoma de México, México

Hildegardo Cordova Aguilar, Sociedad Geográfica de Lima, Perú

Dr. Wagner Costa Ribeiro, Universidade São Paulo – (USP)

Dr. Rodrigo Márquez Reyes, Universidad de Los Lagos, Chile

### Consejo Editorial Universidad Nacional (EUNA)

Iliana Araya Ramírez, Presidenta

Francisco Vargas Gómez, Secretario

Jorge Herrera Murillo

Marco Vinicio Méndez Coto

Patricia Vásquez Hernández

Erick Álvarez Ramírez

Andrea Morales Méndez

La **Revista No. 70 (I)** corresponde al I Semestre del 2023 de enero a junio.

Para envío de artículos, acciones de CANJE, compra y suscripciones dirigirse a **Revista Geográfica de América Central**, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Apartado 86-3000 Heredia, Costa Rica.

Telefax 2261-0028. [www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica](http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica) Dirección electrónica [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr)

Esta revista se encuentra indexada en LATINDEX, REDALYC, DIALNET, REDIB, SciELO



Editada por la Editorial Universidad Nacional

La corrección de estilo es competencia exclusiva del Comité Editorial de la Revista

# CONTENIDO

## CONTENTS

Pág.

### PRESENTACIÓN

PRESENTATION

APRESENTAÇÃO

*Lilliam Quirós Arias*

*Meylin Alvarado Sánchez* ..... 11

### **The Amazon and the art of income in the environmental crisis**

La Amazonía y el arte del ingreso en la crisis ambiental

A Amazônia e a arte da renda na crise ambiental

*Jodival Maurício da Costa*

*Edilene Lira da Silva* ..... 35

### **Construcción de una frontera en el oeste del obispado de Chiapa y Soconusco, 1650-1810. Una aproximación desde los SIG-H**

Construction of a frontier in the west of the bishopric of Chiapa and Soconusco, 1650-1810. An approach from the GIS-H

Construção de uma fronteira no oeste do bispado de Chiapa, 1650-1810. Uma abordagem da SIG-H

*América Alejandra Navarro López* ..... 57

### **Compatibilidad de soluciones PPP en línea considerando distintos tiempos de medición respecto a soluciones semanales SIRGAS**

Compatibility of online PPP solutions considering different time intervals with respect to weekly SIRGAS solutions

Compatibilidade de soluções de PPP online considerando diferentes tempos de medição em relação às soluções SIRGAS semanais

*Arianna Murillo Méndez*

*Jorge Moya Zamora* ..... 91

### **Planes comunitarios de riesgos en Suramérica. Una revisión sistemática**

Community risk plans in South America. A systematic review

Planos de risco comunitário na América do Sul. Uma revisão sistemática

*José Rosales-Veitia*

*Arismar Marcano Montilla* ..... 107

**Desarrollo de una herramienta informática para el ajuste de redes geodésicas en la carrera de Ingeniería en Topografía y Geodesia de la Universidad Nacional, Costa Rica**

Development of a computer tool for the adjustment of geodesic networks in the career of Engineering in topography and geodesy of the Universidad Nacional, Costa Rica

Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para ajuste de redes geodésicas na carreira de Engenharia em Topografia e Geodésia da Universidad Nacional, Costa Rica

*Manuel Ramírez Núñez*

*José Francisco Valverde Calderón* ..... 135

**Reflexiones teóricas sobre la movilidad y la planificación urbano sostenible aplicadas a la Gran Área Metropolitana, Costa Rica**

Theoretical reflections on mobility and sustainable urban planning applied to the Greater Metropolitan Area, Costa Rica

Reflexões teóricas sobre mobilidade e planejamento urbano sustentável aplicadas à Grande Área Metropolitana, Costa Rica

*Greyty Quesada-Thompson* ..... 153

**Flujo por redistribución de agua a través de perfiles de la zona no saturada bajo condiciones de uso de la tierra agrícola en la cuenca alta del río Páez, Cartago, Costa Rica**

Flow by redistribution of water through profiles of the unsaturated zone under conditions of agricultural land use in the Páez upper watershed, Cartago, Costa Rica

Fluxo por redistribuição de água através de perfis da zona não saturada em condições de uso do solo agrícola na bacia superior do rio Páez, Cartago, Costa Rica

*Pablo Ramírez-Granados*

*Karolina Villagra-Mendoza*

*Federico Masís-Meléndez* ..... 179

**Environmental context of land use and land cover change processes in Calimaya, Mexican Altiplano**

Contexto ambiental de los procesos de cambio de uso y cobertura del suelo en Calimaya, Altiplano Mexicano

Contexto ambiental dos processos de mudança de uso e cobertura da terra em Calimaya, Altiplano Mexicano

*Guilherme Amorim Homem de Abreu Loureiro*

*Rodrigo Antonio Escalona Valdez*

*Luis Miguel Espinosa Rodríguez*

*José Isabel Juan Pérez*

*Miguel Ángel Balderas Plata*.....221

**Uso de la tierra en las comarcas del municipio de Zinapécuaro, Michoacán, México**

Land use in the comarcas of the municipality of Zinapécuaro, Michoacan, Mexico

Uso da terra nas comarcas do município de Zinapécuaro, Michoacán, México

*Genaro Aguilar Sánchez*

*Daniel Aguilar Sánchez* .....243

**Estimación de la superficie afectada por inundaciones mediante polarimetría con imágenes radar de apertura sintética (SAR) Sentinel 1A en la cuenca hidrográfica del río Frío (Costa Rica)**

Estimation of flooded areas on Frío river basin (Costa Rica) using polarimetry with synthetic aperture radar (SAR) of Sentinel 1A imagery  
Estimativa da área afetada por inundações através de polarimetria com imagens Sentinel 1A Synthetic Aperture Radar (SAR) na bacia do rio Frío (Costa Rica)

*Rubén Martínez Barbáchano* .....273

**Análisis morfométrico de la cuenca río Santa Lucía (Corrientes, Argentina)**

Morphometric analysis of the Santa Lucía river basin (Corrientes, Argentina)

Análise morfométrica da bacia do rio Santa Lucía (Corrientes, Argentina)

*Humberto Smichowski*

*Félix Ignacio Contreras* .....297

**Mapeamento geomorfológico dos municípios de Guaraciaba do Norte e Carnaubal, no estado do Ceará, Brasil**

Geomorphological mapping of the municipalities of Guaraciaba do Norte and Carnaubal, in the state of Ceará, Brazil

Mapeo geomorfológico de los municipios de Guaraciaba do Norte y Carnaubal, en el estado de Ceará, Brasil

*Nayane Barros Sousa Fernandes*

*José Falcão Sobrinho* .....321

**Identificación espacial del riesgo por deslizamiento de tierra en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México**

Landslide risk spatial identification in the municipality of Autlan of Navarro, Jalisco, Mexico

Identificação espacial do risco de deslizamento de terra no município de Autlán de Navarro, Jalisco, México

*Fátima González Bolaños*

*José Luis Olguín López*

*Rubén Darío Guevara Gutiérrez*

*Carlos Palomera García*

*José Manuel Ramírez Romero*

*Víctor Manuel Villalvazo López* .....349

**Valoración estética de los paisajes de interés turístico: caso de estudio**

**Carretera-Parque Piraputanga - Aquidauana - Mato Grosso del Sur – Brasil**

Aesthetic assessment of landscapes of tourist interest: case study

Piraputanga Park - Aquidauana Mato Grosso del Sur- Brazil

Avaliação estética de paisagens de interesse turístico: estudo de caso da

Rodovia Piraputanga-Parque - Aquidauana -

Mato Grosso do Sul – Brasil

*Eros Salinas Chávez*

*Eva Teixeira dos Santos*

*Lucy Ribeiro Ayach*

*Lidiane Perbelin Rodrigues* .....377



**Caracterización física, demográfica y socioeconómica de los cantones de Costa Rica a partir de las tasas de usuarios lesionados o fallecidos en carretera en el año 2018**

Physical, demographic, and socioeconomic characterization of the cantons of Costa Rica based on the rates of users injured or killed on the road in 2018

Caracterização física, demográfica e socioeconômica dos cantões da Costa Rica com base nas taxas de usuários da estrada feridos ou mortos em 2018

*Henry Hernández-Vega*

*Diana Sanabria-Barboza* ..... 403

**Análisis temporal del NDVI del humedal de Purrrumpampa en Huamachuco y su relación con la expansión urbana**

Temporal analysis of the NDVI of the Purrrumpampa wetland in Huamachuco and its relationship with urban expansion

Análise temporal do NDVI do pantanal Purrrumpampa em Huamachuco e sua relação com a expansão urbana

*Diego Jesús Rodríguez Mauricio* ..... 429

**A Serra de Santana no semiárido nordestino: aspectos geográficos e possibilidade de práticas sustentáveis**

The Serra de Santana in the semi-arid northeast: geographical aspects and possibility of sustainable practices

La Serra de Santana en el nordeste semiárido: aspectos geográficos y posibilidad de prácticas sostenibles

*Clara Yasmim de Souza Lucena*

*José João Lelis Leal de Souza*

*Betânia Queiroz da Silva*

*João Santiago Reis*

*Rebecca Luna Lucena* ..... 449

**Variación espacio temporal del *stock* de carbono orgánico y su relación con los cambios en el uso del suelo. Partido de Tandil, Región Pampeana Austral, Argentina**

Spatio-temporal variation of the organic carbon stock and its relationship with changes in land use. Tandil department, Austral Pampean Region, Argentina

Variação espaço-temporal do estoque de carbono orgânico e sua relação com mudanças no uso da terra. Distrito de Tandil, Região Austral Pampeana, Argentina

*Ailín Somoza*

*Patricia Vazquez*.....477

**Normas de publicación** .....515

## PRESENTACIÓN

La **REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL** es una publicación de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar de la Universidad Nacional, Costa Rica; publicada periódicamente por la Editorial de la Universidad Nacional (EUNA) desde 1974.

La revista está destinada a difundir la Ciencia Geográfica y temáticas afines en todos los ámbitos por medio de la publicación de trabajos originales, informes inéditos o adelantos de investigación que tengan especial relación con América Central, abordando temáticas propias de la Geografía: estudios regionales, problemáticas urbano/rural, ordenamiento territorial, recursos naturales y su relación con el medio geográfico, manejo de cuencas hidrográficas, ciencias de la información geográfica, análisis demográfico, temas relacionados con epistemología y la enseñanza de esta disciplina. Además, constituye un foro de expresión de la opinión profesional y de la discusión académica, y como tal, en él tienen cabida todos los aportes científicos que alcancen esta finalidad.

En esta oportunidad, corresponde la publicación No. 70 de la Revista Geográfica de América Central del I semestre de 2023 (enero-junio). Incluye 18 artículos ubicados en las diferentes secciones de la revista: teoría, epistemología, metodología y estudios de caso.

**El primer artículo** discute la difusión de valores sobre responsabilidad socioambiental en la esfera pública actual y cómo estos confieren ventajas comparativas en la obtención de ingresos diferenciados por parte de las empresas. Ejemplifica la relación que la empresa Natura desarrolla con las comunidades tradicionales panamazónicas, así como la noción de sustentabilidad y cómo la Amazonía puede ser una región estratégica

frente a crisis ambientales. La metodología utilizada se basó en artículos científicos, publicaciones en revistas directamente vinculadas al balance ambiental de las empresas e informes de la empresa Natura que fueron publicados en su sitio web. Concluye que la la forma de producir singularidades de mercado se debe cada vez más a la combinación de producción y difusión de valor en la esfera pública, incluyendo la apropiación simbólica de los espacios estratégicos de producción.

**El segundo artículo** analiza histórica y geográficamente procesos de apropiación territorial, en los límites de la región fronteriza Desierto de Tuxtla-Valle de Xiquipilas, confín oeste del obispado de Chiapa, al sur de la Nueva España y noroeste de la Capitanía General de Guatemala. a través de los usos de la tierra como estrategias de demarcación y ocupación en una región fronteriza, así como evidenciar la falta de análisis de fuentes documentales al momento de trazar fronteras contemporáneas. Metodológicamente se recurrió al análisis de fuentes documentales y cartografía del periodo; la información obtenida se procesó en sistemas de información geográfica, orientados hacia la historia (SIG-H). Investigaciones como la presente son cada vez más pertinentes, ya que aportan a la historiografía de la región de estudio desde una perspectiva espacial y de cartografía histórica, vista esta última como un documento con un discurso que denota poder político y económico.

**El tercer artículo** presenta el Procesamiento Puntual Preciso (PPP) en línea de un conjunto archivos de observación diarios pertenecientes a 13 estaciones GNSS de operación continua en Costa Rica los cuales fueron adaptados a tres intervalos de tiempo: 24 horas, 6 horas en la mañana y 6 horas en la tarde. El objetivo fue determinar la influencia que tienen los distintos intervalos de tiempo en las soluciones PPP obtenidas mediante el servicio en línea del CSRS-PPP de Canadá y sus discrepancias respecto a las coordenadas finales calculadas semanalmente por el Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS) y que actualmente están vinculadas a la solución ITRF2014/IGb2014. Los resultados demostraron que las diferencias en las componentes geocéntricas, además del intervalo de tiempo utilizado en el procesamiento, dependen también de la ubicación geográfica, lo cual, representa un elemento a considerar en el caso de que los usuarios contemplen este servicio en línea como una opción para el cálculo de observaciones GNSS.

**El cuarto artículo** realiza una revisión sistemática basada en los criterios de la declaración PRISMA, configurada a través la búsqueda en bases de datos Scopus, Dialnet; y Google Académico, para el periodo comprendido entre 2005 y 2021 de investigaciones que abordan la temática de planes comunitarios de riesgos (PCR). Basándose en criterios como estudios enfocados en gestión de riesgos de desastres, experiencias comunitarias, investigaciones realizadas en Suramérica, trabajos en formato textual, estudios publicados por entes gubernamentales, publicaciones de autores corporativos, trabajos conducentes de grado publicados (licenciatura, maestría, doctorados); y publicaciones con acceso abierto. Los resultados se analizaron a partir de: los PCR en los Marcos de Acción de Hyogo y Sendai, por área de conocimiento, por país suramericano, y los aportes de las investigaciones sobre los PCR. Se concluyó que los planes comunitarios se presentan como un instrumento importante para la capacitación y planificación multidisciplinaria en materia de gestión de riesgos de desastres que propician la reducción de la vulnerabilidad y fortalecen la resiliencia en las comunidades.

**El quinto artículo** describe el desarrollo de un programa informático para ajuste de redes geodésicas, utilizando el modelo de observaciones mediatas. El aplicativo resultante de la investigación provee a la ETCG de una herramienta, bajo la visión de código abierto para el ajuste de redes geodésicas. El desarrollo de un programa de ajuste de redes geodésicas dentro de la ETCG contribuye a eliminar los costos asociados a la compra de licencias, y fortalecer la formulación de trabajos finales de graduación, el proceso de enseñanza-aprendizaje en los cursos, y robustecer la investigación y venta de servicios.

**El sexto artículo** examina los conceptos relacionados con la distancia y los costos de los desplazamientos. El derecho a la movilidad se relaciona con la proximidad, el acceso a los usos del suelo y la localización de servicios. La intermodalidad es abordada desde cuatro principales operaciones: de recogida y entrega, de transbordo, transporte de larga distancia y transporte utilizando toda la red intermodal. Mediante el estudio de la morfología urbana y el modelo de circulación (en un sector de la Gran Área Metropolitana), se evidencia la capacidad que brinda la configuración urbana para propiciar interconexiones entre distintos puntos. Desde el principio fundamental de la continuidad y conectividad, que busca

potenciar el movimiento y el desplazamiento de personas, bienes y servicios, se finaliza con el planteamiento del concepto de corredor urbano como estrategia para la movilidad urbana.

**El séptimo artículo** analiza el flujo de agua por redistribución a través de los horizontes de perfiles de suelos volcánicos en la zona no saturada, una vez que ha finalizado la infiltración de agua por lluvia. A partir de monolitos experimentales, se monitorearon los contenidos volumétricos de agua en perfiles a diferentes profundidades para entender la dinámica de flujo temporal a lo largo de un perfil. Se evaluaron en laboratorio las propiedades físicas e hidráulicas de los horizontes como: textura, granulometría, materia orgánica, densidad aparente, densidad real, porosidad, conductividad hidráulica y retención de humedad. Se encontró que las propiedades físicas e hidráulicas de los horizontes ayudan a explicar el comportamiento del agua en profundidad. Los resultados mostraron que en los monolitos se presentan el flujo de pistón, el flujo preferencias y el flujo dual o combinado producto de la combinación de ambos.

**El octavo artículo** analiza el contexto geográfico y ambiental de los procesos de cambio de uso y cobertura del suelo (CUCS) en este Municipio Calimaya, Altiplano Mexicano. Se estimaron los indicadores: la tasa de cambio de cobertura propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura utilizando las clases de cobertura del suelo propuestas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Los CUCS encontrados en la última década (2010-2019) fueron: deforestación y avance del cultivo de papa en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca; disminución del proceso de ocupación de áreas de cultivo por parte de los asentamientos; y degradación del suelo en minas abandonadas.

**El noveno artículo** tiene como objetivo identificar los paisajes que se forman en el municipio de Zinapécuaro; caracterizar la apropiación del paisaje realizada por parte de los pobladores a través de su uso y; proponer un mejor uso de los paisajes diferenciados. Se aplica la metodología de diferenciar el territorio a través de Localidades y Comarcas complejas, y al interior de ellas se realizó trabajo de campo, comparando su uso actual con lo recomendado por la FAO, en su propuesta de zonificación agroecológica. En la mayoría de las Comarcas y clases de tierras, el uso actual, agrícola y ganadero, no corresponde con lo recomendando por la FAO, por

lo que se debe controlar el cambio de uso de la tierra forestal a agrícola y ganadero, para detener la degradación del suelo y vegetación.

**El décimo artículo** presenta la polarimetría con radar de apertura sintética (SAR) como una técnica conocida en teledetección por sus aplicaciones en el monitoreo de cambios sobre la superficie terrestre y en cuerpos de agua. La utilización de la polarización cruzada (vertical/horizontal) se mostró eficiente para estimar la extensión de las inundaciones producidas entre el 22 y el 25 de julio de 2021 en la cuenca del río Frío (Costa Rica). Para ello se utilizaron imágenes captadas por el sensor Sentinel 1A, de la Agencia Espacial Europea, mediante un flujo de procesamiento y una composición RGB posterior que permitió establecer una clara distinción entre las zonas inundadas de los cuerpos de agua permanentes.

**El undécimo artículo** realizó un estudio morfométrico de la cuenca del río Santa Lucía de la provincia de Corrientes-Argentina con el fin de determinar su respuesta hidrológica, y señalar la influencia de los factores morfométricos en la intensificación o atenuación de las crecidas, lo que genera datos útiles para planificación territorial. Los resultados obtenidos de la cuantificación y medición de los parámetros muestran una cuenca con una forma alargada, relieve con alto potencial erosivo, muy escasa pendiente, y una red de drenaje poco eficiente; de lo que se concluye que la cuenca tendrá crecidas graduales, pero extendidas en el tiempo.

**El duodécimo artículo** tiene como objetivo fue mapear los compartimentos del relieve, indicando los modelados e índice de disección de los mismos utilizando escala de 1:300.000, con el fin de evidenciar el actual estado del relieve del área. En esta perspectiva, presenta aspectos de la cartografía geomorfológica, resaltando su importancia para los estudios de las geoformas y para la planificación ambiental. Se adoptó la propuesta teórica y metodológica de mapeo geomorfológico de Ross (1990) a partir del análisis taxonómico del relieve inspirado en las concepciones de morfoestructura y morfoescultura. Se concluye la diversidad de formas de relieve las cuales reflejan en el escenario de los paisajes.

**El decimotercer artículo** presenta un estudio de caso del municipio de Autlán el cual presenta problemas de cambio de uso de suelo y erosión que favorecen los deslizamientos de tierra. Debido principalmente a la influencia de los suelos Regosol, precipitación anual y máxima en 24 horas con una relación estadísticamente significativa de  $P < 0.05$ ,  $R^2 = 0.99$ ,

0.66 y 0.86. El deslizamiento presenta un riesgo para la infraestructura y la población encontrando una relación significativa ( $\alpha = 0.001$ ) entre el número de viviendas y densidad de población por localidad solo para amenaza regular a alto al deslizamiento de tierra. Al no existir una planeación de uso de suelo por parte del municipio se plantea realizar actividades de atención y remediación.

**El decimocuarto artículo** plantea ¿Es posible inferir los valores estéticos de los paisajes a partir del empleo de indicadores cartográficos aplicados a un mapa de unidades o tipos de paisajes? se estableció como objetivo proponer un procedimiento evaluativo cualitativo-cuantitativo resultado de la experimentación con varios indicadores cartográficos, seleccionados empíricamente representativos de características geográficas observables de los paisajes. Se consideraron tres indicadores: variedad de unidades de paisajes, valoración del grado de contraste y valoración de los efectos marginales entre los paisajes, los cuales son calculados sobre un mapa de unidades de paisajes. La identificación de los sectores paisajísticos con mayores valores estéticos tiene importancia en la planificación espacial del desarrollo turístico-recreativo, al facilitar, el diseño de los recorridos turísticos, la selección de los sitios para miradores naturales y la propuesta de la ubicación de las distintas infraestructuras; además, contribuye a las actividades de conservación y manejo. del territorio.

**El decimoquinto artículo** aplica las técnicas relacionadas con Análisis de Componentes Principales (ACP) para caracterizar a los 81 cantones de Costa Rica, con base en indicadores de exposición a heridas leves, graves o fallecimiento (en sitio) con el fin de analizar posibles variables que podrían estar relacionadas su incidencia. El método no paramétrico de análisis de agrupamientos se utilizó para detectar posibles relaciones de variables sociales, demográficas y físicas de los cantones con las dimensiones propuestas. Se hallaron tres grupos de cantones con condiciones diferenciadas en dos componentes construidos y en términos de las tasas de incidencia en análisis. Al asociar variables físicas, se halló que los cantones con menores índices de desarrollo y mayores carencias presentan mayor riesgo de victimización en ocupantes de automóviles.

**El decimosexto artículo** realiza un análisis temporal de la flora presente en el humedal de Purrumpama, ubicado en Huamachuco, una ciudad de la sierra liberteña del Perú, contrastando los resultados obtenidos con



un análisis temporal en Google Earth e identificando la relación con la expansión urbana. Se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 y Google Earth, se determinó que existe una disminución constante de cobertura vegetal en las zonas Sur y Sur-este del humedal, calculándose una pérdida de 74 792 m<sup>2</sup> del humedal desde 2012 hasta 2021.

**El decimoséptimo artículo** tiene como objetivo principal de esta investigación fue realizar un relevamiento de los aspectos geográficos de la Serra de Santana, con énfasis en las características climáticas, edafológicas, hídricas y de cobertura vegetal. Se consideraron los usos del suelo y la reflexión sobre las posibilidades de prácticas sostenibles para la conservación de esta importante unidad del paisaje. La región semiárida de Brasil, marcada por la incidencia de sequías, presenta “áreas excepcionales” con un clima más frío y húmedo resultante de los efectos de la altitud. Estos enclaves húmedos que aparecen en las cimas de montañas y mesetas son de suma importancia para la región semiárida, por ser considerados refugios de especies de flora y fauna, así como fuentes de humedad para diversas actividades humanas.

**El decimoctavo artículo** tiene como objetivo estimar la variación en el stock de carbono orgánico del suelo asociada a las tendencias del proceso de agriculturización en las Unidades Ambientales del partido de Tandil en los periodos 1989-2004 y 2004-2019. Se determinó, en cada Unidad Ambiental, el stock de carbono orgánico del suelo mediante el empleo el método del IPCC. Los datos resultantes junto con la variación de la superficie agrícola en los periodos analizados permitieron determinar el efecto de las transformaciones en el uso de la tierra en cada paisaje. Se evidencia que la agriculturización resulta un motor clave en el deterioro de la capacidad del suelo para mantener la provisión de servicios ecosistémicos asociados.

De esta forma, se aprovecha para invitarlos a visitar el sitio electrónico de la revista (<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>), donde encontrarán en formato PDF, HTML y EPUB los artículos descritos. Adicionalmente, con mucho agrado les comunicamos que a partir del año 2019 la Revista Geográfica de América Central ha sido indexada en SCIELO, además de las indexaciones en LATINDEX, REDALYC, DIALNET, DOAJ, REDIB, entre otras.

Esperamos que este número sea de gran utilidad para todos los interesados en los estudios geográficos y los invitamos a enviar sus aportes.  
Saludos cordiales,

Máster Lilliam Quirós Arias  
Dra. Meylin Alvarado Sánchez

## PRESENTATION

The **GEOGRAPHICAL JOURNAL OF CENTRAL AMERICA** is a publication of the School of Geographic Sciences of the Faculty of Earth and Sea Sciences of the Universidad Nacional, Costa Rica; published periodically by the Editorial de la Universidad Nacional (EUNA) since 1974.

The journal is intended to disseminate Geographic Science and related topics in all areas through the publication of original works, unpublished reports or research advances that have a special relationship with Central America, addressing topics specific to Geography: regional studies, urban/rural issues, land use planning, natural resources and their relationship with the geographical environment, watershed management, geographic information sciences, demographic analysis, topics related to epistemology and the teaching of this discipline. In addition, it constitutes a forum for the expression of professional opinion and academic discussion, and as such, all scientific contributions that achieve this purpose have a place in it.

On this occasion, the 70<sup>th</sup> publication of the Geographical Journal of Central America corresponds to the I semester of 2023 (January-June). It includes 18 articles located in the different sections of the journal: theory, epistemology, methodology and case studies.

**The first article** discusses the diffusion of values on socio-environmental responsibility in the current public sphere and how these confer comparative advantages in obtaining differentiated income by companies. It exemplifies the relationship that the Natura company develops with the traditional Pan-Amazonian communities, as well as the notion of sustainability and how the Amazon can be a strategic region in the face of environmental crises. The employed methodology was based on scientific articles, publications in magazines directly linked to the environmental

balance of companies, and reports from the Natura company that were published on their website. It concludes that the way of producing market singularities is increasingly due to the combination of production and diffusion of value in the public sphere, including the symbolic appropriation of the strategic spaces of production.

**The second article** analyzes, historically and geographically, processes of territorial appropriation, in the limits of the Tuxtla Desert-Xiquipilas Valley border region, western border of the bishopric of Chiapa, south of New Spain and northwest of the Captaincy General of Guatemala, through the uses given to land as strategies of demarcation and occupation in a border region; the work also brings to evidence the lack of analysis of documentary sources when tracing contemporary borders. Methodologically, it was resorted to the analysis of documentary and cartography sources of the period; the information obtained was processed in geographic information systems, oriented towards history (GIS-H). This type of research is increasingly pertinent, as it contributes to the historiography of the region under study from a spatial and historical cartography perspective, the latter seen as a document with a discourse that denotes political and economic power.

**The third article** presents the online Precise Point Positioning (PPP) of a set of daily observation files belonging to 13 continuously operating GNSS stations in Costa Rica, which were adapted to three-time intervals: 24 hours, 6 hours in the morning and 6 hours in the afternoon. The objective was to determine the influence that the different time intervals have on the PPP solutions obtained through the Canadian CSRS-PPP online service and their discrepancies with respect to the final coordinates calculated weekly by the Geodetic Reference System for the Americas (SIRGAS) and that are currently linked to the ITRF2014/IGb2014 solution. The results showed that the differences in the geocentric components, in addition to the time interval used in the processing, also depend on the geographical location, which represents an element to consider in the event that users contemplate this online service as an option for computation of GNSS observations.

**The fourth article** carries out a systematic review based on the criteria of the PRISMA statement, configured through the search in Scopus, Dialnet databases; and Google Scholar, for the period between 2005 and 2021, of investigations that address the topic of community risk plans

(CRPs). The inclusion of the publications was based on criteria such as studies focused on disaster risk management, community experiences, research conducted in South America, works in textual format, studies published by government entities, publications by corporate authors, degree dissertation works (bachelor, master, doctoral); and open access publications. The results were analyzed based on CRPs in the Hyogo and Sendai Frameworks for Action, by area of knowledge, by South American country, and the contributions of research on the CRPs. It was concluded that community plans are presented as an important instrument for training and multidisciplinary planning in disaster risk management that promote the reduction of vulnerability and strengthen resilience in communities.

**The fifth article** describes the development of a computer program for adjusting geodetic networks, using the mediate observations model. The application resulting from the investigation provides the School of Topography, Cadaster and Geodesy (ETCG) with an open-source tool for the adjustment of geodetic networks. The development of a geodetic network adjustment program within ETCG contributes in eliminating the costs associated with the purchase of licenses and strengthens the formulation of final graduation projects, the teaching-learning process in the courses, and invigorates research and the sale of services.

**The sixth article** examines concepts related to distance and the costs of displacement. The right to mobility is related to proximity, access to land of desired land use classification and the location of services. Inter-modality is approached from four main operations: collection and delivery, transshipment, long-distance transport and transport using the entire intermodal network. Through the study of urban morphology and the circulation model (in a sector of the Greater Metropolitan Area), the capacity provided by the urban configuration to promote interconnections between different points is evidenced. Based on the fundamental principles of continuity and connectivity that seek to promote the movement and displacement of people, goods and services, the article concludes by posing the concept of urban corridor as a strategy for urban mobility.

**The seventh article** analyzes the flow of water by redistribution through the horizons of volcanic soil profiles in the unsaturated zone once the infiltration of rainwater is completed. From experimental monoliths, volumetric water contents in profiles at different depths were monitored to

understand the temporal flow dynamics along a profile. The physical and hydraulic properties of the horizons such as texture, granulometry, organic matter, bulk density, real density, porosity, hydraulic conductivity, and moisture retention, were evaluated in the laboratory. It was found that the physical and hydraulic properties of the horizons help to explain the behavior of water at depth. The results indicate the presence in the monoliths of plug flow, preferential flow, and dual or combined flow product of the combination of both types of flow.

**The eighth article** aims to analyze the geographic and environmental context of land use and land cover change processes (LULCC) in the Calimaya Municipality in the Mexican Altiplano. The estimated indicators were: rate of land cover change as proposed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations using the land cover classes proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. The detected LULCCs in the last decade (2010-2019) were: deforestation and the advance of potato cultivation in the Nevado de Toluca Flora and Fauna Protection Area; decrease in the process of occupation of cropland areas by settlements; and soil degradation in abandoned mines.

**The ninth article** identifies the landscapes that are formed in the municipality of Zinapécuaro; characterizes the appropriation of the landscape made by the inhabitants through its use and; proposes a better use of differentiated landscapes. The methodology of differentiating the territory through Localities and complex Comarcas (translated as administrative regions) is applied, and field work was carried out within them, comparing their current land use with those recommended by FAO in its proposal for agroecological zoning proposal. In most of the Comarcas and land-use classes, the current use, agricultural and livestock, does not correspond to FAO's recommendation. The change of land use from forest land to agriculture and livestock activities must be controlled to stop the degradation of the soil and vegetation.

**In the tenth article**, presents synthetic aperture radar (SAR) polarimetry as a technique known in remote sensing for its applications in monitoring changes on the earth's surface and in bodies of water. The use of cross polarization (vertical/horizontal) was shown to be efficient in estimating the extension of the floods produced between July 22 and 25, 2021 in the Frío river basin (Costa Rica). To that end, images captured by the European

Space Agency's Sentinel 1A sensor were used, through a processing flow and subsequent RGB composition, that allowed a clear distinction to be made between the flooded areas of the permanent bodies of water.

**In the eleventh article**, a morphometric study of the Santa Lucía River basin in the province of Corrientes-Argentina was carried out in order to determine its hydrological response, and point out the influence of morphometric factors in the intensification or attenuation of floods, which generates useful data for territorial planning. The results obtained from the quantification and measurement of the parameters show a basin with an elongated shape, relief with high erosive potential, very little slope, and an inefficient drainage network; from which it is concluded that the basin will have gradual floods, but extended in time.

**The twelfth article** the objective was to map the relief compartments, indicating the modeling and dissection index at a scale of 1:300,000 in order to highlight the current state of the relief of the area. In this perspective, the work presents aspects of geomorphological cartography, emphasizing its importance in studying geofoms and for environmental planning. The theoretical and methodological proposal of geomorphological mapping of Ross (1990) was adopted, based on the taxonomic analysis of relief inspired by the conceptions of morphometry and morphological sculpture. It is concluded on the diversity of relief forms which reflect in the scenery of the landscapes.

**The thirteenth article** presents a case study of the municipality of Autlán which exhibits problems of land use change and erosion that favor landslides mainly due to the influence of Regosol soils, annual and maximum precipitation in 24 hours with a statistically significant relationship of  $P < 0.05$ ,  $R^2 = 0.99$ , 0.66 and 0.86. Landslides represent a risk for infrastructure and the population, finding a significant relationship ( $\alpha = 0.001$ ) between the number of houses and population density per locality only for regular to high threat to landslide. In the absence of land use planning by the municipality, attention and remediation activities are proposed.

**The fourteenth article** poses the following question: Is it possible to infer the aesthetic values of landscapes from the use of cartographic indicators applied to a map of units or types of landscapes? The objective was to propose a qualitative-quantitative evaluation procedure derived from experimenting with several cartographic indicators, selected

empirically, representative of observable geographic characteristics of landscapes. Three indicators were considered: variety of landscape units, assessment of the degree of contrast and assessment of the marginal effects between landscapes, which are calculated on a map of landscape units. The identification of the landscape sectors with the highest aesthetic values is important in the spatial planning of tourism-recreational development, by facilitating the design of tourist routes, the selection of sites for natural viewpoints and proposing the location of corresponding infrastructure; in addition, it contributes to the activities of conservation and management of the territory.

**The fifteenth article** applies the techniques related to Principal Component Analysis (PCA) to characterize the 81 cantons of Costa Rica, based on indicators of exposure to minor or serious injuries or death (on-site) to analyze possible variables that could be related to their incidence. Non-parametric cluster analysis was used to detect possible relationships between social, demographic and physical variables of the cantons with the proposed dimensions. Three groups of cantons were found to possess differentiated conditions in two constructed components and in terms of the contemplated incidence rates. By associating physical variables, it was found that the cantons with lower development rates and greater deficiencies present a higher risk of victimization for car occupants.

**The sixteenth article** performs a temporal analysis of the flora present in the Purrumpama wetland, located in Huamachuco, a city in the Peruvian highlands, contrasting the results obtained with a temporal analysis in Google Earth and identifying the relationship with urban expansion. Landsat 8 and Google Earth satellite images were used, it was determined the existence of a constant decrease in vegetation cover in the South and Southeast areas of the wetland, calculating a loss of 74,792 m<sup>2</sup> of wetland from 2012 to 2021.

**The seventeenth article** presents an investigation which has as its main objective to perform a survey of the geographical aspects of the Serra de Santana, with emphasis on the climatic, pedological (i.e. soil), water, and plant cover characteristics. It was also considered the uses given to land, and it was reflected about the possibilities of sustainable practices for the conservation of this important landscape unit. The semi-arid region of Brazil, marked by the incidence of droughts, presents “exceptional areas”



with a colder and more humid climate resulting from the effects of altitude. These wet enclaves that appear on the tops of mountains and plateaus are extremely important for the semi-arid region, as they are considered refuges for species of flora and fauna, as well as sources of water for various human activities.

**The eighteenth article** aims to estimate the variation of soil organic carbon stock associated with the trends of the agriculturization process that occurred in the Environmental Units of the Tandil department in the periods 1989-2004 and 2004-2019. Soil organic carbon stock was determined in each Environmental Unit using the IPCC method. The resulting data, together with the variation of the agricultural surface in the analyzed periods, allowed to determine the effect of the transformations in land use in each landscape. It is evident that agriculturization is a key driver in the deterioration of the soil's capacity to maintain the provision of associated ecosystem services.

In this way, we invite the audience to visit the journal's electronic site (<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>), where they will find the aforementioned articles in PDF, HTML and EPUB formats. Additionally, we are very pleased to inform that as of 2019, the Geographical Journal of Central America has been indexed in SCIELO, in addition to indexing in LATINDEX, REDALYC, DIALNET, DOAJ, REDIB, among others.

We hope that this number will be very useful for all those interested in geographic studies and we invite you to send your contributions.

Best regards,

MSc. Lilliam Quirós Arias  
Dra. Meylin Alvarado Sánchez



## APRESENTAÇÃO

A **REVISTA GEOGRÁFICA DA AMÉRICA CENTRAL** é uma publicação da Escola de Ciências Geográficas da Faculdade de Ciências da Terra e do Mar da Universidade Nacional da Costa Rica; publicado periodicamente pela Editorial da Universidade Nacional (EUNA) desde 1974.

A revista destina-se a divulgar a Ciência Geográfica e temas afins em todas as áreas através da publicação de trabalhos originais, relatórios inéditos ou avanços de pesquisa que tenham uma relação especial com a América Central, abordando temas específicos da Geografia: estudos regionais, problemas urbanos/rurais, terra planejamento do uso, recursos naturais e sua relação com o meio geográfico, gestão de bacias hidrográficas, ciências da informação geográfica, análise demográfica, temas relacionados à epistemologia e ao ensino desta disciplina. Além disso, constitui um fórum de expressão de opinião profissional e discussão acadêmica e, como tal, todas as contribuições científicas que atingem esse objetivo têm lugar nele.

Nesta ocasião, corresponde a publicação nº 70 da Revista Geográfica de América Central do I semestre de 2023 (janeiro-junho). Inclui 18 artigos localizados nas diferentes seções da revista: teoria, epistemologia, metodologia e estudos de caso.

**O primeiro artigo** discute a difusão de valores sobre responsabilidade socioambiental na esfera pública atual e como estes conferem vantagens comparativas na obtenção de receitas diferenciadas pelas empresas. Exemplifica a relação que a empresa Natura desenvolve com as comunidades tradicionais da Pan-amazônia, bem como a noção de sustentabilidade e como a Amazônia pode ser uma região estratégica diante de crises ambientais. A metodologia utilizada foi baseada em artigos científicos, publicações em revistas diretamente ligados ao balanço ambiental das empresas

e relatórios da empresa Natura publicados em seu site. Conclui que o modo de produzir singularidades de mercado se deve cada vez mais à combinação de produção e difusão de valor na esfera pública, incluindo a apropriação simbólica de espaços estratégicos de produção.

**O segundo artigo** analisa histórica e geograficamente os processos de apropriação territorial, nos limites da região fronteiriça Deserto de Tuxtla-Vale de Xiquipilas, fronteira oeste do bispado de Chiapa, sul da Nova Espanha e noroeste da Capitania Geral da Guatemala por meio dos usos da terra como estratégias de demarcação e ocupação em uma região de fronteira, além de evidenciar a falta de análise de fontes documentais ao traçar fronteiras contemporâneas. Metodologicamente, utilizou-se a análise de fontes documentais e cartografia do período; as informações obtidas foram processadas em sistemas de informação geográfica, orientados para a história (SIG-H). Pesquisas como esta são cada vez mais pertinentes, pois contribuem para a historiografia da região de estudo a partir de uma perspectiva de cartografia espacial e histórica, esta última vista como um documento com um discurso que denota poder político e econômico.

**O terceiro artigo** apresenta o Processamento de Pontos Precisos (PPP) online de um conjunto de arquivos de observação diária pertencentes a 13 estações GNSS em operação contínua na Costa Rica, que foram adaptados a três intervalos de tempo: 24 horas, 6 horas da manhã e 6 horas à tarde. O objetivo foi determinar a influência que os diferentes intervalos de tempo têm nas soluções de PPP obtidas através do serviço online canadense CSRS-PPP e suas discrepâncias em relação às coordenadas finais calculadas semanalmente pelo Sistema de Referência Geodésica para as Américas (SIRGAS) e atualmente estão vinculados à solução ITRF2014/IGb2014. Os resultados mostraram que as diferenças nos componentes geocêntricos, além do intervalo de tempo utilizado no processamento, também dependem da localização geográfica, o que representa um elemento a ser considerado caso os usuários contemplem este serviço online como um serviço online para cálculo de observações GNSS.

**O quarto artigo** realiza uma revisão sistemática com base nos critérios da declaração PRISMA, configurada por meio da busca nas bases de dados Scopus, Dialnet; e Google Scholar, para o período entre 2005 e 2021 de pesquisa que aborda a questão dos planos de risco comunitário (PCR). Com base em critérios como estudos focados em gestão de risco

de desastres, experiencias comunitarias, pesquisas realizadas na América do Sul, trabalhos em formato textual, estudos publicados por entidades governamentais, publicações de autores corporativos, trabalhos conducentes a títulos publicados (bacharelado, mestrado, doutorado); e publicações de acesso aberto. Os resultados foram analisados a partir de: os RCPs nos Marcos de Ação de Hyogo e Sendai, por área de conhecimento, por país sul-americano, e as contribuições da pesquisa sobre os RCPs. Concluiu-se que os planos comunitários se apresentam como um importante instrumento de capacitação e planejamento multidisciplinar em gestão de risco de desastres que promovem a redução da vulnerabilidade e fortalecem a resiliência nas comunidades.

**O quinto artigo** descreve o desenvolvimento de um programa computacional para ajuste de redes geodésicas, utilizando o modelo de observações mediatas. A aplicação resultante da pesquisa fornece ao ETCG uma ferramenta, sob a visão de código aberto, para o ajuste de redes geodésicas. O desenvolvimento de um programa de adequação da rede geodésica dentro do ETCG contribui para eliminar os custos associados à aquisição de licenças, fortalecer a formulação de projetos finais de graduação, o processo de ensino-aprendizagem nos cursos e fortalecer a pesquisa e venda de serviços.

**O sexto artigo** examina conceitos relacionados à distância e despesas de viagem. O direito à mobilidade está relacionado com a proximidade, o acesso aos usos do solo e a localização dos serviços. A intermodalidade é abordada a partir de quatro operações principais: coleta e entrega, transbordo, transporte de longa distância e transporte em toda a rede intermodal. Através do estudo da morfologia urbana e do modelo de circulação (num sector da Grande Área Metropolitana), evidencia-se a capacidade proporcionada pela configuração urbana para promover interligações entre diferentes pontos. A partir do princípio fundamental de continuidade e conectividade, que busca promover a circulação e deslocamento de pessoas, bens e serviços, finaliza-se com a abordagem do conceito de corredor urbano como estratégia de mobilidade urbana.

**O sétimo artigo** analisa o fluxo de água por redistribuição pelos horizontes de perfis de solos vulcânicos na zona não saturada, uma vez encerrada a infiltração de água pela chuva. A partir de monólitos experimentais, os teores volumétricos de água em perfis em diferentes profundidades foram monitorados para entender a dinâmica temporal do fluxo ao

longo de um perfil. As propriedades físicas e hidráulicas dos horizontes foram avaliadas em laboratório, tais como: textura, granulometria, matéria orgânica, densidade aparente, densidade real, porosidade, condutividade hidráulica e retenção de umidade. Constatou-se que as propriedades físicas e hidráulicas dos horizontes ajudam a explicar o comportamento da água em profundidade. Os resultados mostraram que nos monólitos estão presentes o fluxo em pistão, o fluxo preferencial e o produto de fluxo duplo ou combinado da combinação de ambos.

**O oitavo artigo** visa analisar o contexto geográfico e ambiental dos processos de mudança de uso e cobertura da terra (CUCS) neste Município de Calimaya, Altiplano Mexicano. Os indicadores foram estimados: a taxa de mudança de cobertura proposta pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação usando as classes de cobertura da terra propostas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Os CUCS encontrados na última década (2010-2019) foram: desmatamento e avanço do cultivo de batata na Área de Proteção de Flora e Fauna Nevado de Toluca; diminuição do processo de ocupação das áreas cultivadas pelos assentamentos; e degradação do solo em minas abandonadas.

**O nono artigo** identifica as paisagens que se formam no município de Zinapécuaro; caracteriza a apropriação da paisagem feita pelos habitantes através do seu uso e; propõe um melhor aproveitamento de paisagens diferenciadas. Aplica-se a metodologia de diferenciação do território por Municípios e Regiões Complexas, e foi realizado trabalho de campo dentro deles, comparando seu uso atual com o recomendado pela FAO, em sua proposta de zoneamento agroecológico. Na maioria das Comarcas e classes de terra, o uso atual, agrícola e pecuário, não corresponde ao recomendado pela FAO, pelo que deve ser controlada a mudança de uso das terras florestais para agricultura e pecuária, para travar a degradação do solo e da vegetação.

**No décimo artigo**, apresenta a polarimetria por radar de abertura sintética (SAR) como técnica conhecida em sensoriamento remoto por suas aplicações no monitoramento de mudanças na superfície terrestre e em corpos d'água. O uso da polarização cruzada (vertical/horizontal) mostrou-se eficiente para estimar a extensão das inundações produzidas entre 22 e 25 de julho de 2021 na bacia do rio Frio (Costa Rica). Para isso, foram utilizadas imagens captadas pelo sensor Sentinel 1A da Agência Espacial

Europeia, através de um fluxo de processamento e posterior composição RGB que permitiu distinguir claramente as áreas inundadas dos corpos d'água permanentes.

**No décimo primeiro artigo**, foi realizado um estudo morfométrico da bacia do rio Santa Lucía na província de Corrientes-Argentina para determinar sua resposta hidrológica e apontar a influência de fatores morfométricos na intensificação ou atenuação das inundações, que gera dados úteis para o planejamento territorial. Os resultados obtidos a partir da quantificação e medição dos parâmetros mostram uma bacia com forma alongada, relevo com alto potencial erosivo, pouca declividade e uma rede de drenagem ineficiente; do qual se conclui que a bacia terá inundações graduais, mas prolongadas no tempo.

**O décimo segundo artigo** o objetivo foi mapear os compartimentos do relevo, indicando o índice de modelagem e dissecção do mesmo utilizando uma escala de 1:300.000, a fim de mostrar o estado atual do relevo da área. Nessa perspectiva, apresenta aspectos da cartografia geomorfológica, destacando sua importância para estudos de geoformas e para o planejamento ambiental. A proposta teórico-metodológica de mapeamento geomorfológico de Ross (1990) foi adotada a partir da análise taxonômica do relevo inspirada nas concepções morfoestruturais e morfoesculturais. Conclui-se a diversidade de formas de relevo que refletem no cenário das paisagens.

**O décimo terceiro artigo** apresenta um estudo de caso do município de Autlán que apresenta problemas de mudança de uso da terra e erosão que favorecem deslizamentos de terra. Principalmente devido à influência dos solos do Regosol, precipitação anual e máxima em 24 horas com relação estatisticamente significativa de  $P < 0,05$ ,  $R^2 = 0,99$ ,  $0,66$  e  $0,86$ . O deslizamento apresenta risco para a infraestrutura e para a população, encontrando uma relação significativa ( $\alpha = 0,001$ ) entre o número de casas e a densidade populacional por localidade apenas para ameaça de deslizamento regular a alta. Como não há planejamento do uso do solo por parte do município, propõe-se a realização de atividades de atenção e remediação.

**O décimo quarto artigo** coloca a seguinte questão: é possível inferir os valores estéticos das paisagens a partir do uso de indicadores cartográficos aplicados a um mapa de unidades ou tipos de paisagens? O objetivo foi propor um procedimento de avaliação qualitativo-quantitativo resultante da experimentação com diversos indicadores cartográficos, selecionados

empíricamente representativos de características geográficas observáveis das paisagens. Foram considerados três indicadores: variedade de unidades de paisagem, avaliação do grau de contraste e avaliação dos efeitos marginais entre paisagens, que são calculados em um mapa de unidades de paisagem. A identificação dos setores paisagísticos com maiores valores estéticos é importante no ordenamento do território do desenvolvimento turístico-recreativo, facilitando o desenho de percursos turísticos, a seleção de locais para miradouros naturais e a proposta de localização das diferentes infraestruturas; além disso, contribui para as atividades de conservação e manejo do território.

**O décimo quinto artigo** aplica as técnicas relacionadas à Análise de Componentes Principais (ACP) para caracterizar os 81 cantões da Costa Rica, com base em indicadores de exposição a ferimentos leves, ferimentos graves ou morte (no local) para analisar possíveis variáveis que sua incidência poderia estar relacionada. O método não paramétrico de análise de agrupamento foi utilizado para detectar possíveis relações entre variáveis sociais, demográficas e físicas dos cantões com as dimensões propostas. Três grupos de cantões com condições diferenciadas foram encontrados em dois componentes construídos e em termos das taxas de incidência em análise. Ao associar variáveis físicas, verificou-se que os cantões com menores taxas de desenvolvimento e maiores deficiências apresentam maior risco de vitimização nos ocupantes de automóveis.

**O décimo sexto artigo** realiza uma análise temporal da flora presente no pantanal de Purrumpama, localizado em Huamachuco, cidade do altiplano peruano, contrastando os resultados obtidos com uma análise temporal no Google Earth e identificando a relação com a expansão urbana. Foram utilizadas imagens de satélite Landsat 8 e Google Earth, determinou-se que há uma diminuição constante da cobertura vegetal nas áreas Sul e Sudeste do pantanal, calculando uma perda de 74.792 m<sup>2</sup> do pantanal de 2012 a 2021.

**O décimo sétimo artigo** tem como objetivo principal desta pesquisa realizar um levantamento dos aspectos geográficos da Serra de Santana, com ênfase nas características climáticas, edafológicas, hídricas e de cobertura vegetal. Foram considerados os usos do solo e a reflexão sobre as possibilidades de práticas sustentáveis para a conservação desta importante unidade paisagística. A região semiárida do Brasil, marcada pela



incidência de secas, apresenta “áreas excepcionais” com clima mais frio e úmido resultante dos efeitos da altitude. Esses enclaves úmidos que aparecem nos cumes de montanhas e planaltos são de extrema importância para o semiárido, pois são considerados refúgios para espécies da flora e fauna, além de fontes de umidade para diversas atividades humanas.

**O décimo oitavo artigo** tem como objetivo estimar a variação do estoque de carbono orgânico do solo associado às tendências do processo de agricultura nas Unidades Ambientais do distrito de Tandil nos períodos 1989-2004 e 2004-2019. O estoque de carbono orgânico do solo foi determinado em cada Unidade Ambiental pelo método do IPCC. Os dados resultantes juntamente com a variação da superfície agrícola nos períodos analisados permitiram determinar o efeito das transformações no uso da terra em cada paisagem. É evidente que a agricultura é um fator chave na deterioração da capacidade do solo de manter a provisão de serviços ecossistêmicos associados.

Dessa forma, serve para convidá-los a visitar o site eletrônico da revista (<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>), onde encontrarão os artigos descritos em PDF, Formato HTML e EPUB. Além disso, temos o prazer de informar que a partir de 2019, a Revista Geográfica da América Central passou a ser indexada no SCIELO, além da indexação em LATINDEX, REDALYC, DIALNET, DOAJ, REDIB, entre outros.

Esperamos que este número seja muito útil para todos os interessados em estudos geográficos e convidamos você a enviar suas contribuições.

Atenciosamente,

Mestre Lilliam Quirós Arias  
Dra. Meylin Alvarado Sánchez



## The Amazon and the art of income in the environmental crisis

La Amazonía y el arte del ingreso en la crisis ambiental

A Amazônia e a arte da renda na crise ambiental



*Jodival Maurício da Costa<sup>1</sup>*  
*Federal University of Amapá, Brazil*

*Edilene Lira da Silva<sup>2</sup>*  
*University of São Paulo, Brazil*

### Abstract

Two objectives are integrated in this work. The first objective is to discuss the diffusion of values regarding social-environmental responsibility in the current public sphere and how they confer comparative advantages in obtaining differentiated income by companies. The second objective is to apply this discussion to the Amazon by exemplifying the relationship that Natura company develops with traditional Pan-Amazon communities, as well as the notion of sustainability and how the Amazon can be a strategic region when it comes to environmental crises. The methodology used was based on scientific articles, magazine publications directly linked to the environmental balance of the companies and reports of the Natura company that were published in their website. We concluded that the way to produce market singularities is increasingly due to the combination of production and value diffusion in the public sphere, including the symbolic appropriation of the strategic spaces of production.

**Keywords:** Amazon; Environmental crisis; Art of income; Environmental and market

- 1 Geographer. PhD in Environmental Science (University of São Paulo - USP). Professor at the Federal University of Amapá. Posgraduate Program in Border Studies and the Posgraduate Program in Geography. Email: [jodival.costa@gmail.com](mailto:jodival.costa@gmail.com).  <https://orcid.org/0000-0003-4365-367X>
- 2 Architect and urban planner. Master in Urban and Regional Planning. PhD student in Architecture and Urbanism in the Posgraduate Program in Architecture and Urbanism at the University of São Paulo. Email: [edilene.lira@usp.br](mailto:edilene.lira@usp.br).  <https://orcid.org/0000-0003-3859-1371>

## Resumen

Dos objetivos se integran en este trabajo. El primero es discutir la difusión de valores sobre responsabilidad socioambiental en la esfera pública actual y cómo estos confieren ventajas comparativas en la obtención de ingresos diferenciados por parte de las empresas. El segundo es aplicar esta discusión a la Amazonía ejemplificando la relación que la empresa Natura desarrolla con las comunidades tradicionales panamazónicas, así como la noción de sustentabilidad y cómo la Amazonía puede ser una región estratégica frente a crisis ambientales. La metodología utilizada se basó en artículos científicos, publicaciones en revistas directamente vinculadas al balance ambiental de las empresas e informes de la empresa Natura que fueron publicados en su sitio web. Concluimos que la forma de producir singularidades de mercado se debe cada vez más a la combinación de producción y difusión de valor en la esfera pública, incluyendo la apropiación simbólica de los espacios estratégicos de producción.

**Palabras clave:** Amazonía; Crisis ambiental; Arte del ingreso; ambiental y de mercado

## Resumo

Dois objetivos estão integrados neste trabalho. A primeira é discutir a difusão de valores sobre responsabilidade socioambiental na esfera pública atual e como estes conferem vantagens comparativas na obtenção de receitas diferenciadas pelas empresas. A segunda é aplicar essa discussão à Amazônia, exemplificando a relação que a empresa Natura desenvolve com as comunidades tradicionais da Pan-Amazônia, bem como a noção de sustentabilidade e como a Amazônia pode ser uma região estratégica diante de crises ambientais. A metodologia utilizada foi baseada em artigos científicos, publicações em revistas diretamente ligados ao balanço ambiental das empresas e relatórios da empresa Natura publicados em seu site. Concluímos que o modo de produzir singularidades de mercado se deve cada vez mais à combinação de produção e difusão de valor na esfera pública, incluindo a apropriação simbólica de espaços estratégicos de produção.

**Palavras-chave:** Amazônia; Arte de renda, meio ambiente e mercado; Crise ambiental.

## Introduction

The art of income represents a mark of the capitalist mode of production. It is the differential that allows to extract income outside the considered standard in historical period. For a long time, mainly from the second half of the nineteenth century and the first half of the twentieth century, the art of income was represented by the extraction of monopolist income, which implied control over a business branch or a specific commodity. In this work, we defend the thesis that, although the art of income still resorts to price control strategies to obtain profit advantages, the period marked by the crisis of reflexive modernity (Beck, 2011), second modernity (Giddens, 1991) or liquid modernity (Bauman, 2001), very close versions presented by the three authors, are distinguished by the fact that the art of income is sought by the insertion of values cultivated in the public sphere of the productive process.

This work has two objectives that are integrated. The first is to discuss the approximation of companies with values cultivated in the current public sphere – environmental and social responsibilities –, and how they can present comparative advantages in obtaining differentiated income. The second objective is to apply this discussion regarding the Amazon, from which we use as an example the relationship that the Natura cosmetics company develops with the traditional communities of the Pan-Amazonia, the notion of sustainability explored by the company and the Amazon region itself as a strategic place in environmental crisis

We inform that this work does not address the legal framework of the relationship between business and traditional communities, nor regarding the use of Amazonian biodiversity. Our interest is exclusively in raising questions about entrepreneurial behavior and capitalism itself in order to adapt to the environmental crisis and to extract income as a characteristic of our time, which we call the crisis period, since the crisis is no longer cyclical and it becomes chronic, besides presenting itself in a plural form.

### **The art of income during the crisis period**

We start from the conception that, in the current period, even with greater vehicles of manifestation regarding the freedom of producers and consumers of goods, which is made possible by the expansion of the mobility field of ideas, products, services and people, the market still allows the extraction of privileged income.

At this point, the text highlights the discourses about culture, nature and strategic regions – considered inseparably – in the Amazon as components of market reserve extraction, also used in this work as income exclusivity, in scenarios of global competitiveness.

One of the marks of appreciation of local cultures today is how the process of globalization relates to certain localities and their symbolic content. And, from this, how this relation produces income advantages in the association between culture and market, where the evidence of the first becomes referential for a product, a value differential with impact on the consumers choice. To better expose our idea of privileged income, we will introduce monopoly income, precisely to establish a parameter of differentiation.

In general, it is considered that monopoly rents are shaped by the exclusive control that certain actors exert in the market, allowing to increase

their income flow for a long time, and that is characterized by its crucial aspect of singularity and particularity, unique and irreversible. [Harvey \(2005\)](#) argues about two situations in which such phenomenon is more recurrent. The first corresponds to the frame in which a given actor has the control of natural resources of a certain locality and thus can link the actions of those who need to use such resources or use such locality to the interests of their controller. Harvey gives the example of a vineyard that associates the quality of the product with the region in which it is produced, referring to the quality of the land for the cultivation of a specific grape, to lend a singularity and particularity to the merchandise. In this situation, income is a consequence of the monopoly price.

Yet a localized version of such extraction are the centralities. The real estate market, for example, draws heavily on the artifice of amenities such as green areas, ease of transportation – such as subway stations – to obtain such advantages. In this sense, indirect cases of monopoly income are constituted, since the land, the natural resource or the place of singular quality are not traded, but the merchandise or service produced through its use. In the first case, it is considered a situation of direct use, because one takes advantage directly of the land or resource.

The notion of monopoly income carries, in [Harvey \(2005\)](#) sense, two contradictions. The first concerns the fact that, while recognizing that singularity and particularity are important factors in lending special qualities to a given product, the requirement for marketability implies that no product can be so unique as to escape a monetary calculation as the main means of allocating market. In this respect, the more tradable these items are, the more they lose the ability to generate monopoly income. Thus, in order for this type of income to materialize, it is necessary to find ways to keep goods and values unique.

The second contradiction is related to neoliberalism, because it is argued that due to the great competition that was established in this model, monopoly income could no longer materialize – because monopolies would not be tolerated. In other words, what stands out most in this contradiction is the prerogative that competition would nullify any form of monopoly, since it would be the free competition to maintain the rules of the game.

[Harvey \(2005\)](#) argues, contrary to this maxim, that greater free market and formation of income exclusivity would be incompatible. Using the

concepts of Karl Marx, the author writes that every form of competition tends towards monopoly or oligopoly. Among other factors that add to this situation is the fact that capitalism always cultivates some kind of market advantage with the potential to generate monopoly income. From this point of view, it is argued that the market always tends to cultivate strategic spaces of exclusivity or expansion of the reach of a product, conclaiming its peculiar characteristics. The current period would not be an exclusivity compared with the process of accumulation of the past, although it should not be denied that the conditions of accumulation are very different, with new strategies of companies and states.

That said, we infer that in some cases one can only play with some advantages that a given historical period offers for the extraction of privileged income, not necessarily monopolistic, since the objective is not to generate exclusivity, but only to impute values that increase the advantages of the company in the marketing of a product. Here we discuss the impact of major events on market behavior - with emphasis on the environmental crisis - and the local developments of this great event, such as impacts on the culture and regions directly or indirectly linked to it.

In the 1970s, Foucault (2008) argued that the advent of neoliberalism produced changes in the social framework ordering from the exercise of power over the population. He emphasizes that classical liberalism was anchored in a market strategy that sought a free space in an already given political society, whose ordering began to gain range with the implantation of governmentality of the eighteenth century. But “the problem of neoliberalism is, on the contrary, how the global exercise of political power can be regulated on the basis of the principles of a market economy” (Foucault, 2008, p. 181).

Therefore, we observe that the challenge of neoliberalism is another: it is to act in a process of regulation in a period of constant crisis, which implies to the market itself a greater need of skills and strategies so that the conception of a product or merchandise can have a time longer than the period of stability. And in this respect, globalization produces spaces of action in what can be considered as a monopoly in the context of classical liberalism and, perhaps, until the first half of the twentieth century, when it undergoes transformation in the context of neoliberalism to continue offering commercial advantage.

The current period deals with two types of crisis which, although inseparable, can be differentiated. The crisis that appears periodically in some country or region of the globe and which, due to the systemic nature of financial relations today, reverberates in the global space, with greater or lesser impacts. The other is of civilizational nature, more specifically of modern court civilization, considered the environmental crisis. In the last three decades, through the strategy of incorporating this environmental crisis, capitalism finds new bases of accumulation by the symbolic use of environment, nature and its associations regarding goods, in an exercise of extraction of privileged income.

The price of a commodity is associated with the values it carries, which establishes itself in the relation between production and the public sphere. [Marx \(2009\)](#) points out that income is relative, that is, there is no ready register, because for such a record to have a practical value it is necessary for it to remain in the conditions of the present society, not subject to the changes of the different historical periods. In this sense, one of the ways to continue generating market reserve, even in the current scenario of globalization, is to seek what new values capitalism can incorporate to continue generating a type of imbalance between the same or similar products, which can guarantee competitive advantages. It is, as [Lefebvre \(2002\)](#) argues, the very survival of capitalism, which always takes a chameleonic form to introduce new value arrangements and guarantee high rates of profit. Our understanding points out that the competitive factor, as well as the “progress” brought by globalization in the field of transportation and communication, directly interfere in the past forms of obtaining monopoly income - especially those derived from location advantages, due to privileges in the circulation of products, but did not eliminate the mechanisms that allow the insertion of income privileges in the competition system.

Nevertheless, [Marx \(2009\)](#) argument, regarding the contextualization of both capitalism and its mechanisms of accumulation, is valid so we can think of new forms of obtaining privileged income that materialize in the current period. In this sense, this privileged income should not be sought exclusively in cases in which economic actors have a market exclusivity, that is, a sale reserve of their products because of the singularities it possesses with factors such as quality of a soil, as in the case of the monopoly income obtained by a wine-producing region such as Bordeaux, France ([Harvey, 2005](#)).



A situation in which the mechanism of income obtaining still develops is through the valuation of the culture, the environment and the strategic regions. The current environmental crisis, for example, reverberates in traditional cultures to lend differentiated value to the product, gaining singularity and particularity in a space-time marked by the market's capacity to deal with this crisis. Cultural practices, which carry a status that is consistent with this crisis period, gain a privileged social license which, from the 1990s onwards, have achieved greater effect as an ideal type of consumption and consumers and, therefore, as an ideal type of merchandise.

This meets the neoliberal economic maxim that it is necessary to intervene in the market conditions and not in its mechanism. In other words, it is a matter of maintaining the genesis of capitalism, but also transfiguring according to the conditions of the period. In this sense, Foucault (2008) argues that one of the fundamental actions of modernity, among which, in terms of commodity, can best be observed in the neoliberalism period - the so-called ordering actions - is not to act directly on market mechanisms, acting on prices for example, but it is about acting in the frame - in the population. From this, acting in the population means acquiring knowledge of the population content to produce adherence between the interests of the public, the State and the producers of goods. We add, in this case, the interests of accumulation.

In this new scenario, the income privilege is not a dictatorship of prices, but a position of market advantage because of the associative value of cultural, environmental and regional products. In this sense, this form of income should not be thought of on the same basis as traditional monopoly or oligopoly, but as a privileged materialization of income, a form of market reserve acquired by a broader semantic field about the marketed product. In this context, we highlight three points that constitute the privileges in the extraction of income in the current period: a) the reference to a collective symbolic capital associated with the traditional Amazonian population; b) the power of symbolic capital embodied in the product from an environmentally sustainable basis; and, c) the link to a strategic location for the current global interests, such as the Amazon to combat climate change.

Some consumers feel satisfied when consuming products that carry the status of “environmentally correct” and “socially responsible”. There are many groups engaged in the discourse of this type of merchandise

- with emphasis on NGOs, consumer associations, artists, etc. We consider these attitudes to be a two-way street: if, on the one hand, they draw attention to the importance of the environmental issue, the need to change consumption habits and the origin of what is consumed, on the other, they act as a device for formation of a type of consumer pattern, which also simultaneously works in the formation of an ideal type of product - a capital discursive item in the extraction of privileged income.

Without entering directly into the debate on the strategy for accumulation, or of the intentionality of such discourse in the appropriation of the environmental crisis by capitalism, a necessary debate brought by [Leff \(2006\)](#) and [Porto-Gonçalves \(2006\)](#), among others, here we focus on the result that the environmental crises produces in product trade when associated to social clamor issues and the repercussions as a basis for differentiated income accumulation. The current period plays with two forces that have an impact on society - the historical social exclusion, fiercer in capitalism and which, in the last three decades, has become one of the flagships in corporate discourse along with the second, the “recent” environmental crisis.

In this process, state action remains important as an enabler of new strategies, mainly because the state itself, through environmental policy legislation, orders from a strategy on the environment, while it also prints a way of thinking the environment and nature, an environmental governmentality ([Moura, 2017](#)). By establishing legal means to act, according to such environmental norms, state action privileges ways of thinking and being in the environment and on production behaviors. This action, more than serving a general interest, is immersed in the state’s own strategy of control, as is the case in Brazil, for example. Given this, we don’t consider that the state, in legally ordering the environmental issue, is telling people how they should behave towards the environment, except in matters where the law is applied directly. Considering the production of value in the public sphere, state action contributes to the ordering of behaviors because it finds adherence to the public clamor for “taking good care” of the environment – and it produces meaning in the public sphere.

The environmental crisis has opened a new market path of action that does not appear directly as a comparative advantage, but begins to make a difference between consumers who, whether due to environmental

preservation or a concern for health, adhere to the so-called “sustainable consumption”. Green business, which is not an issue of free enterprise, is not confined to the individual or to an institution, but rather to a scale of the totality-world in which individuals, institutions, or places are incorporated, to a greater or lesser extent.

Thus, as an order that produces effects of action, we do not necessarily have an economic government, but a government of society. What should constitute the entity who orders in this case is not the exchange of goods, nor the mechanism of competition, but a kind of ordering process that produces a symbolic field and its re-appropriation in the scale of individuals, institutions and ideal type to be achieved (Foucault, 2008). It is also an economic order of society, centered not on the forces of production, but mainly on a semiotics of the relations of production. The Natura cosmetics company (Nature & Co.), in its annual report for 2017, describes a new type of consumer, which we understand to be the result of the greater force of the environmental crisis in the public sphere:

The brands of Natura & Co, through their trajectory and ambition, connect with a new profile of consumers: the aspirational consumers, defined basically by the taste for purchases linked to responsible consumption and brands with social and environmental concern. For them, knowing the benefits of products and services is not enough. They want to know everything that companies do - and how they do it. According to a study conducted in 2016 by GlobeScan and BBMG, with 22,000 people in 22 countries, aspirational consumers represent about 40% of the global market and are relevant not only for their considerable number, but also for balancing high frequency of shopping, sustainability and social values in their consumption patterns. In addition, they seek to create their own look, in terms of fashion and style, and are able to influence cultural norms and other social groups. The survey heard people with ages from 18-54, divided between millennials (born between 1982 and 1998) and Generation X (born between 1962 and 1981). In emerging countries, such as China, India and South Korea, aspirations represent half of the population - in Brazil, the group represents 42% of the market. Another trend pointed out is that in developed nations there are more aspirational consumers between Generation X (34% vs. 26% millennials in the UK, for example). In Brazil, 55% of aspirational consumers belong to the generation of millennials. Immersed in a crisis scenario and uncertainty, where capitalism is questioned

in the face of inequality and the damage to the ecosystem that it can cause, brands need to show that they are a further force for positive transformation. Natura, Aesop and The Body Shop have, since their origin, the genuine desire to offer their consumers products and services capable of transforming people, relationships and the planet. Now, together at Natura & Co, they will join forces to strengthen ties and expand opportunities with aspirants (Natura & Co., 2017, p. 33).

Modernity carries this structure based on the population frame. The very history of accumulation in this period is related to the ordering of social relations. Thus we return to the claim that what is at issue is the very survival of capitalism itself, and proactive firms have already absorbed this crisis period as a strategy of accumulation. And in this respect, its structuring transformations must be thought of within this process of adequation and, even, incorporation of contradictions as a mechanism of survival, maintaining the genesis of guaranteeing profit. This suggests that the strategies of association between entrepreneurial proactivity as a consequence of the environmental crisis find a response in a portion of society, a differentiation of consumption.

The product that is “social and environmentally correct” cultivates a loyal type of consumer, while it is not an exclusivity of them, since it is available in the market. But it is neither the state nor the market, which tells people directly what they should consume or how they should proceed; this is done only in a general sense, by the production of meaning in the public sphere. The institutional apparatus, through social ordering, produces this type of mechanism. However, see previous comment, who generates that is the mechanics of power. According to the interventions that are requested to make in each period, by the conditions that the period presents regarding the emergency of these changes, the institutional frame produces new devices of organization of the society, which includes new planning in the model of market relations.

### **The Amazon triad and the art of income**

We argue that the art of income is still a strategy of advantages in the present period of capitalism, and actors do so by traditional means, as well as new tactics in dealing with values directly related to a planetary interest. To this end, companies use, with greater recurrence, two

means. The first is to link production directly to strategic values, such as environmental and social responsibility; the second is the insertion of this productive responsibility in the public sphere, through the dissemination of information in the sustainability reports. The investment in advertisements, which includes improving the dissemination of environmental and social information in the reports, made available to clients and the general public, it means informing the public sphere of a way to be consistent with the current period needs.

This creates an image for the actors who make up their productive chains, for the public sphere in general and for the company itself, since it is about producing a culture that identifies it. By the marketing hand, tool that grows in this informational period, companies expose their business policies and their positioning in the world – it is their invisible hand. There is a tendency that companies that achieve greater success among the public - counting on the acceptance of their products and the profit they can accumulate - will be those that cultivate socio-environmental values. To some extent, this is already a reality.

Even though this work is not a case study, we chose to use the example of the Natura cosmetics company, because it is one of the most active companies in the Amazon for the purpose of incorporating monetary value into the product through the association of production with social and environmental responsibility with the Amazon and the planet. It is not our purpose to discuss the company's conduct before the traditional communities, nor if its environmental conduct constitutes legitimate environmental concerns. Nor is it our purpose to make an analysis of the factors that provided the growth of the company. We reserve the right to use it exclusively as an example of cultivating the art of income through the discourse of environmental and socially correct and business ethics, associated with its production. We assume that, through the current competition, these values within the corporate brand confer advantages because of the echo that these issues have acquired in the public sphere. In the face of environmental problems and the valuation of work, the idea of some kind of positive singularity in the face of these dilemmas has an impact on the mercantile system.

Natura currently operates in nine countries - Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, the United States, France, Mexico and Peru - and has more than 1.7 million consultants in Latin America. Considering the incorporation

of the Australian Aesop in 2013 and the British network The Body Shop in September 2017, the three companies started to compose NATURA & Co from February 2018, ensuring presence in 72 countries, with more than 3,200 thousand physical stores (Natura & Co., 2017). Through the campaigns published in the media and in the annual reports published by Natura, we see a company that has as a brand an image of socio-environmental responsibility of its production (Natura & Co, 2017; Natura & Co., 2018; Natura & Co., 2019; Natura & Co., 2020). Among the values published as their beliefs are the union between people as a way of building a more solidary society, business ethics, sustainable development and social responsibility. In the presentation of the 2017 annual report, the first published after the merger of The Body Shop and Aesop with Natura, the highlights in the presentation are:

Natura, Aesop and The Body Shop are pioneering companies, committed to the generation of positive economic, social and environmental impact, moved by similar values from the beginning. While we are complementary in our market strengths, channels and product categories, we share the same fundamentals in our business behavior. Our portfolios have products of natural origin, we value traceability and sustainability in obtaining ingredients, and thereby preserving biodiversity, fair trade with suppliers, eliminating animal testing, measuring production impacts (which includes neutralization and the pursuit of reducing carbon emissions) and support for education (Natura & Co., 2017, p. 4).

In the case of activities in the Amazon, the company's strategy has a direct production dimension, since it is a matter of producing from regional biodiversity raw materials along with partnerships with Amazonian communities; it is also a symbolic dimension, since it explores in its production values such as the preservation of the Amazon, use of standing forest, reduction of carbon emissions, work ethics regarding regional communities, etc. In this aspect, we believe that there is a triad that currently has more relevance in the evaluation that other companies and consumers tend to make when it comes to a company with relevant activities in the Amazon: a) the Amazon as a strategic location in the environmental crisis, it is a matter of evaluating how the company behaves in relation to one of the most evident problems in the world – deforestation – and how it contributes to the generation of income from forest products that do not come from deforestation;

b) the valuation of culture of local communities, through the partnerships to generate income and the discourse of their valorization; c) the discourse of environmentally correct practice, with the insertion of values listed by organizations such as the United Nations (UN) as objectives and challenges for sustainable development. Natura is the company that, since the 2000s, has entered the region and started to adopt this discourse by making a strong appeal to the business developed with regional communities in its information channels, such as the annual report.

In 2011, Natura established a partnership with the Banco do Brasil Foundation and launched the Amazon Program, part of one of the company's missions in a document entitled "Vision of Sustainability 2050" (Natura & Co., 2019). The program, which until 2018 had already made direct investments in 4.300 families, 146 million reais invested in the purchase of raw material from biodiversity in 2017, and handled a capital of 1.2 billion reais, covers the territory of Pan-Amazon: Brazil, Bolivia, Peru, Venezuela, Colombia, Ecuador, Suriname and the Guianas (Natura & Co., 2018, p. 2). The Program has three pillars, all in adherence to sectors currently valued in the dimension of development and social and environmental responsibility, being: 1 - science, technology and innovation; 2 - productive chains of socio-biodiversity; and 3 - institutional strengthening.

The first pillar of the Amazon Program brings together scientific production initiatives that value the richness of the region, which corresponds to the coordination of a research network focused on the construction of knowledge on biodiversity, sustainable management and agriculture and eco-design of the International Amazon. The center of this pillar is the Amazon Innovation Center (Nina), located in Benevides, a municipality in the metropolitan region of Belém. It has several partners such as: The Federal University of Amazonas (UFAM), the National Institute of Amazon Researches (INPA), the State of Amazonas Research Foundation (FAPEAM) and the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa) (Natura & Co., 2018).

The second part of the Program deals with the structuring, improvement and expansion of productive chains known as sustainable – mainly those working with non-timber forest products – with capacity building, productive efficiency and technology inputs. The Ecoparque, an industrial park also located in the municipality of Benevides and inaugurated in 2014, is the primordial element of this pillar (Natura & Co., 2018).

Institutional strengthening, the third pillar of the Program, addresses the “empowerment” of local institutions and the establishment of partnerships for the development of a standing forest economy. The main themes are: forest education, entrepreneurship promotion, digital inclusion, among others.

Although created by Natura, currently this program has countless partners such as national and international companies, research institutions and non-governmental organizations. Since the beginning of the Amazon Program, we have worked with 25 native species and contributed to the conservation of more than 257 thousand hectares of standing forest. By the end of 2017, we had already exceeded by 22% the goal of generating R\$ 1 billion in turnover between 2010 and 2020 in the region. The accumulated value reached more than R\$ 1.2 billion (Natura & Co., 2017, p. 44).

Natura’s main trademark in the Amazon is the Natura Ekos line (Natura & Co., 2018), which inaugurates the company’s entry in the region and stands as a reference that “best materializes the purpose of promoting a lively forest economy. Launched in 2000, this line involves research on the benefits generated by Brazilian biodiversity and presents the function of each bioactive, promoting a real connection of those who use it with nature” (Natura & Co., 2018, p. 4).

Beyond environmental altruism and pro-activism, these initiatives express the relationship between the search for a type of market and consumers that appeared with the impact of the environmental crisis on capitalism. In part, we can infer that it is a fold over the model of a crisis caused by it, in the direction of the idea of reflective modernity pointed out by Beck (2011). The performance of companies in the Amazonian region with this socioenvironmental bias is a strategy to achieve competitive advantage in this phase of globalization, in which the quality of a product incorporates other values besides its performance in the function for which it was produced. Thus, because of the importance of the Amazon in this scenario, both in Brazil and abroad, the market already considers the conditions under which the products from which they are made are produced.

So, if we can consider such importance today, what about prospects for future markets? The tendency for the demands of environmental conditions to become an increasingly significant point in choosing which product to buy in the future is growing. And in this case, Natura has cultivated



as much as possible the social and environmental responsibility discourse of its actions in the region, not only for the products that came from it, but as a brand of the company throughout the production chain. At this point, it is also worth mentioning:

**a)** the discourse on ethics at work and social responsibility with regional communities. In the Amazon, the company begins its activities through a partnership with the traditional River Sustainable Development Reserve in the state of Amapá, a State Conservation Unit created by Law 392 of December 11, 1997. ([Governo do Estado do Amapá, 1997](#))

Natura's relationship with the traditional communities of the Pan-Amazon region is given by the Amazon Program, in the pillar regarding productive chains of socio-biodiversity, as already mentioned. In 2017, the company ended the year with a total of 34 communities supplying forest inputs, two times more than in 2016. In all, 4.296 families were involved. One of these communities is the Chico Mendes Extractive Reserve, in Acre, from where the *patauá* is collected, a palm whose fruit provides input to the Natura Ekos line. The main states of the Brazilian Amazon where Natura maintains cooperation with traditional communities are Acre, Amazonas, Pará, Rondônia and Amapá. According to [Natura & Co. \(2017\)](#), the payments made to the communities is according to the parameters of the policy of sharing of benefits ([Natura & Co., 2017, p. 43](#)), as can be seen in the Table 1 below.

**b)** The sustainability discourse, explored by the company on three fronts: valuing the culture of traditional communities, local development with the “standing forest” and the preservation of Amazonian biodiversity. For Natura, these three fronts are considered the pillars of the company's sustainability policy on the Amazon.

**c)** The Amazon itself, which is on the global agenda and international public opinion as strategic for the planet's environmental interests, has become the main investment locus for Natura's business. In the business sector, the company stands out as the one who most explores the use of non-timber forest products, fundamental for the maintenance of the forest, since it generates income for local communities, with emphasis on investment in research and innovation applied to inputs available in the Amazonian biodiversity. Since 80% of Natura's product inputs come from the Amazon region, one of the strengths of the company's annual report,

which is developed following the standards of the Global Reporting Initiative (GRI), is the business maintained in the region.

**d)** In 2018, Natura was elected by Corporate Knights, a company specialized in financial information (as well as media and research), which explores the relationship between business and social and ecological benefits, the 14th most sustainable company in the world, rising six positions in compared to 2017. The ranking is based on the public disclosure of the company’s data, whose higher importance is for positive contributions regarding carbon emission, energy consumption, garbage production and air quality (Staff, 2018). Natura had the greatest positive impact on the business developed in the Amazon.

**Table 1.** Business relationship between Natura and traditional communities in the Pan-Amazon region - 2015 to 2017

Relationship type	2015	2016	2017
GRI 203-2. Communities and families benefited in the Pan-Amazon	1.529	2.119	4.294
GRI 203-2. Communities and families benefited			
Communities with which Natura relates	30	33	34
Families benefited in the community	2.251	2.841	5.296
GRI 203-2. Resources allocated per family (R\$ thousands)			
Direct features	2	3,1	3,2
Supply	1	2,0	2,9
GRI 203-1. Investments in communities (R\$ thousands)			
Supply	2.837	5.771	9.213
Sharing of benefits	2.411	3.070	6.075
Support for local development projects and infrastructure	443	669	763
Image usage	14	36	5
Capacity Building	245	77	70
Technical Services	139	255	337
Carbon Credits	-	-	1.478
Study	490	245	0
Total allocated in communities	6.579	10.123	17.942

Source: *Natura & Co., 2017.*

The company also meets the academic discussions on the development and conservation of the Amazon. The company’s main motto, “forest standing and not on the ground”, has long been problematized by researchers such as [Becker, Costa & Costa \(2009\)](#), academic references concerning the region. This discourse values the idea of conservation of the Amazonian biodiversity, and through the Natura Ekos website the company

provides not only its direct actions of sustainable development, but also makes use of the image of the traditional people (Natura & Co., 2014; Natura & Co., 2017; Natura & Co., 2019).

This strengthens the information conveyed in the annual reports (2014, 2017) that the progress that the company has experienced in the last decades, especially since the beginning of this century, is due to the policy of dealing with communities where it operates, as well as the sustainable development of its production in the Amazon, with the traditional knowledge and environmental conservation of one of the most strategic regions in this environmental crisis period. Both the Amazon region and the Amazonian communities have a symbolic load of great impact on market relations, precisely because they have achieved prominence in the public sphere in the environmental theme.

### **The Amazon and the art of income from production of value in the public sphere**

On the Corporate Knights' post regarding the "green report" (Staff, 2018), Forbes Brasil Magazine highlights how sustainability, considered in several areas of the productive sector, is capable of "putting a company on a unique level" (Strauss, 2018). Also, on the report, the first place in the ranking – the French Dassault Systèmes – of the software industry for the engineering sector, focuses on: the innovation in digital technologies for the development of renewable energy; the direct incentive for sustainable mobility; the commitment to the creation of smarter cities and a strong female representation in the civil service area. (Staff, 2018). According to Corporate Knights itself, the gender issue was what made the company at the top of the list (Staff, 2018).

The commitment of these companies, which includes Natura, to produce adherence to production relations with values cultivated in the public sphere, indicates that the issue is systemic, not restricted to the individual views of some entrepreneurs, because it identifies a market that increasingly incorporates its own crises as comparative advantages. The growth of companies and international organizations engaged in the development of an international standard for the dissemination of information on business performance, such as the GRI, aims at shortening the distance between the company and the public. The standardization of disclosure presents an

ideal type of company, at least in the public sphere, in addition to producing a credible seal on the reports.

In a world marked by fierce competition, producing distinct marks and accumulation of symbolic capital is an ongoing search; what changes are the ways of use. Natura can - and has thus proceeded - claim singularity and particularity of its products, for the treatment it has given to the use of the intellectual heritage of the traditional Amazonian communities - valuing of these communities - and environmental conservation.

Another relevant factor in the relationship between the market and the environmental crisis is product certification, which acts as a quality certificate in the production and consumption relationship of the certified product. To certify is: a) a means of ordering market relations, because it attributes to the product a quality that is not only the result of its production, but of a set of external rules and norms, to which the productive process is adequate; b) a way of inserting the values cultivated in the public sphere in the productive process, whose benefit to the company is the alignment of the product to a productive chain and a consumer market. The environmental rules and norms of standardized certification direct an ordering in production and consumption.

Thereby, we do not defend the thesis that people consume certain goods because it is certified. Consumers are not mere receptacles of goods, non-thinking and manipulated. People consume products because they identify some utility for themselves, from the most basic to the most superfluous, but always a convergence of interests. The success of some companies among people engaged in environmental and social causes should not always be explained by domination and alienation, but also by this commodity-consumer adherence, which has much to do with the production of meaning in the public sphere. These companies experience a “social and environmental license” from their consumers.

Therefore, the importance of cultural and environmental value is not only in the product, but also in the people. It is not only about producing “social and environmentally-friendly” products, but also the development of social ordering devices that cultivate these values. In this aspect, culture and the environment become, at great strides, increasingly significant values in social relations. The discursive effects that are at stake are varied

and have importance in the meaning that that specific product can obtain and guarantee in some type of income exclusivity.

Capitalism, precisely because it is not to be reduced to the economic sphere, will always seek to develop social ordering mechanisms that allow the creation of ways to guarantee, in a complex relationship, competition and the generation of singularities and particularities that lead to income. And in this case, our arguments that the association with traditional communities and the discourse of environmental conservation can generate comparative advantages for companies, lie in the importance that these items have been occupying in public relations. Regarding the environmental conservation issue, because of the importance that the traditional Amazonian communities have, used here as an example of the art of income, is due, in this arrangement, in part to the type of relationship they cultivate with nature. The same can be applied to the Amazon region as a strategic region in the environmental crisis.

If currently this relationship between income and socio-environmental values, cultivated in the public sphere, is still exclusive to some companies, which generates competitive advantages, the tendency is that this current exclusivity becomes the norm of tomorrow, in order to produce exclusions to those who do not adapt to it.

## **Conclusions**

Regarding the use of traditional communities as added value to the Natura products, there is a production of symbolic resources because the Amazonian cultural form, conveyed in the company's products, especially the Natura Ekos line, does not exist for these communities - it is an invention for the social imaginary. Local communities exist for themselves in their simplicity - or complexity - but as a symbolic representation in the public sphere, they can only exist for others. However, this does not invalidate the positive impact that partnerships produce for these communities, since there is income generation and an adherence to their interests, as well as transferring to them the decision on what is best for themselves.

On the use of the idea of nature, conveyed in the annual reports and the publicity pieces, we also infer that there is no representation of nature itself, but only the appropriation and representation of an idea of nature produced in the public sphere. What we conclude is that there is a new

aspect of the idea of nature produced in modernity. This new aspect, which maintains the Cartesian principles of nature, at the same time produces environmental adaptations, which positively impact local environmental problems, such as the promotion of the use of the standing Amazon rainforest and not the deforestation activity.

The tendency is that large companies will increasingly seek to produce with environmental and social adaptations. We use environmental and social adaptation rather than environmentally correct because we consider the former to be a more appropriate expression of the process, since this is in fact the case: an adaptation to the environmental problems and to the norms and environmental claims cultivated in the public sphere.

Finally, in the current context of crisis, capitalism finds in factors such as environment, society and strategic places of differentiation, an imminent tendency. Something different in this new way of producing uniqueness and particularity of products is that these qualities are found not only in the resource that the actor holds as some form of property, but in the junction between production and symbolic appropriation, both symbolism of loci spaces of production and of those produced in the public sphere.

## References

- Bauman, Z. (2001). *Modernidade Líquida*. Zahar.
- Becker, B., Costa, F. A. y Costa, W. M. (2009). *Um projeto para a Amazônia*. CGEE.
- Beck, U. (2011). *Sociedade de Risco: rumo a uma outra modernidade*. Editora 34.
- Foucault, M. (2008). *Nascimento da Biopolítica*. Martins Fontes.
- Giddens, A. (1991). *As consequências da Modernidade*. Editora Unesp.
- Governo do Estado do Amapá. (1997). LEI Nº 392, de 11/12/1997 *Dispõe sobre a criação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável - RDS do Rio Iratapuru, nos Municípios de Laranjal do Jari, Mazagão e Amapari, no Estado do Amapá*. Available in: <http://oads.org.br/leis/3435.pdf>
- Harvey, D. (2005). A arte da renda: a globalização e a transformação da cultura em como dities. In: Harvey, D. (author). *A produção capitalista do espaço* pp. 219-239. Annablume.

- Lefebvre, H. (2002). *La Survie du Capitalisme: La reproduction des rapports de production*. 3.ed. Economica.
- Leff, E. (2006). *Racionalidade Ambiental: a reapropriação social da natureza*. Bertrand Brasil.
- Marx, K. (2009). A metafísica da economia política. In: Marx, K. (author). *Miséria da Filosofia: resposta à Filosofia da miséria do Sr. Proudhon*, pp. 119-192. Expressão Popular.
- Moura, G. G. (2017). Manejo de mundos e gerenciamento costeiro na Amazônia: reflexões a partir de um diálogo entre etnooceanografia e etnodesenvolvimento. In: Costa, J. M (org). *Amazônia: olhares sobre o território e a região*. pp. 257-295. Autografia/Editora da Unifap.
- Natura & Co. (2014). *Relatório Anual*. Available in: <https://ri.naturaeco.com/resultados-e-apresentacoes/central-de-resultados/>
- Natura & Co. (2017). *Relatório Anual*. Available in: <https://ri.naturaeco.com/resultados-e-apresentacoes/central-de-resultados/>
- Natura & Co. (2018). *Relatório Anual*. Available in: <https://ri.naturaeco.com/resultados-e-apresentacoes/central-de-resultados/>
- Natura & Co. (2019). *Relatório Anual*. Available in: [https://static.rede.natura.net/html/home/2020/br\\_09/relatorio-anual-2019/natura\\_annual\\_report\\_2019.pdf](https://static.rede.natura.net/html/home/2020/br_09/relatorio-anual-2019/natura_annual_report_2019.pdf)
- Natura & Co. (2020). *Relatório Anual*. Available in: [https://static.rede.natura.net/html/sitecf/br/11\\_2021/relatorio\\_anual/Annual\\_Report\\_Natura\\_GRI\\_2020.pdf](https://static.rede.natura.net/html/sitecf/br/11_2021/relatorio_anual/Annual_Report_Natura_GRI_2020.pdf)
- Porto-Gonçalves, C. W. (2006). *A globalização da natureza e a natureza da globalização*. Civilização Brasileira.
- Staff, C.K. 2018. 2018 Global 100: Most Sustainable Corporations outperform and outlive. Corporate Knights: The Company for Clean Capitalism. Available in: [https://www.corporateknights.com/wp-content/uploads/2014/07/Media-Release\\_2018\\_G100\\_Final.pdf](https://www.corporateknights.com/wp-content/uploads/2014/07/Media-Release_2018_G100_Final.pdf)
- Strauss, K. (2018). Natura é a 14ª empresa mais sustentável do mundo. Forbes Brasil. Available in: <https://forbes.com.br/listas/2018/01/natura-e-a-14a-empresa-mais-sustentavel-do-mundo/>





## Construcción de una frontera en el oeste del obispado de Chiapa y Soconusco, 1650-1810. Una aproximación desde los SIG-H

Construction of a frontier in the west of the bishopric of Chiapa and Soconusco, 1650-1810. An approach from the GIS-H

Construção de uma fronteira no oeste do bispado de Chiapa, 1650-1810. Uma abordagem da SIG-H


*América Alejandra Navarro López<sup>1</sup>*

*Becaria del Programa de Becas Posdoctorales UNAM,  
Centro de Investigaciones Multidisciplinarias sobre Chiapas  
y la Frontera Sur, Universidad Nacional Autónoma de México, México*

### Resumen

Se realizó una investigación histórica y cartográfica en los límites de la región fronteriza Desierto de Tuxtla-Valle de Xiquipilas, confin oeste del obispado de Chiapa y Soconusco, al sur de la Nueva España en colindancia con la Capitanía General de Guatemala. El periodo de estudio inicia en 1650, con el proceso de Composiciones de Tierras (1643) en marcha, y termina en 1810, en el ocaso del periodo colonial, con una organización territorial por Intendencias. Se recurrió al análisis de fuentes documentales y cartografía del periodo, de la que se obtuvo información que se procesó en metodología diseñada para la orientación de los sistemas de información geográfica hacia la historia. La investigación permite analizar histórica y geográficamente procesos de apropiación territorial, a través de los usos de la tierra como estrategias de demarcación y ocupación en una región fronteriza.

**Palabras clave:** fronterización colonial, SIG-H, cartografía histórica, espacio desierto.

1 Doctora en Geografía, especializada en estudios sobre las fronteras y la aplicación de Sistemas de Información Geográfica a las Ciencias Sociales y las Humanidades. Estancia posdoctoral realizada con el Dr. Justus Fenner Bieling. Correo electrónico: [anavarro@pmip.unam.mx](mailto:anavarro@pmip.unam.mx), [americanavaro75@gmail.com](mailto:americanavaro75@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0003-4955-5894>.

## Abstract

It was undertaken an historical and cartographic investigation out on the limits of the border region of the Tuxtla Desert-Xiquipilas Valley, western frontier of the bishopric of Chiapa and Soconusco, in the south of New Spain, adjacent to the Captaincy General of Guatemala. The period of study begins in 1650, with the process of Composiciones de Tierras (1643) underway, and ends in 1810, at the end of the colonial period, with a territorial organization by Intendencias. From the analysis of documentary sources and cartography of the time, information was obtained and processed in a methodology designed for the orientation of geographic information systems towards history. The research allows us to analyze historically and geographically the processes of territorial appropriation through the use of land as strategies of demarcation and occupation in a frontier region.

**Keywords:** Colonial frontierization, GIS-H, historical cartography, desert space.

## Resumo

Foi feita uma investigação histórica e cartográfica nos limites da região fronteira Deserto de Tuxtla-Vale de Xiquipilas, extremo oeste do bispado de Chiapa e Soconusco, ao sul da Nova Espanha, adjacente à Capitania Geral da Guatemala. O período de estudo inicia-se em 1650, com o processo de Composiciones de Tierras (1643) em curso, e termina em 1810, no final do Período Colonial, com uma organização territorial por Intendencias. Utilizou-se a análise de fontes documentais e cartográficas do período, a partir das quais foram obtidas informações que foram processadas em uma metodologia desenhada para a orientação dos Sistemas de Informação Geográfica para a História. A pesquisa permite analisar histórica e geograficamente processos de apropriação territorial, por meio dos usos da terra como estratégias de demarcação e ocupação em uma região de fronteira.

**Palavras-chave:** fronteira colonial, SIG-H, cartografia histórica, espaço desértico.

## Introducción

Los estudios históricos de las fronteras coloniales novohispanas meridionales han sido abordados desde diferentes ángulos (De Vos, 1980, 1985; 1993, 2015; Gerhard, 1991; Lee, 1989; Navarrete, 1973; Ruz, 1991, 1998, 1997; Torras, 2011, 2014, 2016, 2019; Viqueira, 1998, 2002, 2017). Para el caso de la frontera histórica<sup>2</sup>, las investigaciones provienen, mayoritariamente, de la arqueología (Navarrete, 1973; Norman, 1988; Acosta, 2009; Campiani, 2009; Domeneci, 2009; Lee, 2009; Maestri, 2009; Vázquez y Winter, 2009; Zurla, 2009); la antropología (Báez *et al*, 1985; Fábregas, 1987; Cordry, 1988; Bravo y López, 1998); la historia contemporánea (Coutiño, 2009; Del Carpio, 2009; Esponda, 2009a; Ortiz, 2009); y, en menor medida desde la historia colonial (Hernández, 1994; Aramoni, 2009; 2014; Esponda, 2005, 2009b; Ruz,

2 Espacio de frontera entre la Nueva España y la Capitania General de Guatemala, lo que hoy son los Estados mexicanos de Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Tabasco, en el área conocida como Las Chimalapas (para este estudio el interés se centró en el límite entre Chiapas y Oaxaca)

1995). No obstante, en la mayoría de casos, la perspectiva espacial ha permanecido prácticamente al margen, o dicho de otra manera, el espacio no ha sido en sí mismo un objeto de estudio. En esta investigación, abordada desde un enfoque en geografía histórica, se recurre a la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), orientándolos hacia la historia para poner énfasis en lo que fue la frontera colonial oeste del obispado de Chiapa y Soconusco, una de las diócesis coloniales menos abordadas desde la historiografía (Scheper, 2021); y, en el análisis espacial a través de cartografía de la época desde el “Plano ignográfico que demuestra la dirección y vientos de los pueblos, ríos, montes y caminos que se hallan entre los dos mares de Norte y Sur y Reino de Guatemala” (Archivo General de la Nación (AGN, 1801-1803).

La importancia de estudiar esta frontera colonial, mediante una perspectiva espacial, radica en el hecho de dimensionar el papel central que tuvieron las formas en el paisaje, en cuanto a la fijación de límites; la necesidad de trazar nuevos y seguros caminos para un mejor tránsito de mercancías y personas, los cuales también fungían como límites fronterizos; el establecimiento de la ganadería como actividad económica nueva y detonante del poblamiento; y, por último, el avance del proceso de evangelización, a través del establecimiento de parroquias seculares y regulares. Todo ello en las cercanías de un espacio vacío, *desierto*, a decir de las fuentes: *perdido* (AGN, 1801-1803)

El periodo de estudio inicia en el año 1650 con un proceso ordenador en cuanto a la propiedad de la tierra, a través de las Composiciones de 1643, bajo el canon territorial dominante: el espacio vacío o baldío; y termina en el año 1810, en el ocaso del periodo colonial, con un territorio organizado e instaurado desde el reformismo Borbón. En la investigación que aquí se presenta se pone particular interés en el análisis de la cercanía espacial y la distancia entre nodos poblacionales, entendidas como formas que coadyuvaron al proceso de fronterización de un territorio en situación de confin.

## **Frontera histórica**

Desde los primeros siglos coloniales, la noción frontera<sup>3</sup> aludía a un límite geográfico civilizatorio, que se reforzaba con un lenguaje de un antes

---

3 Todavía en el siglo XVII la palabra frontera no está presente en los diccionarios del periodo, serán las palabras comarcar, marcar o señalar aquellas que aluden a los confines, a los términos entre dos territorios, a la *Vide Marca* (Covarrubias, 1611). No obstante, en documentos de la época suele utilizarse la palabra frontera o frontero para denotar marcas o límites jurisdiccionales.

prehispánico y bárbaro, de brutos, gentiles, de mal; y un presente colonizador y cristiano, de policía, de razón, de bien (Trejo, 2011; Fábregas, 2005; Restall, 2019). Aunque esa concepción puede parecer lejana, es todavía común encontrar en la historiografía reflexiones basadas en esos postulados para ciertas sociedades preexistentes a la llegada de los europeos, en los que la noción frontera alude a límites geográficos asociados a representaciones cartográficas dentro de la dicotomía civilización/barbarie (Sheridan, 2015). No obstante, una frontera se forja, también, a partir de marcas que se manifiestan en el paisaje, en el lenguaje oral, escrito, simbólico, y, por supuesto, en el ámbito de lo legal. Por tanto, en la construcción del espacio fronterizo, confluyen, una diversidad de límites en donde lo objetivo y lo subjetivo se transponen (Paasi, 2002; Fábregas, 2005; Paasi y Prokkola, 2008).

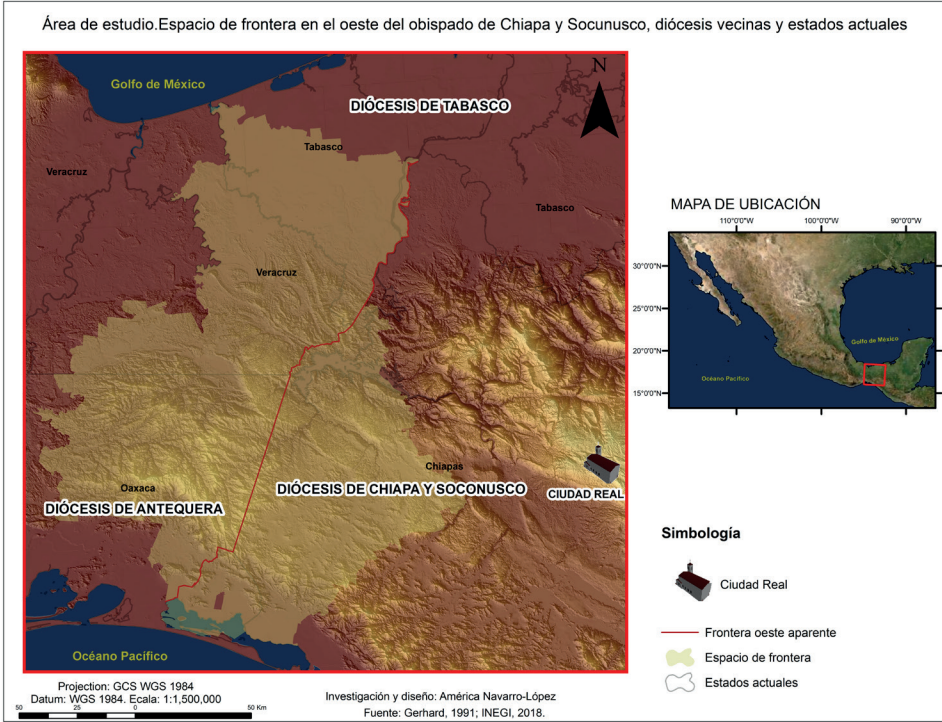
Por otro lado, en los primeros siglos coloniales una frontera era la consecuencia de la ocupación de un espacio vacío, baldío o desierto, entendidos como aquellos que desde la óptica del conquistador no eran utilizados para la habitación, la ganadería, la agricultura, etcétera; en los que una vez controlados, la ocupación se resolvía estableciendo misiones, estancias, y en general cualquier institución, actividad económica, o población que se circunscribiera a los parámetros del *debiera-ser*, en cuanto a la ocupación territorial. (Trejo, 2011; Sheridan, 2015; Navarro y Urquijo, 2019)

Por otra parte, como expresión de su época, la cartografía histórica es aquella fuente en la que quedó el registro de las ideas y las formas en que fueron concebidos y marcados los espacios. Como se tratará de exponer, estos elementos contextuales están presentes en el caso de la construcción del espacio fronterizo en la región Desierto de Tuxtla-Valle de Xiquipilas, en el oeste del obispado de Chiapa y Soconusco (véase mapa 1).

### **Desierto de Tuxtla-Valle de Xiquipilas, la región histórica**

Geográficamente, la región Desierto de Tuxtla-Valle de Xiquipilas estaba ubicada en el confín noroeste de la Capitanía General de Guatemala, frontera con la Nueva España, en las cercanías de lo que hoy corresponde a los límites entre los estados mexicanos de Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Tabasco. Por su parte más meridional estaba en vecindad con el Istmo de Tehuantepec en lo que se conocía como la “puerta” de entrada al Soconusco (De Vos, 1993) (véase mapa1).

### Mapa 1. Ubicación geográfica del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Desde una perspectiva histórica, se trata de una región poco estudiada en temas relacionados con la tenencia y uso de la tierra, en la que permeaba la ambigüedad en cuanto a los límites territoriales, y en la que el medio físico ocupaba un papel central al momento de referenciar ubicaciones y fijar linderos. Esto se puede detectar desde la lectura de documentos del periodo, como son las solicitudes de mercedes para estancias de ganado (mayor y menor) o en proyectos del trazo para nuevos caminos. “Cerros pelones”, “ríos incómodos”, “lomas peladas”, “sabanas perdidas”, forman parte de la narrativa inserta en documentos, desde el temprano siglo XVI, para referenciar nodos poblacionales, cercanías y la fijación de linderos, en esta región geográfica que se caracterizó por un proceso expansivo de ganaderización, que afectaba directamente las tierras de los escasos pueblos indígenas establecidos ([Archivo General de Centroamérica \(AGCA\), 1588](#); [AGCA, 1590](#); [AGN, 1801-1803](#))

Por otra parte, la decisión de incluir el topónimo de *desierto* en el nombre de esta región, se basa en el entendido de que fue durante la Colonia cuando este tipo de áreas fueron reconocidas y llamadas como tal; visión que continuó durante el periodo de formación de los estados nacionales bajo la concepción implícita del indígena como salvaje, legitimando de esa manera su invisibilización territorial a fin de establecer la expansión de las fronteras nacionales con nuevos colonos (Trejo, 2011). Es importante mencionar que todavía en las representaciones cartográficas del siglo XIX, el área correspondiente al espacio fronterizo oeste de la diócesis de Chiapa y Soconusco aparece con la glosa de *desierto*<sup>4</sup>. También, en algunos estudios históricos sobre Chiapas que incluyen mapas de confección actual suele nombrarse como los *despoblados* a zonas ampliamente reconocidas como tales, por ejemplo, en las investigaciones de Jan de Vos (1985, 2015).

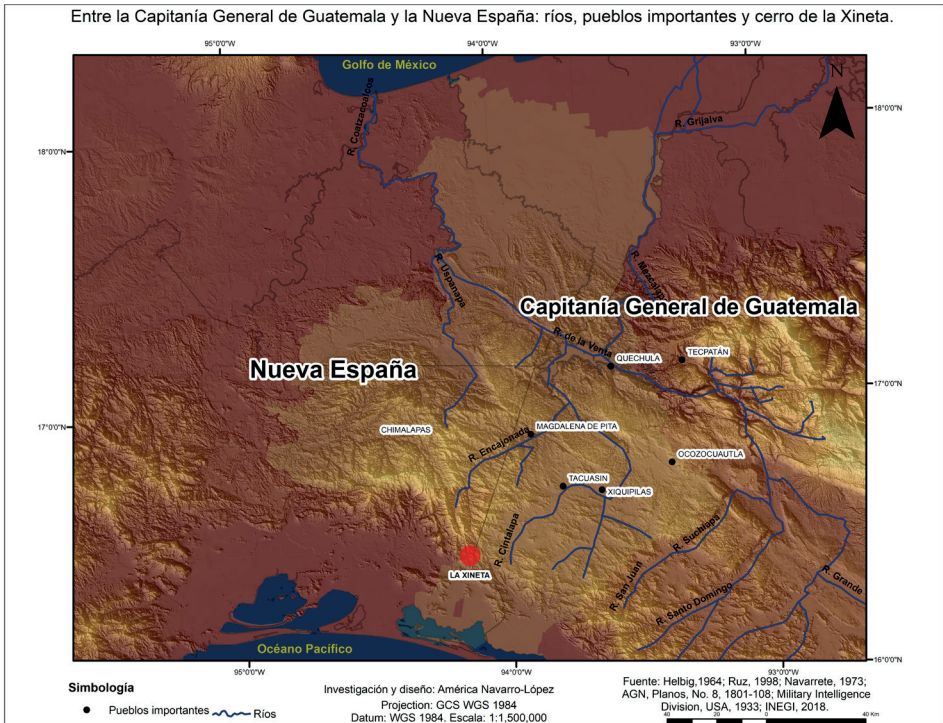
Con ánimos de contribuir a la discusión sobre el tema, en esta investigación se concibe al espacio que implica esta región fronteriza no necesariamente como árido en términos de un desierto, sino agreste e imponente, en cuanto a la dificultad para ser transitado; y, a la par, más que despoblado, se trata de un espacio *vacío de civilización*, desde la óptica occidental (Navarro, 2011; Orтели, 2011).

Respecto al medio físico, los afluentes más importantes que cruzaban la región eran el Río Grande (del sistema Carrizal-Cañas-Mezcala-Grijalva), y el Río la Venta (que viene del sistema Coatzacoalcos-el desaparecido Quechula-Cintalapa), utilizados, también, como caminos fluviales: “[...] de Cachula [Quechula] parten por agua en el mismo río que pasa por Chiapa y Chicuasentepe, por la provincia de Tabasco en dos jornadas de malos pasos y luego van a Guasacualco (Coatzacoalcos) y Campeche”. (Relación de Ocozocuatla, Navarrete, 1968: 372). De esta manera sabemos, a partir de fuentes históricas, la importancia que estos afluentes tenían para el tránsito de personas y mercancías (Helbig, 1964; Lee, 1989; Ruz, 1998). En cuanto a la orografía, el cerro más importante para el periodo de estudio es la Xineta, conocido y señalado como el punto que dividía los dos reinos, el de México y de Guatemala. (AGN, Planos, No. 8) (véase mapa 2).

---

4 Como es el caso de la Carta General del Estado de Chiapas de Secundino Orantes, 1856. (Mapoteca Orozco y Berra, 1856)

**Mapa 2.** Pueblos, ríos y espacio de frontera entre la Capitanía General de Guatemala y la Nueva España.



Fuente: Elaboración propia.

Desde su origen, una parte de esta región fue considerada, con base en la concepción occidental, un espacio vacío o desierto: sin agricultura, ni ganadería, ni evangelización. Con una enorme cadena de masa montañosa, transitada por “malos caminos [...] a malos pasos [...]” (Navarrete, 1968, p. 372) que urgía a pensar en nuevos caminos y rutas comerciales, buscando recortar las distancias en el traslado de mercancías y personas entre la Nueva España y la Capitanía General de Guatemala.

**Poblar el valle, transitar el desierto**

A partir del procesamiento de datos y cruce de capas de información geográfica generadas en el SIG, se sabe que el espacio fronterizo de la región de estudio era en realidad algo más complejo que un desierto o un despojado debido a la nueva actividad ganadera, al establecimiento de parroquias

regulares y seculares para la evangelización, y la existencia de sociedades preexistentes a la llegada de los españoles, los zoques de Chiapas (Aramoni, 2014). En conjunto, las parroquias seculares y regulares demarcaban las jurisdicciones episcopales; mientras el clero secular estaba encabezado por los obispos, quienes dictaban la política diocesana de la mano de sus Cabildos Catedralicios; el clero regular, estaba conformado por los órdenes religiosos. La población indígena acudía a las iglesias administradas por el clero regular, comúnmente reconocidas como doctrinas, las cuales formaron parte de la organización diocesana hasta 1650; y los españoles a las del clero secular, asociadas a la figura de los curatos (Flores, 1985; Gerhard, 1986; Navarro, 2020).

En los documentos del periodo sobre el otorgamiento de mercedes para estancias ganaderas este espacio se describió como despoblado y por tanto susceptible de poblar:

“Para el y para sus herederos y subcesores y para quien // del o dellos oidores causa títulos boz o razón con que den//tro de una legua de la parte y lugar donde pusiere las // dichas arsas y corrales no se pueda asentar otras estancias casas //y corrales y los pastos y abrevaderos sean comunes y con// que dentro de un año que corra del dia de la dacta deste titu//lo a obligado a poblar la dicha estancia y no lo tenga y otro // año despoblado so pena de lo aver perdido y realenga //se pueda dar a esta persona qual convenga y sola dicha //pena dentro de quatro años no las pueda vender a ninguna // persona de qualquier estado y condición que sea y en // ningún tiempo a yglesia ni a monesterio ni a otra persona/de las en derecho” (AGCA,1590)

Desde esa misma óptica occidental, ese espacio estaba en constante construcción, y se iba consolidando en tanto se establecía un proceso de ganaderización que trastocaba las formas culturales de las poblaciones nativas, mediante la introducción de la ganadería con el otorgamiento de mercedes para estancias de ganado mayor, con yeguas, garrones, vacas y caballos (AGCA, 1588; AGCA, 1590; AGCA, 1592; Rubio, 1960) y de ganado menor, principalmente con cerdos (AGCA, 1588). La ganadería entendida como actividad económica nueva y dominante, fue impulsora de la llegada de nuevos colonos europeos, en tanto la población indígena era diezmada por las epidemias que azotaban a la región, lo que provocó la desaparición de importantes pueblos de población india como fueron Magdalena de la Pita y Tacuasintepac (AGCA, 1785; AGCA, 1795; AGCA,



1803; Archivo General de Chiapas (AGCH), 1955a; Esponda, 2009b; Obara-Saeki y Viqueira, 2017) (véase mapa 2 y 3).

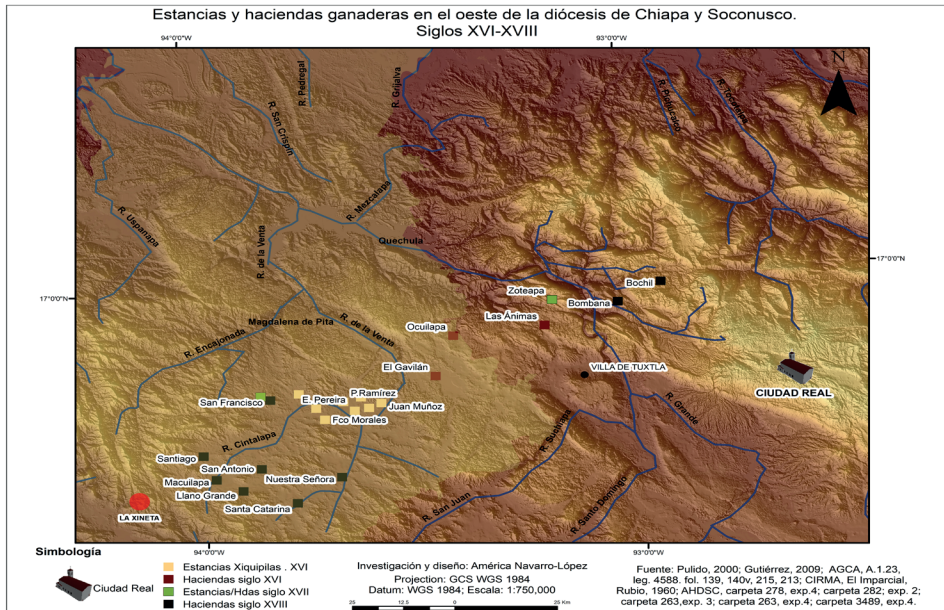
En el Desierto de Tuxtla-Valle de Xiquipilas, el establecimiento de estancias ganaderas<sup>5</sup> inició desde fines del siglo XVI, en las cercanías de Tuxtla; con los sitios para estancias propiedad de Pablo Ramírez, indio de Xiquipila; Francisco de Morales, indio de Chiapa; Estevan Pererira, cura de la catedral de Ciudad Real; Juan Muñoz de Feria, vecino de Ciudad Real; Xpobal de Guevara, indio de Xiquipila; Tomás de Aquino, indio; Don Miguel, indio vecino de Xiquipila; Luis Gómez, vecino de Ciudad Real (AGCA, 1590, 1592); asimismo, en las haciendas de El Gavilán, Ocuilapa, Las Ánimas, Zoteapa, Bombana y Bochil. Posteriormente, durante el resto del periodo colonial, la proliferación de hacendados tuvo mayor presencia en el Valle de Xiquipilas, en las haciendas de San Francisco, Santiago, San Antonio, Macuilapa, Llano Grande, Santa Catarina y Nuestra Señora (Pulido, 2000; Gutiérrez, 2009; AHAG, 1627-1812) (Véase mapa 3). De la misma manera que en otras demarcaciones eclesiásticas coloniales, y de acuerdo con la información que sugieren las fuentes, después del proceso de composiciones de tierras<sup>6</sup> que tuvo su primera etapa en 1591 y que fue retomado en 1643, es probable, que la formación de grandes propiedades de hacendados y finqueros, se haya formalizado vía la ganaderización, convirtiéndose esta en un instrumento que ayudó a consolidar el sistema de tenencia de la tierra implantado por los españoles en los territorios conquistados. En ese sentido, la ganadería fue una estrategia de fronterización importante que además servía de soporte a un proceso que buscaba privatizar la tierra, el cual fue definitorio en el rumbo que tomó la propiedad rural en el resto del periodo colonial (Aguilar-Robledo, 1998; Navarro, 2020).

El hecho de que el otorgamiento de mercedes para estancias ganaderas proporcionara derechos de propiedad sobre la tierra, captó simpatías entre los nuevos colonos, además, a través de ellas se cumplía la finalidad de la autoridad real: ocupar el territorio (Navarro, 2020). De esta manera, el proceso de regularizar la tenencia de la tierra encontró en las composiciones una medida que funcionaba para todos: una autoridad porque cobraba por ello; y unos propietarios de la tierra que buscaban regularizar sus propiedades. (De Solano, 1991)

5 Se trata de las estancias que han sido localizadas hasta el momento en documentos de la época.

6 Dentro del derecho castellano, la composición como figura jurídica era utilizada para regularizar situaciones al margen de la ley, como una ocupación indebida de la tierra por falta del título de merced, usurpación de tierras indígenas o su adquisición a través del fraude, y, por la invasión de tierras realengas (Navarro, 2020).

### Mapa 3. Estrategias de fronterización: ganaderización colonial en el oeste de la Diócesis de Chiapa, siglos XVI-XVIII.



Fuente: Elaboración propia.

Al tiempo que la ganadería se iba expandiendo, se fue dando un proceso de transformación cultural o evangelización, estableciéndose parroquias que en un inicio quedaron en manos del clero regular bajo la orden de los dominicos, a las que posteriormente se integraron en 1584 por petición del obispo de Chiapa y Soconusco, fray Pedro de Feria, clérigos seculares en Xiquipila la Grande y Tequancintepec (Tacuazín) (AGCH, 1955b; De Vos, 1985; Remesal, 1988; Pulido, 2000; Viqueira, 2017) (véase el mapa 4).

Aun cuando las fuentes no aportan datos sobre el establecimiento de parroquias administradas por franciscanos o agustinos, lo que sí revelan es la presencia de representantes de esas órdenes interactuando en ese espacio. Para el año 1595, el obispo Andrés Ubilla, quien se encontraba en Ocozocuaula, comentó que:

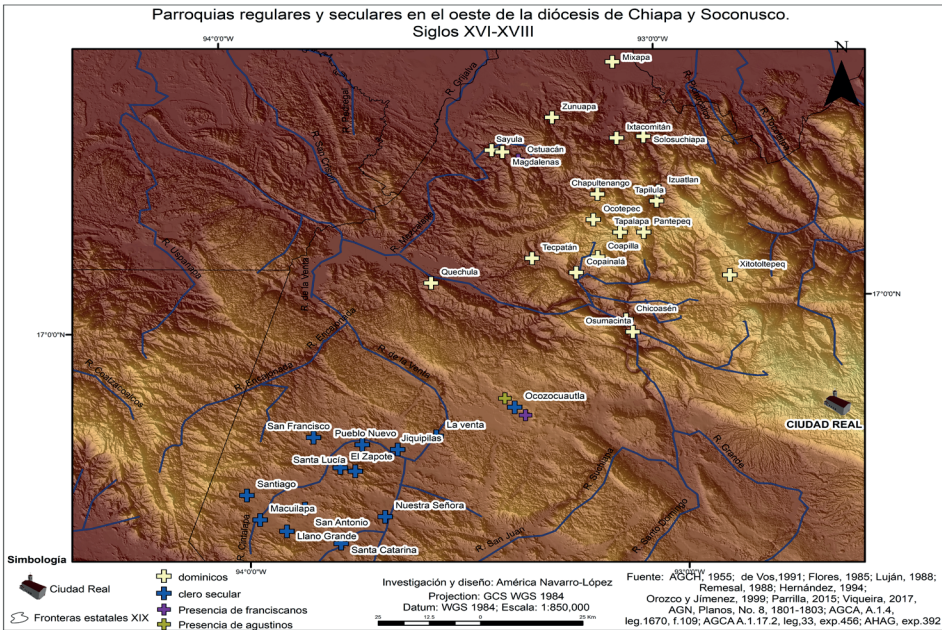
[L]e vino el libello infamatorio del pe Esteban Verdelet religioso de Sn. Francisco el qual entregó a su secretario para que lo leyese delante del y de algunos clerigos sus criados y después de oido me mando [...] con los

autos originales para que contase la passion del dicho pe y como trata a los obispos en estas tierras (Flores, 1985)

También en Ocozocuautla en el año 1600 se dictaron “autos contra el Padre fray Juan de Sta. Monica de la orden de San Agustín” (Flores, 1985, pp. 64-65). Puede apreciarse en el mapa 4 la representación de la presencia agustina en el lugar.

Por lo que respecta a las parroquias y sus doctrinas, para 1664 dentro de la región de estudio se encontraban establecidas las parroquias regulares de Tecpatán con las doctrinas de Quechula, Copainalá, Chicoasén, Osumacinta, Coapilla, Ocoatepec, Tapalapa, Pantepec, Comistaguacan, Tapilula, Isuatán, Solistahuacán, Comespa, Jitotol, San Pablo, Magdalenas, Nicapa, Sayula, Solosuchiapa, Istacomitán, Sunuapa y Manajé. En territorios más hacia el sur, se encontraban las parroquias seculares de Ocozocuautla, Pueblo Nuevo o Cintalapa, y Jiquipilas con Tacuazintepec (Flores, 1985; Luján, 1988; Parrilla, 2015) (véase mapa 4).

**Mapa 4.** Estrategias de fronterización: evangelización en el oeste de la Diócesis de Chiapa, siglos XVI-XVIII.



Fuente: Elaboración propia.

Con el paso del tiempo, esta geografía del poder religioso presentó cambios, incluso en 1778, se encontraba asociada a fincas y haciendas. Para el caso de los seculares en Ocozocuatla, fue con la finca de La Venta; “Cintalapa y Jiquipilas con las Haciendas el Zapote, San Antonio, Macuilapa, Llano Grande, Buenavista, Santa Catarina, Ntra. Señora, Santa Lucía, San Francisco, Santo Tomás y Santiago. Por su parte, los regulares de Copainalá con Chicoasén y Osumacinta con la Hacienda Bombana; Jitolol, con Solistahuacán y Hacienda de Bochil” (Flores, 1985, pp. 109-110) (véase mapa 3 y mapa 4)

Esa nueva reorganización de las parroquias sucedió durante el proceso conocido como secularización, el que se caracterizó por un recuento y reorganización de las mismas, mayoritariamente aquellas administradas por el clero regular. Todo ello sucedía en el contexto del reinado de los Borbón (1700-1821) en España, quienes mediante una serie de medidas administrativas reorganizadoras del territorio buscaban recuperar los poderes cedidos por los Hasburgo a diversas corporaciones en sus posesiones de ultramar, entre ellas la Iglesia. El nuevo esquema administrativo-territorial, tenía en el fondo un cambio radical materializado en el sistema de Intendencias, el cual dominó hasta el fin del periodo colonial en 1821. (O’Gorman, 1968; De Vos, 1988; Commons, 1993).

Algo interesante que surge a partir de la activación de las capas proyectadas en el SIG y en la nueva cartografía generada, es la importante referencia que la organización territorial religiosa tuvo en el posterior trazo de las fronteras de los estados de la emergente nación mexicana, un tema poco abordado, probablemente por la falta de incorporación de la perspectiva espacial y cartográfica en los estudios históricos (véase mapa 4).

Las fuentes sugieren que conforme avanzaba el proceso colonizador, se fue entretejiendo una red de intereses económicos en torno al clero regular y secular que fue interrumpida por el reformismo borbónico, en una región en la que confluían los confines de dos reinos: La Nueva España y la Capitanía General de Guatemala, ambos con caminos que fueron un impedimento para un tránsito fluido de personas y mercancías, debido a una geografía accidentada y un medio físico extremo, en los trayectos entre la Capitanía y Tehuantepec, calificados como de un:

[T]remendo trancito[...] con infinitas incomodidades que los pasajeros, y los correos experimentan en sus personas, cargas, o equipages, y en las bestias que los conducen, por hacerse preciso en tiempo de aguas, embarcarse desde la Hacienda de San Vicente hasta el paraje nombrado Tierra colorada, por la anegación que causa el Rio de Tancochapa, los muchos cenegales, atascaderos, tembladeras, y ríos incómodos para vadearlos, caymanes que los havitan, mosquitos, gérmenes y otras sabandijas (AGN,1801-1803) (véase mapa 5).

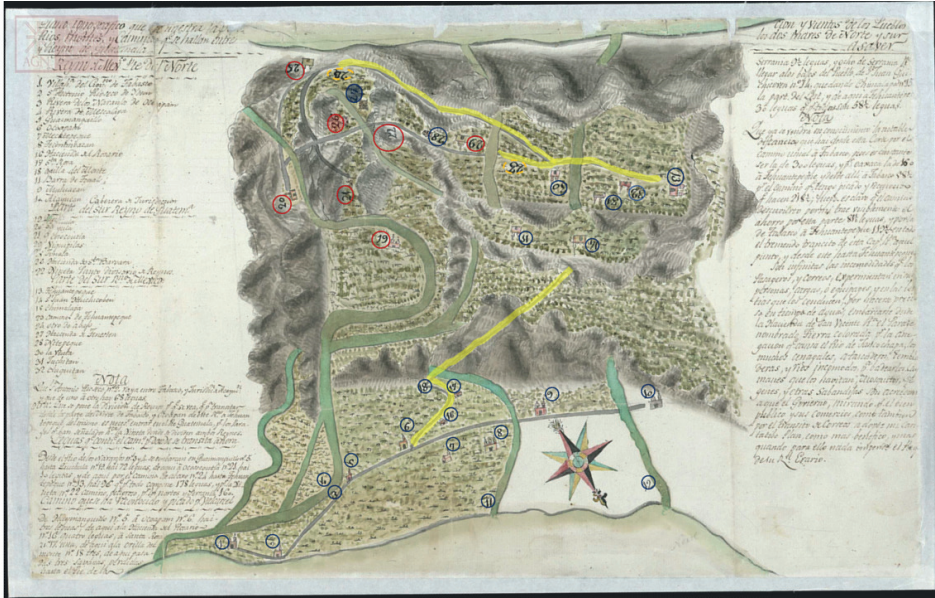
Conforme finalizaba el siglo XVIII e iniciaba el XIX, el control emanado de las políticas de la dinastía Borbón, no solo consistía en elaborar más descripciones de los territorios que la Corona poseía, sino que fueran lo más certeras y precisas posibles, al menos así lo deja entrever un comentario respecto a un mapa elaborado entre los años 1801 y 1803, en el que el autor Domingo de Valcárcel<sup>7</sup>, aun con el alto grado de detalle de las características del medio físico, distancias y cercanías entre nodos poblacionales que plasma en su representación cartográfica, es cuestionado debido a que “ el mapa [...] es informal porque se carece de escala matemática por donde arreglar las dimensiones de las poblaciones y caminos que se manifiesta con más claridad, y sin embargo que en la explicación numera las leguas de algunas poblaciones” (AGN,1801-1803) (véase mapa5).

Es así como se puede saber que la precisión para calcular cercanías entre poblaciones, distancias en general, ubicaciones y dimensiones certeras, tuvieron un papel de primer orden en la organización territorial y administrativa desde la óptica centralista borbónica, con mayor énfasis en territorios que anteriormente eran claramente controlados por el poder eclesiástico.

---

7 Teniente encargado de Justicia del Pueblo de Ocuapan, jurisdicción de Acayucán.

**Mapa 5.** “Plano ignográfico que demuestra la dirección y vientos de los pueblos, ríos, montes y caminos que se hallan entre los dos mares de Norte y Sur y Reino de Guatemala” (1801-1803).



Fuente: (AGN, Planos, No. 8).

El mapa histórico (véase mapa 5) elaborado por Valcárcel formó parte del proyecto que este dirigió a los Intendentes de Oaxaca, Veracruz y Yucatán, cuya finalidad fue evidenciar las ventajas que traería el trazo de un nuevo camino, “reconocido y picado” (AGN, 1801-1803) por él, en el sentido de recortar distancias entre poblaciones de la Nueva España y la Capitanía General de Guatemala.

Como se puede apreciar en el mapa 5, los nodos poblacionales más importantes eran la Villa de Tabasco (número 1, círculo azul), Ocoapan (número 6, círculo azul), Tehuantepec (número 23, círculo azul). El cruce fronterizo que a la vez es señalado como el único “punto divisorio entre los reinos” (AGN, 1801-1803) es el Cerro de la Xineta (número 22, círculo rojo)<sup>8</sup>. El área sombreada en forma de óvalo (transparencia color amarillo) es el espacio fronterizo entre los dos reinos: ambiguo y difuso.

8 Para distinguir a qué reino pertenecían los poblados se optó por encerrar en círculos color rojo los que corresponden a la Capitanía, y en azul los de la Nueva España.

Desde la óptica de Valcárcel, el autor, los espacios vacíos o desiertos, eran “savanas perdidas” (AGN, 1801-1803). Del lado novohispano, con el número 15 (en azul), se representa a Chimalapas; mientras que de la Capitanía, en círculos rojos, Quechula con el número 19; Ocozocautla, con el 21; y Xiquipilas, con el 29 (véase mapa 5a).

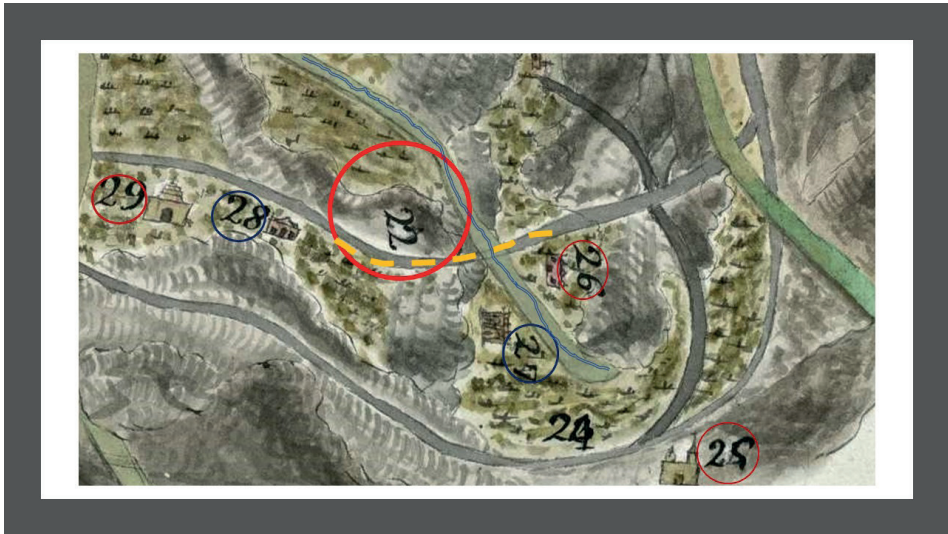
**Mapa 5a.** Vista recortada del “Plano ignográfico ... de Norte y Sur y Reino de Guatemala (AGN, Planos, No. 8), sobre el área de estudio.



Fuente: (AGN, Planos, No. 8)

El texto que acompaña al mapa, así como las glosas que aparecen en él, dan cuenta de la importancia del medio físico. El cerro, el río y los caminos se presentan como elementos indispensables para la identificación del único límite mencionado: la “Xineta” (AGN, 1801-1803). Desde la fuente histórica, se evidencia cómo todavía en el año 1803, fecha en que se concluye la representación cartográfica, la frontera entre la Nueva España y la Capitanía General de Guatemala era difusa y ambigua, prácticamente, sin límites. (véase mapa 5b).

**Mapa 5b.** Cerro de la Xineta encerrado en círculo rojo con el No. 22; río (Río Cintalapa) con línea azul; y, camino a Tehuantepec No.22, remarcado con línea segmentada en color amarillo.



Fuente: (AGN, Planos, No. 8)

Respecto al cerro de la Xineta, en 1586, fray Alonso Ponce en su paso por la zona comentó: “hace en aquellas sierras mucho frío, y hacía un viento en aquellas cuestas [...] con unas quebradas muy hondas, por las cuales a no ir con mucho tiento y muy poco a poco, era fácil despeñarse; llevaba un fraile un frasco vacío en el arzón de la silla y el viento se lo arrebató [...]” (Ponce, 1586, en: Esponda, 2005, p. 384)

En el mismo tenor, pero en 1626, Thomas Gage registraba que al no querer entrar en “aquel sendero montados en mulas [avanzaron] con las manos y rodillas en el suelo, o como suele decirse a gatas” (Gage, 1626, en: Esponda, 1985, p. 385). Para 1753, Francisco Javier Barroso y Lazo se refiere a la Xineta como el camino más malo de todo el derrotero (de Ciudad de México a Ciudad real de Chiapas), siendo una cuesta a la que hay que subir cuatro leguas ya que es:

[S]umamente peligrosa por los muchos precipicios que a poco trecho se pasan [...] suele ventear el *norte*<sup>9</sup>, tan recio que cuando acaece esto no es

9 Viento septentrional o del norte (Diccionario de autoridades, Tomo IV, 1734). Los vientos del norte se generan



posible bajarla ni subirla a caballo sino es a pie y con bastante trabajo. Respecto a que se teme que la fuerza del norte lo despida uno de la silla, o con cabalgadura [...] certifico en debida forma constarme lo furioso de dicho norte, pues en la primera ocasión que fui al Reino de Guatemala [...] nos arrebató tan furioso norte [...] que todos nos apeamos, y aun bajándola a pie, no estábamos seguros pues cuando corría recio el norte para mantenernos de firme, unos se acostaban en el suelo, otros se abrazaban a las peñas o de los árboles [...] y los animales no fijaban bien los pies [...] (Barroso y Lazo, 1753, en: Esponda, 1985, p. 388).

Al respecto, a principios del siglo XIX, fray Camilo Villoro, cura de Santo Domingo de Zanatepec, de la diócesis de Antequera, afirmaba que el nombre de la Xineta le había sido puesto a la cuesta, por “la desgracia que caballo y jinete, juntamente, experimentaron en tiempos de nortes, que son furiosos en dicho lugar, por los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero” (Bergoza y Jordán, 1802, en: Huesca *et al*, 1984, p. 93). Debido a la dificultad que implicaba cruzar esta zona, no resulta extraño que en la propuesta de Valcárcel, en la apertura del camino picado y reconocido por él, se evitara cruzar de un reino a otro por la Xineta.

Los vientos locales del Istmo de Tehuantepec (que limita por el oeste con la Sierra de Chiapas) han sido históricamente intensos. Ocurren con mayor ferocidad durante el invierno, de ahí que las fuentes citadas se refieran a las desgracias de caballos y jinetes, en ese viento encabritado, huracanado, ciclónico, que corría entre los mares del norte y sur sin obstáculo alguno, en la zona más estrecha entre la Capitanía General de Guatemala y la Nueva España, el confín entre los dos reinos.

### ***La propuesta de camino***

A partir de la propuesta del nuevo camino planteada por Valcárcel, se sabe de la importancia que en el contexto borbónico tenía la distancia en los caminos, misma que se reducía en poco más de 200 leguas en el tramo de Guatemala a Tabasco, y, de allí a Tehuantepec. En los dos casos dejando de pasar por la Xineta, aspecto que es particularmente importante

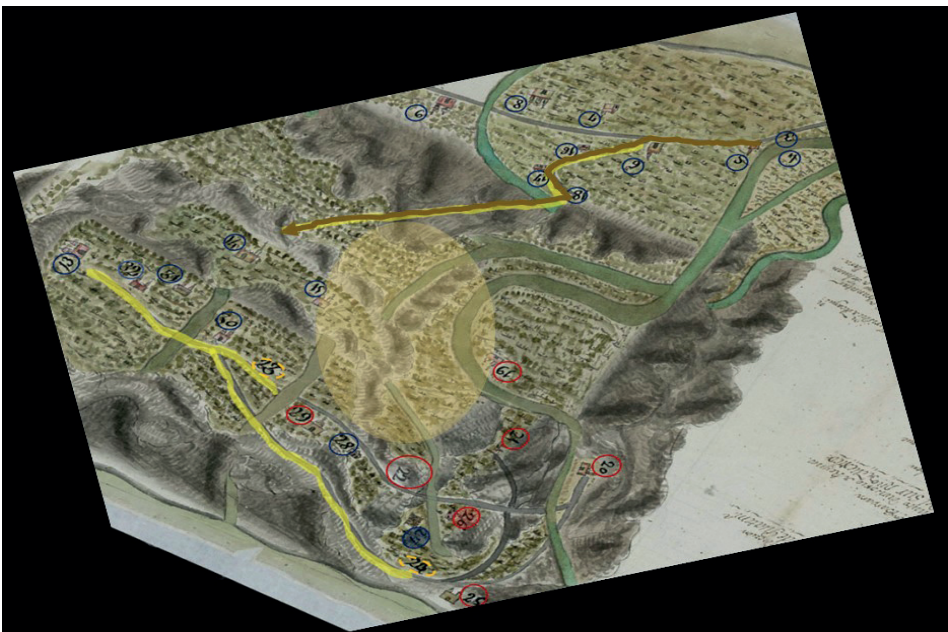
---

como resultado del desplazamiento sobre el golfo de México, en dirección sureste, de sistemas anticiclónicos formados sobre las grandes llanuras de Norteamérica, lo que resulta en la intrusión, sobre el golfo Tehuantepec, de un gradiente de presión notable que produce fuertes vientos, que alcanzan una velocidad media anual que excede 10 m/s, la más alta a nivel mundial (Juárez-Hernández y León, 2014; Ortega, 2021). Actualmente, estas características del viento han propiciado que la zona se convierta en una de las más atractivas del mundo para la inversión de capital en la generación de energía eólica, en detrimento de las prácticas culturales y calidad de vida de las comunidades indígenas que históricamente han ocupado la zona.

considerando que hasta ese momento era el único límite formalmente establecido y reconocido. Respecto al trayecto del camino picado y reconocido, se retoma un fragmento de la propuesta de Valcárcel, para ampliar la explicación en cuestión<sup>10</sup> (véase mapa 5):

De Huimanguillo No.5 á Ocoapan No. 6 hai tres leguas, de aquí a la Hacienda del Rosario No. 16 quatro leguas, á Santa Rosa No. 17 una, de aquí a la orilla del monte No. 18 tres, de aquí pasadas tres savanas perdidas hasta el pie de la serranía 9 ½ leguas y ocho de serranía hasta llegar a los bajos del Pueblo de San Juan Guichicoven<sup>11</sup> No. 14, quedando Chimalapas No. 15 la parte del este, y de aquí a Tehuantepec 30 leguas, por todas son 58 ½ leguas [...] (AGN,1801-1803) (véase mapa 5c)

**Mapa 5c.** Camino picado y reconocido por Valcárcel, con líneas en colores ocre y amarilla, el trayecto parte del No. 6 a las cercanías del No. 15, señalados en círculos color azul.



Fuente: (AGN, Planos, No. 8)

10 Resaltado en combinación de color ocre con amarillo, con una flecha al final, que inicia en el Huimanguillo (No.5) y termina entre Guichicoven (No. 14) y Chimalapas (No. 15)

11 Pueblo mixe de Oaxaca.

Es interesante el ejercicio de descomponer el mapa –en el sentido de [Harley, 2005](#)– y trabajar con colores sobre él, de lo que se desprenden preguntas para investigaciones futuras. Por ejemplo, pensar si desde los años previos al ocaso del periodo colonial, las autoridades de la Nueva España vislumbraban sus intereses territoriales trastocados y estuvieran intentando fronterizar la zona por medio de un camino en la ruta Huimanguillo-Chimalapas, que si bien era necesaria para llegar a Tehuantepec sin pasar por la Xineta, desde una lectura espacial sugiere una especie de cerco o demarcación, dentro de un extenso territorio que quedaba en la ambigüedad jurisdiccional entre dos reinos, en donde a la vez confluía el límite oeste del obispado de Chiapa y Soconusco.

Las fuentes sugieren que desde la primera década del siglo XIX las autoridades novohispanas en alianza con la diócesis chiapaneca y, en contraposición a los intereses territoriales de la Capitanía de Guatemala, estuvieran anticipando una geografía política y económica que insinuaba sutiles trazos de posibles fronteras que pudieran concretarse a través de los caminos, incluso en tiempos de guerra. Al menos así lo deja entrever el beneplácito por la propuesta de camino de Valcárcel, que a decir de los intendentes de Oaxaca, Veracruz y Yucatán sería:

[U]tilísimo este camino en todos tiempos y en particular en el de la guerra, es muy visible que esta Provincia florecería mucho y abonaría mas al comercio del Reyno Mexicano y de Guatemala, de manera que sería mejor puerta Tabasco para el comercio de Guatemala que ninguna de las que en el día tiene. Lo sería también para el comercio con Veracruz porque con mas facilidad podra surtir aquel comercio a aquellas Provincias de Tehuantepec por Tabasco que no por Veracruz, destinando sus buques con las mercaderías desde Europa por Tabasco a Tehuantepeque tanto en tiempo de paz como en el de guerra [...] ([AGN,1801-1803](#)).

En ese sentido, llama la atención que diez años después, el bachiller de la Iglesia Catedral de Ciudad Real de Chiapa, Mariano Robles, se quejara en la Corte de Cádiz de los mismos caminos “agrios y fragosos intransitables [...] y no haberse tratado en el largo discurso de 300 años de mejoras los dichos” ([Robles, 1813, p. 36](#)); además defendió una propuesta para la mejora de los caminos con miras a acortar distancias terrestres con canales para el traslado de mercancías. Específicamente, Robles estaba

interesado en la propuesta de la construcción de un canal en “el Istmo de Tehuantepeque entre los ... ríos de Guasacualcos y Chilimapa, mediante el cual se hará comunicable el mar del Sur con el del Norte, en atención a que el consulado de Guadalajara he ofrecido franquear los medios para tan importante obra” (Robles, 1813, p. 70)

### **Los SIG orientados hacia la historia: el método**

Los SIG-H, consisten en procesar datos obtenidos a partir del análisis de fuentes documentales y cartográficas históricas que, para el caso que ocupa este artículo, fueron localizados en fondos del Archivo General de la Nación de la Ciudad de México; en el Archivo General de Centro América y Archivo Histórico de la Arquidiócesis de Guatemala de la Ciudad de Guatemala; y, en el Archivo Histórico Diocesano de San Cristóbal de Las Casas (AHDSC). Respecto a la cartografía histórica, en el AGN se localizó el “Plano ignográfico que demuestra la dirección y vientos de los pueblos, ríos, montes y caminos que se hallan entre los dos mares de Norte y Sur y Reino de Guatemala” (AGN, 1801-1803).

Los datos de las fuentes primarias y algunas fuentes secundarias, referenciadas en la nueva cartografía generada, fueron utilizados para elaborar cartografía a partir de SIG. La idea central fue convertir a la cartografía generada en una herramienta analítica, a partir de la observación de patrones espaciales que permitieran poner a prueba las hipótesis y preguntas de investigación, luego, desde ese lugar, valorar la pertinencia de elaborar otras nuevas.

El primer paso consistió en hacer un análisis de las fuentes al localizar, separar y agrupar los datos geográficos, económicos, y religiosos, de la región de estudio. El criterio de selección de los datos, en escala temporal y espacial, obedeció a la temática que se pretendió abordar, en la cual fueron rescatados aquellos que eran de mayor interés de acuerdo con el problema de investigación, las preguntas, objetivo e hipótesis. Es decir, si se quería representar los conventos religiosos en el siglo XVII o las estancias ganaderas del siglo XVIII, solo fueron tomados esos datos de los documentos históricos consultados y referidos en los apartados anteriores.

Posteriormente, se pasó a la etapa de análisis de la dinámica espacial con diferentes capas de información que fueron obtenidas del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), con la finalidad

de ubicar los poblados y posicionarlos con una coordenada geográfica para generar el primer mapa de puntos. Justo en esta etapa, y porque los datos que se utilizaron son históricos, se hizo presente la dificultad de localizar de manera certera la ubicación de los lugares, misma que se resolvió desde diferentes herramientas: la primera fue a través de la georreferenciación desde el SIG de una fuente cartográfica histórica, que, si bien es posterior al periodo de estudio, conserva información geográfica en la mayor parte de los lugares de la región (*Army Military Section (A.M.S.), 1936*). Además, al procesar la información mediante la herramienta *georreferencing* del SIG, no sufrió mayor distorsión.

En lo referente a la ubicación de lugares, otra manera en que se procedió para representar los poblados, estancias, parroquias, etcétera, fue la de corroborar si un pueblo cambió de lugar, si cambió su toponimia, o si desapareció. Cuando surgieron dudas al respecto, se regresó a la fuente primaria, poniendo especial atención en la descripción del medio físico, así como en los rumbos, caminos, orientación y distancias, que acompañan la narrativa de los documentos de la época.

La información fue contrastada con bases cartográficas actuales, con cartografía histórica georreferenciada, mediante las herramientas de SIG. También fue comparada con cartografía histórica que no es posible georreferenciar, pero que al deconstruirla resulta de ayuda para poder fijar puntos de ubicación en donde se encontraban los lugares en cuestión. La finalidad de esta parte del proceso fue la de determinar ubicaciones que correspondan con las espacialidades del periodo de estudio y que a la vez sean verificables por medio del SIG. De ahí la importancia de utilizar este tipo de herramientas geográficas, que cuentan con un nivel aceptable de confiabilidad dada su precisión.

En la tabla de atributos, desde el SIG, se registran nombre y fecha del lugar localizado; ya que no se trata solo de fijar puntos asignándoles coordenadas geográficas, sino de referenciarlos. Iniciando de esa manera, la construcción de la base de datos (*geodatabase*) en formato *.shp*, a partir de los diferentes *shapefile* que la conformarán.

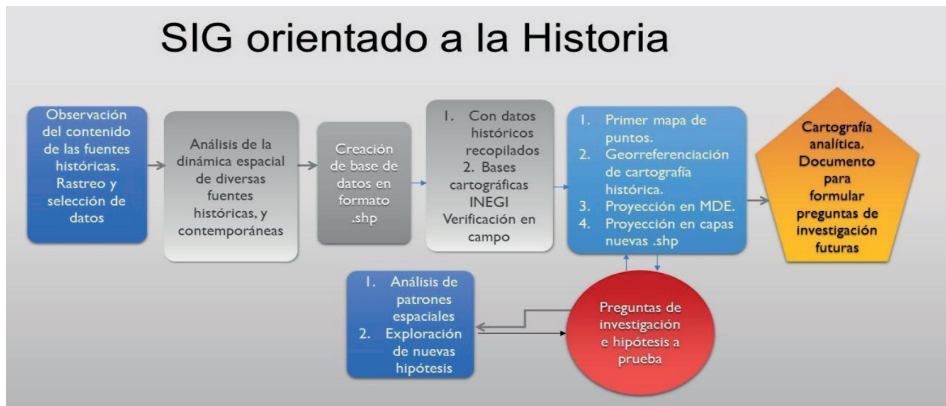
Una vez cubiertos los procesos anteriores, se estuvo en condiciones de elaborar el primer mapa de puntos que fue proyectado sobre un Modelo Digital de Elevación del INEGI (que en este caso es a 90m, pero puede ser a otras escalas, por ejemplo a 30m, 60m), en los *shapes* de cuerpos de

agua, y ríos, también de INEGI, así como en los nuevos *shapes* generados: estancias y haciendas ganaderas; y, parroquias religiosas. El resultado es una cartografía analítica en la que se puede observar, al activar y combinar las distintas capas, patrones espaciales que anteriormente no habían sido señalados, en buena medida porque desde la historiografía chiapaneca no se ha incorporado una visión espacial al problema de reconocimiento de la frontera oeste de la diócesis colonial.

Por último, para el análisis del “Plano ignográfico que demuestra la dirección y vientos de los pueblos, ríos, montes y caminos que se hallan entre los dos mares de Norte y Sur y Reino de Guatemala” (AGN, 1801-1803), se ubicaron los lugares que aparecen enlistados en los márgenes del mapa 5. Para ello, se recurrió a la base de localidades del INEGI<sup>12</sup>, así como a una carta topográfica de la División de Inteligencia Militar de Estados Unidos (A.M.S., 1936), escala 1:500,000, sobre el territorio de Chiapas y sus fronteras con Oaxaca y Guatemala. A partir de estas fuentes se estuvo en condiciones de elaborar un listado de los nombres de las villas, pueblos y haciendas en formato *shape* para poder incorporarlo al SIG.

El procesamiento descrito en los párrafos anteriores de este apartado se resume en la figura 1<sup>13</sup>:

**Figura 1.** Modelo SIG orientado hacia los estudios históricos.



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Navarro (2020)

12 Base de datos elaborada desde el año 1900, con base en listas, catálogos y registros de distintas dependencias del gobierno.

13 Elaborado con base en el modelo planteado por Navarro (2020), que para esta investigación ha sido adaptado de acuerdo con las características de las fuentes consultadas.

Por último, metodologías similares han sido utilizadas por otros autores para tratar asuntos que están relacionados con temas coloniales como la ganadería (Hunter, 2014), la tributación (Guzmán, 2017), el patrón de asentamiento (Lefebvre, 2017), las visitas de conquistadores (Anaya y Espejel, 2018), y, la construcción del espacio fronterizo (Navarro, 2020).

### **Consideraciones finales**

La frontera colonial oeste del obispado de Chiapa y Soconusco fue un espacio en sí mismo, no una línea, que surgió como consecuencia de la falta de reconocimiento de las formas culturales de las sociedades que allí moraban, preexistentes a la llegada de los colonizadores.

Este espacio de frontera, en el oeste de la región Desierto de Tuxtla-Valle de Xiquipilas de la diócesis chiapaneca, se fue construyendo mediante un proceso de fronterización en el que la cercanía espacial y la distancia entre nodos poblacionales fueron un aspecto clave para el establecimiento de la ganadería como actividad económica predominante, y de parroquias regulares y seculares con fines de evangelizar a la población nativa. Esta frontera fue un espacio ambiguo en el que quedaban indeterminadas grandes extensiones jurisdiccionales, principalmente por las características del terreno, es decir, debido a su geografía.

Detrás del discurso de despoblamiento y poblamiento una élite política, ganadera y religiosa empezó a establecerse desde fines del siglo XVI, materializando su proyecto de manera más clara durante el siglo XVII, mediante la figura de las Composiciones de Tierra. No obstante, para fines del siglo XVIII y la primera década del XIX bajo el reformismo borbónico, esa situación cambió y el espacio se organizó de manera que todas las instituciones quedaban ligadas al poder real.

Al espacializar los datos históricos de las estrategias de fronterización puede apreciarse una cercana proximidad a la línea de lo que hoy conocemos como la frontera entre los estados mexicanos de Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Tabasco, misma que suele utilizarse en los estudios históricos para referirse a la frontera colonial de la diócesis de Chiapa y Soconusco, lo cual es un desfase o anacronismo espacial desde la historia. Es probable que esto se deba a la falta de estudios que consideren al espacio geográfico fronterizo como objeto de estudio.

Debido a la complejidad que implica la manipulación de datos históricos en el SIG-H, estos fueron analizados bajo el filtro de la metodología propuesta mediante un abordaje espacial-cartográfico que combina métodos, herramientas, técnicas de investigación, y enfoques que provienen de la geografía y de la historia.

El procesamiento de los datos en el SIG y las nuevas formas de representación cartográfica que se crearon para este espacio fronterizo trae a discusión la manera en que pueden ser aprovechados los mapas y fuentes históricas, más como insumos analíticos y no como anexos sin contexto en las investigaciones desde la historia y otras ciencias sociales. Incluso, en el ámbito de la tenencia de la tierra y en juicios político-territoriales entre entidades federativas, el mapa histórico puede ser una herramienta de análisis de primera importancia al momento de reconocer una frontera histórica y proponer el trazo de una nueva.

Finalmente, llama la atención la exclusión de las Chiapas en el proyecto de caminos de Valcárcel, situación que probablemente influyó en el atraso de la comunicación terrestre futura. Para fines del siglo XIX el trazo de la frontera como una línea recta en una zona caracterizada por una enorme cadena de masa montañosa, detonará una serie de constantes pleitos y litigios por la propiedad de la tierra entre particulares, comunidades indígenas y los nacientes estados de Chiapas y Oaxaca.

### **Agradecimientos**

La autora agradece a los revisores del artículo por sus pertinentes observaciones. La investigación fue realizada en el marco del Programa de Becas Posdoctorales de la UNAM.

### **Referencias**

- Acosta, G. (2009). Etnogénesis mixe-zoque: una perspectiva desde la prehistoria. En Lee, T. Domenici, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coords). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec*. (pp. 51-66). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
- Aguilar-Robledo, M. (1998). La transferencia y consolidación del sistema español de tenencia de la tierra en una región indígena fronteriza de



- la Nueva España: el oriente de San Luis Potosí, siglos XVI y XVII. *Espacio y Desarrollo*, 10, 48-73.
- Army Military Section 401. (1936). *Geographic Branch, Military Intelligence Division (G-2), General Staff, U.S.A.* United State Army: First Edition.
- Anaya, A. y Espejel, C. (2018). Legua a legua. Análisis de la visita de Antonio de Carvajal a Michoacán (1523-1524) desde los Sistemas de Información Geográfica. *Americae. European Journal of Americanist Archaeology*. 3, 65-78.
- Aramoni, D. (2009). Notas a cerca de los calpules en algunos pueblos zoques de Chiapas. En Lee, T., Domenici, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coords). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 237-249). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Aramoni, D. (2014). *Los refugios de lo sagrado. Religiosidad, conflicto y resistencia entre los zoques de Chiapas*. CONECULTA.
- Archivo General de Chiapas. (1955a). “Despoblación de Xiquipilas, Ta-coansintepec, Las Pitás, Coneta, Suchiltepeque, Popocatepeque, Tecatepeque, Bachajón, San Andrés, Ixtapilla y Sacualpa, 1733-1734, Documentos Históricos de Chiapas”, No. 4, (pp. 27-68). Archivo General de Chiapas.
- Archivo General de Chiapas. (1955b). “Plano y relación geográfica del obispado de Ciudad Real de Chiapa, formado por el Illmo. Sor. Obispo Fr. José Culebro Ramírez Arellano, año 1748, No. 5, (pp. 51-56). Archivo General de Chiapas.
- Báez, J., Rivera, A., Arrieta, P. (1985). *Cuando ardió el cielo y se quemó la tierra: condiciones socioeconómicas y sanitarias de los pueblos zoques afectados por la erupción del volcán Chichonal*. Instituto Nacional Indigenista, Serie Investigaciones Sociales No. 14.
- Barroso y Lazo. (1753). En “Testimonio de instrumentos que tocan al señor licenciado don Manuel de Mioño y Ortiz, chantre dignidad de la santa Iglesia Catedral de ciudad Real de Chiapa reino de Guatemala”, Archivo Histórico de San Cristóbal de las Casas, Fondo Diocesano, Carpeta, 3877, exp. 1. fojas 15-17v.
- Bravo, S. y Lopez, S. (1998). *Breve historia oral zoque*. Consejo Estatal para la Cultura y las Artes de Chiapas.

- Campiani, A. (2009). Arquitectura zoque prehispánica en El Higo, selva El Ocote, Chiapas. En Lee, T., Domenici, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coords). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 181-202). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Commons, A. (1993), *Las intendencias de la Nueva España*. Instituto de Investigaciones Históricas UNAM.
- Coutiño M. (2009). El conflicto agrario en los límites de Chiapas y Oaxaca: su trasfondo político. En Lee, T., Domenici, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coords). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 347-366). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Cordry, D. (1988). *Trajes y tejidos de los indios zoques de Chiapas*. (Trad. A. Fábregas-Puig). Miguel Ángel Porrúa/Gobierno del Estado de Chiapas, México. (Texto original publicado en 1941).
- Del Carpio, C. (2009). Chimalapas, territorio étnico de los zoques en disputa con el Estado mexicano. En Lee, T., Domenici, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coords). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 377-396). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- De Solano, F. (1991). *Cedulario de Tierras. Compilación de legislación agraria colonial (1497-1820)*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- De Vos, J. (1980). *La paz de Dios y del rey. La conquista de la selva Lacandona*. Colección Ceiba, Gobierno del Estado de Chiapas.
- De Vos, J. (1985). *Catálogo de los documentos históricos que se conservan en el fondo llamado "Provincia de Chiapas" del Archivo General de Centroamérica, Guatemala*. Tomo I. San Cristóbal de Las Casas: CIES-UNACH/ECOSUR.
- De Vos, J. (1988). El sentimiento chiapaneco: cuarteto para piano y cuerdas, opus 1821-1824. *ICACH*, 3, 31-50.
- De Vos, J. (1993). *Las fronteras de la frontera sur. Reseña de los proyectos de expansión que figuraron la frontera entre México y Centroamérica*. CIESAS-Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- De Vos, J. (2015). *Oro verde: La conquista de la Selva Lacandona por los madereros tabasqueños, 1822-1949*. Fondo de Cultura Económica.

- Domeneci, D. (2009). Continuidades, discontinuidades e interacciones culturales en el desarrollo cultural prehispánico de la selva El Ocote, Chiapas. En Lee, T., Jimeno, Domeneci, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coords). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 137-154). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Esponda, V. (2005). De ciudad de México a Ciudad Real de Chiapas, 1737-1740: derrotero, parajes y circunstancias, en Anuario 2004 (pp. 383-388)..Centro de Estudios Superiores de México y Centroamérica.
- Esponda, V. (2009a). Migración y colonización de tzotziles en los municipios de Cintalapa y Jiquipilas. En Lee, T., Domeneci, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coords). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 411-422). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Esponda, V. (2009b). El Pueblo de Santa maría Magdalena de Pita. En Lee, T., Domeneci, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coords). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 249-262). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Fábregas, A. (1987). Las transformaciones del poder entre los zoques. *Icah*, 3(1), 33-47.
- Fábregas, A. (2005). El concepto de frontera: una formulación, en Basil, A. (Coord) *Fronteras desbordadas. Ensayos sobre la frontera sur de México* (pp. 21-51). Ediciones Casa Juan Pablos.
- Flores, E. (1985). Secuela parroquial de Chiapas, un documento inédito. Boletín del Archivo Histórico Diocesano de San Cristóbal de Las Casas, Vol. II, no. 2 y 3.
- Gage, T. (1980). *Viajes en la Nueva España*. Colección Nuestros países, serie Rumbos, Casa de las Américas.
- Gerhard, P. (1986). *Geografía Histórica de la Nueva España*. Instituto de Investigaciones Históricas-Instituto de Geografía, UNAM.
- Gerhard, P. (1991). *La Frontera Sureste de la Nueva España*. Instituto de Investigaciones Históricas-Instituto de Geografía, UNAM.
- Gutiérrez, S. (2009). Casa, crisol y altar. De la hidalguía vasconavarra a la hacienda chiapaneca: Los Esponda y Olaechea, 1731-1821. UNICACH.

- Guzmán, C. (2017). Investigación histórica, los SIG y las Nuevas posibilidades epistemológicas y metodológicas, en Urquijo, P., Vieyra, A., Bocco, G. (Coordinadores). *Geografía e Historia Ambiental* (p. 214). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-UNAM.
- Harley, J. (2005). *La nueva naturaleza de los mapas: ensayos sobre la historia de la cartografía*. Fondo de cultura económica.
- Helbig, K. (1964). *La cuenca superior del rio Grijalva*. Instituto de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Hernández, E. (1994). *El Convento Dominicano De Chapultenango, Chiapas*. Gobierno del Estado de Chiapas/Consejo estatal de Fomento a la Investigación y Difusión de la Cultura/Instituto Chiapaneco de Cultura.
- Huesca, I., Esparza, M., y Castañeda, L. (1984). *Cuestionario de don Antonio Bergoza y Jordán, obispo de Antequera a los señores curas de la diócesis, I*. Archivo General del Estado de Oaxaca.
- Hunter, R. (2014). Land Use Change in New Spain: A Three-Dimensional Historical GIS Analysis. *The Professional Geographer*, 66(2), 260-273.
- Juárez-Hernández, S., y León, G. (2014). Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social. *Problemas del desarrollo*, 45(178), 139-162.
- Lee, T. (1989). Las rutas históricas de Tabasco y el norte de Chiapas, en Lorenzo Ochoa (comp.) *Comercio, comerciantes y rutas de intercambio en el Mexico Antiguo* (pp. 149-178). Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
- Lee, T. (2009). El papel civilizatorio de los olmecas y sus protagonistas los mixe-zoques en Mesoamérica. En Lee, T., Domenici, D., Esponda, V., Del Carpio C. U. (Coordinadores). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 67-80). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Lefebvre, K. (2017). Colonialismo y paisaje ¿cómo explotar los datos históricos para reconstruir el territorio colonial En Urquijo, P., Vieyra, A., Bocco, G. (Coordinadores). *Geografía e Historia Ambiental* (pp. 215-242). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-UNAM.

- Luján, J. (1988). *Relaciones de los Pueblos del Obispado de Chiapa 1772-1774*. Patronato Fray Bartolomé de las Casas/Programa Cultural de las fronteras/Instituto Chiapaneco de Cultura/H. Ayuntamiento Constitucional.
- Maestri, N. (2009). Patrones de asentamiento en la selva El Ocote: enfoque sobre los cambios entre el periodo Clásico Tardío y Posclásico. En Lee, T. Domeni, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coordinadores). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 121-136). de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Mapoteca Orozco y Berra. (1856). Carta General del Estado L. y S. de Chiapas, 343-CGE-7274-A. Colección General Estado de Chiapas.
- Navarrete, C. (1968). La relación de Ocozocoautla, Chiapas. *Tlalocan*, 5(4), 368-373.
- Navarrete, C. (1973). El sistema prehispánico de comunicaciones entre Chiapas y Tabasco. *ICACH*, 25 (7), 29-88.
- Navarro, A., y Urquijo, P. (2019). La frontera en el septentrión del obispado de Michoacán, Nueva España, 1536-1650. *Journal of Latin American Geography*, 18(1), 94-114.
- Navarro, A. (2020). *Construcción de un espacio. La Frontera septentrional del obispado de Michoacán, 1536-1650*. (Tesisdoctoral). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Navarro, P. (2011). Territorios marginales: los desiertos inventados latinoamericanos. Representaciones controvertidas, fragmentadas y resignificadas. En Trejo, D. (Coord) *Los desiertos en la historia de América: una mirada multidisciplinaria* (pp. 207-225). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad de Coahuila.
- Norman, T. (1988). Dual barrios and social class development in Middle America. *Ethnology*, 27(2), 195-211.
- Obara-Saeki, T., y Viqueira, J. (2017). *El arte de contar tributarios. Provincia de Chiapas, 1560-1821*. El Colegio de México.
- O'Gorman, E. (1968). *Historia de las divisiones territoriales de México*. Editorial Porrúa.
- Ortega, R. (2021). *Caracterización estacional de las variaciones diurnas del campo de viento en el Istmo de Tehuantepec*. (Tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología del Agua).

- Ortelli, S. (2011). Poblamiento, frontera y desierto: la configuración de un espacio regional en el centro-norte del Septentrión novohispano. *Antítesis*, N° 4 (8), p. 493-514.
- Ortiz, R. (2009). La revolución zapatista en los departamentos de Mezcalapa y Pichucalco, Chiapas (1910-1924). En Lee, T. Domeni, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coordinadores). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 265-312). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Paasi, A. (2002). Regional Transformation in the European Context: Notes on Regions, Boundaries and Identity. *Space & Polity*, 2 (6), 197-201.
- Paasi, A. y Prokkola, E. (2008). Territorial Dynamics, Cross-border Work and Everyday Life in the Finnish–Swedish Border Area. *Space and Polity*, No. 1 (12), p. 13– 29.
- Parrilla, A. (2015). *El antiguo convento de Santo Domingo en Tecpatán, Chiapas, México*. Tuxtla Gutiérrez: UNICACH/Consejo Estatal para las Culturas y las Artes de Chiapas.
- Pulido M. (2000). *Haciendas de Chiapas*. Consejo Estatal para la Cultura y las Artes de Chiapas.
- Real Academia de la Lengua (Diccionario de Autoridades) (1726-1739). *Diccionario de la lengua castellana en que se explica el verdadero sentido de las voces, su naturaleza con las frases o modos de hablar; los proverbios o refranes, y otras cosas convenientes al uso de la lengua*.
- Remesal, A. (1988). *Historia general de las Indias occidentales y particular de la gobernación de Chiapa y Guatemala*. Vol. II. Editorial Porrúa.
- Restall, M. (2019). *Cuando Moctezuma conoció a Cortés*. Taurus.
- Robles, M. (1813). *Memoria Histórica de la Provincia de la Chiapa, una de las de Guatemala, presentada al Augusto Congreso*. Imprenta Tormentaria.
- Ruz, M. (1991). *Los linderos del agua. Francisco de Montejo y los orígenes del Tabasco colonial*. Instituto de Cultura de Tabasco.
- Ruz, M. (1995). Desfiguro de naturaleza: los nobles de Ocozocuautila y los laboríos del Valle de Xiquipilas en 1741. *Anales de Antropología*, 29(1), 397-436.
- Ruz, M. (1997). Tacotalpa frente a Ciudad Real. En Ruz, M. (Editor), *Tabasco: Apuntes de Frontera* (pp. 38-66). CONACULTA.

- Ruz, M. (1998). Memorias del río Grande. En J. P. Viqueira y M. H. Ruz (editores). *Chiapas los rumbos de otra historia* (pp. 43-70). UNAM-Instituto de Investigaciones Filológicas-Centro de Estudios Mayas/UNAM-Coordinación de Humanidades/CIESAS/Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos/ Universidad de Guadalajara.
- Scheper, J. (2021). *The Church of the Dead: The Epidemic of 1576 and the Birth of Christianity in the Americas*. New York University Press.
- Sheridan, C. (2015). *Fronterización del espacio hacia el norte de la Nueva España*. CIESAS/ Instituto Mora.
- Torras, R. (2011). El impulso colonizador de la frontera terrestre de la península de Yucatán (siglo XIX). *Península*, 6(2), 103-122.
- Torras, R. (2014). *Dinámicas de asentamiento al son de la economía maderera en el suroeste yucateco*. Siglo XXI.
- Torras, R. (2016). La fijación de sentidos territoriales en una frontera en movimiento. *LiminaR*, 14(2), 150-162.
- Torras, R. (2019). Palo de tinte y territorialidad en la península de Yucatán, en las postrimerías del periodo colonial novohispano. *Temas americanistas*, (43), 231-248.
- Trejo, D. (2011). Introducción. En Trejo, D. (Coord), *Los desiertos en la historia de América: una mirada multidisciplinaria* (pp. 7-13). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad de Coahuila..
- Vázquez, V., y Winter, M. (2009). Mixes, zoques y la arqueología del Istmo Sur de Tehuantepec. En en Lee, T. Domeni, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coordinadores). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 219-234). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Viqueira, J. (1998). Las causas de una rebelión india: Chiapas, 1712. En Viqueira, J. y Ruz, M. (Editores). *Chiapas, los rumbos de otra historia* (pp. 103-144).UNAM-Instituto de Investigaciones Filológicas-Centro de Estudios Mayas/UNAM-Coordinación de Humanidades/CIESAS/Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos/ Universidad de Guadalajara..
- Viqueira, J. (2002). *Encrucijadas chiapanecas: economía, religión e identidades*. El Colegio de México/ Tusquets Editores.

- Viqueira, J. (2017). Geografía religiosa del obispado de Chiapas y Soconusco (1545-1821). *Entre Diversidades: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, (9), 147-207.
- Zurla, L. (2009). Excavación del Sector I de El Higo, Ocozocoautla, Chiapas: metodología e interpretación. En Lee, T. Domeni, D., Esponda, V., Del Carpio C. (Coordinadores). *Medioambiente, antropología, historia y poder regional en el occidente de Chiapas y el Istmo de Tehuantepec* (pp. 155-162). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

### **Fuentes documentales referenciadas en el texto y en la cartografía elaborada**

#### **Archivo General de la Nación (AGN)**

- AGN, Instituciones Coloniales, Ayuntamiento, Caminos y Calzadas. vol. 18, exp. 8, fs. 140-157, año 1801-1803. “Proyecto del camino [y] diligencias que promueve Domingo Antonio Valcarcel, proponiendo la apertura de un camino que partiría del pueblo de Ocoapan hasta el de San Juan Guchicovi, a fin de contar con un medio que comunicase en forma mas directa las provincias de Tabasco y Guatemala. el proyecto va acompañado de un mapa señalando la ruta que seguira el camino Cunduacan, Tabasco”.
- AGN, Instituciones Coloniales, Fondo *planos, mapas e ilustraciones*, No, 8, año 1801-1803, “Plano ignográfico que demuestra la dirección y vientos de los pueblos, ríos, montes y caminos que se hallan entre los dos mares de Norte y Sur y Reino de Guatemala”.

#### **Archivo General de Centro América**

- AGCA, Sección Colonial, Ramo Chiapas, A.I. 22, expediente 932, legajo 122, año 1588, “Alonso Díaz y Francisco de Pereña. Defensores del ayuntamiento del pueblo de Xiquipila, sobre derechos de una estancia de Ganado Mayor que disputa Dionisio de Pissa”.
- AGCA, Sección Colonial, Ramo Chiapas, A1.23. leg. 4588, fol. 140v, año 1590, “Título de un sitio estancia para yeguas, a Francisco de Morales yndio de Xiquipila Chiapa”.
- AGCA, Sección Colonial, Ramo Chiapas, A1.23. leg. 4588, fol. 139, año 1590, “Auto de un sitio para estancia a Pablo Ramírez, yndio de Xiquipila”



AGCA, Sección Colonial, Ramo Chiapas, A1.23. leg. 4588, fol. 215, año 1592, “Título para un sitio de estancia para ganado mayor y menor, a tres leguas del pueblo de Xiquipila, en el camino que conduce a Cahchula, junto al río Quaxinequilapa, a favor de Juan Muñoz de Feria, vecino de Ciudad Real”.

AGCA, Sección Colonial, Ramo Chiapas, A1.23. leg. 4588, fol. 213, año 1592, Título para un sitio de estancia para ganado situada en el valle de Xiquipila a favor del presbítero Estevan Pereira, cura de la catedral de Ciudad Real”.

AGCA, Sección Colonial, Ramo Chiapas, A.1. 17.2. leg. 33, exp. 456, año 1748, “Plano y Relación Geográfica del obispado de Ciudad Real, de Chiapa, formado por el Ilmo. Sor. Obispo Fr. José Cubero Ramirez de Arellano”.

AGCA, Sección Colonial, Ramo Chiapas, A.I. 24. leg. 1670, fol. 109, año 1814. “Fr. Galo esteban Petit es presentado para la doctrina de Quechula y su anexo Chicoacan, Obispado de Ciudad Real...”

AGCA, Sección Colonial, Ramo Chiapas, A1.4.(1), leg. 1 exp. 17, año 1785, “El Alcalde Mayor de Chiapa informa haber aparecido una peste nombrada de la *Bola*”.

AGCA, Sección Colonial, Ramo Chiapas, A1.4.(1), leg. 2 exp.22, año 1795, “Informa el Gobernador Intendente de Ciudad Real, sobre haber sido invadidos los pueblos por la peste de viruela”.

AGCA, Sección Colonial, Ramo Chiapas, A1.4.(1), leg. 2 exp.30, año 1803, “Informa el Gobernador Intendente de Ciudad Real, haber peste de Tabardillos”.

### **Archivo Histórico Arquidiocesano “Francisco de Paula García Pelaez” Arquidiócesis de Santiago de Guatemala.**

AHAG. Fondo Convento de Santo Domingo, exp. 392, años 1627-1812. “Expediente relativo a el convento de Santo Domingo de Ciudad Real”.

### **Archivo Histórico Diocesano de San Cristóbal de las Casas.**

AHDSC, Fondo Diocesano, Carpeta 278, exp. 4, años 1689-1690. “Expediente de la Junta Directiva de Diezmos para informar que se presentó José Pedrero como postor de los diezmos del priorato de Chiapa y del Valle de Jiquipilas.

AHDSC, Fondo Diocesano, carpeta 282, exp. 2, año 1710, “Autos de José de Tejada contra Juan Ángel Estrada por la mala administración de sus haciendas”.

AHDSC, Fondo Diocesano, carpeta 263, exp. 4, año 1738. “Auto resolutive respecto a la manera en que se ha de distribuir los bienes de la hacienda que pertenecía a Francisco Felipe Cadena al momento de su fallecimiento. Ciudad Real”.

AHDSC, Fondo Diocesano, carpeta 3489, exp.4, año 1790. “Expediente formado a raíz de la solicitud que hace la señora Ciriaca Salazar para que se levante el arresto a su marido Vicente Fernández”.

AHDSC, Fondo Diocesano, carpeta 1422, exp. 4, año 1813. “Padrón de la parroquia de Quechula, ranchos y anexos. Quechula”.

### **Fuentes hemerográficas**

#### **Centro de Investigaciones Regionales de Mesoamérica (CIRMA)**

CIRMA, Rubio, M. (1960, 11 de enero), “Apuntes para el Estudio de la Agricultura en Guatemala”, Colección *Diario El Imparcial*, CIRMA.

## Compatibilidad de soluciones PPP en línea considerando distintos tiempos de medición respecto a soluciones semanales SIRGAS

Compatibility of online PPP solutions considering different time intervals with respect to weekly SIRGAS solutions

Compatibilidade de soluções de PPP online considerando diferentes tempos de medição em relação às soluções SIRGAS semanais

*Arianna Murillo Méndez<sup>1</sup>*  
*Universidad de Costa Rica, Costa Rica*

*Jorge Moya Zamora<sup>2</sup>*  
*Universidad Nacional, Costa Rica*

### Resumen

Se realizó el Procesamiento Puntual Preciso en línea de un conjunto de archivos de observación diarios pertenecientes a 13 estaciones GNSS de operación continua en Costa Rica los cuales fueron adaptados a tres intervalos de tiempo: 24 horas, 6 horas en la mañana y 6 horas en la tarde. El estudio se realizó entre la semana 1934 y la semana 1986. El objetivo principal fue determinar la influencia que tienen los distintos intervalos de tiempo en las soluciones PPP obtenidas mediante el servicio en línea del CSRS-PPP de Canadá y sus discrepancias respecto a las coordenadas finales calculadas semanalmente por el Sistema de Referencia Geodésico para las Américas que actualmente están vinculadas a la solución ITRF2014/IGb2014. Los resultados demostraron que las diferencias en las componentes geocéntricas, además del intervalo de tiempo utilizado en el procesamiento, dependen también de la

- 1 Licenciada en Ingeniería Topográfica de la Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: [arianna.murillo@ucr.ac.cr](mailto:arianna.murillo@ucr.ac.cr),  <https://orcid.org/0000-0003-0250-1098>
- 2 Doctor en Ingeniería Geográfica. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional. Correo electrónico: [jmoya@una.cr](mailto:jmoya@una.cr),  <https://orcid.org/0000-0001-6953-4885>

ubicación geográfica, lo cual, representa un elemento a considerar en el caso de que los usuarios contemplen este servicio en línea como una opción para el cálculo de observaciones GNSS.

**Palabras clave:** Soluciones PPP, soluciones SIRGAS, intervalo de medición, comparación, georreferenciación

### Abstract

Precise Point Positioning (PPP) online was carried out on a set of daily observation files belonging to 13 GNSS stations of continuous operation in Costa Rica, which were adapted to three-time intervals: 24 hours, 6 hours in the morning and 6 hours in the afternoon. The study was conducted between week 1934 and week 1986. The main objective was to determine the influence of the different time intervals on the PPP solutions obtained through the Canadian CSRS-PPP online service and their discrepancies with respect to the coordinates calculated weekly by the Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS) and that are currently linked to the ITRF2014/IGb2014 solution. The results showed that the differences in the geocentric components, in addition to the time interval used in the processing, also depend on the geographical location, which represents an element to consider if users contemplate this online service as an option for computation of GNSS observations.

**Keywords:** PPP solutions, SIRGAS solutions, measurement interval, comparison, geo-reference

### Resumo

Foi realizado o Processamento Pontual Preciso Online de um conjunto de arquivos de observação diária pertencentes a 13 estações GNSS em operação contínua na Costa Rica, que foram adaptados a três intervalos de tempo: 24 horas, 6 horas da manhã e 6 horas da tarde. O estudo foi realizado entre a semana de 1934 e a semana de 1986. O objetivo principal foi determinar a influência dos diferentes intervalos de tempo nas soluções de PPP obtidas através do serviço online canadense CSRS-PPP e suas discrepâncias em relação às coordenadas. Sistema de Referência Geodésica para as Américas que atualmente estão vinculados à solução ITRF2014/IGb2014. Os resultados mostraram que as diferenças nos componentes geocêntricos, além do intervalo de tempo utilizado no processamento, também dependem da localização geográfica, o que representa um elemento a ser considerado caso os usuários contemplem este serviço online como um serviço online para cálculo de observações GNSS.

**Palavras-chave:** Comparação; Georreferenciamento; Intervalo de medição; Soluções PPP; Soluções SIRGAS.

## Introducción

El Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS) tiene como objetivo fundamental materializar el Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS) en Latinoamérica. SIRGAS actualmente cuenta con la red de funcionamiento continuo, SIRGAS-CON, que está compuesta por estaciones distribuidas en América Latina, las cuales ayudan a la densificación del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) (SIRGAS, 2022).

En Costa Rica se tienen un total de 14 estaciones receptoras de señales derivadas de Global Navigation Satellite System (GNSS), integradas

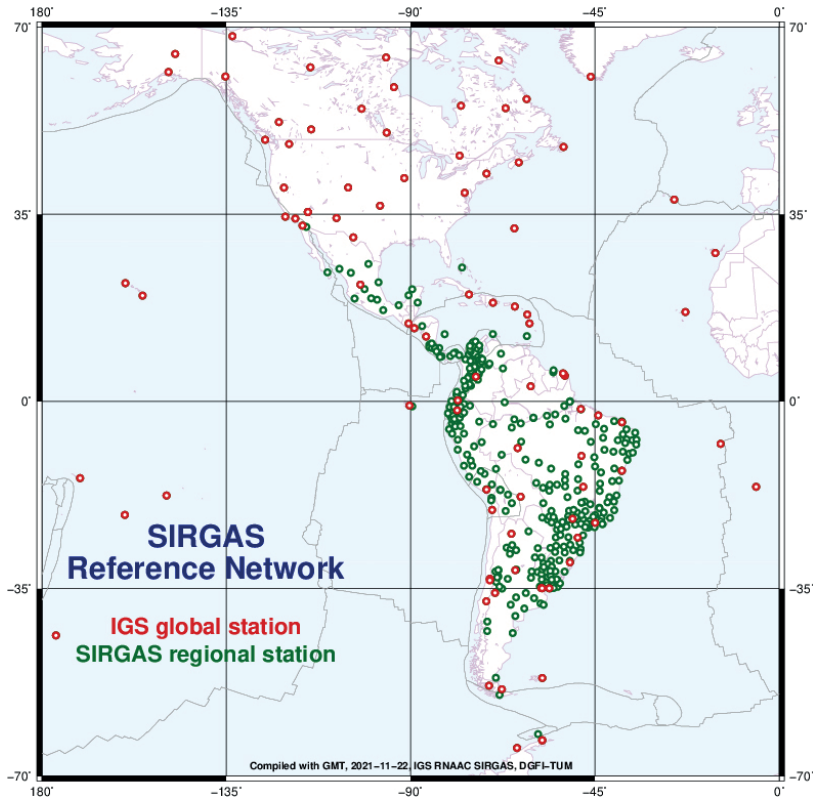
oficialmente a la red SIRGAS-CON. De ellas, 8 estaciones son administradas por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (IGNCR) y que representan actualmente la materialización del Marco Geodésico Nacional de Referencia denominado CR-SIRGAS (Moya *et al*, 2021, p.23). Las estaciones de la red SIRGAS-CON cuentan con la ventaja de que sus coordenadas geocéntricas cartesianas se determinan diariamente y con vínculos a estaciones internacionales del ITRF y del International GNSS Service (IGS), además tienen una alta exactitud, lo cual en el caso particular de Costa Rica representa una contribución directa al mantenimiento del marco internacional y proporciona a la vez una referencia geodésica dinámica que permite la realización de estudios científicos basados en esas soluciones.

Actualmente los usuarios de observaciones GNSS tienen la posibilidad de obtener posición mediante el uso de servicios de procesamiento gratuitos en línea, que, en su gran mayoría, realizan el cálculo por medio de la técnica de Posicionamiento Puntal Preciso (PPP), cuyas soluciones brindan una exactitud suficiente para muchas de las aplicaciones en topografía, catastro, geografía, cartografía, entre otras (Murillo, 2021, p.22) y (Moya y Bastos, 2015, p.13). Tras aprovechar esa ventaja, se realizó un Posicionamiento Puntal Preciso en línea mediante el Servicio Geodésico Canadiense del Natural Resources Canadian Reference (CSRS-PPP). Se procesaron archivos en formato rinex de 13 estaciones GNSS de operación por un periodo de 53 semanas. Los archivos iniciales de 24 horas fueron editados para generar dos archivos de 6 horas: uno entre las 06:00:00 y las 12:00:00 horas y otro entre las 12:00:00 y las 18:00:00 tiempo local (Murillo, 2021, p.40). De esta manera para cada uno de los 399 días se tuvieron un total de 3 archivos de datos.

### **Marco conceptual**

Las estaciones que integran la red de operación continua SIRGAS-CON constituyen la densificación regional del ITRF en América Latina, principalmente. La red SIRGAS-CON está compuesta actualmente por más de 400 estaciones cuya distribución se puede ver en la Figura 1 (SIRGAS, 2022). Esta red se basa en la contribución de organizaciones que procesan los datos y proporcionan soluciones semanales instantáneas de las estaciones referidas con el ITRF.

**Figura 1.** Distribución continental de las estaciones GNSS de operación continua de la red de referencia SIRGAS-CON. Los círculos de color rojo corresponden con estaciones del IGS y los círculos verdes con estaciones regionales SIRGAS



Fuente: SIRGAS, 2021

La alta exactitud que se obtiene semanalmente en las coordenadas de las estaciones de la red SIRGAS-CON producto de una estrategia rigurosa de procesamiento con programas especializados como Bernese y GAMIT-GLOBK (SIRGAS, 2022) permite considerarlas como las posiciones reales de las estaciones, las cuales pueden descargarse gratuitamente en la dirección: <https://sirgas.ipgh.org/red-gnss/coordenadas/>. Debido a esta característica es que se asumió con total confianza que las soluciones semanales finales se pueden usar como patrón de comparación. La información de este archivo contiene el marco de

referencia al cual se alineó la solución semanal, la época de la solución y el listado de la terna de coordenadas geocéntricas para cada estación activa en la semana respectiva. En este documento esos archivos se denominaron soluciones SIRGAS.

Alternativamente al procesamiento de datos GNSS científico, está el Posicionamiento Puntual Preciso, el cual es una técnica que determina la posición de un solo receptor a partir de datos de órbitas de los satélites y de sus relojes el algoritmo PPP, que además parte de los datos dados por la red de estaciones para brindar la solución (Berné y Garrido, 2014, p.252). La técnica PPP utiliza modelos de corrección de los factores que influyen en su determinación de la posición como son la ionosfera y troposfera, además de correcciones a las órbitas y los relojes, entre otros. El resultado son coordenadas con una exactitud lo suficientemente buena para diferentes aplicaciones, sin recurrir a los sofisticados modelos de procesamiento usados en el mantenimiento del ITRF. De esta manera, al usar el PPP en períodos de observación grandes, se puede obtener una exactitud centimétrica o subcentimétrica (Leick, 2015).

En los servicios en línea la calidad de los resultados depende del tiempo transcurrido desde la medición hasta el envío del archivo, ya que depende del tipo de órbitas utilizadas. Existen variantes en las que se pueden aplicar correcciones a los relojes y las órbitas de los satélites determinados por el IGS en tiempo real como el que se aplica por medio del software del Bundesamt für Kartographie und Geodäsie denominado BKG Ntrip Client (BNC) (BKG, 2022).

Aunque se tienen muchas combinaciones de configuraciones entre las que se destacan el PPP en post proceso, el PPP en tiempo real, el PPP estático y el PPP cinemático (Albán, 2018), en este artículo se presentan los resultados obtenidos directamente del procesamiento con el servicio CSRS-PPP en la variante PPP estático (Moya *et al*, 2017). El CSRS-PPP es un servicio en línea para el post procesamiento de datos GNSS que permite calcular posiciones de mayor precisión a partir de sus datos de observación sin procesar, utiliza órbitas finales de los satélites para calcular las coordenadas (CSRS-PPP, 2022). Este servicio está disponible en: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>. En este servicio se envían datos de observación rinex ya sea en modo estático o cinemático a través de Internet y brinda soluciones PPP en el Sistema de Referencia Espacial

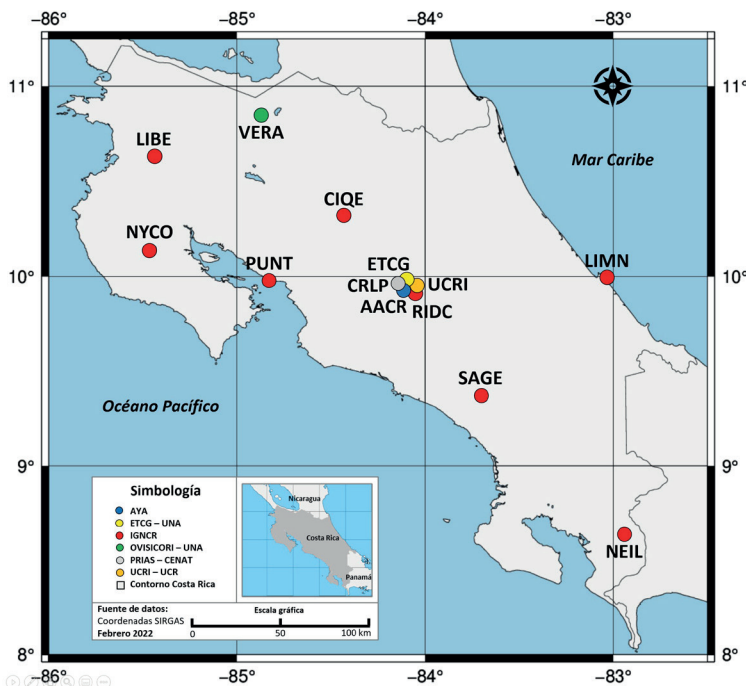
Canadiense y el Marco de Referencia Terrestre Internacional (CSRS-PPP, 2022). En este trabajo los resultados derivados del CSRS-PPP se denominaron soluciones PPP.

## Marco metodológico

### 1. Selección de los puntos de la red GNSS

Costa Rica actualmente cuenta con una densa red de estaciones GNSS que están integradas oficialmente a la red SIRGAS-CON, lo que implica que sus coordenadas son determinadas semanalmente por varios centros de análisis y centros de combinación. En este proyecto se usó una red compuesta por 13 estaciones activas cuya ubicación se muestra en la Figura 2, donde por medio de círculos de diferente color se representa el administrador nacional de la estación.

**Figura 2.** Ubicación y administrador de las 13 estaciones GNSS de Costa Rica



Fuente: Mapa compilado con Generic Mapping Tools (GMT) versión 6.0.0 (Wessel *et al*, 2019)



## 2. Establecimiento del intervalo de estudio y cantidad de archivos

El período de análisis de este estudio contempló el inicio de la semana GPS número 1934, la cual corresponde con la entrada en vigencia del ITRF2014 (Altamimi, 2016) y finalizó en la semana 1986. Se usaron archivos de observación diarios de las 13 estaciones GNSS seleccionadas para cada uno de los 399 días. Adicionalmente, el estudio contempló un triple procesamiento por día al trabajar con un archivo de 24 horas, uno de 6 horas para el intervalo de la mañana y otro de 6 horas para el intervalo de tarde (Murillo, 2021).

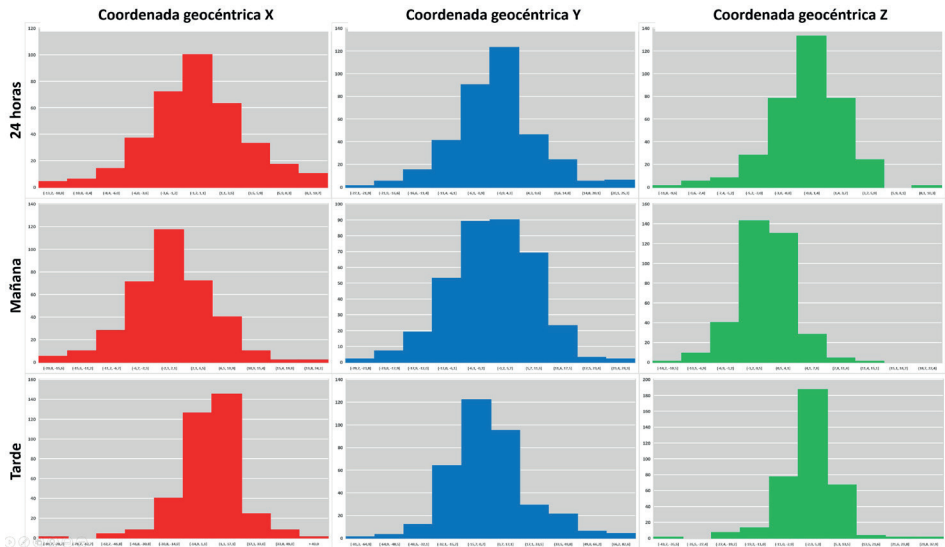
La edición de cada archivo rinex de 24 horas fue hecha por medio de la herramienta gratuita Translate Editing and Quality Control (TEQC) (TEQC, 2022) por medio de la programación de un script que daba como resultado los dos archivos de 6 horas en los períodos de mañana y tarde. Luego cada uno de estos archivos fue enviado al servicio CSRS-PPP, cuyo archivo de solución fue leído por medio de un script realizado por medio de lenguaje Python (Murillo, 2021).

## 3. Análisis exploratorio y test estadísticos de las soluciones PPP

Un primer chequeo de la consistencia de las soluciones originales PPP consistió en determinar valores atípicos por medio de la aplicación del criterio general de descartar aquellas soluciones que estuvieran por encima de un valor de tres veces la desviación estándar para cada una de las tres coordenadas geocéntricas, proceso que se realizó de manera iterativa. Luego de descartar los valores atípicos cada una de las tres coordenadas de cada estación se redujo a la primera semana (1934), generando, por lo tanto, diferencias de coordenadas geocéntricas  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ , las cuales fueron sometidas a un ajuste de observaciones directas (Murillo, 2021). Este análisis de las soluciones originales PPP mostró que una vez extraídos los valores atípicos (no más de un 11%), las diferencias de coordenadas en todas las estaciones presentaron una distribución normal.

Un ejemplo de lo anterior se presenta en la Figura 3 para la estación NEIL en la cual el conjunto de histogramas de las diferencias de coordenadas se generó contemplando un total de 10 clases. Las columnas de esta figura se refieren a las coordenadas X, Y, Z respectivamente en color rojo, azul y verde, mientras que las filas representan las sesiones de 24 horas, mañana y tarde.

**Figura 3.** Conjunto de histogramas para las diferencias de coordenadas geocéntricas considerando las sesiones de 24 horas, mañana y tarde para la estación NEIL



Fuente: Elaboración propia

El resultado de este cálculo brindó información sobre el promedio, estimación de la varianza de peso empírica, la desviación estándar del promedio, el mínimo y el máximo para la serie de datos anuales de cada estación. También, los vectores de diferencias de coordenadas categorizados por día, semana y días similares para cada uno de los intervalos de 24 horas, mañana y tarde, fueron sometidos a una prueba estadística bajo la distribución T-Student, considerando un nivel de incertidumbre clásico del 5% (Murillo, 2021).

#### 4. Análisis de las diferencias de las soluciones PPP

Una primera evaluación del comportamiento de las diferencias de las coordenadas geocéntricas de las soluciones PPP se presenta en el Cuadro 1, el cual, a partir del segmento de 24 horas, se muestra: el mínimo (Mín), el máximo (Máx), la desviación estándar a posteriori ( $s_0$ ), el valor ajustado de la diferencia ( $X$ ) y el error del valor ajustado ( $s_x$ ) como producto de ajuste de observaciones directas en la variante ponderado (Murillo, 2021).

**Cuadro 1.** Resumen estadístico de las diferencias de coordenadas geocéntricas por estación para los intervalos de tiempo de 24 horas, mañana y tarde

Estación	Δ	24 horas						Mañana						Tarde					
		Mín	Máx	S <sub>0</sub>	X	s <sub>y</sub>		Mín	Máx	S <sub>0</sub>	X	s <sub>y</sub>		Mín	Máx	S <sub>0</sub>	X	s <sub>y</sub>	
		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	
AACR	X	-3,2	11,3	0,5	3,5	1,1	-11,2	10,8	0,3	-1,7	2,1	4,2	32,3	0,5	17,6	3,3			
	Y	-10,5	15,9	0,5	2,2	2,3	-33,1	9,0	0,4	-14,3	4,1	-21,5	33,5	0,7	11,3	6,3			
	Z	-3,2	18,0	0,7	5,5	0,8	1,3	20,8	0,5	8,8	1,3	-8,7	16,7	0,8	3,1	2,1			
CIQE	X	-0,8	11,3	0,6	5,5	1,5	-7,9	23,9	0,5	5,2	3,1	-3,7	29,9	0,6	16,9	3,6			
	Y	-13,7	9,0	0,6	-2,6	2,8	-29,4	-4,0	0,4	-13,9	4,1	-4,1	36,2	0,6	20,3	5,7			
	Z	-4,2	17,1	0,9	5,5	1,0	-6,4	17,9	0,7	5,2	1,8	-9,2	12,6	0,8	1,2	2,1			
CRLP	X	-1,3	18,1	0,5	12,2	1,3	-2,4	25,1	0,4	8,5	2,4	8,0	39,3	0,5	25,4	3,3			
	Y	-15,5	26,5	0,6	11,5	2,8	-66,4	-2,3	0,4	-25,5	4,2	-37,0	36,7	0,7	8,9	6,6			
	Z	-12,0	8,9	0,8	-2,9	1,0	-6,1	12,7	0,6	3,5	1,4	-14,4	7,7	0,8	-2,9	2,3			
ETCG	X	-5,3	15,4	0,5	4,3	1,4	-2,7	15,9	0,4	7,8	2,4	-36,4	-8,9	0,6	-21,8	3,8			
	Y	-9,7	14,3	0,5	2,6	2,4	-8,3	40,3	0,4	11,9	4,0	-26,6	24,9	0,7	4,3	6,4			
	Z	-3,2	16,2	0,9	4,3	1,0	-7,7	12,9	0,6	2,3	1,4	-8,2	10,7	0,8	1,5	2,3			
LIBE	X	-1,5	11,4	0,5	4,9	1,4	1,8	21,5	0,4	11,2	2,7	7,6	34,4	0,5	20,0	3,7			
	Y	-15,2	5,9	0,6	-4,6	2,6	-23,0	3,9	0,4	-9,6	3,7	5,5	30,7	0,5	18,3	5,0			
	Z	-4,7	10,7	0,7	3,8	0,9	-3,2	13,1	0,5	5,4	1,3	-3,6	13,1	0,6	5,6	1,7			
LIMN	X	1,8	17,9	0,5	9,4	1,4	-12,2	22,7	0,5	2,9	2,9	4,9	33,0	0,4	20,1	2,6			
	Y	-13,8	3,9	0,6	-4,5	2,6	-29,1	1,4	0,4	-14,9	3,8	6,9	37,3	0,4	20,0	3,5			
	Z	-3,2	5,1	0,8	0,8	0,9	-1,4	12,6	0,6	3,7	1,5	-10,9	6,0	0,5	-5,5	1,2			
NEIL	X	-8,2	24,1	0,6	8,2	1,5	-12,1	28,1	0,4	5,9	2,4	-5,2	32,0	0,8	14,2	5,4			
	Y	-11,5	14,1	0,6	1,9	2,8	-18,1	13,1	0,4	-3,0	3,4	-16,8	32,5	0,8	5,1	7,4			
	Z	-6,6	21,3	0,9	7,7	1,0	0,6	28,2	0,6	12,8	1,3	-7,3	21,4	0,9	8,5	2,4			

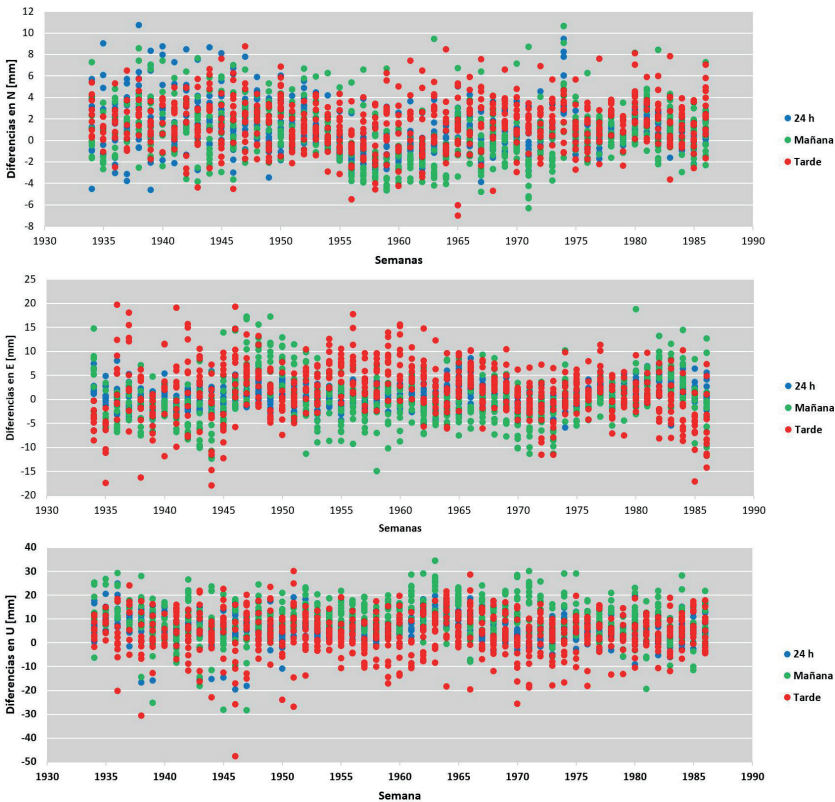
Estación	Δ	24 horas						Mañana						Tarde					
		Mín [mm]	Máx [mm]	s <sub>0</sub>	X [mm]	s [mm]	Mín [mm]	Máx [mm]	s <sub>0</sub>	X [mm]	s [mm]	Mín [mm]	Máx [mm]	s <sub>0</sub>	X [mm]	s [mm]			
NYCO	X	-4,1	8,8	0,6	3,3	1,3	-8,7	19,0	0,5	6,0	2,4	-9,5	8,2	0,5	-1,4	2,6			
	Y	-11,6	12,2	0,6	0,6	2,5	-14,3	23,4	0,5	4,7	3,6	-21,4	13,5	0,6	0,8	5,1			
	Z	-3,9	11,1	0,9	3,4	1,0	-5,8	12,9	0,6	2,0	1,3	1,5	18,2	0,8	11,7	1,8			
PUNT	X	-3,7	13,8	0,5	6,4	1,2	-13,2	14,7	0,4	1,7	2,1	8,2	33,8	0,5	23,4	3,1			
	Y	-19,0	10,1	0,6	-4,0	2,4	-36,0	12,4	0,4	-12,0	3,6	-0,8	48,7	0,5	19,7	4,6			
	Z	-4,9	11,5	0,7	1,5	0,8	-2,8	14,6	0,5	3,5	1,2	-3,1	11,0	0,5	3,1	1,3			
RIDC	X	-4,7	10,7	0,5	3,0	1,2	-10,1	18,9	0,4	4,5	2,3	-3,8	27,8	0,5	9,3	3,4			
	Y	-11,7	12,9	0,6	2,7	2,4	-2,2	41,2	0,5	18,1	4,4	-12,8	40,2	0,7	13,9	6,9			
	Z	-2,9	13,2	0,8	3,2	0,9	-3,9	10,9	0,6	1,7	1,5	-7,5	12,4	0,9	1,8	2,5			
SAGE	X	-5,5	22,9	0,5	9,8	1,3	-13,9	16,9	1,1	4,7	2,5	11,0	58,9	0,7	40,3	4,4			
	Y	-7,3	17,9	0,5	7,5	2,3	-18,9	16,4	0,6	2,2	3,3	-14,1	24,1	0,6	9,2	5,5			
	Z	-4,0	22,8	0,8	10,9	0,9	-4,4	21,2	0,1	8,8	1,3	-8,3	22,1	0,8	5,0	1,9			
UCRI	X	-3,0	13,0	0,5	4,6	1,1	-9,0	16,7	0,4	2,3	2,3	-1,6	33,7	0,5	12,4	3,4			
	Y	-22,1	7,9	0,6	-1,9	2,5	-40,5	12,1	0,5	-8,6	4,5	-8,1	33,5	0,7	12,8	6,7			
	Z	-3,0	15,0	0,7	5,0	0,8	2,00	18,1	0,6	9,0	1,5	-4,2	15,8	0,8	4,3	2,2			
VERA	X	-1,2	14,4	0,6	5,8	1,2	-2,2	18,9	0,5	7,7	2,9	-4,5	20,9	0,6	8,2	3,1			
	Y	-7,3	15,7	0,6	5,1	2,5	-2,3	32,6	0,4	15,0	3,8	-13,8	15,5	0,4	1,3	4,3			
	Z	2,0	10,8	1,0	4,9	1,1	-1,5	6,9	0,7	1,7	1,6	-0,3	9,4	0,5	3,9	1,6			

Fuente: Elaboración propia

### 5. Comparación de las soluciones PPP respecto a las soluciones SIRGAS

La comparación entre los resultados de las soluciones PPP respecto a las soluciones SIRGAS se presenta en el conjunto de gráficos de la Figura 4, donde por medio de círculos se plotearon las diferencias semanales de coordenadas topocéntricas (N, E, U) respecto a las soluciones SIRGAS mediante círculos de color azul, verde y rojo para identificar el intervalo de 24 horas, mañana y tarde respectivamente. En la primera fila de esta figura se tiene el comportamiento para la coordenada N; en la segunda fila, para la coordenada E; y en la tercera fila, el comportamiento para la coordenada vertical U.

**Figura 4.** Distribución de las diferencias en coordenadas (N, E, U) de las soluciones PPP respecto a las soluciones SIRGAS para cada una de las estaciones, para cada una de las semanas y por cada uno de los tres intervalos



Fuente: Elaboración propia

Se nota en los gráficos anteriores como la variación en la coordenada vertical U presenta una mayor variación como es de esperarse en los tres intervalos. Si se excluyen algunos valores puntuales la variación fue de 70 mm, sin embargo, las coordenadas horizontales (N, E) para los mismos intervalos presentaron variaciones aproximadamente entre los 20 mm y 35 mm respectivamente.

### 6. Cuantificación de las diferencias promedio de las soluciones PPP respecto a las soluciones finales de SIRGAS

La comparación entre los valores de las soluciones PPP respecto a las soluciones SIRGAS se presentan en el Cuadro 2 los valores resumen de los promedios de diferencias semanales para los intervalos de 24 horas, mañana y tarde. Estos valores representan la dispersión de las soluciones PPP en comparación a soluciones finales SIRGAS.

**Cuadro 2.** Diferencias en coordenadas (N, E, U) derivadas de la comparación semanal entre las soluciones PPP y soluciones SIRGAS

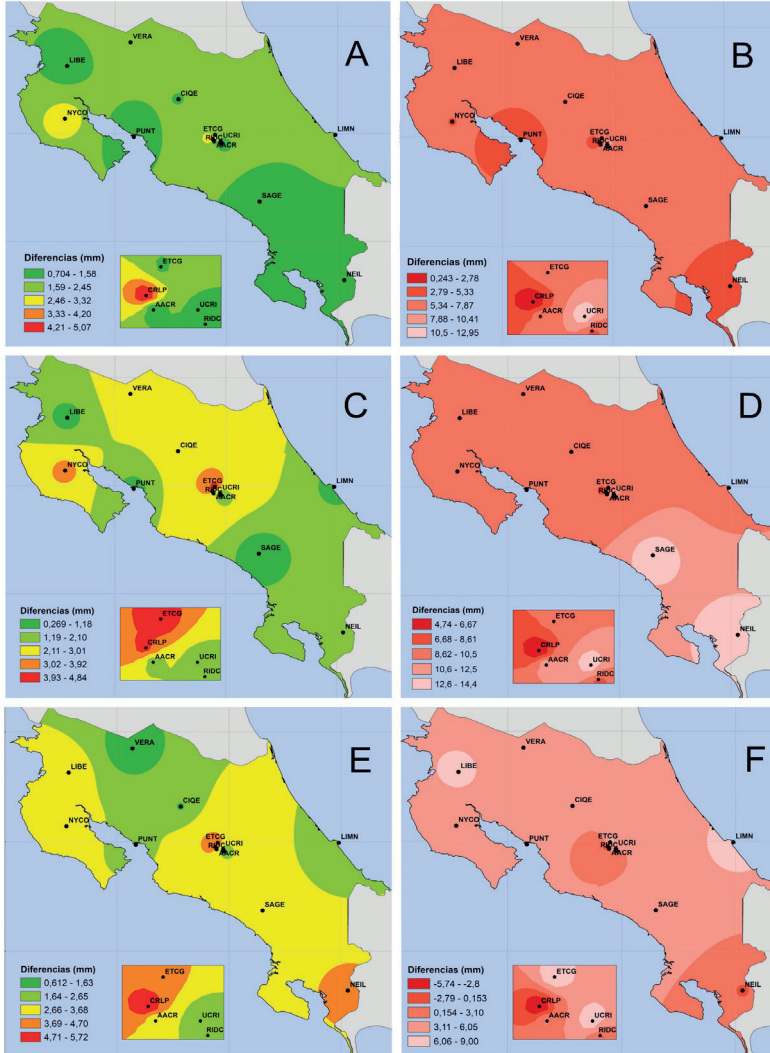
Semanal	Componente	X [mm]	$s_x$ [mm]	Mín. [mm]	Máx. [mm]	Rango [mm]
24 horas	N	0,95	2,30	-4,65	10,70	15,35
	E	0,74	2,37	-5,86	8,59	14,45
	U	5,85	5,32	-19,69	24,84	44,53
Mañana	N	0,62	2,64	-6,35	10,65	17,00
	E	0,07	5,29	-14,91	18,71	33,62
	U	10,30	8,20	-28,34	34,48	62,82
Tarde	N	1,58	2,30	-7,02	8,72	15,74
	E	1,86	5,71	-17,91	19,71	37,62
	U	3,84	9,02	-47,78	30,07	77,84

Fuente: Elaboración propia

Para brindarle al usuario una forma de conocer el comportamiento de estas diferencias, en el conjunto de mapas de la Figura 5 se han interpolado a nivel nacional los valores del cuadro anterior para el conjunto de soluciones semanales. Por medio de la herramienta de ArcGIS se generaron las superficies con iso-curvas de diferencias en distintos rangos de separación (ver escala de colores) contemplando la componente horizontal (N, E) y vertical (U). Los mapas de la Figura 5 se identifican con letras mayúsculas que permiten conocer el comportamiento en horizontal con las letras A, C y E; y en

vertical, con las letras B, D, F respectivamente. Los tres intervalos de estudio se muestran en la primera, segunda y tercera filas respectivamente.

**Figura 5.** Interpolación de las diferencias promedio de las soluciones semanales PPP respecto a las soluciones semanales SIRGAS. Las letras A, C y E corresponde con la componente horizontal mientras que las letras B, D y F representan la componente vertical para los tres intervalos de estudio.



Fuente: Elaboración propia

El proceso de interpolación aplicado reveló que las variaciones horizontales que usan tiempos de medición de 24 horas son más parecidos que al contemplar intervalos de 6 horas sea en la mañana o sea la tarde la variación llegaría a los  $\pm 5$  mm principalmente en el sector central y con algunas diferencias en el resto del país. El componente vertical toma interés no solo en valor numérico que, en general ronda los  $\pm 9$  mm y los  $\pm 12$  mm, sino que resalta las diferencias negativas para el intervalo de la tarde, precisamente en el sector central.

### Conclusiones

- Este estudio demostró que existen diferencias significativas entre procesar archivos de 24 o 6 horas respecto a las soluciones semanales finales de SIRGAS (Murillo, 2021). Estas diferencias, pueden en algunos casos ser considerables de acuerdo con las finalidades que tengan para los proyectos o trabajos, sin embargo, es probable que, para una mayoría de finalidades relacionadas con la topografía, el catastro, la geografía, la cartografía, levantamientos con finalidades SIG el procesamiento PPP en línea con el servicio CSRS sea una opción viable. Los resultados de este trabajo estuvieron bajo condiciones muy particulares, las cuales pueden ofrecer una primera aproximación a los usuarios de observaciones GPS.
- Las pruebas estadísticas realizadas al 95% de probabilidad a las soluciones PPP, mostraron que en las comparaciones diarias no existió diferencia entre realizar los levantamientos dentro de los intervalos de 24 horas, mañana y tarde. Por su parte, en el conjunto de cada día de la semana se obtuvieron valores superiores a un 71% de significancia, lo que indica que existe diferencia entre los días de la semana al realizar las mediciones respectivas. En el conjunto de datos semanales se tuvo un 51% de diferencias relacionadas con los intervalos de tiempo al momento de las mediciones.
- Tras comparar las soluciones PPP respecto a las soluciones SIRGAS y trabajando con los promedios semanales se obtuvo un 77% de diferencia en el segmento de 24 horas; un 64% en el segmento de la mañana; y 79% en el segmento de la tarde. Como se observa, existen similitudes en los porcentajes obtenidos para ambos promedios, lo que confirma que independientemente del conjunto de datos se tienen diferencias



entre el procesamiento PPP y las soluciones semanales SIRGAS. En este conjunto de datos, el componente U fue el único que mostró significancia en el intervalo de 24 horas y la mañana, es decir que hubo diferencia en el intervalo de tiempo como resultado del procesamiento PPP. Lo cual, no es de extrañar a sabiendas de que generalmente la coordenada Y tiene una dispersión mayor que las coordenadas X y Z por que corresponde a la coordenada vertical.

- Las discrepancias semanales y diarias de las coordenadas geocéntricas obtenidas por procesamiento PPP respecto a las soluciones finales SIRGAS mostraron comportamientos fluctuantes durante todo el periodo de estudio para las tres componentes (N, E, U), siendo los valores más dispersos en el segmento de la tarde con +35 mm a +90 mm especialmente en el componente U.
- El conjunto de mapas mostrados en la Figura 5 se brindó de manera general el rango de las diferencias obtenidas al procesar con PPP respecto a SIRGAS ya sea de 24 horas, mañana o tarde. El comportamiento superficial mediante una interpolación se da con la idea de ofrecer una aproximación nacional de las discrepancias en horizontal y vertical al utilizar el servicio PPP del CSRS respecto a las soluciones semanales SIRGAS. Es por lo anterior que los mapas presentados anteriormente representan una muy buena aproximación para los distintos usuarios que requieran hacer mediciones satelitales y procesar dichas observaciones con el servicio en línea CSRS-PPP. Idealmente se recomienda emular los tiempos de registro empleados en este estudio, sin embargo, es razonable que las distintas aplicaciones y objetivos de los proyectos requieren de una adecuación adicional al registro de las observaciones.
- A pesar de las diferencias encontradas se recomienda la utilización del servicio PPP del CSRS de Canadá como una buena alternativa para obtener coordenadas de una manera rápida y con una exactitud puntual suficiente para muchas aplicaciones como las anteriormente citadas. Lo anterior se podría lograr cuando el profesional disponga del tiempo para que sus resultados sean procesados con órbitas finales. Sin embargo, es importante recordar también que las soluciones PPP pueden ser consideradas dentro del marco geodésico nacional de Costa Rica CR-SIRGAS ya que las órbitas finales están dentro del ITRF2014.

## Referencias

- Albán, M. (2018). *Técnica de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) Aplicada a la Estimación de Vapor de Agua Precipitable (PWV) de la Estación EPEC.*. Universidad de las Fuerzas Armadas. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14672>
- Altamimi, Z., Rebischung, P., Metivier, L. y Collilieux, X. (2016), A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121. <https://doi.org/10.1002/2016JB013098>
- Berné, J. y Garrido, N. (2014). *GPS: Fundamentos y aplicaciones en la geomática*. 1era ed. Editorial Universitat Politècnica de València
- BKG. (2022). BKG Ntrip Client. <https://igs.bkg.bund.de/ntrip/bnc>
- CSRS-PPP. (2022). Point Positioning. <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>
- Leick, A. (2015). *GPS Satellite Surveying*. 4 edición. John Wiley & Sons, Inc.
- Moya, J. y S. Bastos (2015). Procesamiento GNSS en línea como alternativas a diferentes aplicaciones geodésicas. *Uniciencia* 29 (2). 1-14. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/6755/6897>
- Moya, J., Núñez C. y Cubillo, J. (2017). Usando la red de estaciones SIRGAS de Costa Rica para la cuantificación de las discrepancias respecto de un procesamiento PPP en línea. *Ingeniería*. 27 (1). 39-55. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/25429/28750>
- Murillo, A. (2021). *Análisis de las discrepancias en las coordenadas geocéntricas en una red de estaciones GNSS de operación continua en Costa Rica considerando un procesamiento PPP en línea con diferentes intervalos de tiempo respecto a las soluciones finales SIRGAS*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica.
- SIRGAS. (2022). El Sistema Geodésico para las Américas SIRGAS. <https://sirgas.ipgh.org/realizaciones/introduccion/>
- TEQC. (2022). TEQC. <https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>
- Wessel, P. *et al.* (2019). “The Generic Mapping Tools Version 6.1.1,” Tools for manipulating geographic and Cartesian data and creating plots, maps, and 3D views. <https://docs.generic-mapping-tools.org/6.1/tutorial.html>

## Planes comunitarios de riesgos en Suramérica. Una revisión sistemática

Community risk plans in South America. A systematic review

Planos de risco comunitário na América do Sul. Uma revisão sistemática

*José Rosales-Veitia*<sup>1</sup>



*Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Venezuela*

*Arismar Marcano Montilla*<sup>2</sup>

*Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Venezuela*

### Resumen

Esta investigación consistió en una revisión sistemática basada en los criterios de la declaración PRISMA, configurada a través la búsqueda en bases de datos Scopus, Dialnet; y Google Académico, para el periodo comprendido entre 2005 y 2021 de investigaciones que abordan la temática de planes comunitarios de riesgos (PCR). La inclusión de las publicaciones se basó en criterios como estudios enfocados en gestión de riesgos de desastres, experiencias comunitarias, investigaciones realizadas en Suramérica, trabajos en formato textual, estudios publicados por entes gubernamentales, publicaciones de autores corporativos, trabajos conducentes de grado publicados (licenciatura, maestría, doctorados); y publicaciones con acceso abierto. El proceso de selección se desarrolló en dos fases, arrojando un total de diecinueve trabajos que fueron revisados (n=19). Los resultados se analizaron a partir de: los PCR en los Marcos de Acción de Hyogo y Sendai, por área de conocimiento, por país suramericano, y los aportes de las investigaciones sobre los PCR. Se concluyó que

- 1 Profesor en Geografía e Historia, estudiante de la especialización en Educación en Gestión de Riesgos. Universidad Pedagógica Experimental Libertador – Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela. [andrew\\_rovei@hotmail.com](mailto:andrew_rovei@hotmail.com).  <https://orcid.org/0000-0002-0264-2715>
- 2 Doctora en Educación Ambiental. Universidad Pedagógica Experimental Libertador – Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela. [arismarcano@gmail.com](mailto:arismarcano@gmail.com).  <https://orcid.org/0000-0002-4262-6680>

los planes comunitarios se presentan como un instrumento importante para la capacitación y planificación multidisciplinaria en materia de gestión de riesgos de desastres que propician la reducción de la vulnerabilidad y fortalecen la resiliencia en las comunidades.

**Palabras clave:** planes comunitarios de riesgos, gestión de riesgos de desastres, educación, resiliencia, Suramérica.

### Abstract

This research consisted of a systematic review based on the criteria of the PRISMA statement, configured through a search in Scopus, Dialnet; and Google Scholar databases, for the period between 2005 and 2021 of research that addresses the topic of community risk plans (CRPS). The inclusion of the publications was based on criteria such as studies focused on disaster risk management, community experiences, research conducted in South America, works in textual format, studies published by government entities, publications by corporate authors, works leading to degree published (bachelor's, master's, doctoral); and publications with open access. The selection process was developed in two phases, yielding a total of nineteen works that were reviewed (n=19). The results were analyzed based on: the CRPS in the Hyogo and Sendai Frameworks of Action, by knowledge area, by South American country, and the contributions of research on the CRPS. It was concluded that community plans are presented as an important tool for training and multidisciplinary planning in disaster risk management that promote vulnerability reduction and strengthen resilience in communities.

**Keywords:** community risk plans; disaster risk management; education; resilience; South America.

### Resumo

Esta pesquisa consistiu em uma revisão sistemática baseada nos critérios da declaração PRISMA, configurada por meio da busca nas bases de dados Scopus, Dialnet; e Google Scholar, para o período entre 2005 e 2021 de pesquisa que aborda a questão dos planos de risco comunitário (PCR). A inclusão das publicações foi baseada em critérios como estudos voltados para gestão de risco de desastres, experiências comunitárias, pesquisas realizadas na América do Sul, trabalhos em formato textual, estudos publicados por entidades governamentais, publicações de autores corporativos, estudos conducentes a títulos publicados (bacharelado, mestrado, doutorado); e publicações de acesso aberto. O processo de seleção foi desenvolvido em duas fases, totalizando dezenove artigos que foram revisados (n=19). Os resultados foram analisados a partir dos PCRs nos Quadros de Ação de Hyogo e Sendai, por área de conhecimento, por país sul-americano, e as contribuições das pesquisas sobre os PCRs. Concluiu-se que os planos comunitários se apresentam como um importante instrumento de capacitação e planejamento multidisciplinar em gestão de risco de desastres que promovem a redução da vulnerabilidade e fortalecem a resiliência nas comunidades.

**Palavras-chave:** América do Sul; Educação; Gestão de risco de desastres; Planos de risco comunitário; Resiliência.

## Introducción

América Latina y el Caribe es una de las regiones con mayor afectación por desastres “naturales”. En concordancia con las **Naciones Unidas**

(2020) “...Desde el 2000, 152 millones de latinoamericanos y caribeños han sido afectados por 1205 desastres entre los que se cuentan inundaciones, huracanes y tormentas, terremotos, sequías, aludes, incendios, temperaturas extremas y eventos volcánicos”. Además, si se analizan los datos disponibles en el *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED) se evidencia que, desde las pérdidas ocasionadas, en el periodo que corresponde entre 1970 y 2019, los desastres han causado 510.204 muertes, afectado 297 millones de personas y los daños estimados superan los 437.000 millones de dólares (*Centre for Research on the Epidemiology of Disasters -CRED, 2020*).

Si a esa condición se le suma que la región es una de las más desiguales del mundo (*Montoya y Santo, 2020*) se puede comprender que en esa zona existen vulnerabilidades tipo económica, social, educativa, cultural, entre otras, por lo que resulta perentorio desarrollar acciones que permitan reducir la vulnerabilidad de las comunidades y aumentar su resiliencia ante la ocurrencia de desastres. Es por ello que los planes comunitarios de riesgos (PCR) se consideran fundamentales para educar a la población con relación a la gestión de riesgos de desastres.

Los PCR pueden ser entendidos como un instrumento que contiene un conjunto de reglas y procedimientos que ayudan a saber cómo actuar en caso de ocurrencia de un evento adverso (*Vargas, 2013*). Por ello, el *Comité Regional para la Gestión y Atención de Desastres Quindío (2012, p. 12)* explica sobre esos planes que son: “un conjunto de medidas anticipadas a una emergencia, elaborado gracias a un trabajo colectivo, que permite a los habitantes de determinado sitio o sector reducir la posibilidad de ser afectados, actuar en forma adecuada, o recuperarse si se presenta dicha emergencia”.

En este sentido, los PCR son un elemento fundamental dentro de la gestión correctiva del riesgo, la cual es entendida como lo explica *Ulloa (2011, p. 15)*: “a la adopción de medidas y acciones de manera anticipada para reducir las condiciones de riesgo ya existentes”.

Por lo tanto, los PCR ayudan a: a) a que la comunidad reconozca las condiciones del espacio en que habitan, b) a que los habitantes puedan identificar dentro de la comunidad los diferentes escenarios de riesgos a los que están expuestos, c) a establecer acciones para mitigar los posibles efectos de los desastres; y d) a la organización comunitaria para la gestión del desarrollo (*Martínez, 2008*).

Con base en los atestados comentado, ha surgido la siguiente inquietud: ¿Cómo se están desarrollando las investigaciones relacionadas con los PCR en Suramérica? Por lo que se planteó como objetivo Estudiar cómo se están desarrollando las investigaciones relacionadas con los PCR en Suramérica.

### **Metodología**

La investigación desarrollada fue asumida desde la perspectiva cuantitativa de tipo descriptiva a partir de la revisión sistemática de la literatura científica y un óptimo análisis crítico de las fuentes (Carrasco, 2009 y García Perdomo, 2015).

Este tipo de investigaciones se iniciaron originalmente en el seno de los estudios de Medicina, no obstante, en los últimos años se han realizado aplicaciones en áreas como las Ciencias sociales. Fundamentalmente, según lo establecido por Araujo (2011, p. 1):

[L]as revisiones sistemáticas son el mejor esfuerzo por recopilar y sintetizar evidencia científica sobre un tema, a través de un método que asegure que los sesgos y limitaciones a los que hemos hecho mención en el artículo precedente de esta serie, sean los mínimos posibles.

### **Procedimiento para la recolección y tratamiento de la información**

Para el desarrollo de esta revisión sistemática se tomó en consideración lo establecido por Urrutia y Bonfill (2010) quienes explican el procedimiento a seguir en este tipo de investigaciones: a) formulación del objetivo, b) definición de los criterios de búsqueda, c) establecer criterios de inclusión y exclusión de los estudios, d) revisión crítica de los textos, e) análisis de las fuentes consideradas; y f) presentación de las reflexiones finales y aportes surgidos a partir de la revisión sistemática.

### ***Criterios de inclusión y exclusión***

Para llevar a cabo la selección de la literatura científica se establecieron criterios (ver Tabla 1), los cuales permitieron encontrar información relacionada a las investigaciones realizadas y publicadas en el contexto de América Latina y el Caribe, escritas en español y portugués sobre las experiencias de construcción de planes comunitarios de riesgos, empleando como escala temporal el periodo comprendido entre los años 2005 a 2021,

periodo que se enmarca dentro de las políticas emanadas por el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015 y, el subsecuente Marco de Acción de Sendai 2015-2030, vigente actualmente.

**Tabla 1.** Criterios de inclusión y exclusión.

<b>Criterios de inclusión</b>	Estudios enfocados en gestión de riesgos de desastres Reportes de experiencias con investigaciones en comunidades Investigaciones realizadas en el contexto de Suramérica Investigaciones realizadas en el periodo 2005-2021 Trabajos en formato textual Estudios publicados por entes gubernamentales Publicaciones de autores corporativos Trabajos especiales, trabajos de grado y tesis publicadas de licenciatura, maestría y doctorado Trabajos con datos de autor y año de publicación Estudios de acceso abierto Encontrarse en las bases de datos Scopus, Dialnet o Google Académico
<b>Criterios de exclusión</b>	Trabajos con poca información de autoría Investigaciones autobiográficas Estudios realizados antes del año 2000 Investigaciones fuera del contexto suramericano Investigaciones documentales Reportes hemerográficos Guías de abordaje metodológico Estudios en formato multimedia Reportes en páginas web de poca confiabilidad

Fuente: Elaboración propia.

### ***Bases de datos y ecuaciones de búsqueda***

Para la recopilación de la información se realizó una revisión sistemática haciendo uso de los siguientes motores de búsqueda académicos: a) Scopus, b) Dialnet; y c) Google Académico. La escogencia de estas bases de datos obedece al prestigio de las publicaciones que se encuentran en ellas, son trabajos revisados por pares o que han sido revisados por docentes e investigadores universitarios.

Ahora bien, para la determinación de las ecuaciones de búsqueda, se identificaron previamente las palabras clave para la búsqueda de literatura científica (Moncada Hernández, 2014, p 110). De estas se lograron determinar siete términos individuales en español, que permitieron determinar cuatro ecuaciones de búsqueda, las cuales fueron traducidas al portugués (ver Tabla 2). Cada una de ellas correspondían a la categoría:

- **A\*:** Relación entre los planes comunitarios de riesgos y las comunidades de América Latina y el Caribe.

Adicionalmente, se emplearon caracteres y palabras especiales que permitieron refinar la búsqueda: a) comillas: para definir concretamente el tema abordado; b) los conectores: “+ / y” (castellano), “e” (portugués) fueron utilizados para agregar resultados de búsqueda en dos temas o más; c) conjunciones con palabras para indicar al motor de búsqueda la selección de un tema u otro: “o” (castellano), “ou” (portugués).

**Tabla 2.** Ecuaciones de búsqueda.

	Castellano	Portugués
A*	1 “Planes comunitarios” + “riesgos” o Planes comunitarios de riesgos	“Planos de comunidade” e “riscos” ou planos de risco de comunidade
	2 Planes de emergencia” y “Comunidades” o Plan comunitario de emergencia	“Planos de emergência” e “Comunidades” ou Plano de emergência comunitário

Fuente: Elaboración propia.

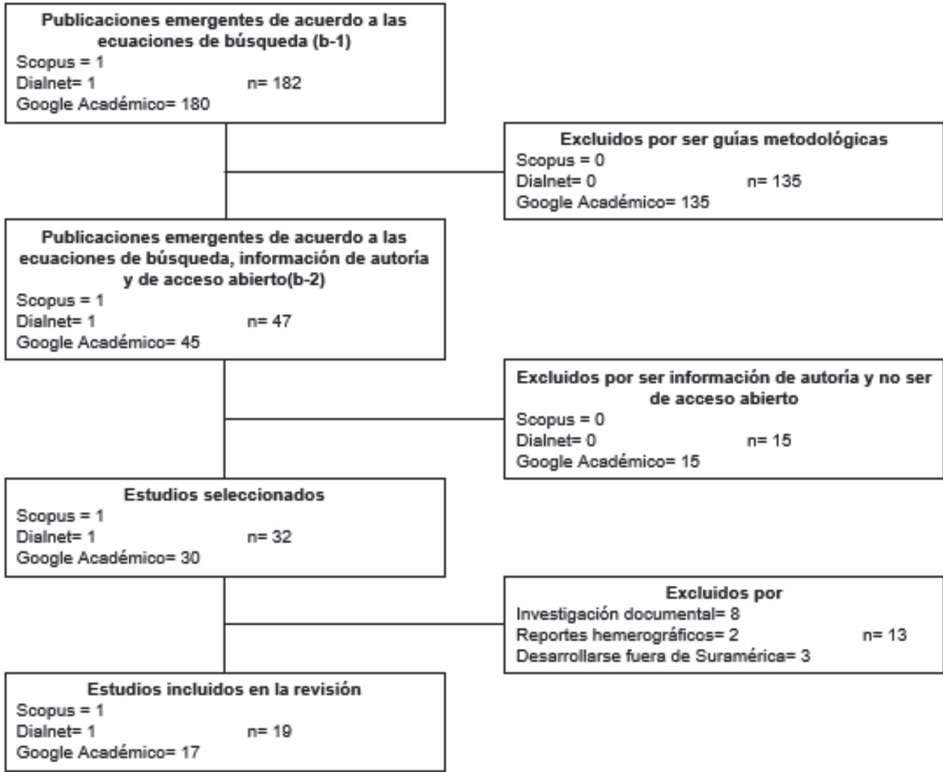
### ***Tratamiento de la bibliografía recopilada***

Luego de la aplicación de las ecuaciones de búsqueda, el material recopilado fue revisado, seleccionado y organizado sistemáticamente, de acuerdo con la base de datos de donde fue encontrado, los autores, el título y la fecha de publicación. Posteriormente fue sintetizado para la presentación de los resultados.

En la Figura 1 se muestran la cantidad de publicaciones que resultaron de la primera búsqueda principal. Luego de esta búsqueda se refinaron los criterios y excluyeron los documentos que se presentaron como guías de abordaje metodológico (b-1), con poca información de la autoría, no ser de acceso abierto (b-2) y, se han excluido aquellos trabajos que se presentaban como investigaciones documentales, reportes hemerográficos y desarrollarse fuera de Suramérica.



**Figura 1.** Diagrama de flujo para la inclusión y exclusión de trabajos.



Fuente: Elaboración propia.

### Presentación y discusión de resultados

A continuación, se procede a presentar los resultados obtenidos de la revisión sistemática a través de una matriz síntesis (ver Tabla 3). En esta se muestran algunos de los elementos fundamentales de dichas investigaciones: a) año de publicación, b) identificación de la autoría, c) título, d) país de procedencia; y e) tipo de documento.

**Tabla 3.** Matriz síntesis de trabajos considerados para la revisión.

Año	Autor	Título	País	Tipo de documento
2006	Román	Plan de prevención para emergencias por desastres naturales en la provincia de Pichincha, su organización y aplicación en la educación básica en la próxima década	Ecuador	Trabajo de grado de maestría
2010	Barros, Wasserman y Lima	Risco Ambiental na zona costeira: uma proposta interdisciplinar de gestão participativa para os Planos de Controle a Emergências dos portos brasileiros	Brasil	Artículo
2013	Aranguren	La participación comunitaria en la gestión de riesgos ante amenazas de origen hidrometeorológico en el contexto urbano local	Venezuela	Trabajo de grado de maestría
2014	Mora	Plan comunitario para la gestión local de riesgo desarrollado en la comunidad "El Cucharo"	Venezuela	Artículo
2015	Barragán	Reducción de la vulnerabilidad comunitaria y plan de acción en gestión de riesgo con énfasis en el desarrollo sostenible en el barrio Fausto Bazante, cantón Guaranda en el periodo 2014	Ecuador	Trabajo de grado de maestría
2016	Collaguazo	Propuesta de un Plan de Gestión de Riesgo Comunitario para la Parroquia Rural de Lloa del Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.	Ecuador	Trabajo especial de grado para licenciatura o equivalente
2016	Torres y Flórez	Construcción de plan comunitario para la gestión del riesgo de desastres, "niños promotores de territorios más seguros". (Estudio de caso Barrio Altos de la Florida - Tercer Sector, Soacha-Cundinamarca)	Colombia	Trabajo especial de grado para licenciatura o equivalente
2016	Díaz y Robles	Evaluación del grado de sostenibilidad de la aplicación de simulacros de gestión de riesgos de desastres en el sector popular de Las Adjuntas del municipio Naguanagua, estado Carabobo	Venezuela	Trabajo especial de grado para licenciatura o equivalente
2017	Callejas y Aguirre	Plan comunitario de gestión del riesgo para los barrios La Libertad y Matecaña del municipio de Perera - Risalda	Colombia	Trabajo especial de grado para licenciatura o equivalente

Año	Autor	Título	País	Tipo de documento
2019	Claros y Córdoba	Diseño de un plan comunitario en Potrerito zona rural, Jamundí 2019	Colombia	Trabajo especial de grado para licenciatura o equivalente
2019	Atencio, Attala y Kobziar	Fortalecimiento de las capacidades de respuesta comunitaria ante desastres. Caso DIPECHO, San Rafael, Mendoza	Argentina	Memoria de congreso
2019	Plaza y Cortes	Plan de gestión del riesgo comunitario en el portal del Jordán en Jamundí Valle del Cauca	Colombia	Trabajo especial de grado para licenciatura o equivalente
2020	Rivera-Florez et al	La gestión comunitaria del riesgo. Justicia espacial y ambiental	Colombia	Artículo
2020	Faria et al	Plan de gestión sustentable de riesgo de inundación: una propuesta desde Carabobo, Venezuela	Venezuela	Artículo
2020	Choque	Plan comunitario de adaptación al cambio climático en la comunidad 10 de Octubre del municipio de Tiraque	Bolivia	Trabajo especial de grado para licenciatura o equivalente
2020	Casco	Actualización del plan comunitario de gestión de riesgos para la comunidad Bellavista del cantón Pastaza, provincia de Pastaza	Ecuador	Trabajo especial de grado para licenciatura o equivalente
2020	Fernández	Plan comunitario de gestión de riesgos sísmicos de Joa, cantón Jipijapa	Ecuador	Trabajo especial de grado para licenciatura o equivalente
2020	PREDES	Plan comunitario de emergencias A.H. Las Capillas	Perú	Documento
2021	Haro	Plan de gestión de riesgos comunitario ante deslizamientos de la parroquia Chugá-Imbabura	Ecuador	Trabajo especial de grado para licenciatura o equivalente

Fuente: Elaboración propia.

De forma general se puede observar que el 26.32% de los trabajos considerados se concentran entre los años 2006 y 2014, lo cual corresponde al periodo relacionado con el Marco de Acción de Hyogo y, a pesar que este presenta la importancia de desarrollar la resiliencia en las comunidades, los planes comunitarios de riesgos buscaban identificar las amenazas, los cuales han quedado en su mayoría en propuestas sin la participación de la comunidad en estos. Es por ello que Lóor (2015, p.28) explicaba que se buscaba “analizar e incluir todos los procesos de participación directa de los ciudadanos en las actividades desarrolladas y en los futuros planes de prevención”.

En este sentido, se observa que, a partir del año 2015 se han concentrado el 73.68% documentos encontrados a partir de la búsqueda realizada, es probable que esta tendencia obedezca a una mayor comprensión del riesgo como construcción social y la importancia de trabajar con las comunidades, lo que coincide con la implementación de las políticas emanadas por el Marco de Acción de Sendai. Estas experiencias tienen un elemento en común relacionado con la importancia de educar a las comunidades para reducir sus vulnerabilidades, entrando en concordancia con lo establecido por Vázquez et al (2017, p. 1030):

La organización para desastres o emergencias es tarea de todos, en lugares de trabajo, en la escuela, en la familia y con los vecinos; la reducción de la vulnerabilidad solo se puede conseguir con la total participación de la comunidad reforzando en esta la educación y capacitación en los temas de prevención de desastres.

Por su parte, se puede evidenciar una clara tendencia dentro de los trabajos seleccionados con respecto a los países, teniendo una mayor frecuencia de producción en Ecuador con el 31,58%, seguido de Colombia con el 26,32% y finalmente Venezuela con el 21,05%. Cabe destacar que se desconoce la razón de este comportamiento, pero podría relacionarse con una exclusión derivada de las ecuaciones de búsqueda diseñadas.

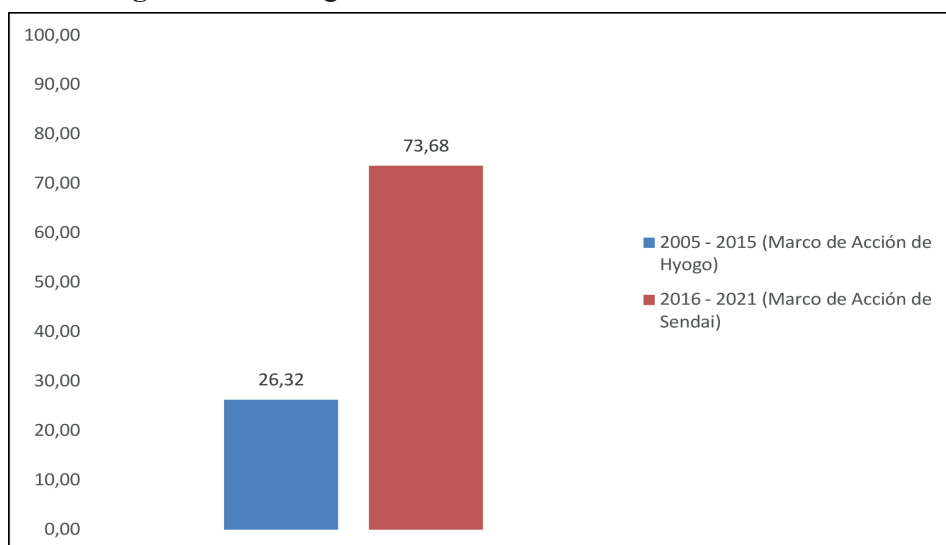
También, de acuerdo al tipo de documento seleccionado, se puede observar que el 52.63% corresponde a trabajos especiales de grado para optar al grado de licenciatura o equivalente, seguido del 21.05% proveniente de artículos publicados en revistas indexadas, mientras que el 15.79% se deriva de la producción de trabajos para optar al grado de magister y que las memorias de congresos y documentos provenientes de reportes estatales sobre experiencias

de trabajo de comunidades con un 5.26% respectivamente. Lo cual permite comprender la importancia de las universidades en la construcción del saber relacionado con los planes comunitarios para la gestión del riesgo de desastres.

### ***Planes comunitarios de riesgos en los Marcos de Acción de Hyogo y Sendai***

Las investigaciones analizadas en la escala temporal 2005 a 2021 fueron subdivididas en dos periodos de tiempo. El primer conjunto de trabajos corresponde a los años comprendidos entre 2005 y 2015, en el cual se desarrolló el Marco de Acción de Hyogo, allí se ubican el 26,32% (cinco documentos) de las investigaciones consideradas. Mientras que durante los años 2015 a 2021, que corresponde temporalmente al Marco de Acción de Sendai, en vigencia hasta el 2030, se concentra el 73,68% (14 documentos) de las investigaciones evaluadas (ver Figura 2).

**Figura 2.** Investigaciones desarrolladas entre 2005 – 2021.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 se observa que existe una importante brecha entre las investigaciones desarrolladas entre ambos marcos de acción. Para comprender esta diferenciación es importante conocer cuáles son los objetivos de cada uno de ellos y lo que se concibe como plan comunitario de riesgos.

El Marco de Acción de Hyogo tuvo como objetivo, de acuerdo a la **Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres -EIRD (s.f., p. 2)**:

Aumentar la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres al lograr, para el año 2015, una reducción considerable de las pérdidas que ocasionan los desastres, tanto en términos de vidas humanas como en cuanto a los bienes sociales, económicos y ambientales de las comunidades y los países.

Este marco concentró su atención en cinco áreas: a) lograr que la reducción del riesgo de desastres sea una prioridad, b) conocer el riesgo y tomar medidas, c) desarrollar una mayor comprensión y concientización, d) reducir el riesgo; y e) preparar a las poblaciones para actuar ante eventos adversos (**Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres-UNISDR, 2005**); por lo que se entiende que estas metas se encontraban estrechamente relacionadas con los Objetivos del Milenio (**Rosales Veitia, 2021**).

Durante este marco de acción, se introduce por primera vez la resiliencia como variable fundamental dentro de la comprensión del riesgo, la cual fue asumida como lo explica la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, desde ahora **UNISDR (2005, p.4)**: “capacidad de un sistema, comunidad o sociedad potencialmente expuesto a amenazas para adaptarse, resistiendo o cambiando”. Por lo cual, comienzan a desarrollarse actividades de educación no formal dentro de las comunidades con mayores escenarios de riesgos, con la intención de reducir su vulnerabilidad, surgiendo así los planes comunitarios de riesgos.

Los planes comunitarios de riesgos, fueron asumidos como un instrumento orientador de las acciones de preparación y respuesta elaborado por los habitantes de una comunidad, posterior de haber recibido capacitación en cuanto a los fundamentos epistémicos de la gestión de riesgos, la praxis en la identificación de escenarios de riesgos, la sistematización en instrumentos cartográficos como los inventarios de amenazas y recursos, y los mapas comunitarios de riesgos (**UNISDR, 2011**). Además, el Marco de Acción de Sendai, como indica **Rosales Veitia (2021, p. 75)**: “busca abordar la reducción de riesgos de desastres y aumentar la resiliencia, con especial énfasis en el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza”, por lo que se entiende que este marco de acción tiene una alta afinidad con los objetivos de desarrollo sostenible, cuyo principal objetivo es:

Prevenir la aparición de nuevos riesgos de desastres y reducir los existentes, implementando medidas integradas e inclusivas de índole económica, estructural, jurídica, social, sanitaria, cultural, educativa, ambiental, tecnológica, política e institucional que prevengan y reduzcan el grado de exposición a las amenazas y la vulnerabilidad a los desastres, aumenten la preparación para la respuesta y la recuperación y refuercen de ese modo la resiliencia (UNISDR, 2015, p. 12).

Por su parte, la resiliencia es entendida mediante algunas variaciones que dejan entrever una diferenciación importante. La resiliencia es descrita como:

[C]apacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas (UNISDR, 2015, p. 9).

Lo anterior ha conllevado a una nueva comprensión de los planes comunitarios de riesgos, los cuales, como explica Padrón (2018, p. 11) buscan: “desarrollar políticas, organización, métodos y capacidad de respuesta ante emergencias y desastres. A nivel comunitario, los planes de emergencia se pueden fortalecer con la creación de brigadas comunitarias de rescate y salvamento...”. Por tal razón, se entiende que existe una mayor interacción entre la capacitación de las comunidades para mitigar los escenarios de riesgos, pero, además, prepararse y responder de forma oportuna en caso de ocurrencia de eventos adversos.

En función de lo anteriormente argüido, se puede precisar que, aunque en el Marco de Acción de Hyogo se introduce la variable resiliencia, no es sino hasta el Marco de Acción de Sendai que se comienza a abordar la gestión de riesgos de desastres de una forma más integral, con mayor participación de las comunidades y el reforzamiento de la resiliencia, más allá de la adaptación y la recuperación, sino que involucra un proceso coordinado que debe conllevar a la preservación y restauración.

Con base en lo dicho, se considera que esa es la razón fundamental que ha incidido en los resultados obtenidos con respecto a la brecha entre las investigaciones realizadas que fueron revisadas. Cabe destacar que es probable que las investigaciones en gestión de riesgos de desastres entre el periodo 2005-2015 tengan como objeto de estudio el abordaje comunitario a través del diagnóstico al hacer uso de los inventarios de amenazas

y recursos o en la construcción de mapas comunitarios de riesgos, como instrumentos de identificación de amenazas y escenarios de riesgos, tal como se emanaba en el Marco de Acción de Hyogo.

### ***Planes comunitarios de riesgos por área de conocimiento***

De la revisión realizada, se logró determinar que la mayor concentración de investigaciones relacionadas con los planes comunitarios de riesgos se desarrolla en el área de las Ciencias Ambientales con un 42.11%, seguido de trabajos desarrollados por ciencias como la Geografía, Ciencias de la Tierra, Arquitectura y Urbanismo e Ingeniería Civil, de forma proporcional con un 15.79%, aunque también se han desarrollado en áreas como las Ciencias de la Salud y la Administración Pública con el mismo peso porcentual en un 10.53% y, en menor medida, por profesionales ligados a la Planificación y Desarrollo Social con 5.26% (ver Tabla 4).

**Tabla 4.** Investigaciones desarrolladas por área de conocimiento.

Área de conocimiento	f	%
Ciencias Ambientales	8	42.11
Geografía / Ciencias de la Tierra	3	15.79
Arquitectura y Urbanismo / Ingeniería Civil	3	15.79
Ciencias de la Salud	2	10.53
Administración Pública	2	10.53
Planificación y desarrollo social	1	5.26
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Al intentar interpretar el por qué las ciencias ambientales representan el área de conocimiento en las cuales se obtuvieron mayores resultados de búsqueda con referencia a las intervenciones comunitarias a través de los planes comunitarios de riesgos (Tabla 4), emerge lo señalado por [Ordoñez Díaz et al \(2018, p. 14\)](#):

La educación ambiental en la gestión del riesgo socionatural es fundamental porque aporta conocimiento a los actores sociales vulnerables a la ocurrencia de un fenómeno natural sobre el nivel de riesgo y el tipo de amenaza al que se encuentran expuestos y así mismo les permite actuar antes y después de la ocurrencia del fenómeno natural.



A partir de las ideas anteriores se evidencia que las investigaciones relacionadas a la gestión del riesgo de desastres desde las ciencias ambientales, responden al desequilibrio desarrollado por la intervención antrópica sobre el ambiente natural. Situación que potencia las vulnerabilidades de las comunidades, lo que bajo el criterio de Naciones Unidas (2015, p. 9) sería: “especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático debido a su situación geográfica y climática, su condición socioeconómica y demográfica y la alta sensibilidad al clima de sus activos naturales, como los bosques y la biodiversidad”.

En el caso de los estudios realizados desde la Geografía y las Ciencias de la Tierra, se fundamentan en los postulados epistémicos y metodológicos de un campo de la disciplina geográfica denominado la Geografía de los Riesgos, en la cual, se involucra el análisis de los aspectos físicos como aspectos geomorfológicos, geológicos, climatológicos y aspectos humanos relacionados a las características culturales de desarrollo. Por ejemplo, su historia, educación, economía, y política, con la intención de comprender la organización espacial de las comunidades con respecto a los escenarios de riesgos (Cortés y Becerra, 2006).

Desde este campo de la disciplina geográfica, se reconoce la importancia de estas investigaciones a través de la generación de mapas de amenazas, vulnerabilidades o susceptibilidad como instrumentos para diseñar estrategias de una gestión del territorio adecuada que permita la mitigación de los escenarios de riesgos, así como la capacitación de las comunidades para la implementación de sistemas de alerta temprana, generación de mapas comunitarios de riesgos y los consecutivos planes comunitarios de riesgos.

En el caso de las investigaciones desarrolladas en el área de la Arquitectura y urbanismo, Ingeniería civil y Planificación y desarrollo social, se fundamentan en la gestión prospectiva del riesgo, que de acuerdo con el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres -CENEPRED (s.f., p. 3) es: “el conjunto de acciones que se planifican y realizan con el fin de evitar y prevenir la conformación del riesgo futuro que podría originarse con el desarrollo de nuevas inversiones y proyectos en el territorio”. Aunque también pueden encontrarse estudios relacionados con la gestión correctiva o preventiva, a través del diseño y aplicación de actividades comunitarias que derivan en los planes comunitarios de riesgos, estos se fundamentan en la premisa de aplicar los

conocimientos de cada una de estas áreas en el modelado y diseño de soluciones derivados de la responsabilidad social y ambiental en la gestión y ordenamiento del territorio (Argüello Rodríguez, 2004; Universidad Técnica Metropolitana-UTEM, 2018).

Las investigaciones derivadas desde las Ciencias de la Salud sobre los planes de riesgos obedecen principalmente a las implicaciones de los desastres sobre los sistemas de salud, los cuales durante la ocurrencia de eventos adversos tienden a paralizarse por el colapso de estos (Morales Soto et al., 2008). Por lo cual resulta importante capacitar a la población a través de los planes comunitarios de riesgos para mitigar los efectos en la salud en caso de desastres y en la atención primaria de heridos.

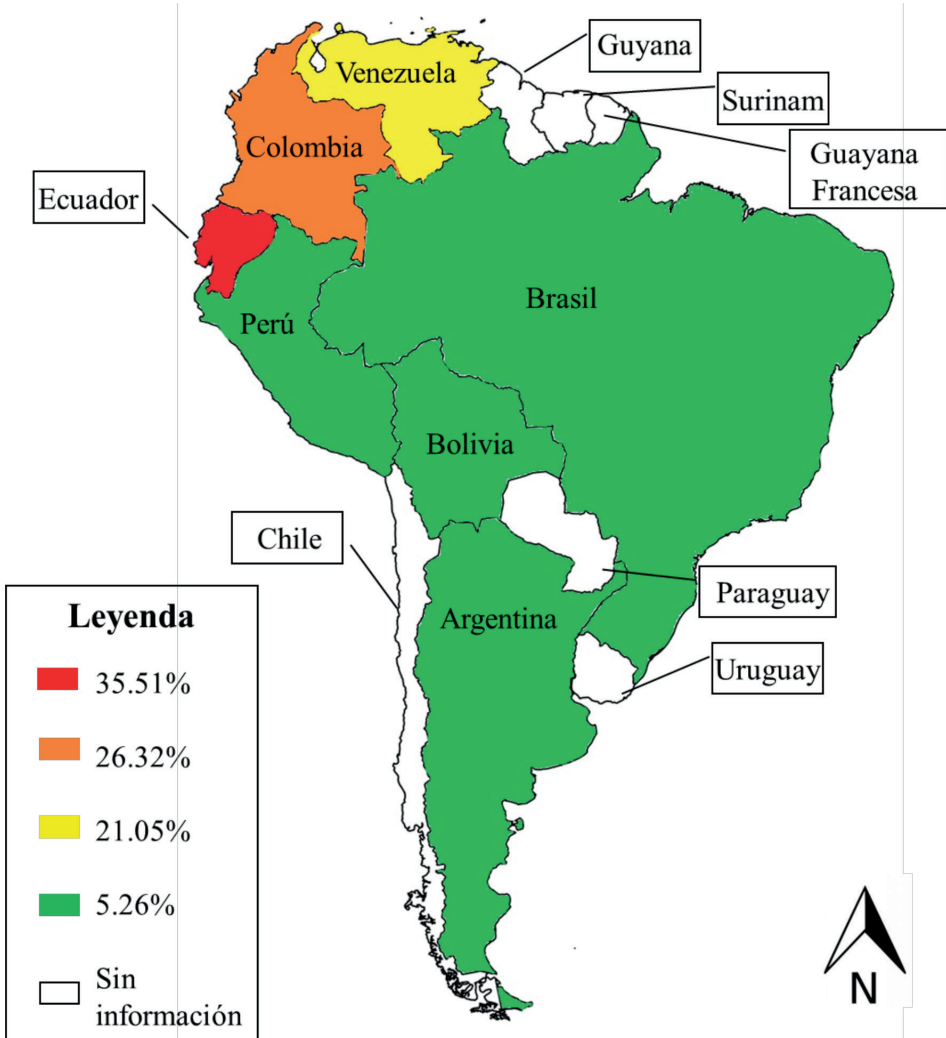
Sobre las investigaciones relacionadas con los planes comunitarios de riesgos desde el área de las Administración Pública, debemos entender que son las políticas públicas las que van a permitir el desarrollo de actividades de intervención comunitaria para la educación de las comunidades, lo que aumentaría su capacidad de resiliencia (Mitma y Orihuela, 2019).

En síntesis, los planes comunitarios de riesgos son instrumentos de gestión del riesgo de tipo multidisciplinar, pues, sin importar la disciplina o área de conocimiento donde se desarrollen, estos buscan preparar a las comunidades ante la ocurrencia de eventos adversos y buscar soluciones que ayuden a mitigar los efectos de estos. Evidentemente estos contienen un proceso consensuado que va desde la sensibilización comunitaria con respecto a las implicaciones de los riesgos de desastres, la identificación de las amenazas y recursos y la organización para la aplicación de las estrategias propuestas desde la percepción de sus pobladores.

### ***Planes comunitarios de riesgos por país suramericano***

Los documentos arrojados a partir de la aplicación de las ecuaciones de búsqueda y los criterios de inclusión y exclusión permitieron reconocer la distribución de investigaciones relacionadas con los planes comunitarios de riesgos en Suramérica. En la Figura 3 se evidencia que los países que lideran en la subregión en esta temática son Ecuador con el 31,58% (6), seguido de Colombia con el 26,32% (5) y Venezuela con el 21,05% (4). En el caso de Brasil, Perú, Bolivia y Argentina se reporta el 5,26% (1) en cada uno de ellos.

**Figura 3.** Investigaciones realizadas por país



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados conllevan a reflexionar si: ¿En Suramérica solo Ecuador, Colombia y Venezuela se está trabajando con planes comunitarios de riesgos? ¿Los reportes obtenidos sobre los planes comunitarios de riesgos en Brasil, Perú, Bolivia y Argentina representan la realidad? ¿Qué sucede en el caso de Uruguay, Paraguay, Chile, Guyana, Surinam y Guayana Francesa?

Lo primero que se presume es que a partir de los criterios de búsqueda los productos generados por algunos de estos países de habla anglosajona o francófona quedaron excluidos. En el caso de los países como Chile, Uruguay y Paraguay los nombres dados a los planes comunitarios de riesgos son distintos a los planteados en las ecuaciones de búsqueda.

En los países con mayor desarrollo en investigaciones relacionadas con los planes comunitarios de riesgos se observa que existe una mayor incidencia en el trabajo directo con las comunidades para su capacitación y desarrollo de la resiliencia, lo cual permite reconocer una tendencia hacia una metodología donde la comunidad participa de forma activa.

### ***Aportes de las investigaciones sobre los planes comunitarios de riesgos***

En la Tabla 5 se presentan los aportes de las investigaciones seleccionadas con respecto a la generación de PCR en función de dos aspectos fundamentales: a) abordaje metodológico y b) tipo de comunidad trabajada.

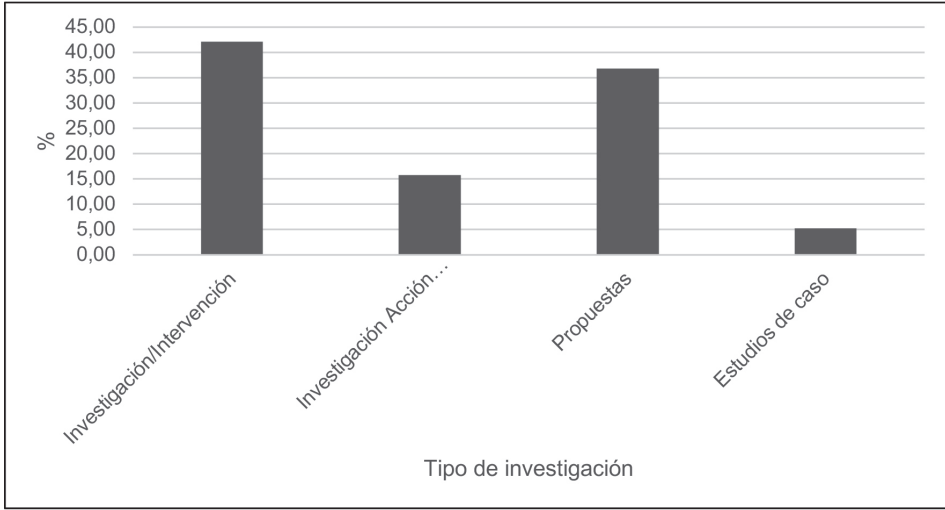
**Tabla 5.** Aportes metodológicos de los trabajos seleccionados por tipo de comunidad

Abordaje metodológico		Tipo de comunidad	
Investigación / Intervención	Román (2006); Barragán (2015); Collaguazo (2016); Díaz y Robles (2016); Atencio, Attala y Kobziar (2019); Farias et al (2020); Casco (2020); PREDES (2020)	General	Román (2006)
Investigación Acción Participativa	Mora (2014); Torres y Flórez (2016); Rivera-Flórez et al (2020)	Urbanas	Aranguren (2013); Plaza y Cortes (2019), Farias et al (2020)
Propuestas	Barros, Wasserman y Lima (2010); Callejas y Aguirre (2017); Claros y Córdoba (2019); Plaza y Cortes (2019); Choque (2020); Fernández (2020); Haro (2021)	Urbanas (no planificadas)	Barragán (2015); Torres y Flórez (2016); Díaz y Robles (2016); Callejas y Aguirre (2017); Atencio, Attala y Kobziar (2019); Rivera-Flórez et al (2020); PREDES (2020)
Estudios de caso	Aranguren (2013)	Costeras (organizadas)	Barros, Wasserman y Lima (2010)
		Rurales	Mora (2014); Collaguazo (2016); Claros y Córdoba (2019); Choque (2020); Casco (2020); Fernández (2020); Haro (2021)

Fuente: Elaboración propia.

Con relación al tipo de metodología empleada, se evidencia que el 42.11% (8) de los trabajos fue abordado a través de investigación – intervención, seguido del 36.84% (7) que se centró en propuestas para ser aplicadas, mientras que el 15.79% (3) tuvo un diseño de investigación acción participativa y, el 5,26% (1) se originó desde un estudio de caso (ver Figura 4).

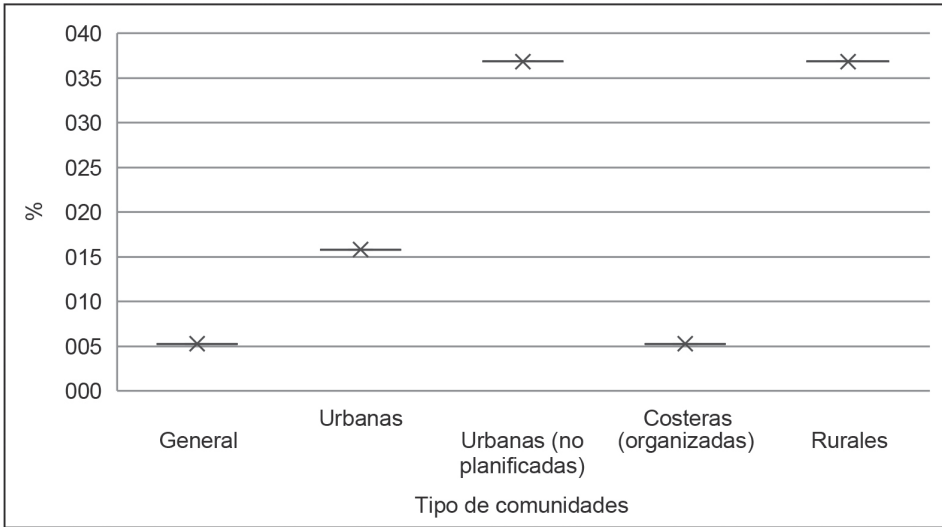
**Figura 4.** Diseño metodológico de las investigaciones



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al tipo de comunidad aborda, existe una tendencia referida a comunidades urbanas no planificadas y comunidades rurales en un 36.84% (7) respectivamente, seguido de comunidades urbanas en un 15.79% (3) y comunidades asumidas desde una perspectiva general y comunidades costeras organizadas en el 5.26% (1) de los casos respectivamente (ver Figura 5).

**Figura 5.** Tipo de comunidad abordada en las investigaciones



Fuente: Elaboración propia.

Siguientemente, la investigación/intervención es asumida como es un tipo de investigación que reconoce el punto de partida, pero se desconocen los resultados que se pueden obtener a partir de ella, pero que busca una transformación en el contexto de estudio abordado (Balasch et al., 2005), lo cual se ha logrado evidenciar en los trabajos revisados en esta metodología.

Los aportes de estos trabajos se describen a continuación: Román (2006) determinó la importancia de incluir en la educación formal contenidos que ayuden a que las comunidades puedan obtener los conocimientos básicos sobre la gestión de riesgos de desastres; Barragán (2015) identificó la necesidad de educar a la comunidad en la gestión de riesgos de desastres para reducir las brechas de vulnerabilidad; Collaguazo (2016) evidenció la necesidad que los planes comunitarios de riesgos surjan de la discusión comunitaria; Díaz y Robles (2016) evidenció que el trabajo con las comunidades constante y continuo resulta exitoso para disminuir los índices de vulnerabilidad cultural y educativa; Atencio, Attala y Kobziar (2019) concibieron que la gestión de riesgos es un pilar fundamental para alcanzar el desarrollo sostenible; Farias et al., (2020) reportaron la importancia de la alianza entre universidad y comunidad para formar comunidades resilientes; Casco (2020) reportó la necesidad hacer seguimiento de las comunidades intervenidas y la actualización de los

planes comunitarios de riesgos periódicamente; finalmente en el trabajo del Centro de Estudios y Prevención de Desastres-**PREDES (2020)** se reconoce la importancia del trabajo organizado entre diferentes instituciones para una transformación social que da cuenta de una alta capacidad de resiliencia.

Los trabajos abordados desde la perspectiva propositiva, siguen lo establecido por **Hernández Sampieri, et. al., (2014)** al seguir una fase diagnóstica y al establecer una propuesta para dar alternativas de solución al problema investigativo. En este caso, **Barros, et. al., (2010)** percibieron la gestión de riesgos de desastres desde múltiples áreas de conocimiento para mitigar los efectos de los eventos adversos; **Callejas y Aguirre (2017)** fundamentaron su propuesta en percepción comunitaria del riesgo, siendo el riesgo social el de mayor preponderancia; **Claros y Córdoba (2019)** reconocieron la importancia de socializar su propuesta sobre el plan con la finalidad de concientizar a las comunidades sobre sus escenarios de riesgos; **Plaza y Cortes (2019)** determinaron la importancia de capacitar continuamente a la comunidad y fomentar espacios de discusión aún sin la intervención agentes foráneos, a fin de fortalecer la resiliencia de estas; **Choque (2020)** demostró la importancia de proponer planes comunitarios de riesgos bajo la perspectiva del desarrollo sostenible; **Fernández (2020)** concentró su propuesta en el diseño de rutas de evacuación y asignación de actividades individuales y colectivas ante eventos sísmicos; **Haro (2021)** logró establecer la necesidad de capacitación comunitaria en zonas altamente vulnerables y con debilidades en la organización, donde el plan comunitario de riesgos se convierte en un instrumento esencial para identificar las acciones principales de respuesta antes, durante y después del evento, aumentando la resiliencia de zonas altamente amenazadas por procesos de remoción en masa.

Luego, la investigación acción participativa es descrita por **Hurtado de Barrera (2008, p. 117)** como: “aquella cuyo objetivo consiste en modificar el evento estudiado, generando y aplicando sobre él una intervención especialmente diseñada. En ella el investigador pretende sustituir un estado de cosas actual, por otro de cosas deseado” (p. 117), en otras palabras, consiste en la intervención del investigador en una realidad conocida e inquietante para él, donde toma decisiones y es protagonista de los resultados.

Los trabajos abordados bajo este tipo de investigaciones, respondieron fielmente a sus postulados epistémicos y filosóficos al mostrar los siguientes aportes: **Mora (2014)** evidenció un proceso de emancipación

social, en su trabajo se involucraron diferentes entes gubernamentales en el proceso de acción comunitaria; [Torres y Flórez \(2016\)](#) demostraron que la educación en gestión de riesgos debe darse desde el trabajo colaborativo, involucrando cada actor social de las comunidades; y [Rivera Flórez et al \(2020\)](#) reconocieron la importancia del trabajo mancomunado entre la academia, el gobierno y las comunidades.

Por su parte, el estudio de caso es entendido por [Martínez \(2006, p. 189\)](#) como una: “estrategia metodológica de investigación científica, útil en la generación de resultados que posibilitan el fortalecimiento, crecimiento y desarrollo de las teorías existentes o el surgimiento de nuevos paradigmas científicos; por lo tanto, contribuye al desarrollo de un campo científico determinado”. Puntualmente, [Aranguren \(2013\)](#) fue quien evidenció un avance en la comprensión de la capacitación comunitaria como elemento fundamental en la construcción de la resiliencia.

Los trabajos que fueron considerados dentro de esta revisión, a pesar de apoyarse en el diseño metodológico propio de cada investigación demostraron diferentes aportes que tienen en común la necesidad de intervención de las comunidades a través de la conformación de planes comunitarios de riesgos para lograr una transformación social y fortalecer su resiliencia.

### **Conclusiones**

Los resultados de la investigación permiten conocer que los planes comunitarios de riesgos se presentan como un instrumento importante, no solo para la gestión de riesgos de desastres, sino para capacitación comunitaria sobre la temática, al poder aplicarse a través de estrategias educativas no formales para ayudar a reducir las vulnerabilidades y fortalecer la resiliencia.

Los planes comunitarios de riesgos responden, principalmente, a los planteamientos epistémicos, filosóficos y gnoseológicos que se presentan en los marcos de acción, por lo que no se puede considerar que existen “buenos” o “malos”, al contrario, son el producto de una construcción colectiva de acuerdo a las referencias que se tienen sobre la temática y lo que se busca lograr con ellos.

Debemos entender que los planes comunitarios de riesgos son instrumentos de planificación multidisciplinario, por lo que cada área de conocimiento aporta una perspectiva única en lo que respecta a la comprensión



y gestión del riesgo de desastre, por lo que no puede parcializarse, sino buscar mecanismos que permitan la participación de la mayor cantidad de expertos disponibles para el abordaje comunitario.

Los países con mayor producción de investigaciones en lo que respecta a los planes comunitarios de riesgos representan experiencias positivas que pueden replicarse en otras naciones de la región, involucrando las comunidades, el fortalecimiento de la resiliencia y el desarrollo sostenible.

Los aportes que se pudieron evidenciar de cada uno de los PCR, permiten comprender que en el transcurso de los años la percepción del riesgo ha ido evolucionando y, aun cuando se asume el riesgo como una construcción social, con el pasar de ellos años se han involucrado otras variables que permiten verificar que se está estableciendo una clara tendencia orientada hacia la gestión del desarrollo.

Las limitaciones de la presente revisión sistemática obedecen a aspectos metodológicos relacionados con la definición del muestro: a) si bien es cierto que las bases de datos seleccionadas permiten identificar documentos con un prestigio considerable, como en el caso de Scopus y Dialnet, probablemente se hallan excluido investigaciones de la región que estén publicados en otras indexaciones que hubiesen sido interesantes en el análisis, así que es recomendable para próximas oportunidades emplear motores de búsqueda de forma mixta que permitan una mayor inclusión de documentos; b) al seleccionar específicamente idiomas como el castellano y el portugués para la búsqueda, quedaron excluidos los trabajos realizados en aquellos países de la subregión francoparlantes y anglosajones, por ello, se sugiere incluir en próximas investigaciones estos criterios de inclusión; c) al diseñar las ecuaciones de búsqueda, no se tomó en consideración las diferentes denominaciones que pueden darse a los planes comunitarios de riesgos, por lo que se evidencia la necesidad de involucrar en próximas investigaciones todos los nombres que estos pudiesen recibir con la finalidad de incrementar las unidades de análisis; d) al contextualizar la investigación en el área de Suramérica, se excluyeron otros países latinoamericanos que, de acuerdo a la búsqueda principal, desarrollan investigaciones constantes sobre gestión de riesgos de desastres, como el caso centroamericano, por lo que resultaría prudente en próximas investigaciones, trabajar dentro del contexto de América Latina y el Caribe.

## Referencias

- Aranguren, M. (2013). *La participación comunitaria en la gestión de riesgos ante amenazas de origen hidrometeorológico en el contexto urbano local*. Caso de Estudio: Camurí Grande, Estado Vargas. [Tesis de maestría, Universidad Central de Venezuela]. <http://hdl.handle.net/10872/7527>
- Araujo, M. (2011). Las revisiones sistemáticas (I). *Medwave*, 11 (11), 1-4. <https://bit.ly/3yKaliY>
- Argüello-Rodríguez, M. (2004). Riesgo, Vivienda y Arquitectura. (pp. 1-18). Actas del Congreso ARQUISUR. <https://bit.ly/3liiXh7>
- Atencio, L., Attala, A. y Kobziar, A. (2019). Fortalecimiento de las capacidades de respuesta comunitaria ante desastres. Caso DIPECHO, San Rafael, Mendoza. (pp. 26-35). I congreso internacional de ingeniería aplicada a la innovación y educación y asamblea general de ISTECC 2019. <https://bit.ly/3lp25VN>
- Balasz, M., Bonet, J., Callén, B., Guarderas, P., Gutiérrez, P., León, A... Sanz, J. (2005). Investigación Crítica: Desafíos y Posibilidades. *Athenea Digital. Revista de Pensamiento e Investigación Social*, (8), 129-144. <https://bit.ly/3AsQQSA>
- Barragán, G. (2015). *Reducción de la vulnerabilidad comunitaria y plan de acción en gestión de riesgo con énfasis en el desarrollo sostenible en el barrio Fausto Bazante, cantón Guaranda en el periodo 2014*. [Tesis de maestría, Universidad de Guayaquil]. <https://bit.ly/3hrA8fa>
- Barros, S.; Wasserman, J. y Lima, G. (2010). Risco Ambiental na zona costeira: uma proposta interdisciplinar de gestão participativa para os Planos de Controle a Emergências dos portos brasileiros. *Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 10 (2), 217-227. <https://bit.ly/395s9j6>
- Callejas, E. y Aguirre, J. (2017). *Plan comunitario de gestión del riesgo para los barrios la Libertad y Matecaña del municipio de Pereira-Risaralda*. [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://bit.ly/3C7gIE6>
- Carrasco, O. (2009). Cómo escribir artículos de revisión. *Revista Médica La Paz*, 15 (1), 63-69. <https://bit.ly/3eaRs6e>
- Casco, E. (2020). *Actualización del plan comunitario de gestión de riesgos para la comunidad Bellavista del cantón Pastaza, provincia de Pastaza*. [Tesis de ingeniería, Universidad Estatal Amazónica]. <https://bit.ly/3AbwEob>

- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). (2020), Base de Datos Internacional sobre Desastres EM-DAT. <https://bit.ly/3tVihCn>
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES). (1 de enero de 2020). Plan comunitario de emergencias A.H. Las Capillas. *PREDES*. <https://bit.ly/3ljbXAF>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres CENEPRED (s.f.). *Lineamientos para incorporar la gestión prospectiva y gestión correctiva en los presupuestos participativos*. CENEPRED. <https://bit.ly/3hvWuw2>
- Choque, D. (2020). *Plan comunitario de adaptación al cambio climático en la comunidad 10 de Octubre del municipio de Tiraque*. [Tesis de ingeniería, Universidad Mayor de San Simón]. <https://bit.ly/3AaFNgu>
- Claros, K. y Córdoba, M. (2019). *Diseño de un plan comunitario en potrero zona rural, Jamundi 2019*. [Trabajo especial de grado, Universidad Santiago de Cali]. <https://bit.ly/3tBJwl4>
- Collaguazo, W. (2016). *Propuesta de un Plan de Gestión de Riesgo Comunitario para la Parroquia Rural de Lloa del Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015*. [Tesis de ingeniería, Universidad Internacional del Ecuador]. <https://bit.ly/3nrCNt3>
- Comité Regional para la Gestión y Atención de Desastres Quindío (2012). *Guía para la elaboración del plan comunitario de prevención y atención de desastres*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. <https://bit.ly/2UfKCPu>
- Cortés, P. y Becerra, M. (2006). *Geografía de los riesgos una propuesta pedagógica para el municipio de Yumbo*. [Tesis de licenciatura]. Universidad del Valle, Santiago de Cali. <https://bit.ly/3k5chn9>
- Díaz, F. y Robles, J. (2016). *Evaluación del grado de sostenibilidad de la aplicación de simulacros de gestión de riesgos de desastres en el sector popular de Las Adjuntas del municipio Naguanagua, estado Carabobo*. [Tesis de ingeniería, Universidad de Carabobo]. <https://bit.ly/3hrAFoc>
- Estrategias Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD) (s.f.). Marco de Acción de Hyogo 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres. *Prevention Web*. <https://bit.ly/3tBiMBn>

- Farias, B., Marquez, A., Guevara, E. y Rey, D. (2020). Plan de Gestión Sustentable de Riesgo de Inundación: Una Propuesta desde Carabobo, Venezuela. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 4 (1), 67-79. <https://bit.ly/3z9O7fF>
- Fernández, M. (2020). *Plan comunitario de gestión de riesgos sísmicos de Joa, cantón Jipijapa*. [Tesis de ingeniería, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://bit.ly/3nrdEP7>
- García Perdomo, H. (2015). Conceptos fundamentales de las revisiones sistemáticas/metaanálisis. *Revista Urología Colombiana*, 24 (1), 28-34 <https://bit.ly/3eadZAI>
- Haro, S. (2021). *Plan de gestión de riesgos comunitario ante deslizamientos de la parroquia Chugá-Imbabura*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica del Norte]. <https://bit.ly/3Ei9KOi>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación (6ta edición)*. McGrawHill Education.
- Hurtado de Barrera, J. (2008). *El proyecto de investigación. Comprensión holística de la metodología y la investigación (6ta edición)*. Ediciones Quirón.
- Loor, M. (2015). *Participación ciudadana y Gestión del riesgo, caso: parroquia urbana Leónidas Proaño del cantón Montecristi*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://bit.ly/3Anhsol>
- Martínez, P. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & Gestión*, (20), 165-193. <https://bit.ly/3lCcXA4>
- Martínez, S. (2008). *Guía para la elaboración de planes comunitarios para la gestión del riesgo*. Cruz Roja Colombiana Seccional Cundinamarca y Bogotá. <https://bit.ly/3hYEE42>
- Mitma, S. y Orihuela, Y. (2019). *Las políticas públicas y la gestión de riesgos y desastres en el Gobierno Regional de Huancavelica – 2017*. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica. <https://bit.ly/396tXs6>
- Moncada Hernández, S. (2014). Cómo realizar una búsqueda de información eficiente. Foco en estudiantes, profesores e investigadores en el área educativa. *Investigación en Educación Médica*, 3 (10), 106-115. <https://bit.ly/2VzcVPZ>

- Montoya, A. y Santos, M. (2020). América Latina podría enfrentar la mayor desigualdad en décadas. *El Tiempo*. <https://bit.ly/3lkFM3M>
- Mora, M. (2014). Plan comunitario para la gestión local de riesgo desarrollado en la comunidad “El Cucharó”. *Heurística, Revista Digital de Historia de la Educación*, (17), 288-290. <https://bit.ly/3EfiEwc>
- Morales-Soto, N., Gálvez-Rivero, W., Chang-Ausejo, C., Alfaro-Basso, D., García-Villafuerte, A., Ramírez-Maguiña, M. y Benavente-García, L. (2008). Emergencias y desastres: desafíos y oportunidades (De la casualidad a la causalidad). *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25 (2), 237-242. <https://bit.ly/3A8uaHn>
- Naciones Unidas. (2015). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*. Naciones Unidas. <https://bit.ly/3lnZhZ1>
- Naciones Unidas. (3 de enero de 2020). América Latina y el Caribe: la segunda región más propensa a los desastres. *Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2020/01/1467501>
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres -UNISDR. (2005). *Marco de Acción de Hyogo 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres*. Naciones Unidas. <https://bit.ly/3dT8570>
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres -UNISDR. (2011). Guía Metodológica para Elaborar Planes Comunitarios de Gestión de Riesgos. [EIRD. <https://bit.ly/3Eg34k3>
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres -UNISDR. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. United Nations. <https://bit.ly/3i0crd6>
- Ordoñez-Díaz, M., Montes-Arias, L. y Garzón-Cortés, G. (2018). Importancia de la educación ambiental en la gestión del riesgo socio-natural en cinco países de América Latina y el Caribe. *Revista Electrónica Educare*, 22 (1), 1-19. DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/ree.22-1.17>
- Padrón, C. (2018). Gestión del riesgo de desastres en barrios informales. Buenas prácticas para la construcción de resiliencia. *Terra Nueva Etapa*, 34 (56), 1-17. <https://bit.ly/398K7RG>
- Plaza, N. y Cortes, C. (2019). *Plan de gestión del riesgo comunitario en el portal del Jordán en Jamundí Valle del Cauca*. [Trabajo especial de grado, Universidad Santiago de Cali]. <https://bit.ly/2YONTxP>

- Rivera-Flórez, L., Rodríguez, E., Velásquez, C., Guzmán, H. y Ramírez, A. (2020). La gestión comunitaria del riesgo. Justicia espacial y ambiental. *Bitácora Urbano Territorial*, 30 (3): 205-218. DOI: <https://doi.org/10.15446/bitacora.v30n3.87769>
- Román, M. (2006). Plan de prevención para emergencias por desastres naturales en la provincia de Pichincha, su organización y aplicación en la educación básica en la próxima década. [Tesis de maestría, Instituto de Altos Estudios Nacionales]. <https://bit.ly/3Aa1hKR>
- Rosales-Veítia, J. (2021). Evolución histórica de la concepción de la gestión de riesgos de desastres: algunas consideraciones. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, (7), 67-81. DOI: <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202101.004>
- Torres, C. y Flórez, M. (2016). *Construcción de plan comunitario para la gestión del riesgo de desastres, “niños promotores de territorios más seguros” (Estudio de caso Barrio Altos de la Florida - Tercer Sector, Soacha-Cundinamarca)*. [Tesis de maestría, Universidad Piloto de Colombia]. <https://bit.ly/3tE64BD>
- Ulloa, F. (2011). *Manual de gestión de riesgos de desastre para comunicadores sociales. Una guía práctica para el comunicador social comprometido en informar y formar para salvar vidas*. UNESCO. <https://bit.ly/3hwb7zF>
- Universidad Técnica Metropolitana (UTEM). (2018). La Ingeniería Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente y los Desafíos del Siglo XXI. *Facultad de Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial*. <https://bit.ly/2Xlok7g>
- Urrutia, G. y Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135 (11), 507-511. <https://bit.ly/3e9Lgvj>
- Vargas, S. (2013). Planes comunitarios. *Sliseshare*. <https://bit.ly/3k6UKvc>
- Vázquez, M., Rodríguez, D., Ortiz, N., Olivera, L., Grillo, J. Bécquer, T. (2017). La prevención del riesgo de desastres en la comunidad. *Revista Médica Electrónica*, 39 (5), 1022-1032. <https://bit.ly/3C752Bd>

## **Desarrollo de una herramienta informática para el ajuste de redes geodésicas en la carrera de Ingeniería en Topografía y Geodesia de la Universidad Nacional, Costa Rica**



Development of a computer tool for the adjustment of geodesic networks in the career of Engineering in topography and geodesy of the Universidad Nacional, Costa Rica

Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para ajuste de redes geodésicas na carreira de Engenharia em Topografia e Geodésia da Universidad Nacional, Costa Rica

*Manuel Ramírez Núñez<sup>1</sup>*  
*Universidad Nacional, Costa Rica*  
*José Francisco Valverde Calderón<sup>2</sup>*  
*Universidad Nacional, Costa Rica*

### **Resumen**

En este artículo se ha descrito el desarrollo de un programa informático para el ajuste de redes geodésicas, utilizando el modelo de observaciones mediatas. Dicho programa es el resultado de una actividad de investigación ejecutada durante el año 2021, en el seno de la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia (ETCG), de la Universidad Nacional. El aplicativo resultante de la

- 1 Manuel Ramírez Núñez. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional. Correo electrónico:  [manuel.ramirez.nunez@una.cr](mailto:manuel.ramirez.nunez@una.cr), <http://orcid.org/0000-0003-0468-7818>
- 2 Ingeniero José Francisco Valverde Calderón. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional. Correo electrónico: [jose.valverde.calderon@una.cr](mailto:jose.valverde.calderon@una.cr),  <http://orcid.org/0000-0003-3926-1761>

investigación provee a la ETCG de una herramienta de código abierto para el ajuste de redes geodésicas, lo que permite mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje en los diferentes cursos de la carrera de Ingeniería en Topografía y Geodesia, además de facilitar los diferentes procesos de investigación que se llevan a cabo en la Unidad Académica. El desarrollo de un programa de ajuste de redes geodésicas dentro de la ETCG contribuye a eliminar los costos asociados a la compra de licencias y fortalecer el desarrollo de trabajos finales de graduación.

**Palabras Claves:** Ajuste, desarrollo, programa, redes geodésicas.

### Abstract

This article has described the development of a computer program for the adjustment of geodetic networks, using the model of mediate observations. The program is the result of a research activity carried out, during the year 2021, within the School of Topography, Cadaster and Geodesy (ETCG), at the National University. The application resulting from the research provides to the ETCG with an open-source tool for the adjustment of geodetic networks, which allows improving the teaching and learning processes in the different courses of the Engineering in Topography and Geodesy career, in addition to facilitating the different research processes that are carried out in the Academic Unit. The development of a geodetic network adjustment program within the ETCG contributes to eliminating the costs associated with the purchase of licenses and strengthening the formulation of final graduation projects.

**Keyword:** Adjustment, Development, Program, Geodetic Networks.

### Resumo

Este artigo descreveu o desenvolvimento de um programa computacional para ajuste de redes geodésicas, utilizando o modelo de observações mediatas. Este programa resulta de uma atividade de investigação realizada durante o ano de 2021, no âmbito da Escola Superior de Topografia, Cadastro e Geodésia (ETCG), da Universidade Nacional. A aplicação resultante da investigação disponibiliza à ETCG uma ferramenta open source para o ajuste de redes geodésicas, que permite melhorar os processos de ensino e aprendizagem nos diferentes cursos da carreira de Engenharia em Topografia e Geodésia, além de facilitar os diferentes processos de investigação que se realizam na Unidade Acadêmica. O desenvolvimento de um programa de adequação da rede geodésica no âmbito do ETCG contribui para a eliminação dos custos associados à aquisição de licenças e para o reforço do desenvolvimento dos projetos finais de graduação.

**Palavras-chave:** Ajuste; Em desenvolvimento; Programa; Redes geodésicas.

## Introducción

El plan de estudios de la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia (ETCG) de la Universidad Nacional (UNA) considera dos cursos de ajuste geodésico en el nivel de bachillerato, mientras que, en el nivel de licenciatura, considera uno más. También en la licenciatura se imparten los cursos Diseño Geodésico 1 y Diseño Geodésico 2, en los cuales se aplican y refuerzan los conocimientos sobre ajuste geodésico.



En el curso Ajuste 1, comúnmente se trabajan los primeros contenidos con cálculo manual, algo que se considera adecuado porque se busca que el estudiantado conozca a detalle el algoritmo de ajuste geodésico. Sin embargo, conforme se avanza en la construcción del conocimiento y se incrementa la complejidad de los problemas, el cálculo manual no es una opción viable por el tiempo requerido, por lo que surge la necesidad de utilizar herramientas informáticas para el cálculo y la visualización gráfica de resultados.

El plan de estudios a nivel de bachillerato y licenciatura busca dar al estudiantado de la carrera, conocimientos teóricos y prácticos en los métodos geodésicos actuales y utilizar estos conocimientos en la solución de problemas en aplicaciones como en el monitoreo de obra civil, monitoreo de objetos naturales como fallas geológicas, volcanes; en el establecimiento de redes de control para replanteo en obra civiles, en el establecimiento y mantenimiento del marco geodésico de referencia horizontal y vertical oficial de un país; aspectos que contribuyen con otras geociencias como la Sismología, la Geofísica y la Vulcanología. El elemento en común que tiene las aplicaciones comentadas es que para su logro se requiere de conocimientos en ajuste geodésico.

En el mercado se ofrecen aplicaciones para el ajuste geodésico, como por ejemplo PANDA<sup>3</sup>, COLUMBUS<sup>4</sup> y GAMA<sup>5</sup>, por citar algunos ejemplos. También hay programas bajo la filosofía de libre uso, pero no de código abierto o programas libres cuya funcionalidad es limitada (considerando los requerimientos de la ETCG). Por otro lado, están los programas comerciales que tienen una gama más alta de funcionalidades, pero cuyo licenciamiento generalmente tiene un elevado costo y que se ofrecen mediante suscripciones anuales o que cada nueva versión debe pagarse. Esto representa un obstáculo, ya que en diversas ocasiones el estudiantado carece de acceso a los programas fuera de las instalaciones de la ETCG. Además, estas licencias comerciales generalmente no ofrecen la posibilidad de acceder al código fuente, lo que cierra así la oportunidad de mejorar o ampliar el sistema.

La ETCG ha experimentado con programas como COLOMBUS, el cual es un programa comercial; no obstante, sus licencias tienen un costo anual. Otro ejemplo es el actual *software* con el cual se cuenta para el ajuste

3 Disponible en <https://www.geotec-gmbh.de/en/panda/>

4 Disponible en <http://bestfit.com/index.html>

5 Disponible en <https://www.gnu.org/software/gama/>

de observaciones realizadas con Sistemas Satelitales de navegación Global (GNSS, por sus siglas en Ingles), del cual se tienen solo cinco licencias, pero están desactualizadas y requieren una clave (llave) física para ser utilizados.

Al ser la programación en herramientas informáticas una habilidad que se desarrolla en las carreras de ingeniería (por ejemplo, en el plan de estudio del año 2019 de la ETCG está el curso llamado Programación para Ingeniería), se considera que la ETCG tiene la capacidad que tienen otras universidades que desarrollan sus propias herramientas para ajuste geodésico. Esto ofrece la ventaja de que desarrollar una aplicación propia permite ir la adecuando según los requerimientos de la unidad académica. Ello no tendría un costo adicional para la Unidad Académica, ya que la capacitación la pueden impartir los mismos docentes y se podría facilitar a los estudiantes para su uso.

El desarrollo de un programa de ajuste de redes geodésicas dentro de la Escuela de Topografía, permitiría a) eliminar los costos asociados a la compra de licencias, b) fortalecer la formulación de trabajos finales de graduación, c) fortalecer el proceso de enseñanza y aprendizaje en los cursos de la ETCG, d) fortalecer la investigación y venta de servicios dentro de la ETCG, ya que se los investigadores tendrán una herramienta para realizar el ajuste de redes geodésicas relacionadas a sus proyectos.

Con estos atestados, el objetivo general de la actividad de investigación fue desarrollar un programa informático para el ajuste geodésico de observaciones.

## Marco Teórico

### Modelo de Ajuste Geodésico por Mediatas

Según [Verhagen y Teunissen \(2017\)](#) el modelo de ajuste conocido como modelo Gauß-Markov (GMM, por sus siglas en ingles), utilizado en geodesia para el ajuste de redes, es un modelo lineal matemático, el cual se basa en las relaciones funcionales y estocásticas entre las observaciones  $\mathbf{l}$  y los parámetros  $\mathbf{x}_j$ ; en forma matricial esto se puede escribir como:

$$\mathbf{l} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

En donde:

$l$  = vector de observaciones.

$\hat{x}$  = vector de parámetros ajustados.

$\varepsilon$  = vector de errores verdaderos.

$A$  = matriz de coeficientes.

Este modelo sigue las siguientes hipótesis:

- Todos los errores  $\varepsilon_i$  tienen una esperanza matemática nula.
- Todos los residuos tienen la misma varianza, en general desconocida, denotada como  $\sigma_0^2$ .
- No hay correlación entre los residuos  $\varepsilon_i$ .

Estas tres hipótesis se pueden plantear como:

$$E(\varepsilon) = 0$$

$$\text{var}(\varepsilon) = E(\varepsilon \varepsilon^t) = \sigma_0^2 Q_{ll}$$

$$\text{cov}(\varepsilon_i \varepsilon_i) = 0$$

Donde:

$E()$  = esperanza matemática

$\text{var}$  = varianza

$\sigma_0$  = desviación estándar a priori

$\varepsilon$  = vector de errores verdaderos

En cuanto al modelo estocástico de ajuste, cabe decir que todas las observaciones contienen algún margen de error; unas en mayor medida que otras. Se desea que las observaciones que contienen menos error influyan más en la determinación de los parámetros, para lo cual se utiliza una matriz de pesos (Leick, Rapoport y Tatarnikov, 2015, p.16).

La información *a priori* sobre la exactitud de las observaciones está contenida en la matriz  $\Sigma_{ll}$  (matriz de varianza-covarianza de las observaciones) (Leick, Rapoport y Tatarnikov, 2015, p.16):

$$\Sigma_{ll} = \sigma^2 Q_{ll}$$

donde:

$\sigma$  = Desviación Estándar a priori

$Q_{ll}$  = Matriz de cofactores

A su vez, de acuerdo con Ghilani (2017) y Montenbruck y Eberhard (2000), la matriz de pesos es calculada como:

$$P = Q_{ll}^{-1}$$

Si no existe o se desprecia la correlación entre las observaciones, la matriz de pesos será diagonal y los pesos son calculados como:

$$P_i = \sigma_0^2 / \sigma_i^2$$

Donde  $\sigma_i^2$  es la varianza *a priori* de la observación  $l_i$ . En general, las correlaciones entre las observaciones son difíciles de estimar o de modelar, por lo que generalmente se ignoran. Todo lo anterior conforma un modelo teórico; para aplicarlo a la estimación de los parámetros en el mundo real (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger y Wasle, 2007; Koch, 1999) se reescribe el modelo:

$$l + v = A \hat{x}$$

Donde:

$l$  = vector de observaciones.

$\hat{x}$  = vector de parámetros ajustados.

$v$  = vector de residuos.

$A$  = matriz de coeficientes.

### Estimación de los parámetros

Dado que las observaciones contienen errores, resulta complejo obtener los valores verdaderos de los parámetros. Se asume entonces que los errores son aleatorios y que tienen una esperanza matemática nula. El

número de observaciones es usualmente mayor que el número de parámetros desconocidos en el GMM. La ecuación anterior representa entonces un sistema sobredeterminado (hay más observaciones que incógnitas) de ecuaciones, lo que conduce a la selección de un criterio para obtener una estimación óptima de los parámetros.

Un estimador se considera óptimo si cumple con dos condiciones; la primera es que el estimador sea no sesgado, es decir, el estimador debe tener una distribución de probabilidad centrada sobre el valor a estimar; la segunda condición a cumplir por el estimador es que debe tener una varianza mínima.

El GMM cumple con estas condiciones, por lo que las estimaciones de los parámetros que se obtienen son óptimas. Así, se tiene la función de estimación (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger y Wasle, 2007):

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P l$$

Esta función es llamada BLUE (Best Linear Unbiased Estimator) por sus siglas en inglés, o bien, mejor estimador lineal no sesgado (Caspary y Rueger, 1987, p.5).

Bajo los mismos criterios de optimización (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger y Wasle, 2007; Leick, Rapoport y Tatarnikov, 2015), el estimador de la varianza es:

$$S^2 = \frac{V^T P V}{n - u}$$

El anterior estimador es llamado BIQUE (Best Invariant Quadratic Unbiased Estimator) por sus siglas en inglés (Caspary y Rueger, 1987, p. 103).

Con el GMM se pueden obtener también otros resultados importantes como lo son la matriz de varianza-covarianza de las incógnitas  $\Sigma_{xx}$ . En ella está contenida la información sobre la exactitud de los parámetros  $\hat{x}$  obtenidos con el ajuste. Esta matriz se calcula (Caspary y Rueger, 1987, p. 40):

$$\Sigma_{xx} = \sigma^2 Q_{xx}$$

Donde  $Q_{xx}$  es la matriz de cofactores de los parámetros y es calculada como:

$$Q_{xx} = (A^T P A)^{-1}$$

La exactitud de cada parámetro se obtiene de la siguiente forma (Caspary y Rueger, 1987, p. 44):

$$S_{X_i} = S_o \sqrt{q_{x_i x_i}}$$

El valor  $q_{x_i x_i}$  es el  $i$ -ésimo elemento de la diagonal principal de la matriz  $Q_{xx}$ .

Con la matriz de los cofactores de las observaciones  $Q_{ii}$  se obtiene la exactitud de las observaciones ajustadas (Caspary y Rueger, 1987, p. 6; Ghilani, 2017):

$$Q_{ii} = A Q_x A^T$$

La matriz de los cofactores de los residuos  $Q_v$  facilita la detección de errores groseros en las observaciones:

$$Q_v = Q_{ll} - Q_{ii}$$

El vector de residuos  $V$ , se puede utilizar para controlar el modelo del ajuste bajo el criterio de mínimos cuadrados, usando el *test* global del modelo, el cual se detalla más adelante.

$$V = - Q_v P l$$

### Test global del modelo

Según Haidar e Ibrahim (2021) y Hekimoglu, Demirel y Aydin (2002), asumir que las observaciones siguen una distribución normal con valor esperado  $Ax$  y con varianza  $\Sigma_{ll}$  es:

$$s \text{ } IN(Ax, ll)$$

El *test* global permite saber si el modelo del ajuste es correcto o no (esto no significa que el modelo escogido sea el mejor). El criterio del *test* global (también llamado hipótesis nula) se expresa como:

$$H_0: E(S^2) = \sigma_0^2$$

Y lleva a la prueba estadística:

$$T = \frac{V^T P V}{\sigma_0^2}$$

El cual, bajo la hipótesis nula  $H_0$ , tiene una distribución  $\chi^2$  con  $n-u$  grados de libertad:

$$T \sim \chi_{(n-u)}^2 \mid H_0$$

La prueba se realiza como:

$$P\{T > \chi_{(n-u), 1-\alpha}^2 \mid H_0\} = 1 - \alpha$$

$\alpha$  = nivel de incertidumbre

$\chi_{(n-u), 1-\alpha}^2$  = Probabilidad de error, valor crítico de la distribución chi-cuadrado.

Si  $T > \chi_{(n-u), 1-\alpha}^2$ , se acepta la hipótesis nula, es decir, el *test* no indica contradicciones entre las observaciones y el modelo matemático. Se debe hacer notar que este *test* no puede indicar que el modelo sea el mejor o que las observaciones sean correctas, solo indica que no hay contradicción entre el modelo planteado y las observaciones realizadas. En el caso opuesto, si  $T < \chi_{(n-u), 1-\alpha}^2$ , es necesario revisar el modelo estocástico.

### Ajuste Libre

De acuerdo con Rodríguez, de Madeiro, Klein y Veiga (2020), en el ajuste libre lo que se hace es seleccionar todos los puntos de la red o algunos de ellos para que estos aporten con sus coordenadas la información

necesaria para la determinación del *datum* de la red independientemente del *datum* del sistema de coordenadas usado.

Si se seleccionan todos los puntos de la red como nuevos, todos los puntos aportarán a la determinación del *datum*. A lo anterior se le llama ajuste libre con minimización total de traza. Si se seleccionan solo parte de los puntos de la red para determinar el *datum* se le llama ajuste con minimización parcial de traza.

La principal aplicación de las redes libres es la optimización de redes, además de ayudar a la búsqueda de errores groseros en las observaciones, ya que, al no estar ningún punto fijo, la geometría de la red está definida solo por las observaciones sin influencias externas.

### Metodología de desarrollo del programa

Para el desarrollo del programa se inició con una etapa de definición y documentación de requerimientos del sistema. Se partió de una lista básica de funcionalidades con las que debería cumplir el sistema por desarrollar, la cual tuvo en cuenta:

- Realizar ajuste con varianza cero (ajuste amarrado).
- Realizar ajuste libre, con minimización total de traza.
- Realizar ajuste libre con minimización parcial de traza.
- Realizar iteraciones para mejorar las coordenadas aproximadas.
- Realizar el *test* global del ajuste.
- Realizar detección de errores groseros en las observaciones.
- Efectuar ajustes en 1D y 2D.
- Manejar grupos de observaciones tales como ángulos, direcciones, acimuts, distancias, coordenadas, diferencias de altura.
- Calcular elipses de error y de confianza, tanto absolutas como relativas.
- Presentar los resultados de la red ajustada en forma gráfica.

Basado en esta lista básica de requerimientos, se procedió a especificarlos mediante la técnica de prototipos para validar con los usuarios e interesados de proyecto que el diseño funcional corresponde con los requerimientos de *software*. Para esta etapa del desarrollo se interactuó con estudiantes de los cursos de Ajuste 1, Ajuste 2, Ajuste 3 y Diseño Geodésico 1. Con cada interacción se fue mejorado la funcionalidad del sistema para el



ajuste de redes geodésicas, hasta tener un sistema que cumple con todas las necesidades de la ETCG para la enseñanza del ajuste geodésico de redes.

Se llevó a cabo una serie de pruebas del sistema de forma que se pudiera determinar si los resultados obtenidos eran correctos en cuanto exactitud y fiabilidad. En esta etapa, se contrastaron los resultados del programa con resultados obtenidos de forma manual y de otros programas de ajuste.

El programa fue desarrollado en la plataforma de MATLAB®. De acuerdo con MATLAB (2022); Moore, Olguín y Nuño (2007), este programa combina un entorno para el análisis iterativo y los procesos de diseño con un lenguaje de programación que expresa las matemáticas de matrices y arreglos directamente, además permite la integración con otros lenguajes de programación como C/C+, Python, Fortran y Java. Cabe destacar que el código del programa es compatible con la plataforma Octave, considerada el equivalente libre de MATLAB® (Nogueras, 2007).

### **Análisis de resultados**

Para determinar la calidad de los resultados generados por el programa de ajuste se procedió a realizar una serie de pruebas que consistían en llevar a cabo varios ajustes de redes geodésicas de prueba. El programa fue capaz de calcular de forma correcta las coordenadas ajustadas de los vértices de la red y su desviación estándar, así como calcular el *test* global y la determinación de errores groseros en las observaciones.

El programa presenta los resultados del *test* global, lo que permite al usuario determinar con 95% de probabilidad si la varianza empírica coincide con la varianza teórica.

En la Tabla 1 se muestra la salida del programa, en donde se indica que el *test* global ha fallado, por lo que los resultados del ajuste no son válidos, así que el usuario deberá analizar los resultados determinar las causas.

Como se puede observar en la Tabla 1, el *test* global falla, esto debido a que puede existir un error grosero en una o varias observaciones, cosa que se comprueba analizando los resultados de la detección de errores groseros que realiza el programa. También, se puede deber a que existe un factor de escala en la red, hecho que se comprueba agregando como incógnita adicional el parámetro de ESCALA, mediante las opciones de cálculo que brinda el programa de ajuste.

**Tabla 1. Resultado del *test* global del ajuste**

---

RESULTADOS DEL AJUSTE

Desviación estandar a priori ( $\sigma_0$ ) :  $\pm 1.00$   
 Desviación estandar a posteriori ( $S_0$ ) :  $\pm 0.89$

-----  
 Test Global (distribución de Chi-cuadrado): PASO  
 -----

Limite inferior = 0.2158  
 Limite superior = 9.3484  
 Valor de prueba t = 2.3498

Al 95% de probabilidad, la varianza empírica coincide con la varianza teórica

Fuente: Elaboración propia.

El programa también presenta, como parte de los resultados del cálculo, las coordenadas ajustadas de los vértices de la red y su desviación estándar como se muestra en la Tabla 2. Además, el usuario puede corroborar si las coordenadas aproximadas de los puntos están dentro del ámbito diferencial analizando los valores en las columnas DE y DN, presentados en la Tabla 2.

**Tabla 2. Coordenadas ajustadas**

COORDENADAS INICIALES								
NUM.	PUNTO	TIPO	COORDENADAS [m]					
			ESTE	NORTE				
1	ORATORIO	N	491777.72700	229788.10500				
2	NANO	N	505542.42800	226126.36200				
3	GALLO	F	484407.67100	223659.22200				
4	FILA	F	515077.17900	207977.45900				
5	GUARARI	F	521886.15600	234311.35800				
6	PALMIRA	F	495699.18800	242580.63200				

COORDENADAS AJUSTADAS										
NUM.	PUNTO	TIPO	COORDENADAS APROXIMADAS		DE [mm]	DN [mm]	COORDENADAS AJUSTADAS		DESV. ESTANDAR [mm]	
			ESTE	NORTE			ESTE	NORTE	SE	SN
1	ORATORIO	N	491777.72700	229788.10500	+119.47	+249.43	491777.84647	229788.35443	32.5	33.3
2	NANO	N	505542.42800	226126.36200	+65.98	-235.21	505542.49398	226126.12679	31.8	40.9

Fuente: Elaboración propia.

Las elipses de confianza para cada vértice de la red son determinadas por el programa. Se calculan las dimensiones del semieje mayor y menor, además de la orientación de la elipse como se muestra en la Tabla 3.

Basado en los resultados anteriores, se puede determinar si se cumplen con los criterios técnicos de exactitud definidos en la etapa de diseño de la red geodésica.

**Tabla 3.** Elipses de confianza

ELIPSES DE CONFIANZA AL 95% DE PROBABILIDAD									
NUM.	PUNTO	TIPO	COORDENADAS AJUSTADAS		DESV. ESTANDAR [mm]		a [mm]	b [mm]	alpha [gons]
			ESTE	NORTE	SE	SN			
1	ORATORIO	N	491777.84647	229788.35443	32.54	33.34	94.97	49.87	151.37600
2	NANO	N	505542.49398	226126.12679	31.81	40.92	96.73	69.91	21.21459

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se presenta la información relacionada con las observaciones como el valor ajustado, la desviación estándar y su número redundante. En este caso se tienen dos grupos de observaciones, el G1 y G2. Se puede ver también la información relevante sobre el  $v^T P v$ , redundancia y desviación estándar de cada grupo como se muestra en la Tabla 4.

El programa es capaz de trabajar con grupos de observaciones que son definidos por el usuario basado en un criterio propio. Efectuar el ajuste de esta forma (agrupando las observaciones) permite analizar los resultados para cada grupo definido por separado y en caso de que fuera requerido, efectuar un posterior equilibrio de varianzas según los resultados del grupo de observaciones analizado.

**Tabla 4.** Información sobre las observaciones de la red

Grupo [#1]: G1									
DISTANCIAS (5) 10.00 mm + 3.00 ppm									
v'pv: 0.689 r:1.77 So:0.623									
Factor de escala del grupo $M=(1+m*10^{-6})= (1+-24.295*10^{-6})$ : 0.9999757 [mm/km]									
NUM.	DESDE	HASTA	OBSERVADO [m]	AJUSTADO [m]	v [mm]	p	SIGMA [mm]	r	
1	GALLO	ORATORIO	9585.46800	9585.47266	+4.66	1.00	26.33	0.05	
2	FILA	ORATORIO	31914.39900	31914.33164	-67.36	0.10	49.92	0.66	
3	GUARARI	ORATORIO	30445.37800	30445.40726	+29.26	0.11	43.41	0.72	
4	PALMIRA	ORATORIO	13379.48500	13379.48378	-1.22	0.54	35.32	0.07	
5	NANO	ORATORIO	14243.14700	14243.15887	+11.87	0.48	32.81	0.29	

Grupo [#2]: G2									
DISTANCIAS (4) 10.00 mm + 3.00 ppm									
v'pv: 1.661 r:1.23 So:1.163									
Factor de escala del grupo $M=(1+m*10^{-6})= (1+-19.071*10^{-6})$ : 0.9999809 [mm/km]									
NUM.	DESDE	HASTA	OBSERVADO [m]	AJUSTADO [m]	v [mm]	p	SIGMA [mm]	r	
6	GALLO	NANO	21277.8640	21277.90150	+37.50	0.22	44.67	0.39	
7	FILA	NANO	20500.47400	20500.44707	-26.93	0.24	48.84	0.22	
8	GUARARI	NANO	18278.38000	18278.41771	+37.71	0.30	42.56	0.26	
9	PALMIRA	NANO	19173.66000	19173.61186	-48.14	0.27	41.14	0.37	

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el análisis de detección de errores groseros sobre las observaciones mediante la Tabla 5. Con estos datos es posible determinar si una o varias observaciones están influenciadas por un error grosero. De ser así, el usuario puede tomar la decisión de eliminar la observación afectada o medir de nuevo la observación en el campo con el fin de volver a realizar el ajuste y obtener resultados sin la afectación de errores groseros que distorsionan los resultados obtenidos.

**Tabla 5.** Detección de errores groseros con el test de Pope

TEST POPE (95%) tau=1.55  
 Grupo [#1]: G1 DISTANCIAS (5)

NUM.	DESDE	HASTA	v [mm]	p	SIGMA [mm]	r	POPE TEST
1	GALLO	ORATORIO	+4.66	1.000	26.33	0.05	0.81
2	FILA	ORATORIO	-67.36	0.100	49.92	0.66	0.98
3	GUARARI	ORATORIO	+29.26	0.110	43.41	0.72	0.43
4	PALMIRA	ORATORIO	-1.22	0.542	35.32	0.07	0.13
5	NANO	ORATORIO	+11.87	0.481	32.81	0.29	0.57

TEST POPE (95%) tau=1.55  
 Grupo [#2]: G2 DISTANCIAS (4)

NUM.	DESDE	HASTA	v [mm]	p	SIGMA [mm]	r	POPE TEST
6	GALLO	NANO	+37.50	0.222	44.67	0.39	1.05
7	FILA	NANO	-26.93	0.239	48.84	0.22	1.05
8	GUARARI	NANO	+37.71	0.298	42.56	0.26	1.51
9	PALMIRA	NANO	-48.14	0.272	41.14	0.37	1.54

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla anterior, el programa de ajuste muestra datos como residuo (v), peso (p), desviación estándar (SIGMA) y número redundante (r), con los que se puede analizar de forma individual a cada observación. Además, se calcula el valor límite para la prueba de errores groseros usando el *test* de Pope<sup>6</sup>, bajo la distribución Tau. Con eso, se determina cual observación está bajo la influenciada de un error grosero.

Adicionalmente, el programa de ajuste también calcula la prueba de errores groseros mediante el *test* de Baarda<sup>7</sup>, como se muestra en la Tabla 6. Se incluye en el cálculo el error mínimo detectable (EMD) que indica la magnitud

6 Cuya información se muestra al detalle en “A robust method for multiple outliers detection in multi-parametric” (Chong, 1987).

7 Cuya información se muestra al detalle en “On the statistical power of Baarda’s outlier test and some alternative” (Lehmann y Voß-Böhme, 2017).

mínima de un error que puede ser detectada por el *test* de errores groseros. Asimismo, se determina el número de influencia (Num. Influ.) de cada observación, dato que indica como afecta la observación en los resultados del ajuste.

**Tabla 6.** Detección de errores groseros con el test de Baarda

TEST BAARDA DISTRIBUCION FISHER OBSERVACIONES (95%) F=18.51  
 Grupo [#1]: G1 DISTANCIAS(5)

NUM.	DESDE	HASTA	v [mm]	p	SIGMA [mm]	r	EMD [mm]	Num. Influ.	BAARDA TEST
1	GALLO	ORATORIO	+4.66323	1.000	26.33	0.05	586.34	18.82	+0.57
2	FILA	ORATORIO	-67.36153	0.100	49.92	0.66	487.05	2.96	+0.93
3	GUARARI	ORATORIO	+29.25675	0.110	43.41	0.72	445.49	2.59	+0.13
4	PALMIRA	ORATORIO	-1.21925	0.542	35.32	0.0	644.42	15.03	+0.01
5	NANO	ORATORIO	+11.87045	0.481	32.81	0.29	336.35	6.48	+0.24

TEST BAARDA DISTRIBUCION FISHER OBSERVACIONES (95%) F=18.51  
 Grupo [#2]: G2 DISTANCIAS(4)

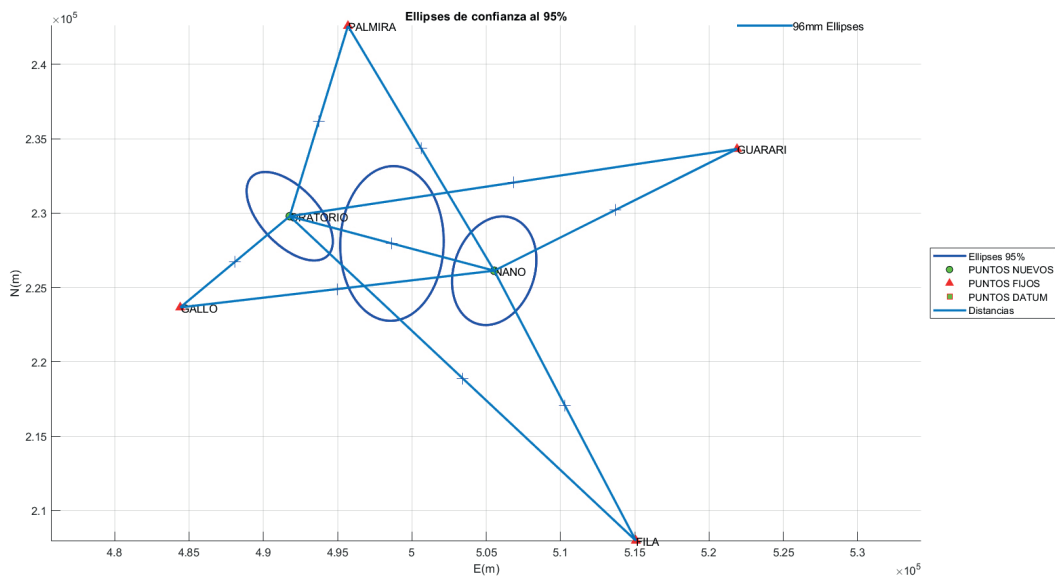
NUM.	DESDE	HASTA	v [mm]	p	SIGMA [mm]	r	EMD [mm]	Num. Influ.	BAARDA TEST
6	GALLO	NANO	+37.49609	0.222	44.67	0.39	424.25	5.13	+1.16
7	FILA	NANO	-26.93129	0.239	48.84	0.22	550.22	7.82	+1.17
8	GUARARI	NANO	+37.71393	0.298	42.56	0.26	451.83	6.99	+6.39
9	PALMIRA	NANO	-48.13973	0.272	41.14	0.37	395.57	5.39	+7.53

Fuente: Elaboración propia

Esta información permite mejorar el diseño de la red, de tal forma que se eliminan observaciones cuyo EMD sea muy alto y que tengan una influencia muy alta en los resultados del ajuste. El número redundante ( $r$ ) permite determinar qué tan controlada esta una observación, es decir la capacidad de la red para detectar un error grosero, su valor debe estar en el rango de 0 a 1, indicando el valor de  $r = 1$  que la observación está completamente controlada y  $r = 0$  una observación sin control, es decir que se puede cometer un error de magnitud infinita en la observación y no ser detectado.

El programa desarrollado presenta de forma gráfica la configuración de la red geodésica ajustada, a la vez que muestra las elipses relativas y de confianza, las observaciones y la distribución de los vértices que conforman la red, como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1.** Visualización gráfica de la red geodésica



Fuente: Elaboración propia

## Discusión

En este artículo se han presentado los resultados de una actividad de investigación de la ETCG, la cual desarrolló un sistema informático para el ajuste de redes geodésicas bajo una visión de *software* libre y abierto. Se espera que el sistema permita mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje en los diferentes cursos de la carrera de Topografía, en los que se requiera realizar el ajuste de redes geodésicas en una y dos dimensiones, así como también aportar al desarrollo de proyectos de investigación en donde se necesite un sistema con estas funcionalidades. Cabe destacar que como ventaja adicional se logró que la Escuela de Topografía no tenga que invertir en la compra de licencias de ese tipo de *software*, pues ahora se cuenta con una herramienta propia. El programa resultante es capaz de brindar todos los resultados necesarios para el ajuste de redes geodésicas medidas con métodos convencionales y su análisis, de forma comparable con cualquier programa comercial licenciado.

## Referencias

- Caspary, W. y Rueger, J. M. (1987). Concepts of network and deformation analysis. University of New South Wales.
- Chong, A. K. (1987). A robust method for multiple outliers detection in multi-parametric models. *PHOTOGRAMM. ENG. REMOTE SENS.* 53 (6), 617-620.
- Ghilani, C. D. (2017). Adjustment computations: spatial data analysis. John Wiley & Sons.
- Haidar, K. A. M. e Ibrahim, A. M. (2021). Comparison Between Gross Errors Detection Methods in Surveying Measurements. *Journal of Engineering and Computer Science.* 22 (1) 47-55.
- Hekimoglu, S., Demirel, H., y Aydin, C. (2002). Reliability of the conventional deformation analysis methods for vertical networks.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., y Wasle, E. (2007). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more.* Springer Science & Business Media.
- Koch, K. R. (1999). *Parameter estimation and hypothesis testing in linear models.* Springer Science & Business Media.
- Leick, A., Rapoport, L. y Tatarnikov, D. (2015). *GPS satellite surveying.* John Wiley & Sons.
- Lehmann, R., y Voß-Böhme, A. (2017). On the statistical power of Baarda's outlier test and some alternative. *Journal of geodetic science.* 7 (1), 68-78.
- MATLAB. (2022). version 9.12.0.1927505 (R2022a). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
- Montenbruck, O. y Eberhard, G. (2000). *Satellite orbits: models, methods, and applications.* Springer.
- Moore, H., Olguín, V. C., y Nuño, R. M. (2007). Matlab para ingenieros (No. 620.0013 M66 2007.). Pearson Educación.
- Nogueras, G. B. (2007). Octave: Una alternativa real a Matlab a coste cero. Fluid Dynamics Group, UPM, 1-7.
- Rodríguez, F. A. C., de Madeiro, L. Í. B., Klein, I., y Veiga, L. A. K. (2020). Free network adjustment: Minimum inner constraints and Pseudo-inverse approaches. *UD y la geomática.* (15). 59-68
- Verhagen, S., Teunissen, P. J. (2017). Least-Squares Estimation and Kalman Filtering. In: Teunissen, P.J., Montenbruck, O. (eds) Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer Handbooks. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1_22)



## **Reflexiones teóricas sobre la movilidad y la planificación urbano sostenible aplicadas a la Gran Área Metropolitana, Costa Rica**


Theoretical reflections on mobility and sustainable urban planning applied to the Greater Metropolitan Area, Costa Rica

Reflexões teóricas sobre mobilidade e planejamento urbano sustentável aplicadas à Grande Área Metropolitana, Costa Rica

*Greyty Quesada-Thompson<sup>1</sup>*  
*Universidad Nacional, Costa Rica*

### **Resumen**

En Costa Rica y en particular en la Gran Área Metropolitana la mayoría de los estudios desarrollados en el tema de movilidad y transporte plantean propuestas relacionadas con el derecho a la movilidad y a la implementación de la intermodalidad, sin embargo, no establecen la viabilidad para ejecutarlas. También, se deja de lado el análisis de los temas teóricos y del enfoque bajo el cual se abordan. En este artículo se propone una serie de reflexiones teóricas sobre conceptos y principios importantes de la movilidad urbana, basados en la metodología de la planificación estratégica de ciudades y bajo el enfoque de planificación urbano sostenible. A partir de los principios de continuidad y conectividad que buscan promover el movimiento y desplazamiento de personas, bienes y servicios, este artículo consideró el planteamiento del concepto de corredor urbano como estrategia de movilidad. Se incluye, un breve estudio de la morfología urbana y un modelo de circulación (en un sector de la Gran Área Metropolitana). Los resultados evidenciaron la limitada capacidad del GAM para promover interconexiones entre diferentes lugares.

1 Máster en Diseño Urbano-Arquitectura de la UCR. Académica Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional de Costa Rica. Consultora independiente. Correo electrónico: [greytyquesada@gmail.com](mailto:greytyquesada@gmail.com).  <https://orcid.org/0000-0002-2186-0005>

**Palabras clave:** movilidad urbana, planificación urbano sostenible, intermodalidad, morfología urbana, corredor urbano.

### Abstract

In Costa Rica and in particular in the Greater Metropolitan Area (GAM), most of the studies on the subject of inter-modality and transportation raise proposals related to the right to mobility and the implementation of inter-modality, however, they do not establish the feasibility to execute it. Also, the analysis of the theoretical issues and the approach under which they are oriented are left aside. This article proposes a series of theoretical reflections on important concepts and principles of urban mobility, based on the methodology of strategic city planning and under the sustainable urban planning approach. From the principles of continuity and connectivity that seek to promote the movement and displacement of people, goods and services, this article considered the approach of the concept of urban corridor as a strategy for mobility. It's included, a brief study of urban morphology and a circulation model (in a sector of the Greater Metropolitan Area). The results evidenced the GAM's limited capacity to promote interconnections between different places.

**Keywords:** urban mobility, sustainable urban planning, inter-modality, urban morphology, urban corridor.

### Resumo

Na Costa Rica e em particular na Grande Região Metropolitana, a maioria dos estudos desenvolvidos sobre o tema mobilidade e transporte levanta propostas relacionadas ao direito à mobilidade e à implementação da intermodalidade, porém, não estabelecem a viabilidade de executá-las. Também é deixada de lado a análise das questões teóricas e a abordagem sob a qual elas são abordadas. Este artigo propõe uma série de reflexões teóricas sobre importantes conceitos e princípios da mobilidade urbana, com base na metodologia do planejamento estratégico urbano e sob a abordagem do planejamento urbano sustentável. Com base nos princípios de continuidade e conectividade que buscam promover a circulação e deslocamento de pessoas, bens e serviços, este artigo considerou a abordagem do conceito de corredor urbano como estratégia de mobilidade. Inclui-se um breve estudo da morfologia urbana e um modelo de circulação (em um setor da Grande Área Metropolitana). Os resultados evidenciaram a capacidade limitada do GAM em promover interconexões entre os diferentes locais.

**Palavras-chave:** Corredor urbano; Intermodalidade; Mobilidade urbana; Morfologia urbana; Planejamento urbano sustentável.

## Introducción

El área de estudio del presente trabajo se delimita en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica (GAM), abarca 31 cantones y 164 distritos, lo que hace que este artículo sea de alcance regional. Este análisis se formula bajo la metodología de la planificación estratégica de ciudades y bajo el enfoque de planificación urbano sostenible.

Este artículo expone bajo una serie de reflexiones, cómo es que, en la GAM, así como en otras ciudades del mundo es en donde mayormente se

crean los espacios que determinan el desarrollo de las actividades básicas de las personas como lo son la vivienda, el trabajo, la educación, la recreación y la salud, entre otros. Por ello, plantea que una ciudad planificada y que tiene por objetivo alcanzar el bienestar de sus habitantes y visitantes, debe garantizar la movilidad y el acceso a los servicios básicos de manera inclusiva y ambientalmente sostenible.

Es así, como la movilidad urbana, la sostenibilidad de las ciudades y la calidad de vida de las personas son temas que, junto con la distancia, costos de transporte, intermodalidad, configuración urbana y modelo de circulación urbana, son medulares a lo largo de este artículo.

En Costa Rica, el inicio del crecimiento de su Gran Área Metropolitana (GAM) fue disperso, lineal (a lo largo de las principales vías de comunicación) y con poca densidad de población ([Programa Estado de la Nación, 2018, p. 229](#)). Actualmente, la GAM presenta una planificación regida por la centralización, alberga aproximadamente el 54% del total de la población del país, y concentra la mayor cantidad de actividades económicas y de servicios. Dentro de sus límites se encuentran 31 de los 82 cantones en Costa Rica y, por su extensión y forma (23704,97 hectáreas), las distancias que deben recorrerse entre un punto y otro son relativamente cortas ([Programa Estado de la Nación, 2018, p 232](#)).

En la GAM, como en otras áreas metropolitanas del globo, la dispersión de usos y funciones en el territorio provoca que las personas tengan que desplazarse a veces de manera difusa y, en otras, de una manera muy predecible. La mayoría de las personas viven y trabajan en cantones distintos, para realizar los traslados, es necesario utilizar una estructura vial que se concentra y converge en las cabeceras de provincia: San José, Alajuela, Heredia y Cartago. ([Instituto Costarricense de Ferrocarriles, 2019](#)). En esas principales ciudades se encuentran los puntos con la mayor cantidad de embotellamientos, por lo que, más que un problema de localización de actividades, ese territorio se enfrenta a un problema de movilidad y de capacidad de infraestructura.

En Costa Rica y, específicamente en la GAM, se han realizado estudios diagnósticos, se ha creado legislación, propuestas de intervención en distintas áreas, así como de planificación urbana (algunos de ellos se mencionarán a continuación) con el fin de fomentar el uso y consumo eficiente del suelo, la construcción sostenible, la movilidad y el fortalecimiento

del transporte público (Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, 2014, p 2.). Pero, en la urgencia por buscar soluciones, se ha dejado al margen el abordaje teórico intrínseco a la movilidad y a la planificación urbano sostenible. Por lo que el objetivo del presente artículo es propiciar la reflexión y la discusión sobre el tema.

### **I Reflexión: Distancia y costos de desplazamiento**

La primera reflexión de este artículo, parte de que la mayoría de las actividades realizadas por la sociedad son sensibles a la distancia, cuyo recorrido implica un costo. Estos costos pueden ser costos de transporte de personas, de mercancías, de comunicación y de información. Los costos relacionados con el desplazamiento también son estimados por el valor del tiempo utilizado. El tiempo es un recurso escaso, por lo que es necesario maximizarlo cuando es utilizado para el transporte (Polèse, 1998, p 60.).

En la GAM, el congestionamiento vial, el crecimiento sostenido y acelerado de la flota vehicular privada, los desarrollos residenciales alejados de los centros de trabajo y las deficiencias en el diseño de la infraestructura vial existente han venido afectando negativamente la calidad de vida de las personas, así como la calidad ambiental. Los accidentes de tránsito han venido en aumento, así como la contaminación por emisiones de gases de efecto invernadero, lo que le ha significado al país un costo de 3 146 millones de dólares anuales (Programa Estado de la Nación, 2018, p 242.).

Es así, como los costos del congestionamiento vial se trasladan a los costos de los bienes y servicios transportados, a la vez que son asumidos tanto por las empresas como por los individuos; lo que genera una externalidad negativa que se refleja en las actividades económicas y en la calidad de vida de las personas. Según datos del Programa Estado de la Nación (2020, p 151.), actualmente la tasa de incremento anual de la flota vehicular es en promedio de un 6%, mientras que la tasa de incremento anual de la población es en promedio de un 2%.

Según Sánchez (2018, p 258-259), la GAM cuenta con un sistema de transporte masivo desarticulado en donde se incentiva y predomina el uso de vehículos privados. El 41% de los viajes en transporte público requieren que el usuario realice al menos un transbordo, lo que provoca el incremento de los costos e incentiva la disminución en el rendimiento de los desplazamientos (Programa Estado de La Nación, 2018, p 256).

La proximidad a los recursos y servicios que ofrece un territorio es una variable determinante para que la población se concentre en él y lo consolide como un núcleo urbano (Butler, 1986). La GAM no cuenta con una estación central; y en San José se ubican de manera dispersa más de 20 terminales de autobuses de larga distancia (Programa Estado de La Nación, 2018 p.238). Por lo que, es necesario incentivar la discusión que lleve a determinar qué tanto la dispersión y desarticulación de la movilidad en la GAM ha intervenido en que algunas o ninguna de las cabeceras de las subáreas metropolitanas (Heredia, Cartago, Alajuela y San José) hayan logrado consolidarse bajo el concepto de centralidad geográfica y de núcleo urbano.

## II Reflexión: El derecho a la movilidad

Una vez discutido el concepto de distancia y el costo que implica recorrerla es ineludible reflexionar sobre el derecho que tienen las personas a recorrer distancias. El derecho que tienen las personas a la movilidad se encuentra establecido en tres declaraciones internacionales: la Carta Mundial del Derecho a la Ciudad, la Nueva Agenda Urbana (NAU) y en los Objetivos del Desarrollo Sostenible 2030. La Carta por el Derecho a la Ciudad, en el artículo I, establece:

Las ciudades deben garantizar a todas las personas el derecho de movilidad y circulación en la ciudad, de acuerdo con un plan de desplazamiento urbano e interurbano y a través de un sistema de transportes públicos accesibles, a precio razonable y adecuado a las diferentes necesidades ambientales y sociales (de género, edad y discapacidad) (Organización de las Naciones Unidas, 2005 A)

En los Objetivos del Desarrollo Sostenible, el Objetivo 11 plantea: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles (ONU, 2005 B). Este objetivo consta de diez metas, de las cuales dos están directamente relacionadas con la movilidad.

Desde la NAU (ONU, 2016), se determina que la movilidad no solo cumple una función de conexión entre nodos, sino que es un medio para que los habitantes satisfagan sus necesidades básicas. Se promueve el uso y apropiación de los espacios públicos, y establece que las ciudades deben integrar en la planificación y en el diseño de las infraestructuras la seguridad vial y la movilidad sostenible (ONU, 2016).

En Costa Rica, el derecho a la movilidad tiene su asidero legal en el artículo No. 22 de la **Constitución Política**, el cual establece que todo costarricense puede trasladarse y permanecer en cualquier punto de la República. Sin embargo, se ha dejado de lado el estudio de la morfología urbana, el abordaje de cómo se organiza espacial y funcionalmente la GAM y cómo estos temas inciden de manera directa con la posibilidad que tienen las personas de permanecer y desplazarse dentro de sus límites.

Por ejemplo, el estado y la infraestructura de las ciclovías y las aceras no garantizan las condiciones de accesibilidad e inclusión social a toda la población que habita y visita la GAM (**Hernández y Jiménez, 2018 p. 22-27**). Desde el derecho a la igualdad en la movilidad urbana, surge el concepto de accesibilidad universal. La accesibilidad, se entiende como la capacidad que tienen las personas de llegar en condiciones adecuadas a los lugares en donde pueden satisfacer sus necesidades básicas. Es así, como la conectividad se establece como una de las funciones de la accesibilidad (**Miralles, 2002**).

Si la proximidad a los bienes y servicios involucra que el desplazamiento de las personas dependa directamente de la utilización de medios de transporte, es posible determinar un acceso desigual y una segregación socio espacial (**Tapia, 2018 p. 3-4**). En la planificación urbana, la función de proximidad determina la relación entre los usos del suelo y la localización de las actividades.

Un determinado uso puede provocar distintos efectos y actividades de acuerdo con el flujo de demanda que genere según su función y localización (**Polèse, 1998 p. 65-68**). Por ello, uno de los desafíos de la planificación urbana está en lograr la convergencia entre la localización, la accesibilidad y la proximidad.

La planificación urbana debe incentivar la distribución equitativa de los servicios en el espacio, así como de los modos de transporte, con el fin de garantizar una movilidad accesible y ambientalmente sostenible (**Harvey, 2007 p. 221**). El diseño de los espacios urbanos debidamente conectados debe contemplar que cualquier persona independientemente de sus capacidades técnicas, cognitivas o físicas pueda visitar cualquier lugar o puedan acceder a cualquier servicio.

La distancia de la población con respecto al mercado es la que determina los distintos patrones de distribución del uso del suelo en las ciudades.

En este sentido, la definición de las densidades es esencial para controlar los efectos diferenciados entre la oferta y la demanda de espacio, bienes y servicios. Por ello, el incremento de la densidad mediante el desarrollo inmobiliario debe ser coherente con la trama urbana, la infraestructura vial y el transporte público.

Los espacios bien dotados de bienes, servicios y fuentes de empleo reducen los desplazamientos (Polèse, 1998 p. 72-73). Además, se ha evidenciado, que la integración de los usos mixtos permite la cohesión social a través de la disminución de las distancias. En el Plan GAM 2013-2030, (Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, 2014, p. 44 - 46), en la Dimensión Urbano Regional se establecen una serie de criterios de desarrollo para las centralidades densas integrales en función del equipamiento, redes de servicio y el uso mixto, sin embargo, queda pendiente discutir y definir: ¿cuáles son los usos que se van a mezclar?, ¿para quienes y a quienes van a pertenecer las actividades que se van a mezclar?, ¿este tipo de planificación puede generar exclusión y segregación?

### **III Reflexión: Intermodalidad y movilidad urbana sostenible**

La tercera reflexión de este artículo expone los medios que la sociedad utiliza para hacer los desplazamientos, y si es posible enmarcarlos bajo el enfoque de desarrollo sostenible.

De acuerdo con Behrends (2017, p. 11) varios autores han demostrado que los patrones del uso del suelo disperso y extensivo a lo largo de las carreteras además de carecer de diseño urbano y de paisajismo, de incrementar los costos de infraestructura y del transporte urbano, presentan concentraciones de contaminantes que significan un alto riesgo para la salud humana.

Según Hesse (2009), este fenómeno es ocasionado por la búsqueda del dominio de los sitios que tienen su fachada frente a las principales carreteras urbanas en donde, por la competencia y los desarrollos en función del automóvil, se ha dejado de lado la planificación del diseño urbano.

Los espacios dispersos a lo largo de las vías han sido denominados “espacios grises”, los cuales actualmente se visualizan como bancos de tierra aptos para un posible redesarrollo urbano. Las oportunidades de redesarrollo se encuentran en suburbios donde las densidades del uso del

suelo son relativamente bajas, el valor de la tierra es alto y en donde la accesibilidad al transporte público es aceptable (Curtis, 2006 p. 162).

Con estas ideas de redesarrollo se le da la espalda al diseño de ciudades centrado en el automóvil y se busca que el diseño del transporte tenga un enfoque de desarrollo sostenible y que esté en función del lugar (Curtis, 2006 p. 175); y Curtis y Tiwari, 2008 p.108). También, se han creado nuevos conceptos: “calles habitables” (Appleyard, 1981 p. 834-835), “enlace y lugar” “dietas viales” (Rosales, 2006), “calles completas” (McCann, 2013) y “boulevardisation” (tipo de lugares de interés para dicha densificación se encuentra a lo largo de las rutas de tráfico que a menudo tienen terrenos sin construir a su lado) (Buhrgard, 2015 p.5). Bajo este enfoque y en la búsqueda por redistribuir los patrones de viaje, disminuir los tiempos de traslado, que los viajes diarios sean más localizados y que los viajes más largos sean realizados en el transporte público, en muchas ciudades del mundo ha surgido el transporte intermodal.

Las medidas que las autoridades alrededor del mundo han implementado para mejorar la eficiencia del transporte urbano y reducir el impacto ambiental, integran al transporte ferroviario en la intermodalidad. A pesar de que la extensión de la red ferroviaria casi siempre es limitada, se propone aumentar su alcance mediante la integración intermodal de la carretera con el ferrocarril, es decir, combinar el transporte ferroviario y por carretera en una sola cadena de transporte (Behrends, 2017 p. 12).

Macharis y Bontekoning (2004 p. 402) definieron cuatro actividades u operaciones principales que se desarrollan en una intermodalidad:

- 1 Operaciones de recogida y de entrega.
- 2 Operaciones de transbordo.
- 3 Transporte de larga distancia.
- 4 Transporte utilizando toda la red intermodal.

Estos autores indican que la mayor distancia debe ser realizada por el ferrocarril, en donde se pueden incentivar economías de escala. Mientras que las acciones de recolección y distribución deben asignarse al transporte por carretera. Así, se incrementa el alcance del ferrocarril, se mejora la eficiencia del transporte urbano y se reduce el impacto ambiental.



Sin embargo, uno de los principales retos a superar siempre será el desempeño económico y ambiental de la intermodalidad. Según Behrends (2017 p.13), uno de los principales requisitos que el transporte intermodal debe cumplir para ser competitivo en el mercado del transporte, es contar con una red densa de terminales intermodales a pequeña escala, en donde se desarrollen acciones de transbordo.

Las operaciones de transbordo son medulares en la intermodalidad, ya que facilita la división de las tareas del transporte entre los recorridos cortos en carretera; y los largos, en ferrocarril. Sin embargo, estas operaciones requieren de terminales eficientes con tecnologías innovadoras que pueden generar altos costos de inversión con beneficios inciertos para los diferentes actores (Vrenken, Macharis y Wolters, 2005).

Estas situaciones ocasionan trastornos ambientales importantes, donde se ubican las terminales, el tráfico se concentra, por lo que las áreas adyacentes pueden verse afectadas por la congestión, la contaminación y el ruido, aspectos que generan externalidades negativas significativas (Ricci y Black, 2005 p. 247). Behrends (2017 p. 12-15), establece que para que las estrategias intermodales se lleven a cabo de manera óptima, la planificación urbana debe plantear alternativas que consideren:

- 1 Planificación del uso de la tierra.
- 2 Planificación y diseño de infraestructuras.
- 3 Incorporación de nuevas tecnologías.
- 4 Gestión y reglamentación de medidas relacionadas con el mercado inmobiliario.

Además de lo expuesto, no deben dejarse de lado las contribuciones de la investigación realizada en Kerala, India, por Sujith (2015 p. 1851), en donde se ha establecido que los elementos de diseño son fundamentales para el éxito del desarrollo del transporte urbano, así como para el desarrollo de los usos mixtos complementarios. El desarrollo equilibrado y sostenible de un espacio es posible mediante el análisis de los recursos disponibles y con la planificación e implementación de proyectos orientados a utilizarlos. Es el carácter arquitectónico sintonizado con el contexto, el que promueve espacios de calidad desde el diseño y el compromiso social desde los espacios públicos.

#### **IV Reflexión: Intermodalidad en la GAM**

La operacionalización de la intermodalidad en Costa Rica ha tratado de gestarse de varias maneras. En este apartado se mencionan las principales iniciativas y se reflexiona sobre las dinámicas que ellas han generado en la GAM.

En 1992, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) elaboró el Plan Maestro de la GAM: Vialidad, Tránsito y Transporte Público, con un horizonte temporal de 20 años, de 1992-2012. El plan se estructuró bajo tres grandes ejes: 1) planificación del transporte público, 2) vialidad y tránsito, y 3) urbanismo y regulaciones (MOPT, 2019).

El plan evidenció problemas importantes en esos tres grandes ejes. Por ejemplo, en el eje de transporte público se señalaron los siguientes problemas: a) el esquema único de rutas radiales que convergen en el área central comercial de la GAM, b) la inexistencia de rutas intersectoriales y de conexiones directas entre zonas, c) el conflicto de intereses particulares entre empresas y d) el crecimiento de la demanda de viajes, entre otros (MOPT, 2019)

Dentro de las principales propuestas que genera el plan se encuentran: la sectorización de la GAM en siete sectores con el objetivo de concesionar el transporte público de manera interlineal y la instalación de un tren interurbano que una a las cuatro principales ciudades de la GAM; generar zonas de empleo cerca de las ciudades secundarias de la GAM para evitar y disminuir los viajes a San José; realizar una campaña de convivencia urbana, crear parques lineales a lo largo de los ríos y quebradas, densificar los núcleos urbanos, construir nuevas rutas hacia Cartago y Heredia; y organizar el tránsito en situaciones de emergencia (Álvarez, 2005 p. 8-11).

En el 2001, la Dirección de Ingeniería de Tránsito (DGIT) coordinó con la empresa consultora, Cal y Mayor y Asoc. S.C., la elaboración del Estudio del Sistema de Control Computarizado de Tránsito de San José, 2001. El objetivo de este estudio fue construir un sistema de control computarizado de semáforos para 314 intersecciones en la ciudad de San José con el fin de optimizar el tránsito de la red vial primaria de la ciudad de cara al crecimiento de la flota vehicular (MOPT, 2019).

Entre los años 2001-2003, la empresa BCEOM-Sociedad Francesa de Ingeniería elaboró el Estudio de factibilidad de un sistema de transporte público masivo en el Área Metropolitana de San José, el cual, también

debió considerar los corredores viales hacia Alajuela, Cartago y Heredia. El diagnóstico señala que la ocupación del Valle central es dispersa y de baja densidad, presenta constantes cambios de uso del suelo agropecuario y forestal a uso urbano. Presenta zonas ambientalmente sensibles por ser zonas de recarga del manto acuífero muy permeable en la parte Norte y Noreste de la GAM (MOPT, 2019).

Dicho estudio contabilizó 223 rutas con una flota que ronda los 1200 autobuses para San José y, más de 3000 para el resto de la GAM. El estudio también evidenció que a partir de 1996 la demanda del transporte público disminuyó en 1.6 viajes por habitante y se incrementó el uso de los automóviles privados en un 30%. El documento además menciona como problema las demandas no satisfechas y el incremento de los llamados servicios de transporte paralelo de estudiantes y trabajadores. El estudio desarrolló cinco aspectos: la selección de corredores, la selección de tecnologías, evaluación de tecnologías, elaboración de propuestas y estrategias de implementación. Las propuestas de este estudio se enfocaron en el autobús, autobús articulado, trolebús, trolebús articulado y tranvía moderno.

El Plan GAM 2013-2030, en la Dimensión Movilidad ha propuesto un Sistema Integrado del Transporte Público con carácter intermodal, en donde se organicen e integren los autobuses, taxis, bicicleta y caminata (entre otros) con el tren interurbano (Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, 2014 p.54-72).

El Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER) desde el 2014 ha venido gestando el Proyecto Tren Rápido de Pasajeros actualmente llamado Tren Eléctrico, el cual consiste en optimizar la movilidad de pasajeros entre las ciudades de Cartago, San José, Heredia y Alajuela (Instituto Costarricense de Ferrocarriles, 2019). Por su parte, el MOPT, mediante el Plan Nacional de Transporte 2011-2035, establece una serie de acciones orientadas hacia el desarrollo de una infraestructura que garantice el intercambio intermodal entre los diferentes medios de transporte (transporte público, aeropuertos y ferrocarril) (MOPT, 2019).

Los estudios realizados en esta materia hasta la fecha han señalado desde hace varias décadas que el incremento acelerado de la población en zonas urbanas y el aumento de la flota vehicular no ha sido proporcional a la inversión en obras de desarrollo vial, lo que ha incentivado limitaciones importantes en la movilidad dentro de la GAM. Como lo señala el Plan

GAM 2013-2030, los diferentes medios de transporte compiten entre sí, lo que ha limitado la posibilidad de consolidar un sistema integrado de transporte público en la GAM.

Con los resultados de los diferentes estudios, la discusión sobre la problemática de movilidad urbana en la GAM no debe radicar en las distancias que deben recorrerse, sino que, subyace en que los análisis diagnósticos y prospectivos que se han realizado no han logrado determinar cuál es la capacidad de la infraestructura existente en relación con el desarrollo inmobiliario y las interacciones económicas del sistema productivo de la GAM.

El [Programa Estado de la Nación \(2020\)](#), define a la región Central-GAM como el “centro neurálgico de la economía nacional” ya que es en donde ocurren la mayor cantidad de transacciones. El sector comercio y transporte genera la mayor cantidad de ingresos en la GAM, por lo que es el principal proveedor del resto de las regiones del país.

Mediante un análisis de Matriz de Dependencia, [Jiménez-Fontana y Guzmán \(2020 p.103\)](#), demuestran mediante una extracción de nodos conectados directamente al sector comercio y transporte de la región Central-GAM, que la mayor parte de las conexiones del sector, mantienen relaciones de alta dependencia entre la GAM (45 de 55 conexiones) con sus vecinos inmediatos (otras regiones). Si la región Central-GAM presentara una afectación que paralice la capacidad de este sector para proveer a las otras regiones, todo el sistema colapsaría ([Jiménez-Fontana y Guzmán, 2020 p. 110-112](#)).

Debido a lo anterior, es menester entender no solo cuál es la dinámica de las relaciones entre los sectores de la economía, sino definir la dirección de los flujos de las transacciones en el espacio. También, es necesario planificar y determinar la ubicación de los distintos nodos de producción y consumo, así como las principales operaciones que se desarrollan en una intermodalidad (de recogida y de entrega, de transbordo, de larga distancia y de transporte que utilice toda la red intermodal) con el fin de optimizar las interacciones económicas que impliquen desplazamientos de un punto a otro punto en el territorio.

Como lo indica [Behrends \(2017 p.12\)](#), no es posible desarrollar estrategias intermodales al margen de la planificación urbana. Las estrategias intermodales se optimizan y encuentran viabilidad cuando se integran la planificación del uso de la tierra, la regulación y gestión del mercado

inmobiliario, las interacciones económicas del sistema productivo, la planificación y el diseño de infraestructuras mientras el eje transversal es la incorporación de nuevas tecnologías.

### **V Reflexión: Estudio de la morfología y modelo de circulación urbana**

Se ha demostrado que la red de calles, caminos y otras líneas de tránsito, son las que organizan la dinámica en la que se desenvuelven las personas en una ciudad. Este tipo de redes son las que determinan el desplazamiento de las personas, las decisiones de ubicación y la textura o forma del tejido urbano (Jacobs, 1995; Levinson y El-Geneidy, 2009 p. 737; Parthasarathi, Hochmair, y Levinson, 2015 p. 1092-1093).

Por lo anterior, la quinta reflexión de este artículo expone cómo mediante el estudio de la morfología urbana y de la construcción de un modelo de circulación es posible determinar las dinámicas y las direcciones de los desplazamientos en el territorio.

De acuerdo con Salom, Albertos, Delios y Pitarch (1997 p. 348-355); Salom y Casado (2007 p. 24-26), los métodos más comunes empleados para caracterizar la estructura urbana son tres: 1) los que utilizan indicadores para identificar características sociales, económicas y demográficas asociadas al espacio urbano, 2) los que consideran las características morfológicas tales como la densidad del espacio construido, la continuidad del área urbanizada, y el tipo de uso del suelo, entre otros; y 3) los que utilizan indicadores de movilidad, residencia y desplazamientos que permiten establecer una relación funcional entre núcleos urbanos.

Sin embargo, durante los últimos años los investigadores urbanos han mostrado interés por incorporar al estudio de la morfología urbana variables tales como: los patrones de la red vial, su rendimiento, complejidad y configuración, entre otros (Barthelemy 2011 p. 9-12; Batty, 2003 p.17-20; Masucci, Stanilov y Batty, 2013 p. 1-2).

Por su parte, Boeing (2019 p.1) aborda su investigación desde la naturaleza de la antropía (grado de desorden de un sistema) para cuantificar patrones de orden espacial y el desorden en los sistemas de circulación urbana Gudmundsson y Mohajeri, 2013 p. 824; Mohajeri, French, y Gudmundsson, 2013 p. 3348; Mohajeri, French y Batty, 2013 p. 13-15; Mohajeri y Gudmundsson, 2012; Mohajeri y Gudmundsson, 2014 p. 346-346; Yeh y Li, 2001 p.83-89).

El grado de entropía en una ciudad puede determinar el orden y desorden de las calles. Por lo que es posible medirla entropía considerando la longitud del segmento de la calle, el grado de nodo promedio y la proporción de intersecciones de cuatro vías y callejones sin salida. Además, es posible generar un nuevo indicador de orden de orientación para cuantificar la lógica de ordenamiento geométrico de una cuadrícula. Con lo anterior, se establecen relaciones de entropía de orientación de una ciudad que incluyen medidas de conectividad en un circuito urbano (Boeing, 2019 p.4).

Por lo general, la red vial se modela en grafos en donde los nodos representan intersecciones, puntos muertos extremos y bordes que representan los segmentos de la calle (Porta, Crucitti y Latora, 2006 p.7-8). Estos bordes se encuentran espacialmente fijos con una longitud y orientación de brújula (Barthelemy, 2011 p.22).

Esta metodología modela la red vial urbana como multígrafos no planificados no dirigidos con posibles auto-bucles. Si bien es cierto que los gráficos dirigidos representan con mayor fidelidad las restricciones en los flujos (como lo es el tráfico de vehículos en una calle de un solo sentido), los gráficos no dirigidos modelan mejor la forma urbana ya que los segmentos corresponden a los lados lineales de las cuadras de la ciudad (Boeing, 2019; Eppstein y Goodrich, 2008).

Esta metodología fue aplicada en 100 ciudades del mundo con datos del proyecto de mapeo colaborativo mundial llamado OpenStreetMap (Barron, Neis y Zipf, 2014 p. 878-879). A pesar de que la calidad de los datos varía entre países, en general, los datos de las calles son de alta calidad, especialmente en las ciudades (Barrington-Leigh y Millard-Ball, 2017; Barron et al., 2014; Zielstra, Hochmair y Neis, 2013 p. 318-319).

Por ejemplo, Boeing (2019 p 7-9), determinó que Chicago, Miami y Minneapolis tienen las entropías de orientación más bajas de las 100 ciudades estudiadas, lo que indica que son ciudades que presentan una de las redes viales más ordenadas del mundo. Por su parte, la ciudad con mayor entropía es Charlotte, seguida de Sao Pablo y Roma lo cual quiere decir que las calles tienen una distribución uniforme en todas las direcciones, por lo que son las ciudades más desordenadas.

Al igual que otras ciudades del mundo, la GAM presenta un crecimiento que se ha caracterizado por una diferenciación en los modelos morfológicos que está directamente relacionado con las variaciones de

densidad e intensidad del uso del suelo. Sin embargo, no cuenta con ningún estudio que determine su estructura urbana.

A modo de ejemplo, para este artículo se realiza el ejercicio de adoptar la metodología de Boeing (2019, p. 5-7), con el fin de tener un acercamiento a la caracterización de un modelo morfológico que afecta parte de la movilidad en la GAM. Se realiza para los nueve distritos por los cuales transita el tren Heredia-San José (distrito Central de Heredia, Rincón de Sabanilla, Santa Rosa, Santo Domingo, Colima, San Juan, Cinco Esquinas, San Francisco, Calle Blancos y El Carmen) (ver la Figura 1).

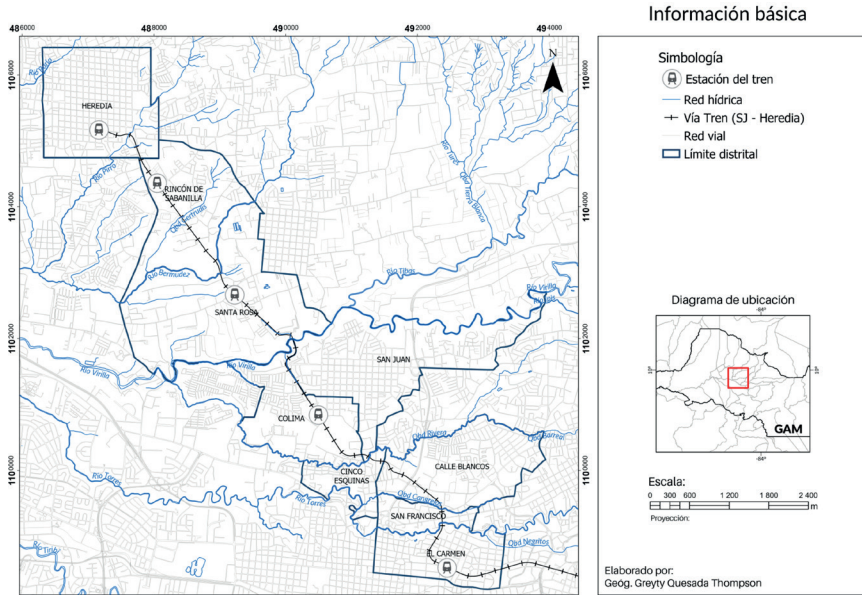
La Figura 2 muestra las orientaciones de las calles de los nueve distritos por los cuales transita el tren Heredia-San José en un gráfico polar. En este tipo de gráfico, la orientación de las vías se representa de la siguiente manera: los 0 grados corresponden al Norte, los 90 grados al Este, los 180 grados al Sur y los 270 grados el Oeste. Según el grafo del tramo el tren Heredia-San José las vías presentan en promedio una orientación norte - sur y de este - oeste.

Mediante el mismo algoritmo con el que se elabora el gráfico polar, es posible considerar la distancia de las cuadras y de las vías para determinar la distancia promedio en la cual se extiende la trama urbana en damero. Esta distancia, se representa en círculos con radios que van de los 500 metros a los 2 500 metros. Por lo que, en los nueve distritos por los cuales transita el tren Heredia-San José, la trama urbana se encuentra bien definida hasta los 500 metros promedio. A partir de este radio, la trama urbana va perdiendo conectividad, y adquiere forma línea con orientación norte - sur y de este - oeste.

De acuerdo con los resultados anteriores, es posible indicar que en parte de la GAM recorrer distancias para interconectar puntos y acceder a los servicios que ofrecen los distintos usos del suelo no es la causa del congestionamiento. El origen puede estar relacionado con la capacidad que genera la configuración de la morfología urbana para propiciar la interconexión entre puntos.

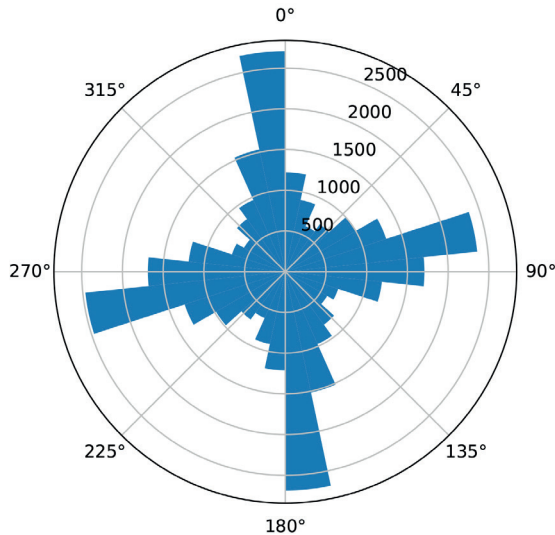
Por lo anterior, se propone considerar el estudio de la morfología urbana como punto de partida en la toma de decisiones para las propuestas de movilidad e intermodalidad en la GAM.

**Figura 1.** Tramo del tren Heredia-San José.



Fuente: elaboración propia. ArcGIS Pro

**Figura 2:** Grafo urbano. Corredor del tren Heredia-San José.



Fuente: Barrantes, O. Elaborado en Python 3.5



## VI Reflexión: El corredor urbano como estrategia para la movilidad

En la sexta reflexión se concibe a la sociedad en un espacio constituido por flujos de procesos económicos, políticos y sociales denominada por Castells (1998 p. 455) como “el espacio de los flujos” en donde incorpora los términos de tecnologías de la información y la lógica relacional términos frecuentemente utilizados en muchos corredores urbanos. De modo que, este apartado expone el concepto de corredor urbano a modo de reflexión y como propuesta de intervención urbana en la GAM.

El concepto de corredor urbano tiene como principio fundamental la continuidad o conectividad que busca potenciar el movimiento y el desplazamiento de personas, bienes y servicios. Si bien su objetivo inicial fue cumplir una función de integración de espacios, en la actualidad, es la conformación de nodos urbanos de articulación global. Dicho concepto corresponde a una unidad urbana estructural en donde se encuentran redes de infraestructura vial, espacio público, equipamientos comerciales, residenciales, deportivos, educativos e industriales, entre otros. Es un espacio en el que los procesos económicos y sociales se expresan a lo largo de estructuras lineales que conectan lugares físicos concretos en donde se desarrollan diferentes formas de intercambio e interacción (Lara, 2016 p. 325-326).

Según Athukorala y Narayanan (2018 p.2), el corredor urbano no cuenta con una definición concreta, pero se atreven a definirla como:

... un marco integrado de desarrollo económico dentro de un área geográfica designada, que coloca a la infraestructura relacionada con el comercio en el centro, pero va más allá para abarcar cuestiones interconectadas de políticas públicas, regulaciones y prácticas operativas necesarias para estimular el crecimiento económico y el desarrollo dentro del área designada.

Esos autores destacan tres elementos importantes de esa definición: 1) el desarrollo de infraestructura, 2) las reformas que facilitan la logística del comercio y 3) la mejora del clima de inversión. Señalan que el desarrollo de infraestructura implica renovar y desarrollar rutas de transporte que conecten en el territorio instalaciones de transporte intermodal y multimodal.

Cabe destacar, que en esta conceptualización los tres elementos fundamentales se enfocan en las dinámicas económicas y de mercado, y no contemplan los procesos de participación y creatividad presentes en la planificación urbana sostenible.

La mayoría de las ciudades del mundo cuentan con uno o varios corredores urbanos. En Australia, durante el periodo modernista de posguerra, muchas de sus ciudades fueron planificadas para el desarrollo urbano y el uso del automóvil, lo que incentivó usos del suelo de baja densidad a lo largo de las vías urbanas. De allí, surge el concepto de Corredor de Actividad como una alternativa para densificar y concentrar diversos usos del suelo a lo largo de estas vías urbanas y, en la mayoría de los casos, implica mejorar el transporte público (Curtis, Eilder y Scheurer 2019 p. 103-104).

En México, la configuración de las ciudades ha obedecido a la lógica del mercado inmobiliario. En algunos casos, se ha definido una centralidad o hito intraurbano que funciona como valorizador del suelo, lo que ha atraído actividades complementarias a las de la centralidad, ocupado suelos baldíos o que sustituyen usos residenciales. Ese tipo de corredor se denomina Corredor Terciario (Pradilla y Pino, 2004 p. 77-82). De igual manera, se ha creado Corredores de Extensión que vinculan la ciudad central con el territorio rural en transformación como el Corredor Nogales-La Venta y el Corredor Nuevo México-Tesitán que le dan movilidad al municipio de Zapopan. En estos corredores se ha incentivado la expansión lineal a lo largo de las principales vías y en sus áreas de influencia inmediata (Bravo y Rivas, 2012).

En Malasia se han desarrollado cinco Corredores Regionales, uno de los más importantes es el Corredor Norte que abarca cuatro regiones del norte de los Estados de Malasia peninsular (Penang, Kedah, Perlis y Perlak). Este corredor espera cerrar la brecha de desarrollo entre los estados que lo conforman impulsando el desarrollo inmobiliario y aprovechando sus tres principales fortalezas: conectividad física, sistema empresarial maduro y mano de obra calificada y preparada para el desarrollo de la actividad industrial (Athukorala y Narayanan, 2018 p. 3-4).

En India, en el estado de Kerala se ha planteado un Corredor de Carga de Alta Velocidad de 526 km que une la parte norte con la sur del estado. Sin embargo, plantea el desarrollo de unos pocos centros urbanos dejando de lado el desarrollo integral regional, los problemas de congestión, calidad de las carreteras y tiempos de viaje, así como el estudio de los impactos ambientales, sociales y culturales, por lo que la población ha mostrado resistencia a su implementación (Sujith, 2015 p. 1855).

En América Latina existen corredores urbanos de gran importancia. El corredor de Avenida Paulista en Sao Paulo presenta una gran densidad comercial y residencial. A lo largo de 3 kilómetros viven más de 200 mil personas, cuenta con helipuertos en edificios de gran altura y con un metro subterráneo (Carrión, 1 de julio de 2019).

El corredor de Avenida Corriente en Buenos Aires articula el nodo global de Puerto Madero con Avenida 9 de Julio, el centro comercial Abasco y el Cementerio Chacarita. Es un eje financiero, administrativo, comercial, cultural y de entretenimiento, donde se encuentran dos estaciones de tren, 17 estaciones del subterráneo y transitan 35 líneas de autobuses (Carrión, 1 de julio de 2019).

Cabe indicar, que todos los corredores urbanos expuestos son espacios públicos, y han surgido por iniciativa pública mediante procesos de renovación urbana para la movilidad intermodal. Tienen como factor común, lograr configurar las ciudades en función de las dinámicas del mercado. Y la diferencia entre ellos está en los niveles de inversión, normas o marcos jurídicos y voluntades o estilos políticos e inclusive elementos de índole sociohistórico y cultural.

En la GAM, el congestionamiento vial y la contaminación son consecuencias negativas de los procesos de urbanización centralistas. Proponer un modelo de desarrollo urbano basado en el tráfico y movilización de las personas tiene múltiples impactos sociales y ambientales, que generan costos que en la actualidad sólo las economías públicas asumen (Tapia, 2018 p.1). Lograr la integración entre las fuerzas del mercado con las fuerzas políticas para subsanar los daños ocasionados en los ecosistemas es uno de los principales desafíos de la sociedad costarricense.

Las inversiones públicas en la mayoría de los países del mundo están dirigidas hacia el desarrollo de infraestructura para el transporte y las comunicaciones. En la GAM, el mejorar las infraestructuras de transporte incidió en la aceleración de los procesos de centralización de las actividades económicas y provocó efectos de convergencia (centralidad) y divergencia (disparidades regionales), lo que lleva a plantear el reto de establecer políticas, estrategias y acciones de integración económica en diferentes escalas territoriales.

Gracias a los esfuerzos realizados por el Programa Estado de La Nación (2020 p. 95-126), actualmente la GAM cuenta con un estudio que permite conocer las principales características de sus dinámicas económicas y

el nivel de dependencia que tienen las demás regiones del país hacia ella. Estos resultados, evidencian que la ocupación de la GAM es segmentada en múltiples centralidades y periferias que demandan tecnología de la información y nuevos modos de movilidad hacia nodos globales. Sin embargo, queda como tarea pendiente canalizar y direccionar los flujos de los intercambios económicos en el territorio por lo que sería novedoso pensar en la conformación de más de un corredor urbano al interior de la GAM.

Incentivar pasar de lo regional a lo local (o viceversa) para plantear una política de desarrollo no es tarea fácil. Cuando se proponen objetivos relacionados con el desarrollo económico, innovación, sostenibilidad ambiental y el fortalecimiento de los flujos de intercambio, implícitamente se plantean cambios políticos y sociales y, esto depende de la voluntad de los actores.

Es necesario plantear estrategias que definan la forma, la organización de los usos, así como la dirección de sus flujos con miras a estimular la movilidad de las personas, los bienes y servicios. Los corredores urbanos han demostrado ser una herramienta certera de la planificación urbana mediante la cual se ha logrado incentivar y consolidar la relación intrínseca entre la infraestructura, la innovación y la dirección de los flujos de las diferentes transacciones que se realizan en el espacio.

### **Consideraciones finales**

Recorrer distancias implica un costo. Los costos sujetos al desplazamiento también son estimados por el valor del tiempo utilizado por lo que los costos de congestión vial son trasladados a las personas, lo que genera una externalidad negativa que se evidencia en la dinámica de las actividades económicas y en la calidad de vida de las personas.

Desde el derecho a la igualdad en la movilidad urbana, surge el concepto de accesibilidad universal. La accesibilidad, se entiende como la capacidad que tienen las personas de llegar en condiciones adecuadas a los lugares en donde pueden satisfacer sus necesidades básicas.

Las políticas y tratados internacionales relacionadas con la movilidad y el desarrollo urbano establecen directrices y los alcances de los objetivos propuestos. Le corresponde a cada una de las regiones y países realizar una revisión conceptual y metodológica con el fin de establecer cuáles son los mecanismos e insumos necesarios para alcanzar las metas propuestas.

De manera general, en Costa Rica la mayoría de los estudios que desarrollan el tema de movilidad y transporte hacen referencia al derecho a la movilidad, sin embargo, sobre la GAM, no se cuenta con datos que indiquen si es posible ejercerlo. Esto es estimable desde el estudio de la morfología urbana.

Las estrategias intermodales se optimizan y encuentran viabilidad cuando se integran la planificación del uso de la tierra, la regulación y gestión del mercado inmobiliario, las interacciones económicas del sistema productivo, la planificación y el diseño de infraestructuras tomando como eje transversal la incorporación de nuevas tecnologías.

Si bien es cierto que las autoridades y los profesionales de las distintas áreas relacionadas con la movilidad y el desarrollo urbano no deben esperar a que a nivel macro todo este definido para iniciar a trabajar en el tema, tampoco es válido suponer que las intervenciones locales darán solución a la movilidad urbana. Por el contrario, hay que señalar que optimizar solo ciertos segmentos de la GAM también crearía desigualdad en la accesibilidad a los servicios.

Es posible que muchas personas apunten a que la revisión teórica y conceptual sobre el tema de movilidad y planificación urbana no brinda soluciones concretas, pero queda demostrado que evidencia cuales deberían ser los puntos de partida para la toma de decisiones.

## Referencias

- Álvarez, R. (2005). *Análisis de prefactibilidad técnica de un sistema de transporte masivo en San José*. CFIA.
- Appleyard, D. (1981). *Livable streets. Berkeley and Los Angeles*. University of California Press.
- Athukorala, P. y Narayanan, S. (2018). Economic corridors and regional development: The Malaysian experience. *World Development*. 1 (106), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.01.009>.
- Barrington-Leigh, C. y Millard-Ball, A. (2017). The world's user-generated road map is more than 80% complete. *PLoS One* 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180698>
- Batty, M. (2003). Network geography: relations, interactions, scaling and spatial processes in GIS. In: Unwin DJ, Fisher P (eds) *Representing GIS*. Wiley. Chichester, pp 149–170.

- Barron, C., Neis, P. y Zipf, A. (2014). A comprehensive framework for intrinsic OpenStreetMap quality analysis. *Transaction in GIS*. (18) 877–895. <https://doi.org/10.1111/tgis.12073>
- Barthelemy, M. (2011). Spatial networks. *Physics Reports*. (499) 1–101. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2010.11.002>
- Behrends, S. (2017). Burden or opportunity for modal shift? – Embracing the urban dimension of intermodal road-rail transport. *Transport Policy*. (59), 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.06.004>
- Boeing, G. (2019). The morphology and circuitry of walkable and drivable street networks. In: D'Acci L (ed) *The mathematics of urban morphology*. Birkhäuser, Basel. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3119939>
- Bravo, B. y Rivas, J. (2012). Elementos de cohesión urbana en escenarios metropolitanos: intersticios y corredores. IV Jornadas Internacionales sobre investigación en Arquitectura y Urbanismo. <http://hdl.handle.net/10251/14949>
- Buhrgard, S. (2015). From expressways to boulevards: The compared conditions for boulevardisation in Stockholm and Helsinki. <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:822509/FULLTEXT01.pdf>
- Butler, J. (1986). *Geografía económica: Aspectos espaciales y ecológicos de la actividad Económica*. Limusa.
- Castells, M. (1998). *La era de la información* (3.a ed.). Alianza.
- Carrión, F. (1 de julio, 2019). *Seres Urbanos. Así son los corredores urbanos en América Latina*. El País. España.
- Constitución Política de la República de Costa Rica. (1949).
- Curtis, C. (2006). Network City: Retrofitting the Perth metropolitan region to facilitate sustainable travel. *Urban Policy and Research*. 2 (24) 159-180.
- Curtis, C. y Tiwari, R. (2008). Transitioning urban arterial roads to activity corridors. *Urban Design International*. 2 (3) 105-120.
- Curtis, C., Ellder, E. y Scheurer, J. (2019). Public transport accessibility tools matter: A case study of Gothenburg, Sweden. *Case Studies on Transport Policy*. 1 (7) 96-107. [www.elsevier.com/locate/cstp](http://www.elsevier.com/locate/cstp)
- Eppstein, D. y Goodrich, M. (2008). Studying (non-planar) road networks through an algorithmic Lens. In: *Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL international conference on advances in geographic*

- information systems, GIS '08. Presented at the SIGSPATIAL '08, Irvine, California, p 16. <https://doi.org/10.1145/1463434.1463455>
- Gudmundsson, A. y Mohajeri, N. (2013). Entropy and order in urban street networks. *Sci Rep* 3. <https://doi.org/10.1038/srep03324>
- Harvey, D. (2007). Espacios del capital. Hacia una geografía crítica. Akal.
- Hernández, H. y Jiménez, D. (2018). Movilidad peatonal y en bicicleta en Costa Rica. PEN y Lanamme-UCR.
- Hesse, M. (2009). The City as a Terminal – the Urban Context of Logistics and Freight Transport. Ashgate.
- Instituto Costarricense de Ferrocarriles. (2019). Informe de Estadísticas Operativas II Semestre 2018. INCOFER.
- Jacobs, A. (1995). Great streets. MIT Press, Cambridge.
- Jiménez-Fontana, P. y Guzmán, M. (2020). Redes productivas en Costa Rica. Programa Estado de la Nación.
- Lara, J. (2016). El corredor urbano Nuevo México-Tesistán en Zapopan, Jalisco: un nuevo rompecabezas inmobiliario. *Transporte y Territorio*, (15) 323-347.
- Levinson, D. y El-Geneidy, A. (2009). The minimum circuitry frontier and the journey to work. *Regional Science and Urban Economics*. (39) 732–738. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2009.07.003>
- Macharis, C. y Bontekoning, Y. (2004). Opportunities for OR in intermodal freight transport research: a review. *Eur. J. Oper. Res.*, (153), 400-416.
- Masucci, A., Stanilov, K. y Batty, M. (2013). Limited urban growth: London's Street network dynamics since the 18<sup>th</sup> century. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069469>
- McCann, B. (2013). *Completing our streets: The transition to safe and inclusive transportation networks*. Island Press.
- Miralles, G. (2002). *Ciudad y transporte: el binomio imperfecto*. Ariel.
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos [MIVAH]. (2014). Plan Nacional de Desarrollo Urbano para la Gran Área Metropolitana 2013- 2030. Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. [https:// www.mivah.go.cr/Biblioteca\\_PlanGAM.shtml](https://www.mivah.go.cr/Biblioteca_PlanGAM.shtml)
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2019). Repositorio del Sector Transporte e Infraestructura. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/>

- Mohajeri, N., French, J. y Gudmundsson, A. (2013). Entropy measures of street-network dispersion: analysis of coastal cities in Brazil and Britain. *Entropy* (15) 3340–3360. <https://doi.org/10.3390/e15093340>
- Mohajeri, N., French, JR. & Batty, M. (2013). Evolution and entropy in the organization of urban street patterns. *Ann GIS* 19:1–16. <https://doi.org/10.1080/19475683.2012.758175>
- Mohajeri, N. & Gudmundsson, A. (2012). Entropies and scaling exponents of street and fracture networks. *Entropy* 14:800–833. <https://doi.org/10.3390/e14040800>
- Mohajeri, N. & Gudmundsson, A. (2014). The evolution and complexity of urban street networks: urban street networks. *Geogr Anal* 46:345–367. <https://doi.org/10.1111/gean.12061>
- Organización de las Naciones Unidas. (2016). Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano
- Rosales, J. (2006). Road diet handbook: Setting trends for livable streets. Parsons Brinckerhoff.
- Organización de las Naciones Unidas. (2005 A). Carta Mundial por el Derecho a la Ciudad (2005). ONU-Hábitat. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/componentes-del-derecho-a-la-ciudad>
- Organización de las Naciones Unidas. (2005 B). Objetivos del Desarrollo Sostenible (2015). ONU-Hábitat. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- Parthasarathi, P., Hochmair, H. y Levinson, D. (2015). Street network structure and household activity spaces. *Urban Studies*. (52) 1090–1112. <https://doi.org/10.1177/0042098014537956>
- Polèse, M. (1998). Economía urbana y regional: introducción a la relación entre el territorio y desarrollo. EULAC-GTZ-ACDI.
- Porta, S., Crucitti, P. y Latora, V. (2006). The network analysis of urban streets: a primal approach. *Environment and Planning B: Planning and Design*. (33) 705–725. <https://doi.org/10.1068/b32045>
- Pradilla, E. y Pino, R. (2004). *Ciudad de México: de la centralidad a la red de corredores terciarios*. Anuario de Espacios Urbanos.
- Programa Estado de la Nación. (2018). Informe estado de la nación 2018. PENCONARE.
- Programa Estado de la Nación. (2020). Informe estado de la nación 2020. PENCONARE.



- Ricci, A. y Black, I. (2005). The social costs of intermodal freight transport. *Res. Transp. Econ.*, (14), 245-285.
- Sánchez, L. (2018). Diagnóstico sobre la situación del transporte y la movilidad en Costa Rica. Programa Estado de la Nación.
- Salom, J. y Casado, J. (2007). Movilidad cotidiana y mercados locales de trabajo en la Comunidad Valenciana, 1991-2001. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. (44) 5-38.
- Salom, J., Albertos, J., Delios, E. y Pitarch, M. (1997). Las áreas de mercado de trabajo local en la Comunidad Valenciana. Una propuesta de delimitación. *Estudios Territoriales. Ciudad y Territorio*. (112) 335-356.
- Sujith, K. (2015). Access Controlled High Speed Corridor and Urban Development of Kerala. *Procedia Technology*. 1 (24), 1851-1857. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Tapia, M. (2018). La ciudad, para quién: desafíos de la movilidad a la planificación urbana. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. 23 (1250).
- Vrenken, H., Macharis, C. y Wolters, P. (2005). Intermodal Transport in Europe. *European Intermodal Association*.
- Yeh, A. y Li, X. (2001). Measuring and monitoring of urban sprawl in a rapidly growing region using entropy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* (67) 83–90.
- Zielstra, D., Hochmair, H. y Neis, P. (2013) Assessing the effect of data imports on the completeness of OpenStreetMap – a United States case study. *Transaction in GIS*. (17) 315–334. <https://doi.org/10.1111/tgis.12037>



## **Flujo por redistribución de agua a través de perfiles de la zona no saturada bajo condiciones de uso de la tierra agrícola en la cuenca alta del río Páez, Cartago, Costa Rica**




Flow by redistribution of water through profiles of the unsaturated zone under conditions of agricultural land use in the Páez upper watershed, Cartago, Costa Rica

Fluxo por redistribuição de água através de perfis da zona não saturada em condições de uso do solo agrícola na bacia superior do rio Páez, Cartago, Costa Rica

*Pablo Ramírez-Granados<sup>1</sup>*  
*Universidad Nacional, Costa Rica*

*Karolina Villagra-Mendoza<sup>2</sup>*  
*Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica*

*Federico Masís-Meléndez<sup>3</sup>*  
*Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica*

- 
- 1 Dr. Investigador, Laboratorio de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Correo electrónico: [pablo.ramirez.granados@una.ac.cr](mailto:pablo.ramirez.granados@una.ac.cr).  <https://orcid.org/0000-0002-5082-445X>
  - 2 Ingeniera. Investigadora, Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Correo electrónico: [kvillagra@itcr.ac.cr](mailto:kvillagra@itcr.ac.cr).  <https://orcid.org/0000-0002-2335-0615>
  - 3 Ingeniera. Investigador, Escuela de Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Correo electrónico: [fmasis@tec.ac.cr](mailto:fmasis@tec.ac.cr).  <https://orcid.org/0000-0003-1456-7190>

## Resumen

El principal objetivo de este estudio fue analizar el flujo de agua por redistribución a través de los horizontes de perfiles de suelos volcánicos en la Zona No Saturada (ZNS), una vez que ha finalizado la infiltración de agua por lluvia. A partir de monolitos experimentales, se monitorearon los contenidos volumétricos de agua en perfiles a diferentes profundidades para entender la dinámica de flujo temporal a lo largo de un perfil. Se evaluaron en laboratorio las propiedades físicas e hidráulicas de los horizontes como: textura, granulometría, materia orgánica, densidad aparente, densidad real, porosidad, conductividad hidráulica y retención de humedad. Se encontró que las propiedades físicas e hidráulicas de los horizontes ayudan a explicar el comportamiento del agua en profundidad. Los aportes de agua por redistribución en profundidad, debido a flujo vertical, fueron encontrados mediante el análisis de los contenidos volumétricos de agua. Estos aportes se evidenciaron por los incrementos en los contenidos volumétricos durante el desarrollo del experimento. Se pudo observar cómo cambió el flujo por redistribución en los perfiles de un horizonte, al mostrar de esa forma la variación de las propiedades de los horizontes en profundidad. Una vez establecidos los flujos por redistribución de agua, se caracterizaron los tipos de flujos de agua que se dieron lugar en los perfiles de los monolitos para establecer cuál es la dinámica del frente de humedecimiento en profundidad y como avanza este durante el desarrollo del experimento. Los resultados mostraron que en los monolitos se presentan el flujo de pistón, el flujo preferencial y el flujo dual o combinado producto de la combinación de ambos.

**Palabras clave:** movimiento del agua, suelos volcánicos, drenaje interno.

## Abstract

The main objective of this study was to analyze the flow of water by redistribution through the horizons of volcanic soil profiles in the unsaturated zone once the infiltration of rainwater has been completed. From experimental monoliths, volumetric water contents were monitored in profiles at different depths to understand the temporal flow dynamics along a profile. The physical and hydraulic properties of the horizons such as texture, granulometry, organic matter, bulk density, real density, were evaluated in the laboratory, porosity, hydraulic conductivity, and moisture retention. It was found that the physical and hydraulic properties of the horizons help to explain the behavior of the water in depth. Water contributions by depth redistribution, due to vertical flow, were found from the analysis of volumetric water contents. These contributions are evidenced by increases in volumetric contents during the development of the experiment. From the experimental study it was possible to observe how the flow by redistribution varies in the profiles of a horizon, thus showing the variation of the properties of the horizons in depth. Once water redistribution flows were established, the types of water flow manifested in the monolith profiles were characterized to establish what the dynamics of the deep wetting front are and how it advances during the development of the experiment. The results showed that in the monoliths the piston flow, the preference flow and the dual or combined flow product of the combination of both are presented.

**Keywords:** water movement, internal drainage, volcanic soils.

## Resumo

O principal objetivo deste estudo foi analisar o fluxo de água por redistribuição através dos horizontes de perfis de solo vulcânico na zona não saturada, uma vez terminada a infiltração de água pela chuva. A partir de monólitos experimentais, os teores volumétricos de água em perfis em diferentes profundidades foram monitorados para entender a dinâmica temporal do fluxo ao longo de um perfil. As propriedades físicas e hidráulicas dos horizontes foram avaliadas em laboratório, tais como: textura, granulometria, matéria orgânica, densidade aparente, densidade real, porosidade, condutividade hidráulica e retenção de umidade. Constatou-se que as propriedades físicas e hidráulicas dos horizontes ajudam a explicar o comportamento da água em profundidade. As contribuições hídricas por redistribuição em profundidade, devido ao escoamento vertical, foram encontradas a partir da análise dos conteúdos volumétricos da água. Essas contribuições são evidenciadas pelos aumentos nos conteúdos volumétricos durante o desenvolvimento do experimento. A partir do estudo experimental foi possível observar como o fluxo varia por redistribuição nos perfis de um horizonte, mostrando assim a variação das propriedades dos horizontes em profundidade. Uma vez estabelecidos os fluxos por redistribuição de água, foram caracterizados os tipos de fluxo de água que se manifestaram nos perfis dos monólitos para estabelecer a dinâmica da frente de umedecimento em profundidade e como ela progride durante o desenvolvimento do experimento. Os resultados mostraram que nos monólitos estão presentes o fluxo em pistão, o fluxo preferencial e o produto de fluxo duplo ou combinado da combinação de ambos.

**Palavras-chave:** Drenagem interna; Movimento da água; Solos vulcânicos.

## Introducción

El movimiento del agua en el suelo tiene un papel primordial en la agricultura ya que permite entender algunos fenómenos como la disponibilidad de agua en el suelo, el transporte de contaminantes como agroquímicos y el flujo de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Ramadas *et al.* 2016).

La dinámica del flujo de agua en el suelo está basada en dos procesos principales, la infiltración y la redistribución. La infiltración es un proceso por el cual el agua entra en el suelo, generalmente, a través de la frontera entre la atmósfera y el suelo, lo que produce un flujo hacia abajo que cambia los gradientes de contenido de humedad y presión de agua-poro (Sonaje, 2013).

Una vez finalizado el proceso de la infiltración, inicia un movimiento de agua hacia abajo a través del perfil del suelo llamado Redistribución de Agua del Suelo (RAS) (Kirkham, 2005). Tal proceso puede llegar a persistir por un tiempo conforme la humedad fluya dentro del perfil del suelo (Kendy *et al.* 2003, Chen *et al.* 2019).

En el RAS las principales variables que controlan el movimiento del flujo no saturado son el potencial gravitacional y el potencial mátrico ( $\psi$ ) (Biswas *et al.* 1966; Gardner *et al.* 1970), los cuales permiten el flujo

de agua a través de gradientes de carga hidráulica entre los horizontes. La RAS en la ZNS tiende a formar un frente de humedecimiento producto de la intrusión de aire desde la superficie (Raats, 1973) y la tortuosidad de medio (Wang *et al.* 2003), el cual es un proceso complicado debido a la inestabilidad que se da en el flujo (Jury *et al.* 2003) y a la histéresis (Staple, 1966). Ese último es el elemento más relevante en el flujo de agua (Rubin, 1967) además que es causado principalmente por el efecto de botella, el ángulo de contacto, el aire atrapado y la contracción e hinchazón del suelo (Horgan y Ball 2005; Zhai *et al.* 2021). Otros autores como Philip y Knight (1991) agregan que la relativa escasez de los estudios físico-matemáticos de la RAS se debe a las complicadas condiciones iniciales y a lo infructífero de la aplicación de las ecuaciones de la infiltración en la redistribución.

El movimiento por RAS en suelos no saturados puede ser explicado a través de los mecanismos de flujo que se pueden dar en él. Por ejemplo, el flujo constante y el flujo intermitente (Bouma, 1981). Dentro de estos flujos se incluyen otros como el flujo de pistón que ocurre lentamente a través de una gran parte del espacio poroso (Wickenkamp *et al.* 2020) y el flujo preferencial, el cual se refiere al movimiento vertical del agua a lo largo de los macroporos o a través de una matriz no saturada (Van Stiphout *et al.* 1987) el cual puede ser mediado por los macroporos o por la matriz (Eguchi y Hasegawa 2008).

Para analizar el flujo por RAS en la ZNS se han aplicado diversos métodos. Charbeneau (1989) usó modelos físicos simples basados en continuidad y en la ley de Darcy, Philip (1992) utilizó soluciones para ecuaciones de difusión-convección no lineal, Wang y Zhang (2011) analizaron el flujo de agua en los macroporos usando trazadores y colorantes, Mavinbela y Rensburg (2011) utilizaron mediciones experimentales con monolitos, Ramadas *et al.* (2016) usaron soluciones analíticas para calcular la evolución de perfiles de contenido volumétrico y los flujos de agua, Lai *et al.* (2017) utilizaron el modelo de infiltración con RAS de Green-Ampt, Chen *et al.* (2019) usaron un modelo conceptual bajo redistribución de la capacidad de campo; y Fuentes *et al.* (2020) aplicaron la resolución numérica de la ecuación vertical de Richards.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la RAS en perfiles de la ZNS en suelos dedicados a las actividades agrícolas en una parte de la zona norte de Cartago, dentro de la cuenca alta del río Páez. Esto debido a

que en las zonas agrícolas existe un enorme consumo de agua y una menor eficiencia (Ortiz *et al.* 1999), además de la temática ligada a la aplicación de agroquímicos (Ramírez *et al.* 2014). La hipótesis de este trabajo es que a diversas profundidades existen aportes específicos de agua producto de los mecanismos de flujo por RAS en los horizontes del perfil.

## Materiales y métodos

### Descripción del área de estudio

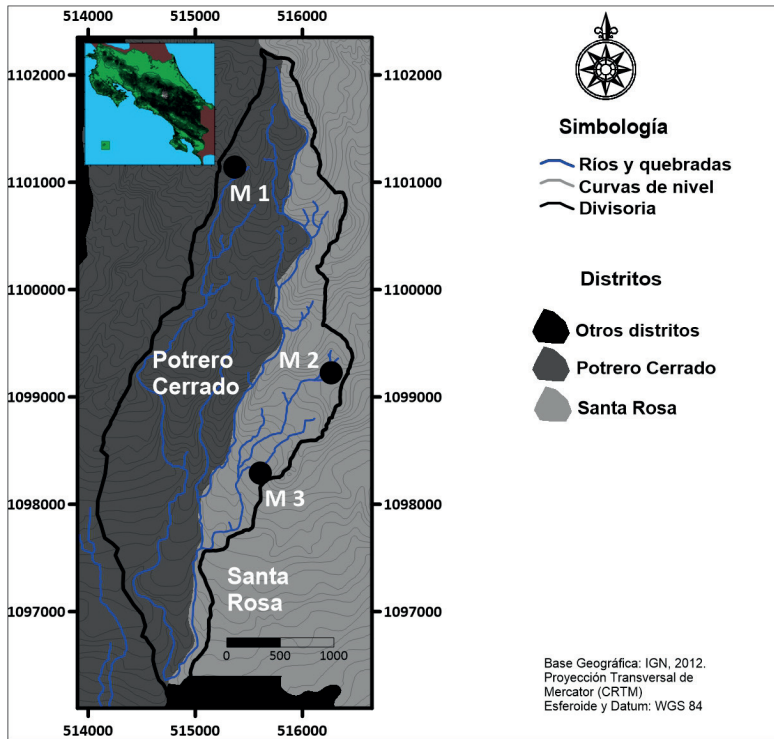
Para la medición de la RAS, se instalaron tres monolitos (M1, M2 y M3), distribuidos en la parte alta de la cuenca del río Páez en Cartago, específicamente, en los distritos de Potrero Cerrado y Santa Rosa del cantón de Oreamuno (ver Figura 1). La cuenca tiene una precipitación media anual de 1600 mm, y una temperatura media anual de 13,8 °C. Se caracteriza por estar dentro de la zona de mayor productividad de hortalizas de Costa Rica con alrededor de un 80% (Ramírez *et al.* 2008) además que es una importante zona de producción de agua para consumo humano debido a los manantiales que se encuentran en la subcuencas de los ríos Reventado, Tiribí, Tatiscú, Páez, Birris y Pacayas (Arellano *et al.* 2012). Sin embargo, existen importantes problemas originados por las actividades agrícolas como el alto uso de agroquímicos (Ramírez *et al.* 2014), el consumo de agua debido a los cultivos hortícolas (Narváez, 2013), los sistemas de riego y los requerimientos hídricos de los cultivos (Quesada, 2017) y la erosión por mecanización (Mehuys *et al.* 2009; Gómez *et al.* 2017) que pueden llegar a afectar la dinámica del agua en los suelos.

Las zonas donde se ubican los monolitos se caracterizan por estar en áreas de uso agrícola, donde se alternan los pastos y los cultivos. Dentro de los cultivos más importantes están la papa, el brócoli, la zanahoria, la coliflor, el repollo, la remolacha y el culantro.

Los materiales volcánicos sobre los cuales se desarrollan los suelos donde se encuentran los monolitos fueron descritos a partir de algunas perforaciones realizadas en el sector de Prusia, Sanatorio Durán, parque Prusia y la Pastora (Arellano *et al.* 2012), todos muy cercanos a la cuenca alta.

Los suelos son andisoles pertenecientes a los subórdenes de los orthents y udands en la parte más alta; udands, en la parte media; y ustands en la parte baja según el mapa de suelos de Mata y Sandoval (2016).

**Figura 1:** Distribución de los tres monolitos instalados de acuerdo con su ubicación distrital en la cuenca alta del río Páez, cantón de Oreamuno, Cartago.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

El Cuadro 1 muestra la ubicación geográfica y la altitud de cada monolito, así como el suborden de suelo y las dimensiones utilizadas para su construcción. Los tres monolitos fueron instalados en parcelas dedicadas a la producción agrícola y a la cobertura de pastos en reposo.



**Cuadro 1.** Ubicación y dimensiones de los monolitos construidos en la cuenca alta del río Páez

Monolito	Suborden de suelo	Ubicación Geográfica* (m)	Altitud (m.s.n.m)	Dimensional (Ancho x Profundidad)
1	Orthents/Udands	515367 este, 1101141 norte	3039	2,25 x 1,20
2	Udands	516248 este, 1099274 norte	2703	2,25 x 1,00
3	Ustands	515856 este, 1098339	2575	2,25 x 0,75

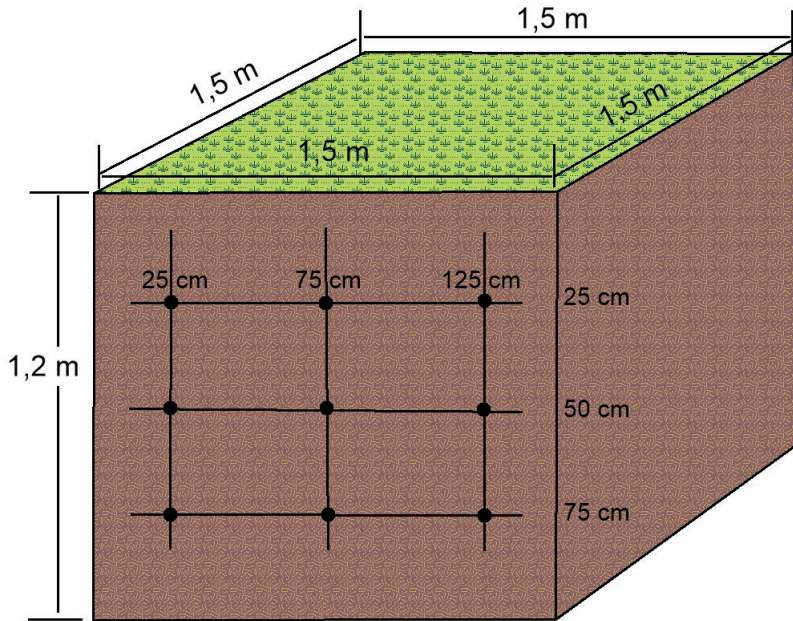
Fuente: Elaboración propia, 2022.

### Construcción de los monolitos

La construcción de los monolitos se basó en una variante del método del perfil instantáneo o drenaje interno (Hillel *et al.* 1972; Kranz *et al.* 1998; Krisdani *et al.* 2009; Hari *et al.* 2010; Abbasi *et al.* 2012; Pirastru *et al.* 2017) con el fin de medir las variaciones del contenido volumétrico del agua ( $\theta$ ) en distintas profundidades de forma continua (Vachaud y Dane, 2002; Reynolds, 2008 B) para determinar los aportes de agua en el perfil en diferentes tiempos.

Para obtener  $\theta$  se instalaron 9 reflectómetros de dominio de tiempo (TDR) modelo CS650 con 30 cm de guía (Campbell Scientific, Logan, UT) en una de las caras de cada monolito (Figura 2). La ubicación de cada sensor respondió a un arreglo rectangular en tres niveles, a 25, 50 y 75 cm de profundidad para el monolito 1 (M1) y el monolito 2 (M2); y hasta 50 cm para el monolito 3 (M3) debido a la aparición de material rocoso. En cada nivel se colocaron tres sensores a 50 cm de distancia horizontal entre ellos. Un registrador de datos, CR1000x (Campbell Scientific, Logan, UT), registró la lectura de cada sensor. El tamaño de cada monolito se estableció de acuerdo con un volumen elemental representativo (VER) de la ZNS (Figura 2).

**Figura 2:** Esquema de la instalación de los sensores  $\theta$  en cada uno de los monolitos. La imagen ejemplifica el arreglo de sensores en el M1.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Cada monolito fue cubierto con una película de plástico transparente para mantener la estabilidad del monolito y evitar ingresos de agua lateral asumiendo los lados impermeables. Finalmente, se realizó una segunda cubierta con plástico negro durante el tiempo del ensayo para evitar la evaporación y la entrada de agua en el horizonte superior.

Las lecturas de los sensores se obtuvieron durante un período continuo de 12,5 días entre los meses de agosto y noviembre del año 2019. Las variaciones en  $\theta$  fueron registradas y analizadas de acuerdo con el procedimiento descrito por [Vachaud y Dane \(2002\)](#) y [Reynolds \(2008 B\)](#). La cantidad de agua almacenada ( $S$ ) en cada horizonte entre las profundidades 0 y  $z$  en el tiempo  $t$  fue calculada con la siguiente ecuación:

$$S(z, t) = \int_0^z \theta(z, t) dz \quad (1)$$

donde  $S$  = cantidad de agua almacenada (L),  $\theta$  = contenido volumétrico de agua ( $L^3/L^3$ ),  $z$  = profundidad de medición (L),  $t$  = tiempo (T).

El mecanismo de flujo fue identificado a partir de la interpolación de  $\theta$  usando el método de kriging (Rubin, 2003), el cual es aplicado al cálculo de la superficie continua formada por  $\theta$ :

$$\hat{Z}(x_0) = m \left( 1 - \sum_{i=1}^k \lambda_i \right) + \sum_{i=1}^k \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

donde  $\hat{Z}(x_0)$  = variable interpolada,  $\lambda_i$  = pesos,  $x_i$  = localización geográfica,  $Z(x_i)$  = valores muestreados,  $m$  = media.

Para la identificación de los tipos de flujos se visualizaron las isolíneas de  $\theta$  en tres tiempos específicos, 180, 7200 y 18300 minutos en cada uno de los 3 monolitos.

### Propiedades físicas e hidráulicas de los horizontes

Para cada horizonte se obtuvieron muestras inalteradas utilizando cilindros con un volumen aproximado de 100 cm<sup>3</sup> y se recolectaron muestras disturbadas de 2 kg, tamizadas a través de una malla de 2 mm y secadas al aire. La textura se obtuvo a partir del método del hidrómetro de Bouyoucos (Kroetsch y Wang, 2008) y las curvas granulométricas fueron determinadas por tamizado en húmedo (Kroetsch y Wang, 2008). La materia orgánica (MO) fue obtenida por el método de redox dicromato (Skjemstad y Baldock, 2008). La densidad aparente ( $\rho_a$ ) fue obtenida con el método del núcleo (Henríquez y Cabalceta, 1999; Hao *et al.* 2008) y la densidad real ( $\rho_r$ ) con el método del matraz aforado (Henríquez & Cabalceta, 1999). La porosidad ( $\varphi_t$ ) se calculó con la siguiente ecuación según Hao *et al.* (2008):

$$\varphi_t = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (3)$$

siendo  $\varphi_t$  = porosidad total,  $\rho_a$  = densidad aparente [ $M/L^3$ ],  $\rho_r$  = densidad real [ $M/L^3$ ].

La conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) fue obtenida mediante carga hidráulica constante (Henríquez y Cabalceta, 1999; Reynolds, 2008 A) y luego calculada por la ecuación según Reynolds (2008 A):

$$K_{sat} = \frac{4VL}{\pi \Delta t \Delta H d_c^2} \quad (4)$$

donde  $V$ , [ $L^3$ ], es el volumen de agua durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$  [T],  $L$  [L] es la longitud del núcleo,  $\Delta H$  [L] es la diferencia en elevación entre el nivel de agua en el cilindro adicional y la salida del cilindro de muestreo y  $d_c$  [L] es el diámetro del cilindro.

Las curvas de retención de humedad del suelo ( $\psi$ - $\theta$ ) fueron obtenidas por medio de la extracción de presión (Reynolds y Topp 2008), la cual fue ajustada usando el modelo de van Genuchten (van Genuchten 1980) con el programa RECT (van Genuchten *et al.* 1980) utilizando la ecuación siguiente:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha\psi)^n]^m} \quad (5)$$

donde  $\theta_s$  = humedad de saturación [ $L^3/L^3$ ],  $\theta_r$  = humedad volumétrica residual [ $L^3/L^3$ ],  $\psi$  = potencial mátrico [L] y  $\alpha$  [ $1/L$ ],  $n$  y  $m$  = constantes.

## Resultados y discusión

### Efecto de las propiedades físicas en el movimiento del agua en el suelo

Los suelos están compuestos de partículas de tamaño variable, derivadas de la meteorización de las rocas y la transformación de los minerales primarios. Estos materiales conforman los horizontes de un perfil y son el medio por el cual fluye el agua luego de ser infiltrada. Para poder analizar las propiedades de los materiales, se realizaron dos análisis, un análisis textural para visualizar la distribución de las partículas totales; y, otro granulométrico, para observar las variaciones en la composición de la fracción más gruesa, la cual es dominante en estos suelos volcánicos. A continuación, se presentan las descripciones de los perfiles para cada monolito.

#### Monolito 1

- Ap (1a): gris oscuro, grano suelo, arenoso, agregados débiles subangulares, raíces muy finas, friable a muy friable, no adhesivo y arenoso.
- A2 (1b): capa de ceniza gris oscura, textura muy arenosa, muy friable, grano suelto, con poca o ninguna estructura y no adherente.

- A3 (1c): suelo ligeramente rojizo, friable, grano suelto con algunos agregados subangulares, de poca consistencia, textura al tacto arenosa y no adherente.
- A4 (1d): gris claro, grano suelto, formación de algunos agregados subangulares, friable textura arenosa y no adherente.
- A5 (1e): capa de ceniza, textura arenosa, gris claro, sin consistencia en seco y muy poca en húmedo al muestreo, no adherente, muy friable, grano suelto, sin estructura ni agregados.
- A6 (1f): gris claro a amarillento, formación de agregados subangulares, adherencia de baja a muy baja, friable y textura arenosa.

#### *Monolito 2*

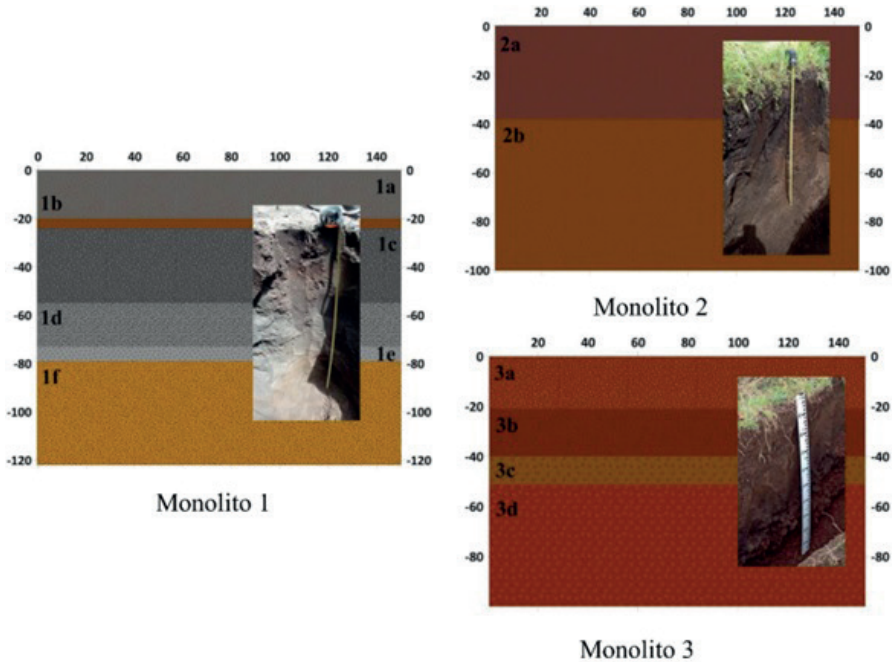
- Ap (2a): Marrón oscuro, friable, grano suelto con formación de agregados subangulares, textura al tacto arenosa y poca adherencia.
- A2 (2b): Marrón claro, friable, grano suelto con algunos agregados subangulares, moderada consistencia, textura arenosa al tacto y adherencia de moderada a baja.

#### *Monolito 3*

- Ap (3a): Marrón claro, poco friable, grano suelto con algunos agregados subangulares, moderada consistencia a fuerte, textura arenosa al tacto, adherencia baja y presencia de material rocoso.
- A2 (3b): Marrón oscuro, poco friable, grano suelto con algunos agregados subangulares, moderada consistencia a fuerte, textura arenosa al tacto, adherencia baja y presencia de material rocoso.
- C1 (3c): Rojo oscuro, estructura masiva a moderada, con agregados subangulares, fuerte consistencia, textura arenosa al tacto y adherencia de moderada a baja.
- C2 (3d): Rojo oscuro, gravoso, desarrollo estructura fuerte, no plástico, consistencia extremadamente firme, textura arenosa al tacto y adherencia de moderada a baja.

La disposición de los horizontes de cada uno de los monolitos y su espesor se presenta en la Figura 3:

**Figura 3:** Disposición de los horizontes en cada uno de los perfiles para cada monolito.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

El Cuadro 2 muestra la textura y el contenido de materia orgánica (*MO*) en los horizontes identificados para cada monolito. Se observa que, a lo largo de los perfiles de los tres monolitos, la textura es muy uniforme, la cual se clasificó como franco-arenosa (FAO, 2009). La *MO* tiende a ser mayor en el primer horizonte para todos los monolitos, sin embargo, conforme se profundiza en el perfil, se empieza a disminuir y luego a aumentar nuevamente.

**Cuadro 2:** Fracciones texturales y MO de los horizontes en cada monolito

M 1					M 2					M 3				
Textura (%)				MO (%)	Textura (%)				MO (%)	Textura (%)				MO (%)
Hor	Arc	L	Are		Hor	Arc	L	Are		Hor	Arc	L	Are	
1a	1.95	40.00	58.05	5.98	2a	1.95	41.25	56.80	6.60	3a	2.70	49.25	48.05	4.81
1b	1.95	41.25	56.80	0.40	2b	2.70	42.25	55.05	3.42	3b	2.70	43.75	53.55	3.05
1c	1.95	39.75	58.30	0.18						3c	2.70	47.00	50.30	5.97
1d	1.95	42.75	55.30	0.29						3d	2.70	44.00	53.30	5.37
1e	4.45	44.75	50.80	2.20										

Fuente: Trabajo de campo y laboratorio, 2020.

Las texturas concuerdan con las reportadas para la zona (Vega, 1999; Mata y Sandoval, 2016) y su origen se da a partir de depósitos volcánicos, especialmente cenizas volcánicas (Yatno y Suharta, 2011). Esta uniformidad textural está relacionada también con los materiales tobáceos subyacentes (Arellano *et al.* 2012) con los materiales volcánicos descritos en campo en sitios cercanos (Ramírez, 2007; Arellano *et al.* 2012; Zúñiga y Ramírez, 2015). La razón del incremento de la MO en profundidad en M1 y M3 está relacionada a los restos vegetales anteriores al cambio de vegetación (Kramer y Gleixner, 2008) que se han dado en esta zona, además del tipo de labranza de volteo (Espinoza, 2010). La MO tiene influencia significativa en la retención de agua del suelo (Ankenbauer y Loheide, 2016) debido a su afinidad con el agua, Yang *et al.* (2014) mencionan que en  $\psi$  menos negativos, la MO afecta la retención de agua del suelo principalmente alterando los parámetros estructurales, mientras a  $\psi$  más negativos la MO incrementa la capacidad absorbente del suelo para retener más agua.

El Cuadro 3 muestra la composición detallada de la fracción de arenas para cada monolito.

**Cuadro 3:** Detalle de la composición de la fracción arenosa (gruesa, media y fina) en porcentaje, para los monolitos

Arenas (%)											
M1				M2				M3			
H	G	M	F	H	G	M	F	H	G	M	F
1a	27.64	21.99	39.31	2a	54.68	8.40	14.06	3a	65.62	8.33	5.31
1b	28.28	23.70	37.41	2b	54.97	7.27	7.38	3b	55.78	7.80	3.61
1c	77.15	6.08	7.37					3c	67.89	6.51	3.33
1d	15.54	11.26	64.50					3d	7.38	1.39	1.67
1e	33.46	8.14	19.20								
1f	38.18	16.43	33.37								

*H* = horizonte, *G* = gruesa, *M* = media, *F* = fina

Fuente: Trabajo de campo y laboratorio, 2020.

En M1 hay variaciones en la fracción arenosa en todos los horizontes, mientras en el M2 y el M3 hay dominio de la fracción de arena gruesa en todos los horizontes, lo cual es esperable para suelos desarrollados bajo capas vulcanoclásticas (Pérez, 2000), estos materiales volcánicos son altamente permeables (Tejedor *et al.* 2003), debido a la presencia de macroporos (>75  $\mu\text{m}$ ). Los suelos arenosos muestran varios rangos de  $\phi$  y están relacionados con la presencia de numerosos poros que resultan del arreglo de las partículas de arenas (Braund *et al.* 2004), de la actividad de la fauna y el desarrollo de las raíces (Braund *et al.* 2005) y los cambios en poros estructurales y biológicos que pueden ser modificados por compactación (Cuolon y Bruand, 1989). La relación de los poros con las fracciones arenosas radica en que estos pueden ayudar a acelerar la infiltración de agua (Zhou *et al.* 2013). Arya y Paris (1981) mencionan la relación entre el diámetro de poro y el agua retenida por presión capilar de acuerdo con la distribución granulométrica, la cual es un aspecto importante en el movimiento de agua a través de los horizontes.

El Cuadro 3 presenta  $\rho_a$  y  $\rho_r$ , así como la  $\phi$  total para cada uno de los horizontes identificados en los monolitos M1, M2 y M3. En M1 se observa un comportamiento fluctuante de la  $\rho_a$  conforme se profundiza en el perfil del suelo. Por otro lado, en M2 y M3 la  $\rho_a$  tiende a disminuir conforme aumenta la profundidad del suelo. Consecuentemente, la  $\phi$  total tiende a disminuir en M1 y a aumentar en M2 y M3 conforme se avanza en los horizontes del suelo.



**Cuadro 4:** Densidades y porosidades de los horizontes de los monolitos M1, M2 y M3.

H	M1			M2			M2				
	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_r$	$\phi$ (%)	H	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_r$	$\phi$ (%)	H	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_r$	$\phi$ (%)
1a	1.04	2.65	60.62	2a	1.23	2.36	47.98	3a	1.19	2.33	49.11
1b	1.51	2.75	44.98	2b	1.03	2.36	56.44	3b	1.05	2.36	55.48
1c	1.50	2.77	45.69					3c	1.07	2.30	53.35
1d	1.29	2.66	51.71					3d	0.87	2.28	61.70
1e	1.44	2.59	44.21								
1f	1.27	2.57	50.71								

*H = horizontes,  $\rho_a$  = densidad aparente,  $\rho_r$  = densidad real,  $\phi$  = porosidad*

Fuente: Trabajo de campo y laboratorio, 2020.

Los cambios en profundidad de la  $\rho_a$  obtenidos fueron reportados en otros perfiles (Alvarado y Forsythe, 2005) y están condicionados por el uso agrícola intenso que luego afecta a las propiedades hidráulicas del perfil (Assouline 2006; Dec et al. 2008). En suelos de composición arenosa como es el caso de los horizontes de los monolitos de la cuenca alta del río Páez, tanto la  $\rho_a$  como la  $\phi$  están afectados por la uniformidad del empaquetamiento, la cantidad de compactación y la distribución del tamaño de grano (Tindall y Kunkel, 1999).

Los valores de  $\rho_r$  reportados para los horizontes de los monolitos están acordes con los valores para los suelos andisoles (Shoji et al. 1993) así como los cambios en profundidad (Vega, 1999). En M1, las diferencias en la profundidad de las  $\rho_r$  podrían asociarse a las diferentes composiciones mineralógicas de los materiales que originan los suelos, ya que en esta zona está el área de contacto entre las formaciones Sapper y Reventado Miembro Superior (Krushensky, 1972). En M2, los materiales son derivados de la Formación Birris por lo que se mantienen sus  $\rho_r$  en profundidad, a la vez que en M3, las variaciones en las densidades están relacionadas a las que se encuentran en la Formación Cervantes. Esta última presenta gran parte de su superficie como roca desnuda y, por lo tanto, variaciones significativas en el desarrollo del suelo. En el caso de  $\phi$ , el promedio de

los valores de los horizontes de cada monolito es alto y su relación con la profundidad es evidente en M2 y M3, donde hay relaciones altas entre ambas variables y ninguna relación con el M1. La diferencia en M1 está relacionada a los horizontes de cenizas, de la misma forma que se vio en las anteriores relaciones. La  $\phi$  puede variar en profundidad entre límites muy amplios debido a los distintos porcentajes de las fracciones de poros (Aranda *et al.* 1980) que se pueden dar especialmente en la fracción arenosa y a los cambios por el grado de fragmentación, compactación e inversión de la zona de labranza por el equipo de labranza, la compactación por tráfico y la coalescencia de la zona de labranza durante períodos de humedecimiento (Kay y VandenBygaart, 2002).

### Efecto de las propiedades hidráulicas en el movimiento del agua

El Cuadro 5 detalla la  $K_{sat}$  para de M1, M2 y M3. En general, se observa un comportamiento irregular en el perfil de M1, con variaciones promedio de 87% entre horizontes, mientras que la  $K_{sat}$  aumenta entre los horizontes en el orden de 460% para M2 y 115% para M3.

**Cuadro 5:** Conductividad hidráulica saturada de los monolitos

M1		M2		M3	
H	$K_{sat}$ (cm/min)	H	$K_{sat}$ (cm/min)	H	$K_{sat}$ (cm/min)
1a	0.108	2a	0.031	3a	0.015
1b	0.267	2b	0.176	3b	0.033
1c	0.101			3c	0.023
1d	0.073			3d	0.423
1e	0.169				
1f	0.055				

*H* = horizonte,  $K_{sat}$  = conductividad hidráulica

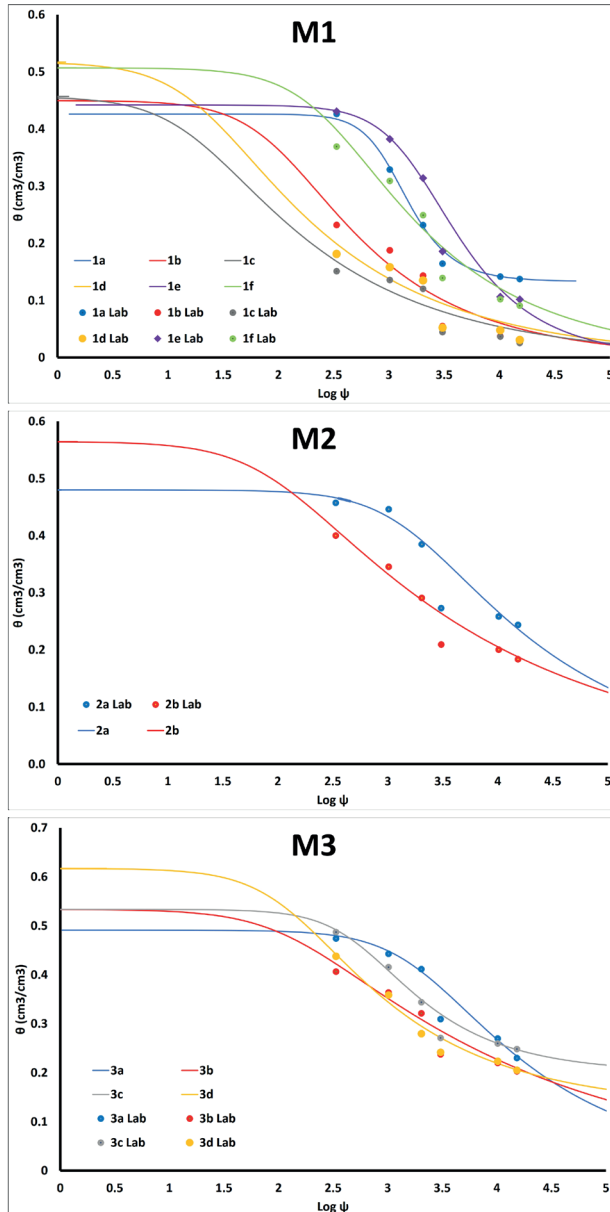
Fuente: Trabajo de campo y laboratorio, 2020.

La  $K_{sat}$  es altamente dependiente de  $\theta$  del suelo (Ng y Shi, 1998) y sus cambios en profundidad son causados por los efectos de la preparación de la tierra para el cultivo (Green *et al.* 2003) y la heterogeneidad de las propiedades del suelo entre los horizontes, lo que causa que algunas regiones sean más o menos favorables para el flujo (Sobieraj *et al.* 2004) así como los efectos de la estructura del suelo (Ghassemi y Pak, 2011) y la  $\phi$

(Braund *et al.* 2005). Los valores de la  $K_{sat}$  se clasifican como moderados de acuerdo con la clasificación de Hazelton y Murphy (2016).

Las curvas  $\psi$ - $\theta$  de los tres monolitos en todos sus horizontes se muestran en la Figura 4. En M1, M2 y M3, específicamente en el horizonte 1, el  $\theta_s$  se mantiene hasta un  $\psi$  más negativo (-33 kPa) en comparación con los horizontes más profundos. Esto incide en la  $K_{sat}$ , la cual llega a mantenerse a un valor máximo, con un  $\psi$  más negativos que en los perfiles más profundos, lo que mejora las condiciones del movimiento del agua en el suelo. El mayor de  $\theta_s$  en la superficie de M2 y M3 con respecto a M1 puede ser debido a un mayor contenido de MO.

**Figura 4:** Curvas  $\psi$ - $\theta$  para los horizontes de los monolitos a) M1, b) M2 y c) M3 ajustadas con la ecuación de van Genuchten usando el modelo de conductividad de Mualem en el software RECT (van Genuchten *et al.* 1980).



Fuente: Elaboración propia, 2022.

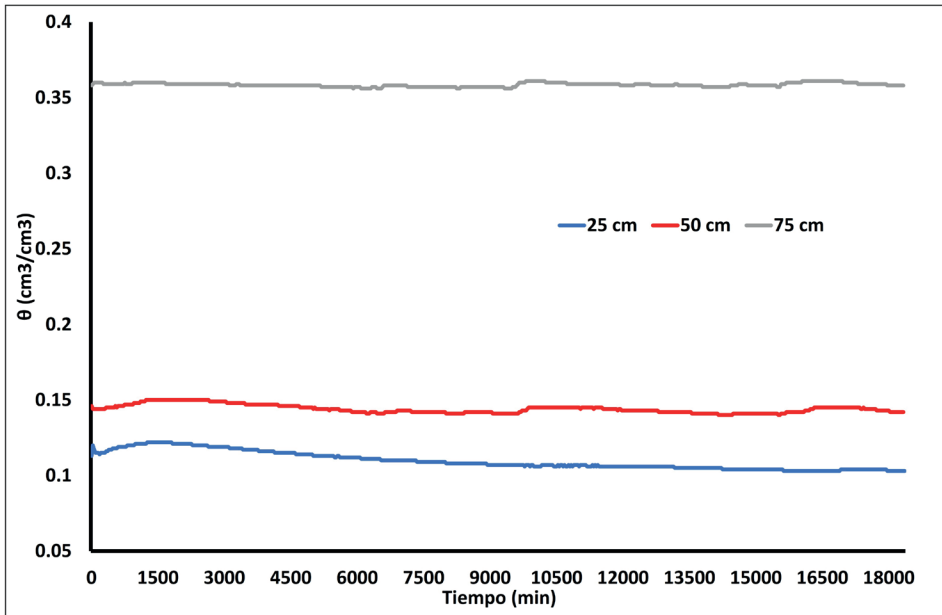
En las curvas  $\psi$ - $\theta$  en los monolitos (Figura 4), la distribución del tamaño de grano está relacionada con la retención de humedad (Yang *et al.* 2004). La estructura de cada uno de los horizontes, especialmente la heterogeneidad, (Abbasi *et al.* 2012) así como el efecto de la MO (Salcedo *et al.* 2007), juegan un rol importante. El comportamiento de las curvas  $\psi$ - $\theta$  para los tres monolitos concierne a elementos como los minerales con alta superficie específica como los amorfos y los óxidos de Fe y Al (Salcedo *et al.* 2007) asociados a los suelos andisoles (Alvarado *et al.* 2014) y el laboreo intensivo y continuo (Ceballos *et al.* 2010; Gómez y Estrada, 2020) que provoca cambios estructurales en el suelo relacionados con la distribución de poros de este.

### Variación del $\theta$ y dinámica del agua

Las Figuras 5, la Figura 6 y la Figura 7 muestran el registro continuo del  $\theta$  a tres diferentes profundidades para M1, durante 12,5 días.

En *a* (Figura 5), a una profundidad de 25 cm, el  $\theta$  inicial fue de 0,122 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, el cual disminuyó a 0,103 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> en un lapso de 12,74 días, lo que dio una RAS de 4,75 mm. A 50 cm, el  $\theta$  máximo fue de 0,150 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, el cual era el  $\theta$  inicial al comienzo de la RAS en esa profundidad. Este  $\theta$  disminuyó hasta un valor de 0,139 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> al final del tiempo de medición. Durante el lapso de 12,74 días,  $\theta$  aumentó dos veces; a 6,92 y 10,90 días, el  $\theta$  pasó de 0,141 a 0,145 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>; así, la RAS en cada uno de los dos incrementos fue de 2 mm. A 75 cm, el  $\theta$  inicial fue de 0,360 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, a 6,50 días, este pasó de 0,356 a 0,361 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>; luego, a 10,77 días, pasó de 0,357 a 0,361 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. La RAS fue de 3,75 mm y 3,0 mm. a 75 cm para cada uno de los incrementos.

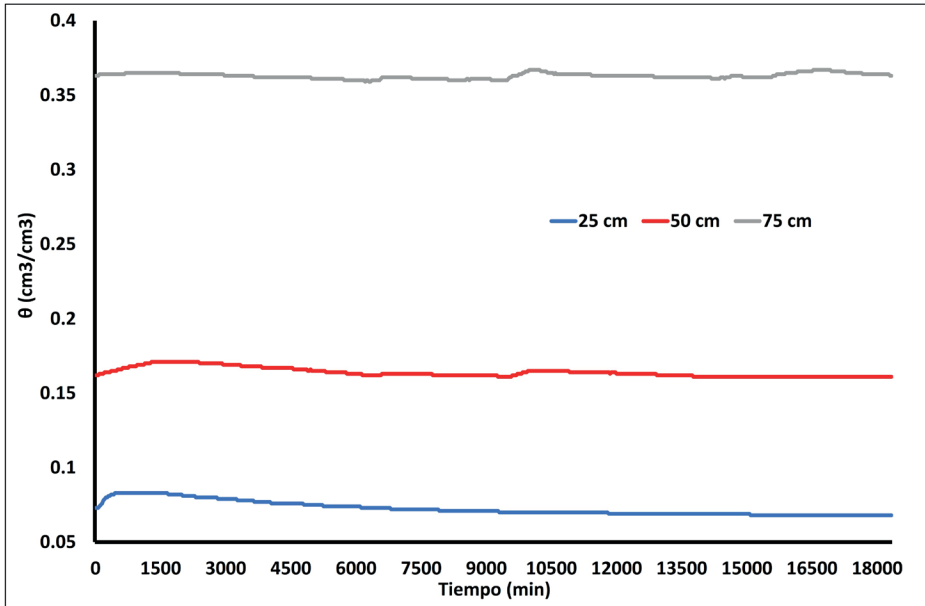
**Figura 5:** Comportamiento del  $\theta$  en el perfil 1 para el monolito 1 en cada  $z$  medida en campo.



Fuente: Trabajo de campo, 2019.

En *b* (Figura 6), a 25 cm, el  $\theta$  inicial era  $0,083 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , el cual disminuyó hasta  $0,068 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  en 12,74 días, lo que generó una RAS de 3,75 mm. A 50 cm de profundidad, al inicio de la medición, el  $\theta$  era de  $0,171 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , luego, disminuyó hasta  $0,155 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  y solo se observó un incremento del  $\theta$  a 6,58 días al pasar de  $0,161$  a  $0,165 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , lo cual dio una RAS de 2,0 mm, la cual disminuyó hasta  $0,161 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ . A 75 cm, el valor del  $\theta$  inicial fue de  $0,365 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , el cual fue reduciéndose en el tiempo de medición y tuvo dos incrementos por RAS a 6,56 y 10,83 días; el primero, desde  $0,360$  a  $0,367 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , lo cual significó un incremento de 5,25 mm; y el segundo, a 10,83 días, de  $0,362$  a  $0,367 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , lo que representó un aporte por RAS de 3,75 mm.

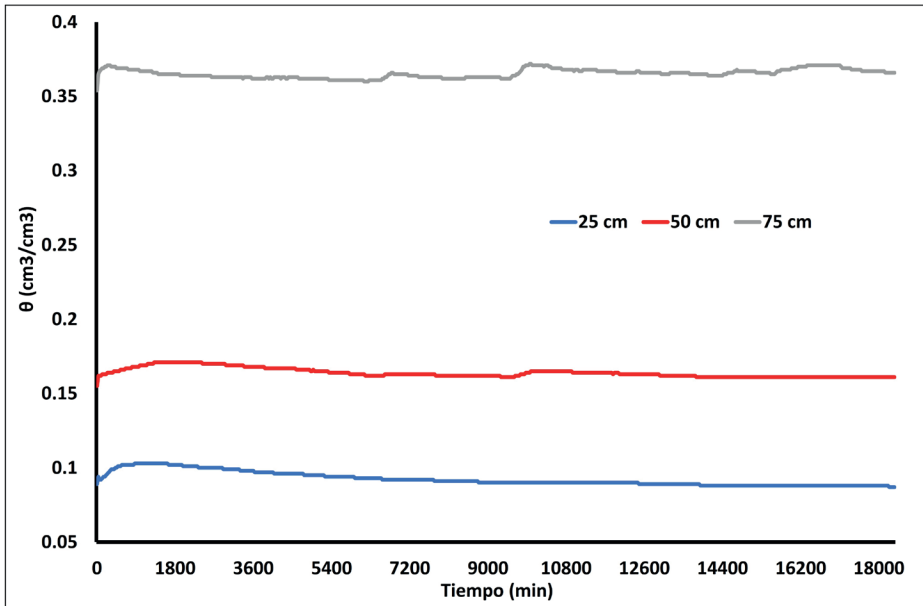
**Figura 6:** Comportamiento del  $\theta$  en el perfil 2 para el monolito 1 en cada  $z$  medida en campo.



Fuente: Trabajo de campo, 2019.

En  $c$  (Figura 7), el  $\theta$  a 25 cm inicialmente tuvo un valor máximo de  $0,103 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  con un valor final de  $0,087 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  al concluir la medición, lo que generó un aporte de 4,0 mm en 12,74 días. A 50 cm se observaron dos incrementos debido a los aportes desde 25 cm: a 6,60 días el incremento pasó de  $0,166$  a  $0,172 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , lo que generó una RAS de 3,0 mm; luego a 11,04 días,  $\theta$  pasó de  $0,166 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  a  $0,171 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , lo que se traduce en una RAS de 2,5 mm. A 75 cm se observaron 3 aportes por RAS, a 4,54 días hubo un primer incremento de  $0,361$  a  $0,366 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , lo cual dio una RAS de 3,75 mm; luego, un segundo aporte a los 6,60 días de  $0,362$  a  $0,372 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  que generó una RAS de 7,5 mm; y un último incremento a 9,98 días de  $0,364$  a  $0,371 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  que significó una RAS de 5,25 mm.

**Figura 7:** Comportamiento del  $\theta$  en el perfil 3 para el monolito 1 en cada  $z$  medida en campo.

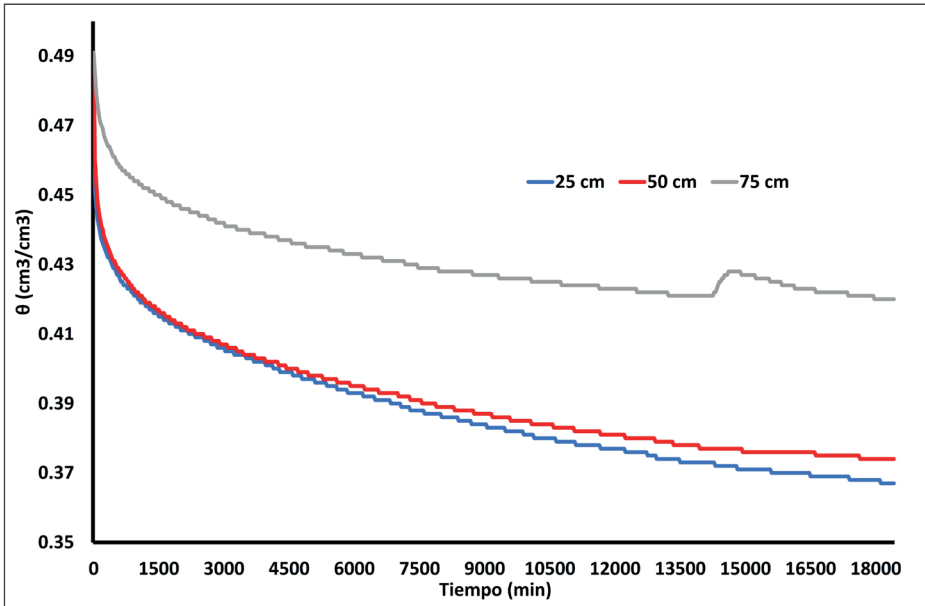


Fuente: Trabajo de campo, 2019.

En el M2 se presentan las variaciones en  $\theta$  en cada perfil en 12,5 días. En *a* (Figura 8), el  $\theta$  a 25 cm varió desde 0,466 a 0,367 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> en un lapso de 12,81 días, el cual se tradujo en una entrada de agua de 24,75 mm. A 50 cm, el  $\theta$  mostró el mismo comportamiento de 25 cm. El  $\theta$  cambió desde 0,489 a 0,374 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, lo cual significó una RAS de 57,5 mm. A 75 cm, el  $\theta$  inicial fue de 0,491 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, luego, a 9,92 días,  $\theta$  varió desde 0,421 a 0,428 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, lo que implicó una RAS de 5,25 mm.



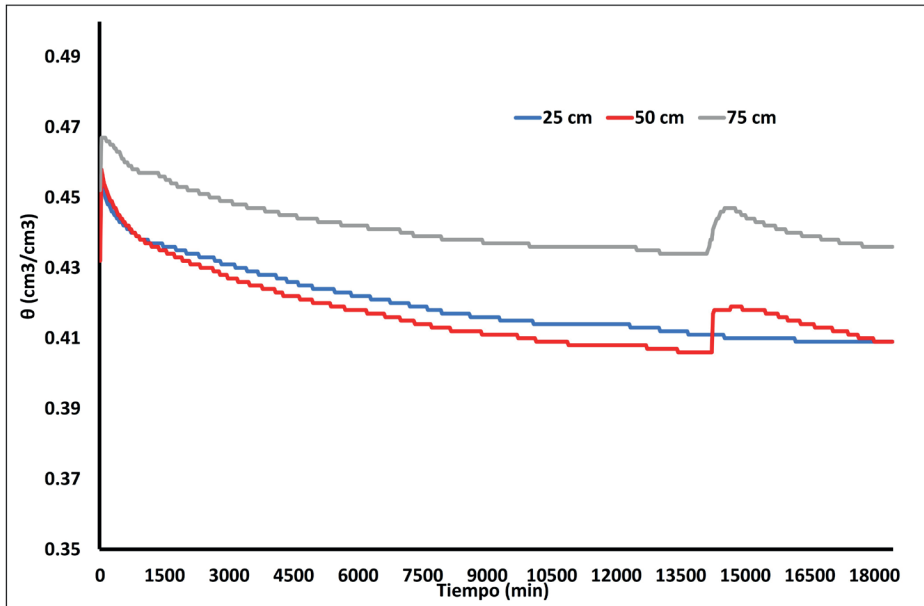
**Figura 8:** Comportamiento del  $\theta$  en el perfil 1 para el monolito 2 en cada  $z$  medida en campo.



Fuente: Trabajo de campo, 2019.

En *b* (Figura 9), el  $\theta$  a 25 cm tuvo un valor inicial de  $0,444 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , el cual disminuyó hasta  $0,372 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  en un periodo de 12,81 días que significó una entrada de agua de 18 mm. En 50 cm, el valor inicial de  $\theta$  fue de  $0,456 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , el cual se redujo hasta un valor de  $0,397 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  en 10,13 días, luego hubo un incremento de  $\theta$  a  $0,400 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  que en RAS significó 1,5 mm. A 75 cm,  $\theta$  fue de  $0,472 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , luego, a 9,81 días, se dio otro incremento desde  $0,418$  a  $0,426 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  que dio una RAS de 6 mm.

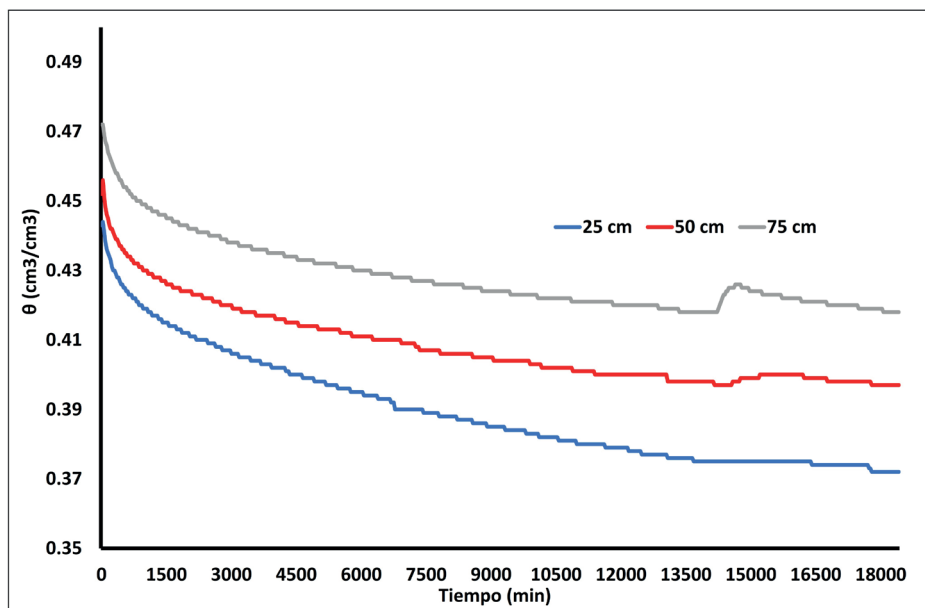
**Figura 9:** Comportamiento del  $\theta$  en el perfil 2 para el monolito 2 en cada una  $z$  medida en campo.



Fuente: Trabajo de campo, 2019.

En  $c$  (Figura 10), el  $\theta$  en 25 cm fue de  $0,457 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , el cual decreció hasta  $0,409 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  durante el tiempo de medición, lo que en RAS significó un aporte de 12 mm. A 50 cm, el  $\theta$ , al momento de la medición inicial, fue de  $0,458 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ; a 9,90 días, hubo un aporte desde  $0,406$  a  $0,419 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  que produjo una RAS de 6,5 mm. A 75 cm, el  $\theta$  fue de  $0,467 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  que fue disminuyendo en 9,81 días hasta llegar a  $0,434 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , el cual recibió un aporte por RAS de 9,75 mm.

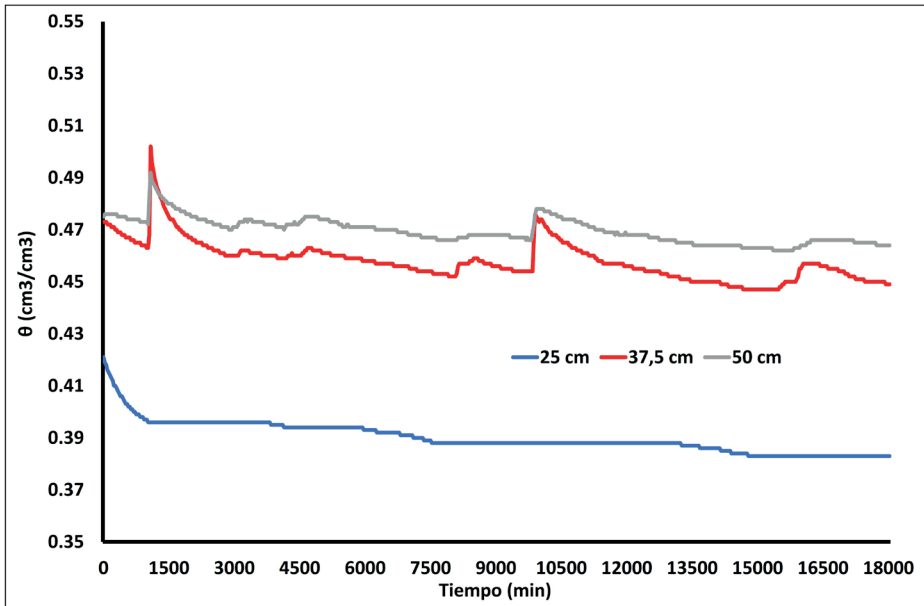
**Figura 10:** Comportamiento del  $\theta$  en el perfil 3 para el monolito 2 en cada  $z$  medida en campo.



Fuente: Trabajo de campo, 2019.

En el M3 se presentan las diferencias en  $\theta$  en cada perfil para un tiempo de 12,5 días. En  $a$  (Figura 11), la variación en  $\theta$  a 25 cm, durante 13,77 días, fue de 0,421 hasta 0,380 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> al final del tiempo de medición, cuyo aporte de agua fue de 10,25 mm. A 37,5 cm, el  $\theta$  fue de 0,473 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, el cual mostró en su drenaje durante la medición tres aportes por RAS; a 0,73 días, el  $\theta$  paso de 0,463 a 0,502 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, el cual dio en 14,625 mm; luego, a 5,63 días, el incremento pasó de 0,452 a 0,476 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, lo que generó 9 mm y una RAS de 3,75 mm debido al incremento desde 0,447 a 0,457 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> en el tiempo de 10,77 días. A 50 cm, a 0,70 días hubo un primer aporte de 0,472 a 0,492 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, lo que dio una RAS de 10 mm, luego, se presentó un segundo incremento a 2,04 días de 0,47 a 0,474 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> que resultó una RAS de 2 mm. Asimismo, se dio un tercer incremento desde los 2,8 días, de 0,47 a 0,475 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> que generó una RAS de 2,5 mm. A los 6,81 días se dio otra RAS de 6 mm, lo cual sucedió por el incremento desde 0,466 a 0,478 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Además, a los 10,85 días, hubo un último incremento desde 0,462 a 0,466 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> para una RAS de 2 mm.

**Figura 11:** Comportamiento del  $\theta$  en el perfil 1 para el monolito 3 en cada  $z$  medida en campo.

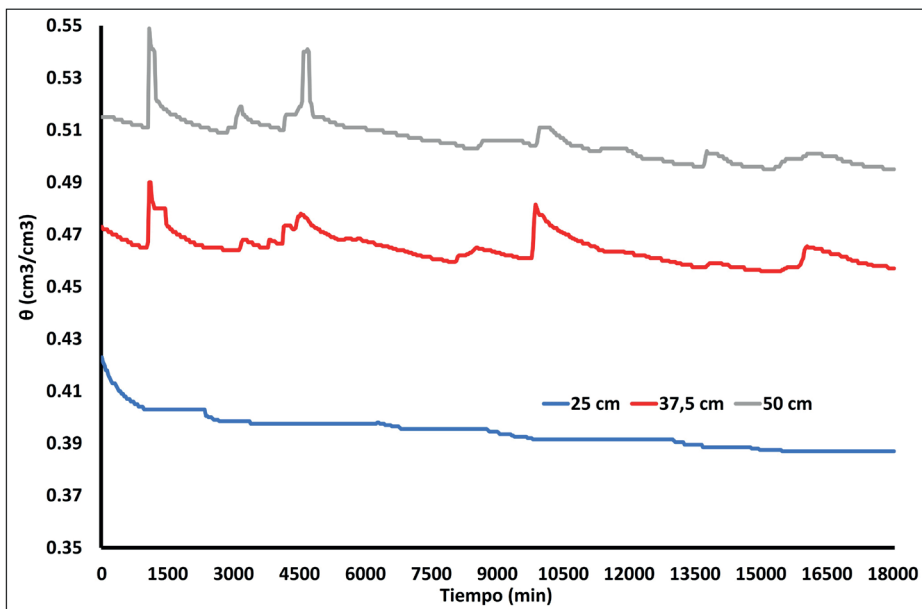


Fuente: Trabajo de campo, 2019.

En *b* (Figura 12), a 25 cm el  $\theta$  fue de  $0,502 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , el cual disminuyó durante 13,77 días hasta  $0,443 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , cuyo aporte de agua se devino en 14,75 mm. A 37,5, el  $\theta$  fue de  $0,473 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  al que durante su drenaje se le observaron 4 períodos de RAS desde la capa superior. El primer incremento se dio a 0,73 días desde  $0,465$  a  $0,490 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , este generó una RAS de 9,375 mm; el segundo ocurrió incremento a los 2,19 días desde  $0,464$  a  $0,478 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  que significó 5,25 mm de RAS; el tercero a los 5,60 días, el  $\theta$  cambio de  $0,4595$  a  $0,4815 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  que dio una RAS de 8,25 mm; y el último incremento fue a los 10,73 días desde  $0,456$  a  $0,4655 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , lo que implicó una RAS de 3,5625 mm. A 50 cm, el  $\theta$  en el suelo fue de  $0,516 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , el cual, conforme fue disminuyendo, experimentó 5 aportes por RAS. A los 0,75 días hubo un primer incremento desde  $0,511$  a  $0,549 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , este significó 19 mm de RAS; luego a 2,08 días, el  $\theta$  ascendió desde  $0,506$  hasta  $0,541 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , lo cual implicó una RAS de 17,5 mm; después a los 5,96 días se dio un tercer incremento desde  $0,503$  a  $0,512 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  que en RAS significó 4,5 mm; a los 9,42 días, el  $\theta$  tuvo un incremento de  $0,496$  a  $0,502 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

cm<sup>3</sup> que significó un valor de RAS de 3 mm; y por último, a los 10,71 días, la capa tuvo un aporte desde 0,495 a 0,501 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> que implicó una RAS de 3 mm, igual al incremento anterior.

**Figura 12:** Comportamiento del  $\theta$  en el perfil 2 para el monolito 3 en cada  $z$  medida en campo.

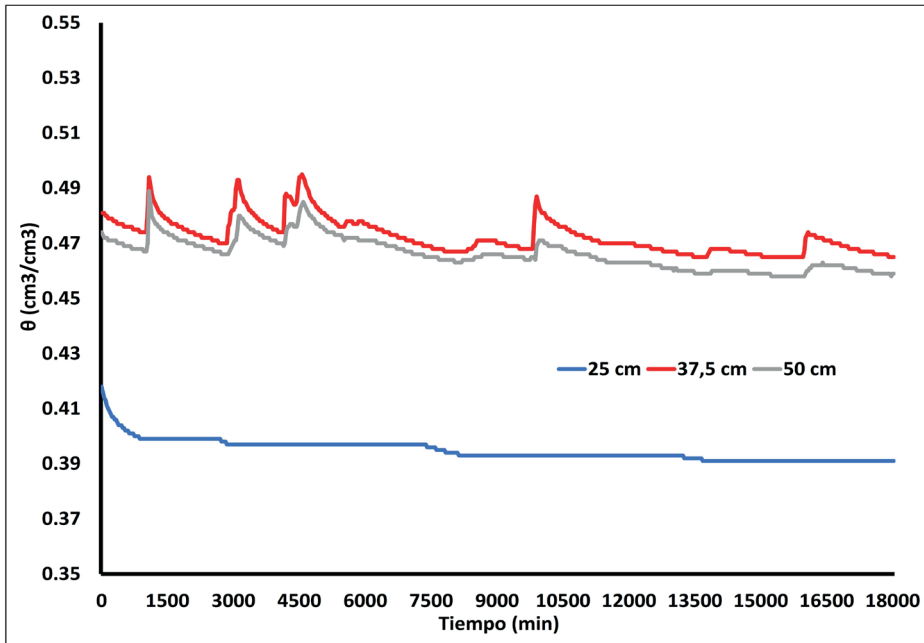


Fuente: Trabajo de campo, 2019.

En  $c$  (Figura 13), el  $\theta$  a 25 cm fue de 0,420 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> que descendió hasta 0,389 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, lo que generó una entrada de agua de 7,75 mm en 13,77 días. En 37,5 cm, el  $\theta$  fue de 0,482 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, en cuya profundidad se observaron 5 aportes por RAS en los siguientes tiempos: 0,69; 1,98; 2,90; 5,75 y 10,46 días. Para el primer aporte, el  $\theta$  pasó de 0,474 a 0,494 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, lo cual fue 7,5 mm de RAS; el segundo aporte fue de 0,470 a 0,493 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> que generó un incremento de 8,625 mm; el tercero fue de 7,5 mm, el cual resultó en el cambio de 0,474 a 0,494 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>; el cuarto incremento fue desde 0,487 a 0,467 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> que resultó en una RAS de 7,5 mm; mientras aporte de 0,465 a 0,473 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> que concluyó en una RAS de 3 mm. A 50 cm, el  $\theta$  inicial fue de 0,474 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, este empezó a drenar y experimentó un incremento a 0,73 días desde 0,467 a 0,489 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, que en RAS, significó

11 mm; luego a los 2,02 días, hubo otro incremento desde 0,466 a 0,480 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> que implicó un aporte de 7 mm; a los 2,90 días un nuevo incremento por RAS permitió un cambio desde 0,469 a 0,489 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, cuyo RAS fue de 8 mm; a los 5,11 días, un aporte desde 0,463 a 0,471 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> que significó un aumento de 4 mm; y por último, a los 11,10 días, hubo un cambio desde 0,458 a 0,462 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, que dio como resultado 2 mm de RAS.

**Figura 13:** Comportamiento del  $\theta$  en el perfil 3 para el monolito 3 en cada  $z$  medida en campo.



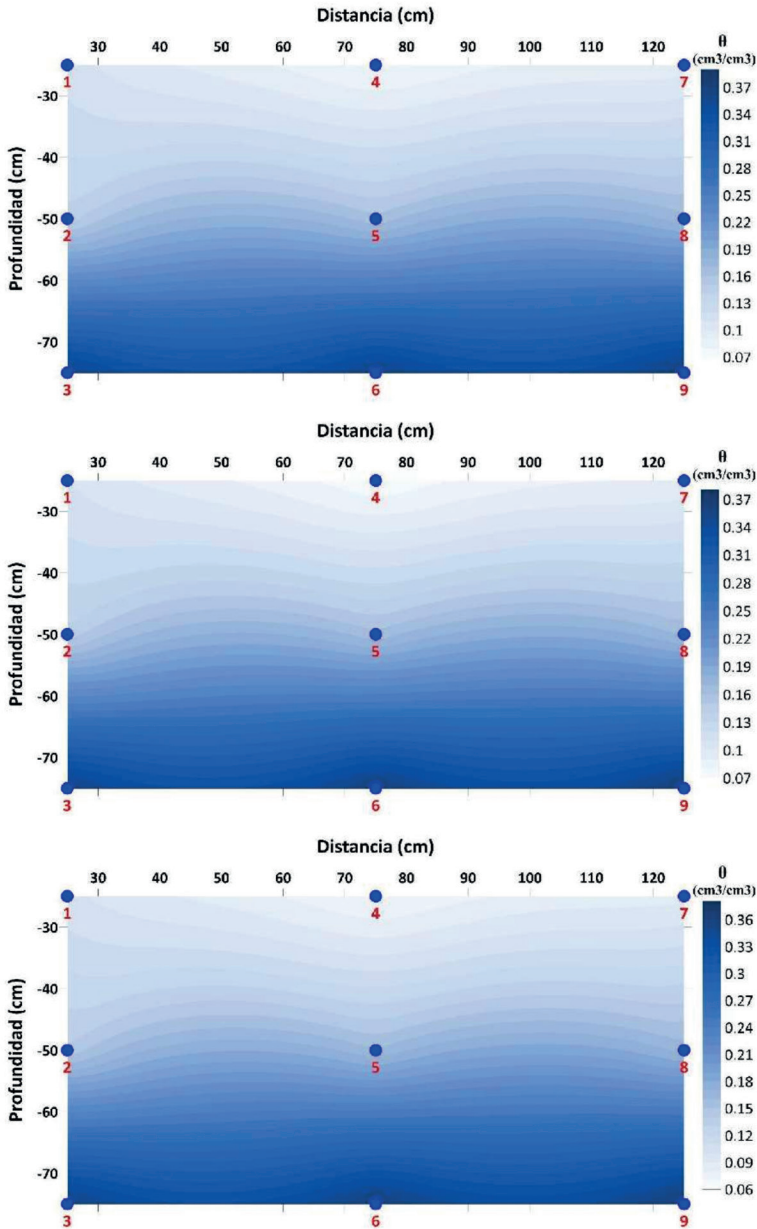
Fuente: Trabajo de campo, 2019.

En cuanto a los tipos de flujo de agua que se dan en cada uno de los monolitos, la interpolación  $\theta(z,t)$ , mediante kriging se permitió visualizar el comportamiento de  $\theta(z,t)$  y el tipo de flujo.

### Mecanismos de redistribución en los monolitos

En M1 (Figura 14), el comportamiento del flujo es de tipo pistón donde el agua infiltrada va redistribuyéndose en el perfil de cada monolito de forma que es observable un desplazamiento del frente de humedad con un comportamiento casi uniforme, con dispersión y mezcla despreciable.

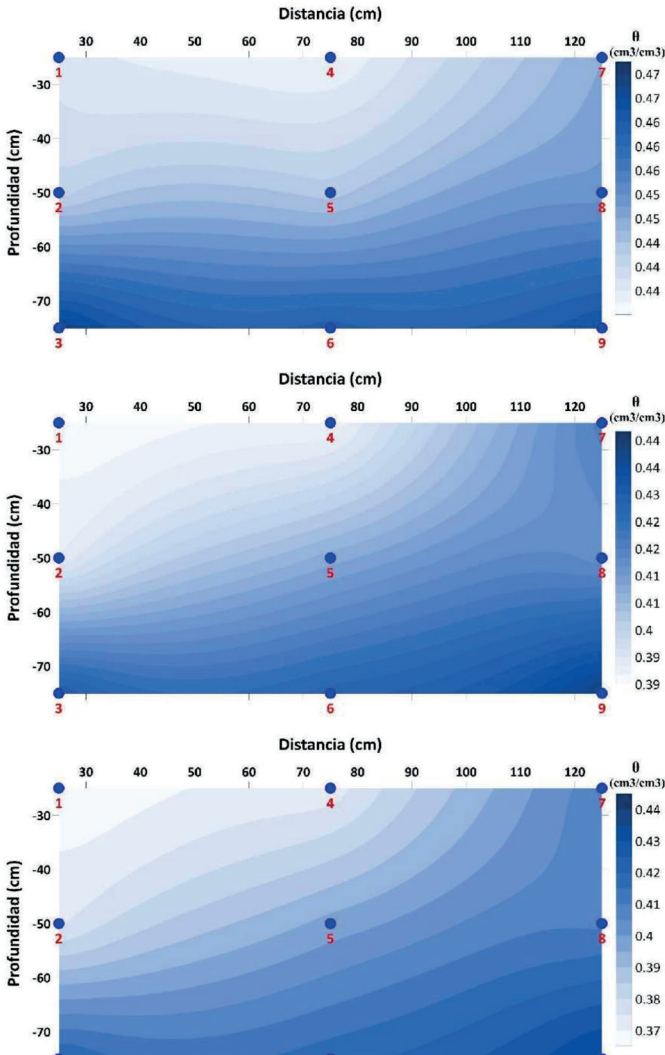
**Figura 14:** Visualización del tipo de flujo de agua en el monolito 1 a partir de la interpolación de  $\theta(z,t)$  de los sensores.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

En M2 (Figura 15), el flujo de agua infiltrada presenta un flujo por RAS en el perfil de tipo preferencial orientado hacia la derecha en la cara del monolito. En este caso, es observable una dirección del flujo de humedad orientado lateralmente.

**Figura 15:** Visualización del tipo de flujo de agua en el monolito 2 a partir de la interpolación de  $\theta(z,t)$  de los sensores.

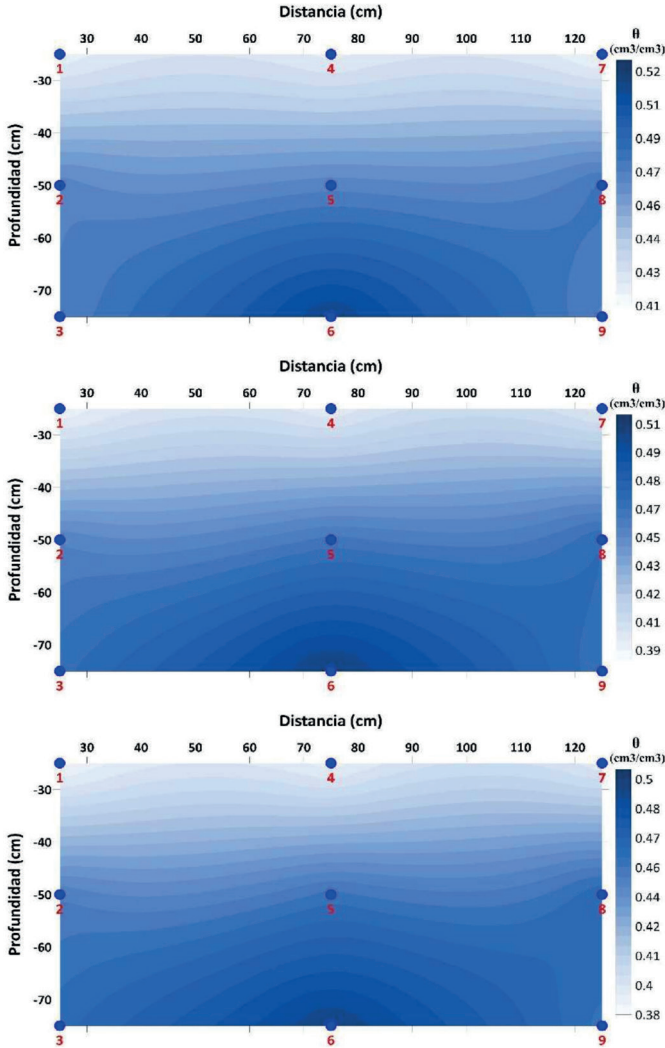


Fuente: Elaboración propia, 2022.



En M3 (figura 16), se pueden visualizar dos tipos de flujos, inicialmente un flujo que presenta un comportamiento de pistón en los primeros 40 cm; luego, otro que comienza a seguir un flujo preferencial hacia el centro de la base del monolito.

**Figura 16:** Visualización del tipo de flujo de agua en el monolito 3 a partir de la interpolación de  $\theta(x,t)$  de los sensores.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Los horizontes de los monolitos, a pesar de tener homogeneidad como capas dada su composición textural, pueden presentar anisotropía horizontal debido a condiciones de humedad inicial (Philip, 1991), lo cual origina comportamientos diferentes por pequeñas diferencias entre secciones húmedas y secas (Zhuang *et al.* 2017) en cada horizonte, así como cambios temporales (Schwen *et al.* 2014). Durante el drenaje, el  $\theta$  gradualmente disminuye con el tiempo en todos los monolitos debido a las texturas arenosas que presentan (Hillel y Talpaz 1977; Ortiz *et al.* 1999).

El flujo por RAS está relacionada a la tortuosidad del flujo a través de la configuración de los poros y los pasajes de flujo (Ghassemi y Pak 2011) de acuerdo con la disposición del medio poroso (Koponen *et al.* 1997) en su textura y estructura

Las variaciones en las curvas de descenso de  $\theta$  están relacionadas a pequeñas variaciones laterales en la succión capilar (Kung, 1990). Los cambios en  $\theta$  son graduales y muy pequeños en cada uno de los sensores debido al flujo, con disminuciones lentas en el tiempo. La diferenciación de los flujos de pistón y preferencial es difícil de separar por las pequeñas variaciones en  $\theta$  en el suelo (Zhang *et al.* 2019 A).

En los monolitos, los frentes de humedad identificados presentaron dos comportamientos diferentes. En M1 y M3, el flujo de pistón observado obedece a un desplazamiento uniforme del frente de humedecimiento a través de las profundidades medidas, hecho relacionado a que ambos presentan una mayor cantidad de horizontes con respecto a M2, lo que hace que el flujo sea constante y vaya remplazando el  $\theta$  en los poros (Bouma, 1981) sin que se manifieste un flujo preferencial específico. Yao y Hendrickx (1996) afirman que los frentes de humedecimiento se estabilizan bajo tasas de infiltración bajas. Así en el caso del M1, las pequeñas variaciones en  $\theta$  identificadas durante el proceso de medición y el número de horizontes con granulometrías distintas contribuyen a la estabilidad del flujo por RAS en los perfiles de los monolitos. En M2, el flujo de agua acorde con las variaciones en  $\theta$  es de tipo preferencial, identificado por una mayor convergencia lateral (Jarvis, 2007), donde los mayores valores están orientados hacia una dirección específica, seguidos por la absorción lateral (Bouma, 1981). Gao *et al.* (2014) mencionan que el uso de la tierra y el  $\theta$  inicial podrían incrementar la velocidad del frente de humedecimiento y, con ello, el flujo preferencial. El M2 presentaba pastos con ganado, lo cual

incrementa el desarrollo de macroporos debido a las raíces y cambios en las características y la geometría de la red porosa estructural (Mossadeghi *et al.* 2016), lo que lleva a que se desarrolle flujos no uniformes (Gerke *et al.* 2010). En el caso de los árboles, el incremento del flujo preferencial por las raíces ha sido mencionado por otros autores (Zhang *et al.* 2019 B), en el caso del M2, si bien otros autores (Kan *et al.* 2019) indican que en pastos el flujo de pistón es más dominante, los cambios constantes en el uso de la tierra pueden llegar a presentar un terreno descubierto y, por lo tanto, cambios en la dinámica del flujo de agua en profundidad con el desarrollo de la vegetación.

Con respecto al M3, su comportamiento dual con flujos de pistón al inicio y, preferencial después, ha sido evidenciado previamente (Zhang *et al.* 2019 A; Xiang *et al.* 2019). El M3, a diferencia de los otros, presentó al inicio un comportamiento de flujo de pistón y, conforme aumentó la cantidad de material piroclástico en profundidad, se incrementaron las fracturas y por lo tanto el desarrollo de pasos preferenciales para el flujo vertical (Šimůnek *et al.* 2003).

## Conclusiones

El presente trabajo tuvo como objetivo presentar un primer estudio al proceso de RAS en el suelo a partir de la experimentación en campo con sensores de  $\theta$ . Durante su ejecución, la hipótesis de trabajo fue confirmada, donde se pudo contabilizar los aportes de agua en profundidad producto del flujo por RAS en los horizontes de perfiles de la ZNS.

El flujo por RAS es un proceso complejo y depende muchísimo de las propiedades físicas e hidráulicas de los suelos que, a su vez, también presentan una enorme variabilidad espacial de acuerdo con las condiciones locales que se tengan.

Durante el proceso de RAS en los perfiles de la ZNS, se pudieron encontrar los mecanismos que tienen lugar dentro de él, como lo son los flujos de pistón y preferencial.

El mecanismo de flujo varía de un monolito a otro y pudo ser identificado a partir de la interpolación de los  $\theta$  de acuerdo con su posición en cada uno de los perfiles.

La determinación del flujo de agua por RAS será de utilidad en el estudio de los procesos de flujo de agua que se dan en las zonas agrícolas,

entre ellos, se tienen el flujo de agroquímicos y pesticidas, así como la recarga de agua. El entendimiento de este proceso podría responder por qué podrían migrar los contaminantes agrícolas hacia las capas acuíferas y el desarrollo y recuperación de la vegetación.

## Referencias

- Abbasi, F., Javauaxm M., Vanclooster, M. y Feyen, J. 2012. Estimating hysteresis in the soil water retention curve from monolith experiments. *Geoderma* 189-190: 480-490.
- Alvarado, A. y Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1), 85-94.
- Alvarado, A., Mata, R. y Chinchilla, M. (2014). Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014: I. Historia, metodología de análisis y mineralogía de arcillas en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agronomía Costarricense* 38(1), 75-106.
- Ankenbauer, K. y Loheide, S. (2016). The effects of soil organic matter on soil water retention and plant water use in a meadow if the Sierra Nevada, CA. *Hydrological Processes* (31), 891-901.
- Aranda, M., Arrúe, J., Ugarte, J. y Moreno, F. (1980). Propiedades físicas y químicas en relación con la porosidad de los suelos: Influencia del ciclo natural de humectación-deseccación. IV Hinchamiento y contracción. *Anales de Edafología y Agrobiología* 39 (3-4), 523-537
- Aranda, M; Arrúe, J; Ugarte, J; Moreno, F. (1980). Propiedades físicas y químicas en relación con la porosidad de los suelos: Influencia del ciclo natural de humectación-deseccación. IV Hinchamiento y contracción. *Anales de Edafología y Agrobiología* 39 (3-4): 523-537.
- Arellano, F., Vásquez, M., Suárez, J. y Rafael, E. (2012). *Identificación de zonas de protección y de captura de las nacientes, subcuencas de los ríos Reventado, Tiribí, Tatiscú, Páez, Birris y Pacayas, Provincia de Cartago, Costa Rica*. Licitación Abreviada 2012LA-000068-87900 Informe Final. COMCURE-MINAET-Dirección de Agua-Hidrogeotecnia Ltda.
- Arya, L. y Paris, J. (1981). A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Science Society of America Journal* (45), 1023-1030.

- Assouline, S. (2006). Modeling the relationship between soil bulk density and the water retention curve. *Vadose Zone Journal* (5), 554-563.
- Biswas, T., Nielsen, D. y Biggar, J. (1966). Redistribution of soil water after infiltration. *Water Resources Research* 2(3), 513-524.
- Bouma, J. (1981). Soil morphology and preferential flow along macropores. *Agricultural Water Management* (3), 235-250.
- Braund, A., Hartmann, C., Ratana, S., Sindhusen, P., Poss, R. y Hardy, M. (2004). Composition, fabric, and porosity of an arenic haplustalf of Northeast Thailand: Relation and penetration resistance. *Soil Science Society of America Journal* (68), 185-193.
- Braund, A., Hartmann, C. y Lesturgez, G. (2005). Physical properties of tropical sandy soils: A large range of behaviours. *Management of Tropical Sandy Soil for Sustainable Agriculture*. International Union of Soil Science.
- Ceballos, D., Hernández, O. y Vélez, J. (2010). Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas en un andisol del Departamento de Nariño. *Revista de Agronomía* 23(1), 40-48.
- Charbeneau, R. (1989). Liquid moisture redistribution: Hydrologic simulation and spatial variability. En Morel-Seytoux (ed). (1989). *Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling: Theory and Practice*. Kluwer Academic Publishers, pp.127-161.
- Chen, S., Huo, Z., Xu, X. y Huang, G. (2019). A conceptual agricultural water productivity model considering under field capacity soil water redistribution applicable for arid and semi-arid areas with deep groundwater. *Agricultural Water Management* (213) 309-323.
- Cuolon, E. y Bruand, A. (1989). Effects of compaction on the pore space geometry in sandy soils. *Soil & Tillage Research* (15), 137-152.
- Dec, D., Dörner, J., Becker, O. y Horn, R. (2008). Effect of bulk density on hydraulic properties of homogenized and structured soils. *Revista de Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 8(1), 1-13.
- Eguchi, S. y Hasegawa, S. (2008). Determination and characterization of preferential water flow in unsaturated subsoil of andisol. *Soil Science Society of America Journal* 72(2), 320-330.
- Espinoza, Y. (2010). Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregado en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropical. *Bioagro* 22(3), 177.184.

- FAO. (2009). *Guía para la Descripción de Suelos*. 4ta edición. FAO.
- Fuentes, S., Trejo, J., Quevedo, A., Fuentes, C. y Chávez, C. (2020). Modeling soil water redistribution under gravity irrigation with Richards Equation. *Mathematics* 8(9), 1581.
- Gao, Z., Xu, X., Zhao, J., Yu, M., Zhang, S. y Zhao, C. (2014). Field study on preferential flow under different land uses in the Loess Hilly region. *Nature Environment and Pollution Technology* 13(3), 483-490.
- Gardner, W., Hillel, D. y Benyamini, Y. (1970). Post-irrigation movement of soil water: 1. Redistribution. *Water Resource Research* 6(3), 851-861.
- Gerke, H., Germann, P. y Nieber, J. (2010). Preferential and unstable flow: From the pore to the catchment scale. *Vadose Zone Journal* 9(2), 207-212.
- Ghassemi, A. y Pak, A. (2011). Pore scale study of permeability and tortuosity for flow through particulate media using Lattice Boltzmann method. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 35(8), 886-901.
- Gómez, N., Solórzano, M. y Villagra, K. (2017). *Cuantificación de la erosión hídrica en función de diferentes técnicas de mecanización para minimizar la contaminación del agua por sedimentos en la parte alta de la cuenca del río Reventazón*. Informe Final. Tecnológico de Costa Rica.
- Gómez, N. y Estrada, R. (2020). Conservación de suelos mediante la modificación de la frecuencia de labranza: Un caso en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales* 54(1), 123-139.
- Green, T., Ahuja, L. y Benjamin, J. (2003). Advances and challenges in predicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. *Geoderma* (116), 3-27.
- Hao, X., Ball, B., Culley, J., Carter, M. y Parkin, G. (2008). Soil Density and Porosity. En Carter, M. y Gregorich, E. (eds). (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis* pp. 743-760. 2da edición. Canadian Society of Soil Science.
- Hari, K., Ojha, C., Chandramouli, P. y Madramootoo, C. (2010). *Estimation of unsaturated hydraulic parameters from infiltration and internal drainage experiments*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering.

- Hazelton, P. y Murphy, B. 2016. *Interpreting Soil Test Results: What do all the numbers mean?* 3era edición. CSIRO Publishing.
- Henríquez, C. y Cabalceta, G. (1999). *Guía Práctica para el Estudio Introductorio de los Suelos con un Enfoque Agrícola*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Hillel, D., Krentos, V. y Stylianou, Y. (1972). Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. *Soil Science* 114(5), 395-400.
- Hillel, D. y Talpaz, H. (1977). Simulation of soil water dynamics in layered soils. *Soil Science* 123 (1), 54-62.
- Horgan, G. y Ball, B. (2005). Modelling the effect of water distribution and hysteresis on air-filled pore space. *European Journal of Soil Science* (56), 647-634.
- Jarvis, N. (2007). A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality. *European Journal of Soil Science* (58), 523-546.
- Jury, W., Wang, Z. y Tuli, A. (2003). Conceptual model of unstable flow in unsaturated soil during redistribution. *Vadose Zone Journal* (2), 61-67.
- Kan, X., Cheng, J., Hu, X., Zhu, F. y Li, M. (2019). Effects of grass and forest and the infiltration amount on preferential flow in karst regions of China. *Water* 11 (8): 1634.
- Kay, B. y VandenBygaart, A. (2002). Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Tillage Research* (66), 107-118.
- Kendy, E., Gérard, P., Walter, M., Zhang, Y., Liu, C. y Steenhuis, T. (2003). A soil-water-balance approach to quantify groundwater recharge from irrigated cropland in the North China Plain. *Hydrological Processes* 17, 2011-2031.
- Kirkham, M. (2005). *Principles of Soil and Plant Water Relations*. Elsevier.
- Koponen, A., Kataja, M. y Timonen, J. (1997). Permeability and effective porosity of porous media. *Physical Review E* 56(3), 3319-3325.
- Kramer, G. y Gleixner, G. (2008). Soil organic matter in soil depth profiles: Distinct carbon preferences of microbial groups during carbon transformation. *Soil Biology and Biochemistry* (40), 425-433.

- Kranz, W., Kanwar, R. y Pederson, C. (1998). Collection and monitoring of one-meter cubic soil monoliths for leaching studies. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 41(2): 333-344.
- Krisdani, H., Rahardjo, H. y Leong, E. (2009). Use of instantaneous profile and statistical methods to determine permeability functions of unsaturated soils. *Canadian Geotechnical Journal* (46), 869-874.
- Kroetsch, D. y Wang, C. (2008). Particle Size Distribution. En Carter, M. y Gregorich, E. (eds). (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis* pp. 713-725. 2da edición. Boca Raton, Canadian Society of Soil Science.
- Krushensky, R. (1972). Geology of Istaru Quadrangle, Costa Rica. Bulletin 1358. United States Geological Survey.
- Kung, K. (1990). Preferential flow in a sandy vadose zone: 1. Field observation. *Geoderma* (46), 51-58.
- Lai, W., Ogden, F., Steinke, R. y Talbot, C. (2017). An efficient and guaranteed stable numerical method for continuous modeling of infiltration and redistribution with a shallow dynamic water table. *Water Resources Research* (51), 1514-1528.
- Mata, R. y Sandoval, D. (2016). *Mapa Digital de Suelos de Costa Rica*. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica.
- Mehuys, G., Tiessem, K., Villatoro, M., Sancho, F. y Lobb, D. (2009). Erosión por labranza con arado de disco en suelos volcánicos de ladera en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 33(2), 205-215.
- Mavinbela, S. y Rensburg, L. (2011). In-situ evaluation of internal drainage in layered soils (Tukulu, Sepane and Swartland). *Hydrological Earth System Science* 8: 9797-9841.
- Mossadeghi, M., Arvidsson, J., Keller, T., Koestel, J., Lamandé, M., Larso, M. y Jarvis, N. (2016). Effects of subsoil compaction on hydraulic properties and preferential flow in a Swedish clay soil. *Soil & Tillage Research* (156), 91-98.
- Narváez, I. (2013). *Percepción sobre la tendencia de caudales, precipitación, temperatura y cambio de uso del suelo con relación al uso y manejo del agua en la zona norte de Cartago, Costa Rica*. (Trabajo de Graduación). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.



- Ng, C. y Shi, Q. (1998). A numerical investigation of the stability of unsaturated soil slopes subjected to transient seepage. *Computers and Geotechnics* 22(1). 1-28.
- Ortiz, J., Gavrilov, I., Palacios, O. y Acosta, R. (1999). Pérdidas de agua de riego por percolación profunda durante el proceso de infiltración. *Terra Latinoamericana* 17(2), 115-124.
- Pérez, F. (2000). The influence of surface volcanoclastic layers from Haleakala (Maui, Hawaii) on soil water conservation. *Catena* (38) 301-332.
- Philip, J. (1991). Horizontal redistribution with capillary hysteresis. *Water Resource Research* 27(7): 1459-1469.
- Philip, J. y Knight, J. (1991). Redistribution of soil water from plane, line, and point sources. *Irrigation Science* (12), 169-180.
- Philip, J. (1992). Exact solutions for redistribution by nonlinear convection-diffusion. *Journal of Australian Mathematical Society* (33) 362-383.
- Pirastu, M., Marrosu, R., Di Prima, S., Keesstra, S., Giadrossich, F. y Niedda, M. (2017). Lateral saturated hydraulic conductivity of soil horizons evaluated in large-volume soil monoliths. *Water* 9(11), 862.
- Quesada, J. (2017). Determinación de los requerimientos de agua para diferentes cultivos de la zona norte de Cartago. (Trabajo Final de Graduación). Tecnológico de Costa Rica.
- Ramadas, M., Ojha, C. y Govindaraju, R. (2016). Analytical models of infiltration and redistribution for unsaturated flow in soils with vertically non-uniform saturated hydraulic conductivity. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 22:2, 181-192.
- Ramírez, P. (2007). Caracterización de la dinámica de flujo mediante la aplicación de un modelo numérico hidrogeológico: Caso de la cuenca del río Birrís, Cartago, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central* 34-35: 83-97.
- Ramírez, L., McHugh, A y Alvarado, A. (2008). Evolución histórica y caracterización socioeconómica de la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(2), 53-72.
- Ramírez, F., Fournier, M., Ruepert, C. y Hidalgo, C. (2014). Uso de agroquímicos en el cultivo de papa en Pacayas, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 25(2), 337-345.

- Raats, P. (1973). Unstable wetting fronts in uniform and nonuniform soils. *Soil Science Society of America Proceedings* (37), 681-685.
- Reynolds, W. (2008 A). Saturated Hydraulic Properties: Laboratory Methods. En Carter, M. y Gregorich, E. (eds). (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis* pp. 1013-1024. 2da edición. Boca Raton, Canadian Society of Soil Science.
- Reynolds, W. (2008 B). Unsaturated Hydraulic Properties: Instantaneous Profile. En Carter, M. y Gregorich, E. (eds). (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis* pp. 1129-1138. 2da edición. Boca Raton, Canadian Society of Soil Science.
- Reynolds, W. y Topp, G. (2008). Soil Water Desorption and Imbibition: Tension and Pressure Techniques. En Carter, M. y Gregorich, E. (eds). (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis* pp. 981-997. 2da edición. Boca Raton, Canadian Society of Soil Science.
- Rubin, J. (1967). Numerical method for analyzing hysteresis-affected, post-infiltration redistribution of soil moisture. *Soil Science Society of America Proceedings* 31: 13-20.
- Rubin, Y. (2003). *Applied Stochastic Hydrogeology*. Oxford University Press.
- Salcedo, E., Galvis, A., Hernández, T., Rodríguez, R., Zamora, F., Bugarrin, R. y Carrillo, R. (2007). La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica de suelo. *Terra Latinoamérica* 25(4), 419-425.
- Schwen, A., Zimmermann, M. y Bodner, G. (2014). Vertical variations of soil hydraulic properties within two soil profiles and its relevance for soil water simulations. *Journal of Hydrology* (516), 169-181.
- Shoji, S., Nanzyo, M. y Dahlgren, R. (1993). *Volcanic Ash Soils: Genesis, Properties and Utilization. Developments in Soil Science 21*. Elsevier.
- Šimůnek, J., Jarvis, N., van Genuchten, M. y Gärdenäs, A. (2003). Review and comparison of models for describing non-equilibrium and preferential flow and transport in the vadose zone. *Journal of Hydrology* (272), 14-35.
- Skjemstad, J. y Baldock, J. (2008). Total and Organic Carbon. En Carter, M. y Gregorich, E. (eds). (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis* pp. 225-237. 2da edición. Boca Raton, Canadian Society of Soil Science.

- Sobieraj, J., Elsenbeer, H. y Cameron, G. (2004). Scale dependency in spatial patterns of saturated hydraulic conductivity. *Catena* (55), 49-77.
- Sonaje, N. (2013). Modeling of infiltration process – A review. *Indian Journal of Applied Research* 3(9) 226-230.
- Staple, W. (1966). Infiltration and redistribution of water in vertical columns of loam soil. *Soil Science Society of America Proceedings* (30), 553-558.
- Tejedor, M., Jiménez, C. y Díaz, F. (2003). Volcanic materials as mulches for water conservation. *Geoderma* (117), 283-295.
- Tindall, J. y Kunkel, J. (1999). *Unsaturated Zone Hydrology for Scientist and Engineers*. Prentice Hall.
- Van Genuchten, M. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society American Journal* (44), 892-898.
- Van Genuchten, M., Leij, F. y Yates, S. (1980). *The RECT code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils*. U.S. Salinity Laboratory. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Research Service.
- Van Stiphout, T., van Lanen, H., Boersma, O. y Bouma, J. (1987). The effect of bypass flow and internal catchment of rain on the water regime in a clay loam grassland soil. *Journal of Hydrology* (95). 1-11.
- Vachaud, G. y Dave, J. (2002). Instantaneous Profile. En Dane, J. y Topp, G. (eds). (2002). *Methods of Soil Analysis, Part 4 Physical Methods* pp. 937-945. Soil Science Society of America.
- Vega, O. (1999). Estudio semidetallado de suelos de la zona de Tierra Blanca, Potrero Cerrado y Llano Grande, Cartago. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*.
- Wang, Z., Wu, L., Harter, T., Lu, J. y Jury, W. (2003). A field study of unstable preferential flow during soil water redistribution. *Water Resources Research* 34(4), 1075.
- Wang, K. y Zhang, R. (2011). Heterogeneous soil water flow and macropores described with combined tracers of dye and iodine. *Journal of Hydrology* (397) 105-117.
- Wiekenkamp, I., Huisman, J., Bogema, H. y Vereecken, H. (2020). Effects of deforestation on water flow in the vadose zone. *Water* 12 (1), 2-16.

- Xiang, W., Si, B., Biswas, A y Li, Z. (2019). Quantifying dual recharge mechanisms in deep unsaturated zone of Chinese Loess Plateau using stable isotopes. *Geoderma* (337), 773-781.
- Yang, H., Rahardjo, H., Leong, E. y Fredlund, D. (2004). Factors affecting drying and wetting soil-water characteristic curves of sandy soils. *Canadian Geotechnical Journal* (41), 908-920.
- Yang, F., Zhang, G., Yang, J., Li, D., Zhao, Y., Liu, F., Yang, R. y Yang, F. (2014). Organic matter controls of soil water retention in an alpine grassland and its significance for hydrological processes. *Journal of Hydrology* (519), 3086-3093.
- Yao, T. y Hendrickx, J. (1996). Stability of wetting fronts in dry homogeneous soils under low infiltration rates. *Soil Science Society of America Journal* (60), 20-28.
- Yatno, E. y Suharta, N. (2011). Andisols derived from pyroclastic liparite tuff: Their properties and their management strategy for agricultural development. *Jurnal Tanah Dan Iklim* (33), 49-64.
- Zhai, Q., Rahardjo, H., Satyanaga, A., Zhu, Y., Dai, G. y Zhao, X. (2021). Estimation of wetting hydraulic conductivity function for unsaturated sandy soil. *Engineering Geology* 285: 106034.
- Zhang, Z., Si, B., Li, H. y Li, M. (2019 A). Quantify piston and preferential water flow in deep soil using Cl<sup>-</sup> and soil water profiles in deforested apple orchards on the Loess Plateau, China. *Water* 11(10), 2183.
- Zhang, J., Lei, T., Qu, L., Zhang, M., Chen, P., Gao, X., Chen, C. y Yuan, L. (2019 B). Method to quantitatively partition the temporal preferential flow and matrix infiltration in the forest soil. *Geoderma* 347(10), 150-159.
- Zhou, B., Li, Y., Wang, Q., Jiang, Y. y Li, S. (2013). Preferential water and solute transport through sandy soil containing artificial macropores. *Environmental Earth Science* (70), 2371-2379.
- Zhuang, L., Hassanizadeh, S., Kleingeld, P. y van Genuchten, M. (2017). Revisiting the horizontal redistribution of water in soils: Experiments and numerical modeling. *Water Resources Research* 53: 75.
- Zúñiga, H. y Ramírez, P. (2015). *Geología de la parte norte del Cantón Central de Cartago, Costa Rica*. Informe de consultoría. Hidrogeotecnia Ltda.

## Environmental context of land use and land cover change processes in Calimaya, Mexican Altiplano

Contexto ambiental de los procesos de cambio de uso y cobertura del suelo en Calimaya, Altiplano Mexicano

Contexto ambiental dos processos de mudança de uso e cobertura da terra em Calimaya, Altiplano Mexicano






*Guilherme Amorim Homem de Abreu Loureiro<sup>1</sup>*  
*Universidad Autónoma del Estado de México, México*

*Rodrigo Antonio Escalona Valdez<sup>2</sup>*  
*Escuela Normal Superior de México, México*

*Luis Miguel Espinosa Rodríguez<sup>3</sup>*  
*Universidad Autónoma del Estado de México, México*

*José Isabel Juan Pérez<sup>4</sup>*  
*Universidad Autónoma del Estado de México, México*

*Miguel Ángel Balderas Plata<sup>5</sup>*  
*Universidad Autónoma del Estado de México, México*

- 1 Ingeniero Agrónomo, Maestro en Producción Vegetal (Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, Brasil), Doctorando en Ciencias Ambientales por la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx), Toluca de Lerdo, Estado de México, México. Email: [gahal.85@gmail.com](mailto:gahal.85@gmail.com).  <https://orcid.org/0000-0003-1952-0551>
- 2 Ambientólogo, Maestro en Ciencias Ambientales (University of Aberdeen, Aberdeen, Aberdeen, GB), Profesor en la Escuela Normal Superior de México (ENSM), Azcapotzalco, Ciudad de México, México. Email: [rodrigo.escalona@aefcm.gob.mx](mailto:rodrigo.escalona@aefcm.gob.mx).  <https://orcid.org/0000-0002-1403-6798>
- 3 Geógrafo, Doctor en Geografía (UAEMéx, México). Profesor e investigador de la Facultad de Geografía de la UAEMéx, Toluca de Lerdo, Estado de México, México. Email: [lmepinosar@uaemex.mx](mailto:lmepinosar@uaemex.mx).  <https://orcid.org/0000-0002-9545-400X>
- 4 Geógrafo, Doctor en Antropología Social (Universidad Iberoamericana, Ciudad de México, México). Profesor e investigador del Centro de Investigación Multidisciplinario en Educación (CIME) de la UAEMéx, Toluca de Lerdo, Estado de México, México. Email: [jjuanp@uaemex.mx](mailto:jjuanp@uaemex.mx).  <https://orcid.org/0000-0001-7837-6938>
- 5 Biólogo, Doctor en Edafología (Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México). Profesor e investigador de la Facultad de Geografía de la UAEMéx, Toluca de Lerdo, Estado de México, México. Email: [mabalderasp@uaemex.mx](mailto:mabalderasp@uaemex.mx).  <https://orcid.org/0000-0003-2889-3923>

## Abstract

The convergence of conventional agriculture, real estate investments and sand and gravel mining characterize Calimaya as one of the most negatively impacted municipalities of the Mexican altiplano by anthropic activities. The objective of this work was to analyse the geographical and environmental context of land use and land cover change (LULCC) processes in this Municipality. For this, the following indicators were estimated: the cover change rate proposed by Food and Agriculture Organization of the United Nations by using the land cover classes proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. LULCC in the last decade (2010-2019) were: deforestation and advancement of potato crop in the Nevado de Toluca Flora and Fauna Protection Area; decrease in the process of occupation of cropland areas by settlements; and, soil degradation in abandoned mines.

**Keywords:** land use suitability; natural protected area; deforestation; soil degradation; soil and water conservation.

## Resumen

La convergencia de la agricultura convencional, las inversiones inmobiliarias y la minería de extracción de arena y grava caracterizan a Calimaya como uno de los municipios del Altiplano mexicano más impactados negativamente por las actividades antrópicas. El objetivo de este trabajo fue analizar el contexto geográfico y ambiental de los procesos de cambio de uso y cobertura del suelo (CUCS) en este Municipio. Para ello, se estimaron los siguientes indicadores: la tasa de cambio de cobertura propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura utilizando las clases de cobertura del suelo propuestas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Los CUCS encontrados en la última década (2010-2019) fueron: deforestación y avance del cultivo de papa en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca; disminución del proceso de ocupación de áreas de cultivo por parte de los asentamientos; y degradación del suelo en minas abandonadas.

**Palabras clave:** idoneidad del uso de la tierra; área natural protegida; deforestación; degradación del suelo; conservación del suelo y el agua.

## Resumo

A convergência da agricultura convencional, investimentos imobiliários e mineração de extração de areia e cascalho caracterizam Calimaya como um dos municípios do Altiplano mexicano mais impactados negativamente pelas atividades antrópicas. O objetivo deste trabalho foi analisar o contexto geográfico e ambiental dos processos de mudança de uso e cobertura do solo (MUCS) neste Município. Para isso, foram estimados os seguintes indicadores: a taxa de mudança de cobertura proposta pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação utilizando as classes de cobertura do solo propostas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Os MUCS encontrados na última década (2010-2019) foram: desmatamento e avanço do cultivo de batata na Área de Proteção de Flora e Fauna Nevado de Toluca; diminuição do processo de ocupação das áreas cultivadas pelos assentamentos; e degradação do solo em minas abandonadas.

**Palavras-chave:** Adequação do uso da terra; Área natural protegida; Conservação do solo e da água; Degradação do solo; Desmatamento.

## Introduction

The Municipality of Calimaya is part of the geographical and environmental context of the over-exploitation of hydrological and edaphic resources (Comisión Nacional del Agua, 2018a; García-González *et al.*, 2015; Martín del Campo *et al.*, 2014; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016) in the Metropolitan Area of the Toluca Valley, in addition it is also one of the most populated regions of the State of Mexico with increasing urbanization and industrialization (Martín del Campo *et al.*, 2014). The Nevado de Toluca Flora and Fauna Protection Area (APFFNT) is made up of portions of 10 municipalities, including the southwestern portion of the Municipality of Calimaya (SEMARNAT, 2016). The APFFNT has been affected by different land use and cover change (LULCC) processes such as intensive and semi-intensive agriculture, urban expansion, deforestation and livestock (García-González *et al.*, 2015; García-González & Carreño-Meléndez, 2018; López-Corona *et al.*, 2016; Regil-García & Franco-Maass, 2009; SEMARNAT, 2016).

LULCC are recognized as one of the most relevant drivers of biodiversity loss in ecosystems through processes such as deforestation, crop intensification, conversion to grassland, and abandonment (Rodríguez-Eraso *et al.*, 2013). LULCC have been treated by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) as one of the main drivers of global climate change (Penman *et al.*, 2003). The rate of cover change proposed by Food and Agriculture Organization of the United Nations (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1995) are used to estimate forest loss and land use changes using satellite images and spatial analysis (Puyravaud, 2003). Therefore, due to the geographic and environmental relevance of the territory, the objective of this work was to assess the LULCC in Calimaya in the period corresponding to the years 2010 and 2019.

## Material and Methods

### *Geographic characterization*

This study was carried out in the Municipality of Calimaya, located between 19°06'57.56 and 19°13'15.92" North and 99° 44'04.97 and 99°31'49.26" West (Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México, 2013), which belongs to the

Valle de Toluca Metropolitan Zone, State of Mexico ([Sistema de Consulta de Información Geoestadística Agropecuaria, 2018](#)). Calimaya is located on the northeast slope of the Xinantécatl volcano, a volcano that has Tertiary and Quaternary manifestations, made up of hyaloandesitic material, which is part of the Neovolcanic Axis, which extends from the Pacific Ocean to the Gulf of Mexico ([Hayama & Aguilera, 1972](#)). In Calimaya there are two types of climates according to the Köppen classification ([Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2008](#)), the C (w2) (w), sub-humid temperate which covers the 57.86% of the territorial surface, and the C (E) (w2) (w), sub-humid semi-cold with 44.14%. Regarding the soil types located in Calimaya, Haplic Phaeozem (54.67%) is the soil that predominates on the surface of Calimaya, followed by Andosol (Humic, 22.94%; Molic, 3.58%; Ochric 1.47%), Eutric Regosol (11.04%), Eutric Cambisol (7.72%), Eutric Fluvisol (1.25%), Pellic Vertisol (0.24%), and Lithosol (0.09%) ([INEGI, 1976a, 1976b, 1976c, 1976d](#)). The Calimaya hydrological system belongs to the “Río Lerma 1” hydrographic watershed, which has a territorial extension of 2,058.31 km<sup>2</sup> with an average annual volume of natural runoff of 224,348 hm<sup>3</sup>, annual volume of surface water extraction of 72,880 hm<sup>3</sup>, and average annual availability deficit of 0.193 hm<sup>3</sup> (CONAGUA, 2018b). Calimaya is part of the recharge system of the Toluca Valley Aquifer that covers a total area of 2,811.16 km<sup>2</sup>, recharge of 336.80 hm<sup>3</sup> and extraction of 422.40 hm<sup>3</sup>, and is classified as overexploited ([CONAGUA, 2018a](#)).

### ***Analysis and graphical and cartographic representation of the processes of land use / land change***

The identification of the 2019 and 2010 land use classes was carried out in the ArcMap version 10.4 software. The current land use of 2019 was determined using the Sentinel 2 Multispectral Instrument (MSI) satellite imagery with a resolution of 10 m (13 spectral bands covering the spectral range 0.44–2.19 µm) and processed with a real colour combination of bands. To determine the land use of 2010, SPOT-5 (Satellite *Pour l’Observation de la Terre*) High Resolution Geometric (HRG) the satellite imagery with a resolution of 10 m (5 bands in the spectral range of 0.48 to 1.75 µm) was used. Both satellite images have atmospheric cleaning and were orthorectified, which allowed a more precise analysis. Afterwards,



the supervised classification with a maximum likelihood algorithm (Liang *et al.*, 2020) was carried out to determine land use for 2019 and 2010.

The land use classes used in this research were defined by following the methodology indicated by the IPCC (Penman *et al.*, 2003): 1) Forest land; 2) Cropland; 3) Grassland; 4) Wetland; 5) Settlements; and 6) Other land. The category “other land” includes bare soil, rock, ice, and all unmanaged land areas that do not fall into any of the other five categories. In this work, “other land” refers to bare soil. Following the guidelines of the IPCC (Penman *et al.*, 2003), a seventh category “mining” was also added due to the relevance of mining activity in Calimaya, referring to the extraction of sand and gravel. The analysis of land use and land cover change rates were carried out through the index proposed by FAO (1995), standardizing by Puyravaud (2003) represented in the following equation 1:

$$CC (\%) = \left[ \frac{1}{(t_2 - t_1)} \times \ln \ln \left( \frac{A_2}{A_1} \right) \right] \times 100 \quad (1)$$

Where,  $CC$  is the rate of cover change (%);  $t_1$  is the starting year;  $t_2$  is the current or most recent year;  $A_1$  and  $A_2$  are the land cover ( $\text{km}^2$ ) at time  $t_1$  and  $t_2$ , respectively.

GPS checkpoints and photographs of the verified areas and landscape were taken from 7 field trips carried out between August and November of 2019. The official cartographic elements used were: INEGI topographic charts, codes E14A37, E14A38, E14A47, E14A48, scale 1: 50,000 (INEGI, 2014a, 2014b, 2015a, 2015b); charts of land use and land cover of INEGI, codes E14A37, E14A38, E14A47, E14A48, scale 1: 50,000 (1975, 1976e, 1976f, 1976g).

## Results

In the period 2010-2019, the cropland covered more than 60% of the territory of Calimaya (Figure 1 and Figure 2; Table 1). In 2019 a decrease of 0.03% change in the area covered by cropland compared to 2010 (approximately 66.35  $\text{km}^2$ ), mainly related to the increase of the mining and settlements land uses, and forest land cover (Figure 3; Table 1). Between 2010-2019, more than 15% of the territory of Calimaya was covered by forest land (Figure 1 and Figure 2; Table 1). In 2019, the area occupied

by forest land cover decreased 1.03% compared to 2010 (approximately 17.55 km<sup>2</sup>), a change mainly related to the increase in grassland, cropland, and mine land uses (Figures 3, Figure 4 and Figure 5; Table 1). The settlements covered more than 9% of the territory of Calimaya between 2010-2019 (Figure 1 and Figure 2; Table 1). In 2019 an increase of 0.57% was observed in the area covered by settlements in 2010 (approximately 9.59 km<sup>2</sup>), a change mainly related to the decrease in cropland and bare soil land uses (Figure 3; Table 1). From 2010 to 2019 there was an increase of 1.19% in the area covered by mines in Calimaya, which currently occupies the 5.85% of territory (approximately 6.02 km<sup>2</sup>), a change mainly related to the decrease in the cropland area (Figure 3; Table 1). In 2019 an increase of 2.23% in the area occupied by grassland was observed compared to 2010, which is mainly related to the loss of forest land cover in Calimaya (Figure 3; Table 1).

Other land (bare soil) had a decrease of 2.58% of the surface between 2010 and 2019, mainly related to the increase in the area of settlements in Calimaya (Figure 3; Table 1). In Calimaya, the wetland surface increased 3.80% between 2010 and 2019, a change related to the loss of cropland area during the rainy season (Figure 3; Table 1).

Calimaya occupies 5.62% of the total area of the APFFNT (Table 1). The forest land cover occupies 49.55% of the APFFNT area in Calimaya, while the cropland, grassland and mine land uses together cover the remaining 50.45% (Table 1). Cropland is the predominant land use in the APFFNT with 37.63% (Table 1). Figure 3 shows the increase in the area of grassland and mine within the APFFNT in 2019 (Figure 3; Table 1).

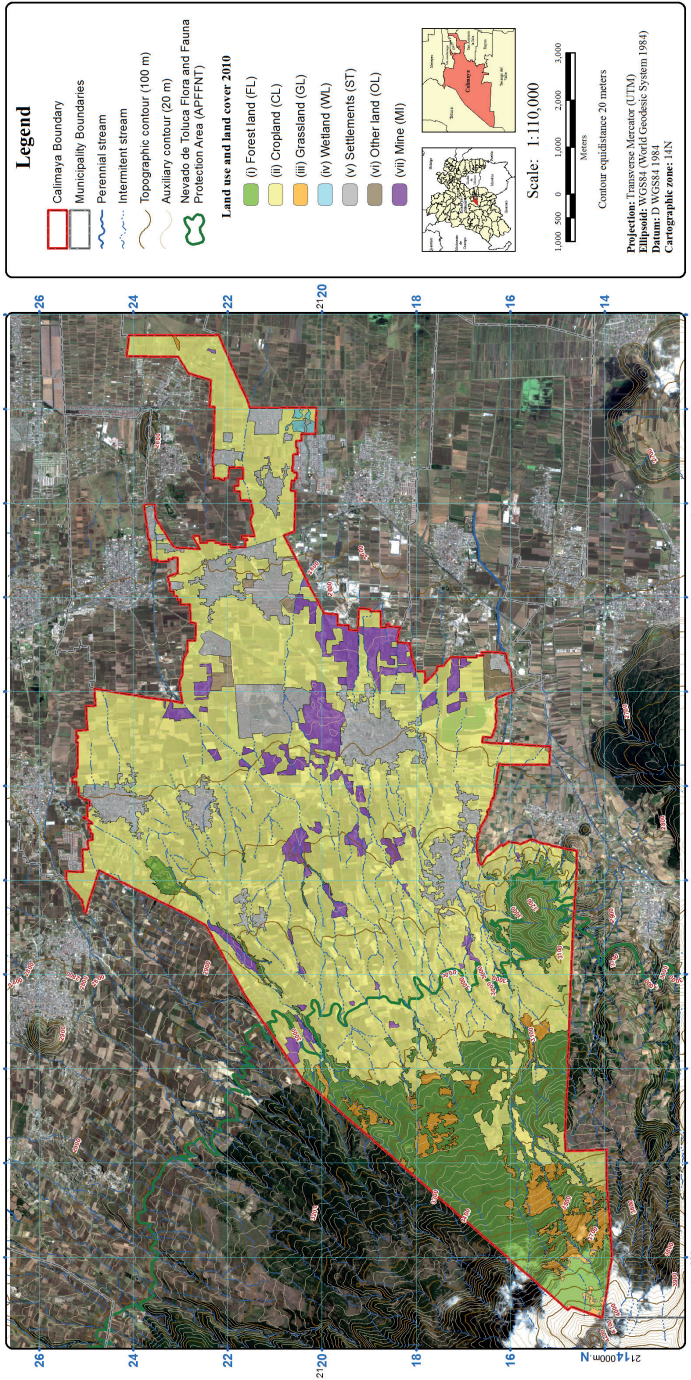
Figure 4, Figure 5 and Figure 6 provide empirical evidence that corroborates the information from the LULCC in Calimaya processes (Figures 1, Figure 2 and Figure 3). The potato cropping within the boundaries of the APFFNT continues to advance (Figure 4). The exposure of soils cropping with potato to erosive processes was observed (Figure 4a and c). There is official (Figure 5b and Figure 5c; Figure 6) and unofficial extraction of sand and gravel (Figure 5a) colliding with agricultural land. Active (Figure 5b, Figure 6a and Figure 6b) and inactive (Figure 6c and Figure 6d) mines permanently change the landscape. Predominantly, the inner walls of active and inactive mines have a slope of almost 90 degrees (Figure 6), are surrounded by crops and settlements.

**Table 1.** Land use/land cover change (2010-2019) in the Municipality of Calimaya, State of Mexico

Land use and land cover <sup>1</sup>	2010 km <sup>2</sup>	2019 km <sup>2</sup>	APFFNT <sup>2</sup> km <sup>2</sup>	CC <sup>3</sup> %	TC <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	Net change (km <sup>2</sup> )	Losses related to the increase in other uses and cover land						
							CL	FL	ST	MI	GL	OL	WL
Cropland (CL)	66.3543	66.1799	11.3414	-0.0292	-0.1744	Loss -1.4066	NA	0.2758	0.3445	0.5936	0.0506	0.0497	0.0925
						Gain 1.2322	NA	-0.9278	-0.0221	-0.0138	-0.2257	-0.0167	-0.0261
Forest land (FL)	17.5547	16.0061	14.9332	-1.0261	-1.5485	Loss -2.0163	0.9278	NA	NA	0.0313	1.0573	NA	NA
						Gain 0.4678	-0.2758	NA	NA	-0.0003	-0.1917	NA	NA
Settlements (ST)	9.5906	10.0882	NA	0.5620	0.4976	Loss -0.0256	0.0221	NA	NA	0.0001	NA	0.0001	0.0033
						Gain 0.5232	-0.3445	NA	NA	-0.0001	NA	-0.1775	-0.0011
Mine (MI)	5.4100	6.0214	0.1885	1.1898	0.6114	Loss -0.0142	0.0138	0.0003	0.0001	NA	NA	NA	NA
						Gain 0.6257	-0.5936	-0.0313	-0.0001	NA	NA	-0.0007	NA
Grassland (GL)	3.1056	3.7961	3.6741	2.2308	0.6905	Loss -0.4174	0.2257	0.1917	NA	NA	NA	NA	NA
						Gain 1.1079	-0.0506	-1.0573	NA	NA	NA	NA	NA
Other land (bare soil) (OL)	0.7007	0.5556	NA	-2.5782	-0.1451	Loss -0.1949	0.0167	NA	0.1775	0.0007	NA	NA	NA
						Gain 0.0498	-0.0497	NA	-0.0001	NA	NA	NA	NA
Wetland (WL)	0.1683	0.2368	NA	3.7957	0.0685	Loss -0.0272	0.0261	NA	0.0011	NA	NA	NA	NA
						Gain 0.0958	-0.0925	NA	-0.0033	NA	NA	NA	NA
APFFNT <sup>2</sup> Calimaya			30.1371										
Total	102.8842	102.8842	535.8988										

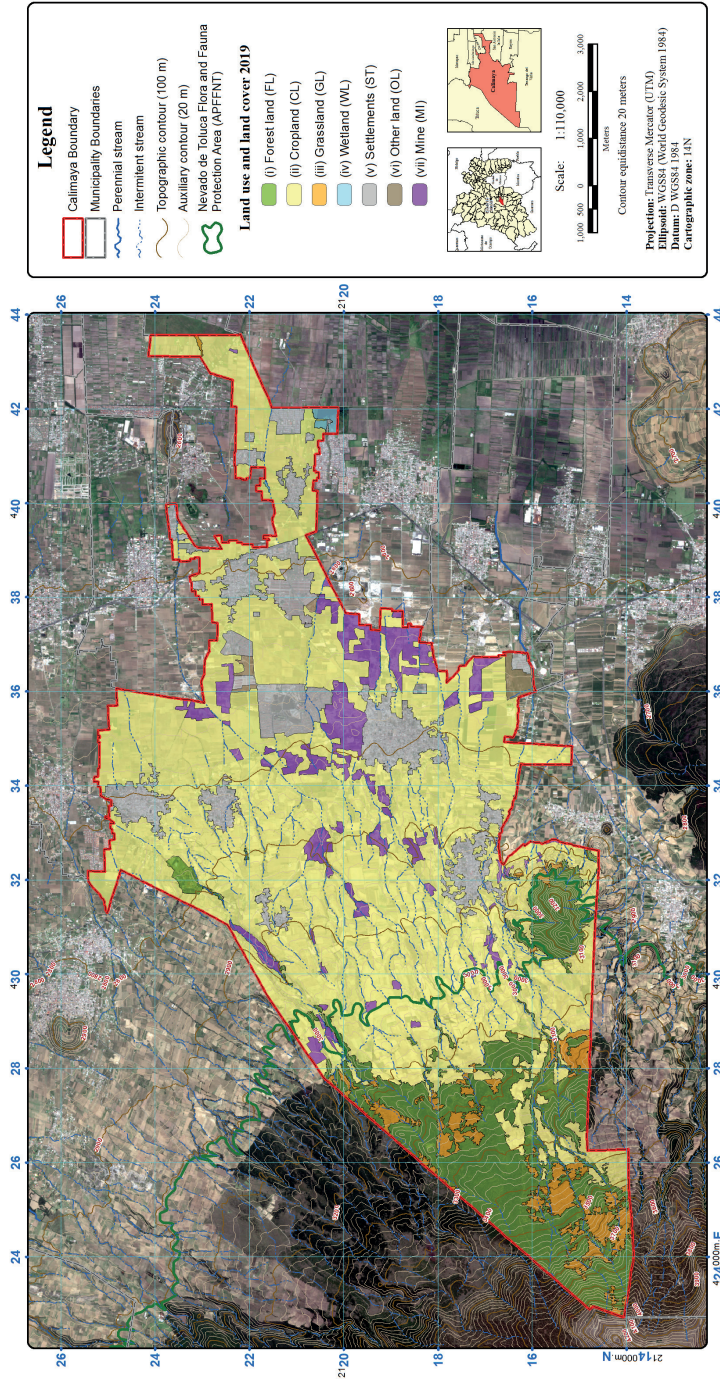
<sup>1</sup>According methodology of IPCC (Penman *et al.*, 2003). <sup>2</sup>Nevalo de Toluca Flora and Fauna Protection Area. <sup>3</sup>Rate of cover change estimated by the index proposed by FAO (1995) standardized by Puyravaud (2003). <sup>4</sup>Total change of land cover obtained from the geoprocessing of the satellite imagery. Not applicable (NA). Source: Prepared by the authors.

**Figure 1.** Land use and land cover in the Municipality of Calimaya, State of Mexico (2010).



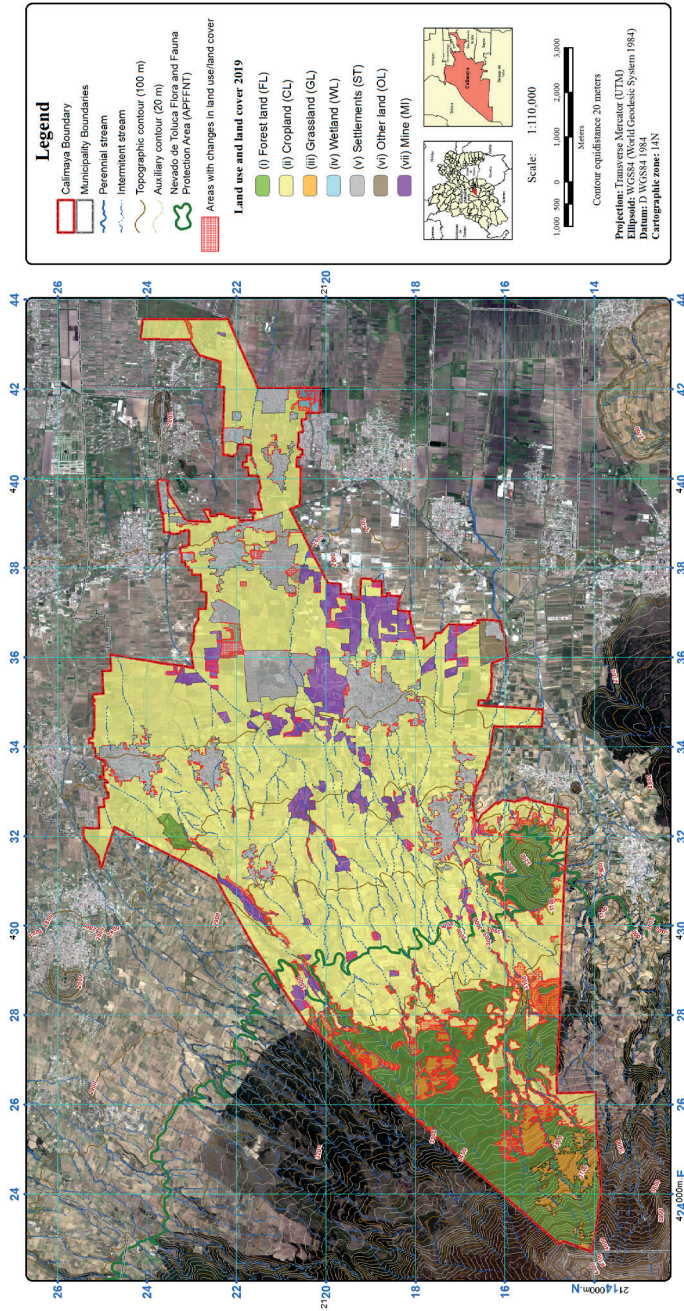
Source: Prepared by the authors.

Figure 2. Land use and land cover in the Municipality of Calimaya, State of Mexico (2019).



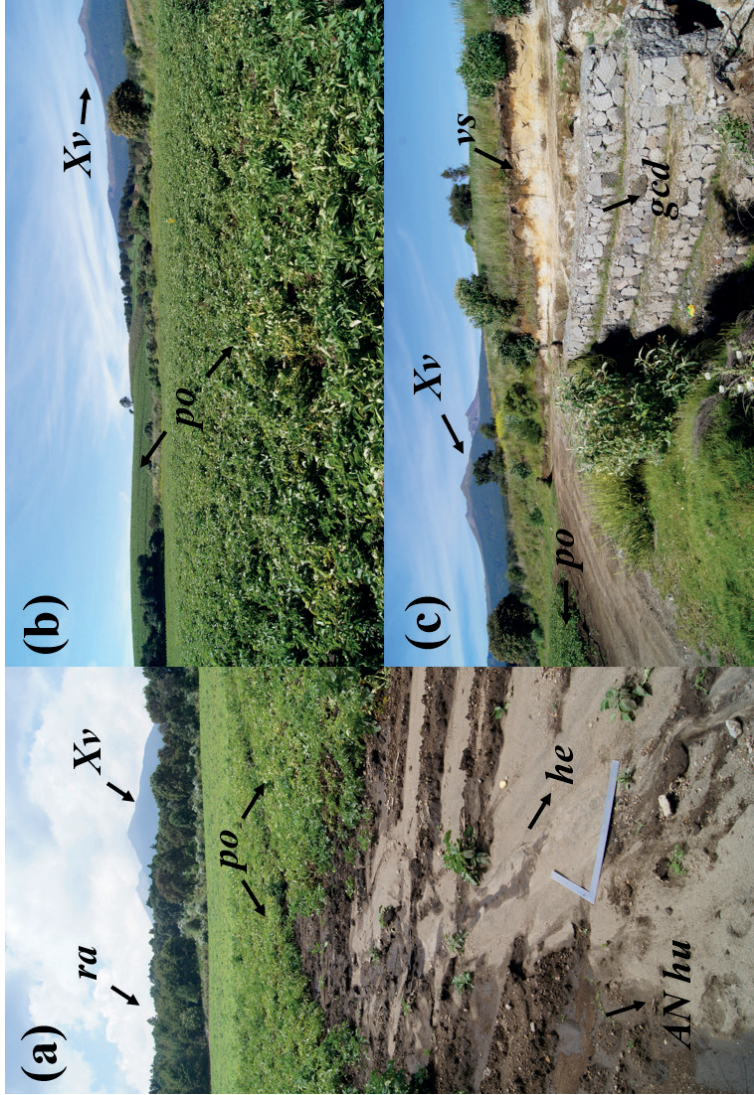
Source: Prepared by the authors.

**Figure 3.** Changes in land use and land cover in the Municipality of Calimaya, State of Mexico (period 2010–2019).



Source: Prepared by the authors.

**Figure 4.** Potato crops (po) in the Nevado de Toluca Flora and Fauna Protection Area in the Municipality of Calimaya, State of Mexico (2019): Xinantécatl volcano (Xv); reforestation area (ra); humic Andosol (AN hu); volcanic soil (vs), probably Andosol ochric; gabion check dam (gcd); and, signs of hydric erosion (he). Site with approximately 3280 masl (a). Site with approximately 3040 masl (b and c, are the same site).



Source: Prepared by the authors.

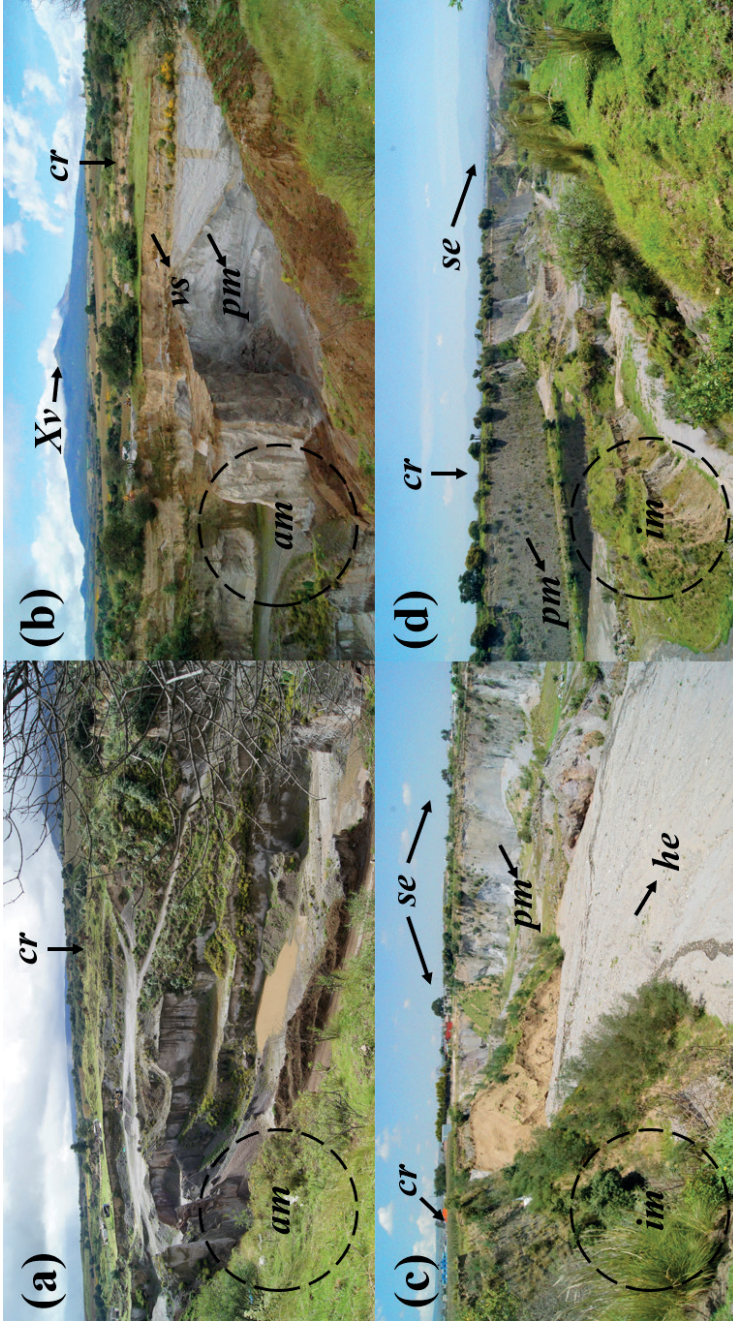
**Figure 5.** Extraction of sand and gravel in the Municipality of Calimaya, State of Mexico (2019): active mining (*am*); unofficial extraction of sand and gravel (*ue*); Xinantécatl volcano (*Xv*); crops (*cr*), mainly maize; volcanic soil (*vs*). They are all different sites (a, b and c).



Source: Prepared by the authors.



**Figure 6.** Extraction of sand and gravel in the Municipality of Calimaya, State of Mexico (2019): active mining (*am*), the same site (a and b); inactive mining (*im*), the same site (c and d); Xinantécatl volcano (*Xv*); crops (*cr*), mainly maize; settlements (*se*); volcanic soil (*vs*); parent materials (underlying geological material) of volcanic ash and pumice (*pm*); signs of hydric erosion (*he*).



Source: Prepared by the authors.

## Discussion

In the last decade (2010-2019) cropland remained as the predominant land use in Calimaya (Figure 1 and Figure 2; Table 1), confirming the information from previous studies of the period of 2000-2013 (García-González *et al.*, 2015; García-González & Carreño-Meléndez, 2018). The LULCC process in Calimaya related to the cropland, in which crop of maize, forage oat, faba bean and potato are predominant (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2019), is related to the agricultural technological level (INEGI, 2009). According to the potential use of cropland in Calimaya reported by INEGI (2009), 33.14% is suitable for continuous mechanized agriculture, 48.56% for seasonal mechanized agriculture, 12.4% for seasonal manual agriculture, and 5.9% is not suitable for agriculture. The agriculture suitability of more than 70% of the cropland territory for continuous and seasonal mechanized agriculture reported by INEGI (2009), contrasts with the predominance of soils with forestry suitability such as Haplic Phaeozem and Andosols. The agricultural suitability of potato, oats, maize and faba bean species in the APFFNT is low and never above the forestry suitability (Regil-García & Franco-Maass, 2009).

In 2000 cropland occupied approximately 75% (77.353 km<sup>2</sup>) of the territory of Calimaya (García-González *et al.*, 2015), there was a decrease of almost 11% throughout these 20 years (Figure 2 and Figure 3). In Calimaya, the expansion of settlements (housing settlements) and mines are the main processes of change in land use related to the loss of cropland area (Figure 1, Figure 2 and Figure 3; Table 1). Some cropland areas close to the settlements were occupied by settlements (Figure 3). Some settlements complexes continue to expand the construction of houses within the already pre-established area, for this reason, the differences observed in the Figure 3 that are not computed as direct increment in the area of settlements. The process of occupation of cropland areas by settlements was more intense in the past decade (García-González *et al.*, 2015). According to García-González *et al.* (2015), the urban expansion process resulting from migratory flows attracted by real estate investments promoted since the late 1990s, has transformed the dynamics of total population growth. Similarly, areas of bare soil were occupied by settlements (Figure 3). With the processing of satellite imagery, a small marginal increase in forest land cover is also noted, mainly in gallery forests (Figure 3).

According to Cruz-Ruiz *et al.* (2016), sand and gravel mining in Calimaya can remove layers from 1 to several meters deep, permanently altering the landscape and soil. It is common for seasonal maize cultivation to continue soon after the pumice has been removed. The unofficial extraction of sand and recordings on croplands was verified in the fieldwork (Figure 5a). From the point of view of chemical fertility, according to Cruz-Ruiz *et al.* (2016) these soils can take up to 4 years to start the recovery process. There are three change processes related to the expansion of mining, the expansion of official mines, the opening of new areas, and the erosion of inactive mines (Figure 3, Figure 5 and 6). There was an increase of approximately 4% in the area occupied by mining in 2019, compared to the year 2000 (García-González *et al.*, 2015). The environmental problem that revolves around the mines in Calimaya is increasing, mainly related to the lack of measures that mitigate environmental impacts during and after the end of the extraction of sand and gravel within the mines, resulting in their abandonment (Arriaga-Rivera, 2020; Valencia-García *et al.*, 2016). Rural and urban populations are exposed to the high risk of landslides occurrence in active and inactive mines (Figure 5 and Figure 6). The access roads such as streets and highways, where public transport circulates, pass in the middle of some active or inactive mines.

The change process in the expansion of potato crop, mainly, has increased the losses of forest land cover in Calimaya (Figure 3). The croplands, including potato crop land, were established prior to the creation of the establishments of the APFFNT (SEMARNAT, 2016), and they belong to the ejidal land tenure system, however, they continue to exceed these boundaries (Figure 1, Figure 2 and Figure 3). Evidence of physical soil degradation by water erosion processes was observed in all potato crops that are within the APFFNT boundary, as exemplified in Figure 4. The forestry suitability of the predominant Andosols in the high zone of Calimaya contrasts with the croplands. The parent material of Calimaya soils is composed of volcanic ash and pumice (Hayama & Aguilera, 1972). When this material is exposed by agriculture or mining (Figure 4), degradation processes such as water and wind erosion are accelerated. Even techniques such as the use of gabion check dam (Figure 4c) cannot contain the devastating effects of water erosion in soils with poorly developed surface horizons. Without a soil and water conservation program in Calimaya, the

intensive and semi-intensive agriculture of maize and potato, mainly, will have an anti-economic effect soon with the irreversible degradation of volcanic soils.

In addition to agricultural expansion, the main processes of forest land cover loss are deforestation that is noted with the expansion of grassland, and the opening of mines (Figure 3, Figure 4 and Figure 5). The trend is the replacement of grassland by cropland, mainly in the APFFNT. The expansion of the grassland area in Calimaya has a direct relationship with human deforestation (Figure 4). According to INEGI (2009), 81.7% of the grassland territory in Calimaya is suitable for the development of grassland, 12.4% for the use of natural vegetation other than grassland (12.4%) and 5.9% is not suitable for livestock use. Ovine, goat, porcine, bovine and equine cattle are the most common in the agricultural land area of Calimaya. Ovine cattle is an important subsistence economic activity for farmers in Calimaya. It is known that extensive grazing of native forages is not common, despite the use of some local resources in feeding, due to the most characteristic production system is semi-intensive, due to its feeding strategies with semi-confined herds (Plata-Pérez, 2016). For this reason, grassland area expansion, mainly in the APFFNT, is not directly associated with sheep farming, but rather with deforestation (Figure 5).

Calimaya only has one water body, the San Antonio La Isla Lake (Figure 3). The increase in the wetland surface is mainly related to the changes in precipitation, during the dry season the water body losses area that is later used by farmers, however during the rainy season the water body increases impeding farmers from using that specific area (Figure 3).

Empirical evidence is invaluable in case studies (Brown *et al.*, 2018), for this reason, in addition to accessing official sources and antecedent studies, through the information obtained in the field work (Figure 4, Figure 5 and Figure 6), it was possible to correctly interpret the processes of LULCC in Calimaya (Figure 1, Figure 2 and Figure 3). The environmental context of Calimaya contrasts with the LULCC processes observed in its territory. Calimaya belongs to an aquifer recharge zone (CONAGUA, 2018a), whose volcanic soils (Bloomfield & Valastro, 1974; Cruz-Ruiz *et al.*, 2016) with forestry aptitude are overexploited with unprotected agriculture (Regil-García & Franco-Maass, 2009) and mining activities. The advance of grasslands and croplands in the APFFNT verified in the last

decade 2010-2019 is worrying, because it denotes the lack of attention of the environmental authorities in relation to the processes that can degrade the soil and the water resources. In addition to its expansion between 2010-2019, mine land use, active or abandoned, borders on cropland and settlements uses, a fact that characterizes the direct exposure of the environment and the inhabitants of Calimaya to risks such as landslides.

## Conclusions

In the period 2010-2019, deforestation that precedes non-conservationist agricultural production, mainly potato, was the main LULCC process in the APFFNT territory, which corresponds to the Municipality of Calimaya, State of Mexico.

Despite the decrease in cropland territory in Calimaya in the last 20 years, in this decade, there was a decrease in the process of occupation of cropland areas by settlements.

The area occupied by the mining activity showed a small increase. However, the areas already occupied show signs of abandonment, misuse such as the disposal of solid waste, and high susceptibility to erosion that exposes the population to the risk of landslides.

## References

- Arriaga-Rivera, A. (2020). Calimaya ¿lugar donde se construyen casas o donde se construyen hoyos? *Legado de Arquitectura y Diseño*, 3(4), 109–136.
- Bloomfield, K., & S. Valastro, J. (1974). Late Pleistocene Eruptive History of Nevado de Toluca Volcano, Central Mexico. *GSA Bulletin*, 85(6), 901–906. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1974\)85<901:LPEHON>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1974)85<901:LPEHON>2.0.CO;2)
- Brown, C., Alexander, P., & Rounsevell, M. (2018). Empirical evidence for the diffusion of knowledge in land use change. *Journal of Land Use Science*, 13(3), 269–283. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2018.1515995>
- Comisión Nacional del Agua. (2018a). Acuíferos (nacional). Detalle de los acuíferos en México. Clave 1501. Valle de Toluca. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>

- Comisión Nacional del Agua. (2018b). Cuencas (nacional). Detalle de las cuencas hidrológicas en México. Clave 1201. Río Lerma 1. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>
- Cruz-Ruíz, A., Cruz-Ruíz, E., Vaca, R., Del Aguila, P., & Lugo, J. (2016). Effects of pumice mining on soil quality. *Solid Earth*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.5194/se-7-1-2016>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1995). Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Number 130. FAO. <http://www.fao.org/3/w0015e/W0015E00.htm>
- García-González, M. de L., Adame-Martínez, S., & Sánchez-Nájera, R.M. (2015). Expansión metropolitana de Toluca: caso de estudio municipio de Calimaya, México. *Quivera*, 17(1), 35–53. <https://quivera.uaemex.mx/article/download/9828/8098/>
- García-González, M. de L., & Carreño-Meléndez, F. (2018). La urbanización de suelos productivos y la desruralización de las comunidades de Calimaya de Díaz González y la Concepción Coatipác, Municipio de Calimaya, México de 1990-2013. In: S.E. Hoyos Castillo, G. del C., Mora Cantellano, P., Baca Tavira, N., & Serrano Oswald (Eds.). *Dinámicas urbanas y perspectivas regionales de los estudios culturales y de género*. (pp. 167–177). Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C.
- Hayama T., L., & Aguilera H., N. (1972). Mineralogía de los suelos del volcán Xinantécatl, Estado de México. II Panel on Volcanic Soils of America, 309–327.
- Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México. (2013). Estadística básica municipal. Calimaya. Gobierno del Estado de México. <http://iiigecem.edomex.gob.mx/recursos/Estadistica/PRODUCTOS/AGENDAESTADISTICABASICAMUNICIPAL/ARCHIVOS/Calimaya.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1975). Carta uso de suelo y vegetación. Clave E14A38. Toluca. Escala 1:50 000. Cartas de Uso Del Suelo y Vegetación. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825294373>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1976a). Carta edafológica. Clave E14A37. San Miguel Zinacantepec. Escala 1:50 000. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825658182>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1976b). Carta edafológica. Clave E14A38. Toluca. Escala 1:50 000. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825658199>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1976c). Carta edafológica. Clave E14A47. Volcán Nevado de Toluca. Escala 1:50 000. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825658274>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1976d). Carta edafológica. Clave E14A48. Tenango. Escala 1:50 000. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825658274>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1976e). Carta uso de suelo y vegetación. Clave E14A37. San Miguel Zinacantepec. Escala 1:50 000. Cartas de Uso Del Suelo y Vegetación. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825650438>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1976f). Carta uso de suelo y vegetación. Clave E14A47. Volcán Nevado de Toluca. Escala 1:50 000. Cartas de Uso Del Suelo y Vegetación. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825650483>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1976g). Carta uso de suelo y vegetación. Clave E14A48. Tenango. Escala 1:50 000. Cartas de Uso Del Suelo y Vegetación. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825650490>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas. Cartas Climatológicas. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Calimaya, México. Clave geoestadística 15018. [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/15/15018.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15018.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014a). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica. Clave E14A38. Toluca. Escala 1:50 000. Serie III. Cartas Topográficas. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825268749>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014b). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica. Clave E14A48. Tenango de Arista. Escala 1:50 000. Serie III. Cartas Topográficas. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825268787>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015a). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica. Clave E14A37. San Miguel Zinacantepec. Escala 1:50 000. Serie III. Cartas Topográficas. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825268732>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015b). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica. Clave E14A47. Volcán Nevado de Toluca. Escala 1:50 000. Serie III. Cartas Topográficas. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825202620>
- Liang, S., Cheng, J., & Zhang, J. (2020). Maximum Likelihood Classification of Soil Remote Sensing Image Based on Deep Learning. *Earth Sciences Research Journal*, 24(3), 357–365. <https://doi.org/10.15446/esrj.v24n3.89750>
- López-Corona, O., Fuentes, O.E., Morales-Casique, E., Longoria, P.P., & Moran, T.G. (2016). Data Mining of Historic Hydrogeological and Socioeconomic Data Bases of the Toluca Valley, Mexico. *Journal of Water Resource and Protection*, 08(04), 522–533. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.84044>
- Martín del Campo, M.A., Esteller, M.V., Expósito, J.L., & Hirata, R. (2014). Impacts of urbanization on groundwater hydrodynamics and hydrochemistry of the Toluca Valley aquifer (Mexico). *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(5), 2979–2999. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3595-3>
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., & Wagner, F. (2003). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IPCC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/GPG\\_LU-LUCF\\_FULLEN.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/GPG_LU-LUCF_FULLEN.pdf)
- Plata-Pérez, G. (2016). Caracterización de los sistemas de producción ovina en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. (Degree tesis). Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México.



- Puyravaud, J.P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177(1–3), 593–596. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3)
- Regil-García, H.H., & Franco-Maass, S. (2009). Nivel de adecuación del territorio para el desarrollo de especies forestales y agrícolas en el Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT). *Economía, Sociedad y Territorio*, 9(31), 803–830.
- Rodríguez-Eraso, N., Armenteras-Pascual, D., & Alumbrosos, J.R. (2013). Land use and land cover change in the Colombian Andes: dynamics and future scenarios. *Journal of Land Use Science*, 8(2), 154–174. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2011.650228>
- Sistema de Consulta de Información Geoestadística Agropecuaria. (2018). Sistema de Consulta de Información Geoestadística Agropecuaria. Censo agropecuario 2007. <http://gaia.inegi.org.mx/sciga/viewer.html>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Programa de Manejo. Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. SEMARNAT, CONANP.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Valencia-García, E.A., Juan-Pérez, J.I., and Estrada Olivella, R. (2016). Recuperación ambiental y bienestar social en México: el caso de Calimaya, Estado de México. *Delos: Desarrollo Local Sostenible*, 9(25), 1:21. <http://www.eumed.net/rev/delos/25/calimaya.zip>



## Uso de la tierra en las comarcas del municipio de Zinapécuaro, Michoacán, México

Land use in the comarcas of the municipality of Zinapécuaro,  
Michoacan, Mexico

Uso da terra nas comarcas do município de Zinapécuaro,  
Michoacán, México

*Genaro Aguilar Sánchez<sup>1</sup>*

*Universidad Autónoma Chapingo, México*

*Daniel Aguilar Sánchez<sup>2</sup>*

*Universidad Nacional Autónoma de México, México*

### Resumen

Esta investigación tiene como objetivos identificar los paisajes que se forman en el municipio de Zinapécuaro, a escala 1: 250,000; caracterizar la apropiación del paisaje realizada por parte de los pobladores a través de su uso y proponer un mejor uso de los paisajes diferenciados. Se aplica la metodología de diferenciar el territorio a través de Localidades y Comarcas complejas y, al interior de ellas se realiza trabajo de campo mediante la comparación de su uso actual con lo recomendado por la FAO, en su propuesta de zonificación agroecológica. Se encuentra que en el municipio de Zinapécuaro se distinguen 4 Comarcas complejas y cada una de ellas tiene varias clases de tierras. En la mayoría de las Comarcas y clases de tierras, el uso actual, agrícola y ganadero, no corresponde con lo recomendando por la FAO, ya que deberían tener un uso forestal y de conservación. Por lo

- 1 Dr. Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco, Km 38.5, Chapingo estado de México, CP. 56230. Tel. 5959521500, [g\\_aguila@correo.chapingo.mx](mailto:g_aguila@correo.chapingo.mx).  <https://orcid.org/0000-0003-1518-0801>. Autor por correspondencia
- 2 Mtro. en Geografía, UNAM. Docente en el Colegio de Geografía, en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM Ciudad Universitaria, CP. 04510. Tel: 55 2741 5112, [aguilarsanchez.daniel@gmail.com](mailto:aguilarsanchez.daniel@gmail.com).  <https://orcid.org/0000-0001-6110-6499>

anterior, se debe controlar el cambio de uso de la tierra forestal a agrícola y ganadero, para detener la degradación del suelo y vegetación.

**Palabras clave:** paisajes, producción agrícola, clase de tierra, degradación.

### Abstract

This research aims to identify the landscapes that are formed in the municipality of Zinapecuaro, at a scale of 1: 250,000; characterize the appropriation of the landscape made by the inhabitants through its use and propose a better use of differentiated landscapes. The methodology of differentiating the territory through complex Towns and Regions is applied and, within them, field work is carried out by comparing their current use with that recommended by the FAO, in its agroecological zoning proposal. It is found that in the municipality of Zinapecuaro there are 4 complex Comarcas and each one of them has several classes of land. In most of the Comarcas and classes of land, the current use, agricultural and livestock, does not correspond to what is recommended by the FAO, since they should have a forestry and conservation use. Due to the above, the change of use of forest land to agriculture and livestock must be controlled, to stop the degradation of soil and vegetation.

**Keywords:** Landscapes, Agricultural production, Land class. Degradation

### Resumo

Os objetivos desta pesquisa são: identificar as paisagens que se formam no município de Zinapécuaro, na escala 1:250.000; caracterizar a apropriação da paisagem feita pelos habitantes através do seu uso e; propor um melhor aproveitamento de paisagens diferenciadas. Aplica-se a metodologia de diferenciação do território por Municípios e Regiões Complexas, e foi realizado trabalho de campo dentro deles, comparando seu uso atual com o recomendado pela FAO, em sua proposta de zoneamento agroecológico. Constatou-se que no município de Zinapécuaro existem 4 comarcas complexas e cada uma delas possui vários tipos de terra. Na maioria das Comarcas e classes de terra, o uso atual, agrícola e pecuário, não corresponde ao recomendado pela FAO, pois deveriam ter um uso florestal e de conservação. Devido ao exposto, a mudança de uso das terras florestais para agricultura e pecuária deve ser controlada, para impedir a degradação do solo e da vegetação.

**Palavras-chave:** Tipos terra; Cenário; Degradação; Produção agrícola.

## Introducción

La formación de los paisajes que manifiestan las características de los recursos naturales es producto del devenir tanto de fenómenos físicos (como el vulcanismo, la lluvia, la sequía, etcétera), como de la apropiación del espacio por parte de la sociedad que se asienta sobre él. Donde el uso y manejo de los recursos naturales destinado al desarrollo de actividades productivas, de turismo, o para el establecimiento de centros de habitación, dan como resultado la conformación de los paisajes actuales; como indica Santos (2000), el paisaje es el resultado de la relación sociedad y la naturaleza a través del tiempo.

El concepto de paisaje fue introducido a la disciplina de la Geografía durante el siglo XVIII en Alemania, donde se consideró como el conjunto de formas que caracterizan una parte determinada de la superficie terrestre. En esa misma época se comenzó a desarrollar en ese país la Escuela de la Geografía del Paisaje, en la cual se realizaron aportes significativos para el estudio de los paisajes, de la que destacan los trabajos de Passarge y Troll, quienes se refieren al paisaje no solo desde su aspecto visible, sino como resultado de la acción conjunta de sus diversos componentes de acuerdo a (Mazzoni, 2014).

Posteriormente, a partir de 1970 apareció desde las escuelas Soviética y Francesa un conjunto de aportaciones de Viktor Borisovich Sochava y George Bertrand (respectivamente), quienes coincidieron en la idea del paisaje como resultado de una dinámica relacional entre los componentes físicos y bióticos integrados en el medio natural y, en la que el aspecto humano es incluido en el concepto de *geosistema*, en el cuál, el paisaje cuenta con características propias dentro de un tiempo específico de la historia y ocupa un espacio geográfico determinado. Tales ideas fueron sustentadas en la teoría de sistemas formulada por Luwing Von Bertalanfy en 1968 (De Fuentes, 2009)

Los enfoques anteriormente mencionados en el estudio del paisaje se han desarrollado bajo la denominación de la Geografía Física Compleja, en la cual cobró importancia la clasificación y cartografía de los paisajes (Mazzoni, 2014).

El estudio del paisaje, desde el punto de vista de las escuelas europeas, ha sido retomado en América Latina por las escuelas de geografía de Cuba y Brasil, las que han estudiado el paisaje con el objetivo de adecuar sus principios y métodos a las condiciones de los países considerados de Tercer Mundo (Mateo, 1991) y (Salinas, 2005)

Otros autores como Chiappy (2000), mencionan que el concepto de paisaje ha sido controvertido en los últimos años debido a la jerarquía taxonómica que se asigna a uno o varios de sus componentes, a su extensión o cobertura, así como a la temporalidad con la que se les conciben.

Por lo anterior, en consideración de la conceptualización del paisaje, para esta investigación se retoma lo que indica Mateo (2002), quien concibe a los paisajes como sistemas territoriales integrados por componentes naturales y complejos de diferentes rangos taxonómicos, que se forman

bajo la influencia de los procesos naturales y de la actividad modificadora de la sociedad humana, encontrándose en permanente interacción y desarrollándose históricamente.

También se toma en cuenta que en cada paisaje existen elementos del medio natural que influyen como detonantes o como limitantes para la producción agrícola, ganadera y forestal, actividades donde la técnica de producción puede contribuir a modificar el medio natural e incrementar la producción. La técnica de producción forma parte de un conjunto de medios instrumentales y sociales, con los que el productor realiza su vida, produce, crea su espacio (Santos, 2000) y modifica el paisaje. Dado lo anterior se puede afirmar que la técnica de producción es una manifestación de los cambios tecnológicos que se da través del tiempo, ya que la técnica cambia según los adelantos de la investigación, y, posteriormente se manifiesta en el paisaje.

En el escrito se hace la diferenciación de los diversos paisajes del municipio de Zinapécuaro, donde la técnica de producción es utilizada de acuerdo con las condiciones favorables o limitantes del medio natural, razón por la cual se tienen diferentes efectos en el modo de uso de los paisajes.

- Con base en los comentado, se plantean los siguientes objetivos: Diferenciar los paisajes de Localidades y Comarcas en el municipio de Zinapécuaro, estado de Michoacán, México a escala 1: 250,000
- Caracterizar la apropiación del paisaje, realizada por parte de los pobladores a través de su uso y proponer un mejor manejo de los paisajes diferenciados.

### Área de estudio

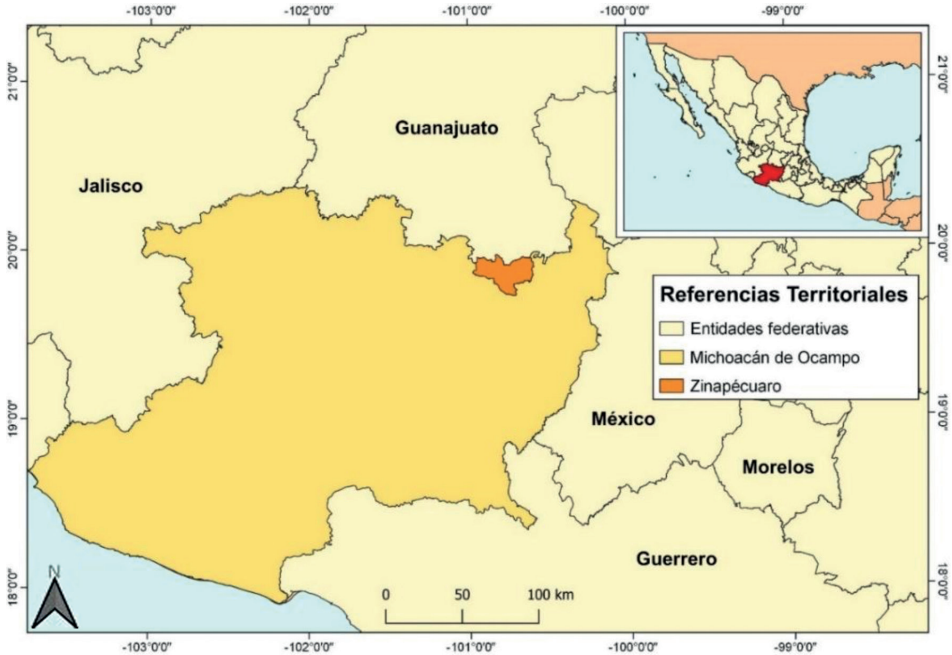
El municipio de Zinapécuaro es un poblado que ya existía antes de llegada de los españoles, el cual formaba parte del Reino Purépecha. En la lengua nativa significa “Lugar de curación, lugar de obsidianas” o también “santuario sagrado”; se localiza entre los paralelos 19°44’ y 19°59’ de latitud norte, los meridianos 100°35’ y 100°59’ de longitud oeste; y posee una altitud que fluctúa entre los 1,900 y 3 100 metros sobre el nivel del mar (msnm). Colinda al norte con el municipio de Acámbaro, perteneciente al estado de Guanajuato; al este con los municipios de Maravatío e Hidalgo; al sur con los municipios de Hidalgo y Queréndaro; y al oeste con los

municipios de Queréndaro, Indaparapeo y Álvaro Obregón (ver el Mapa 1). Ocupa el 1.02% de la superficie de su estado, con una extensión apenas por debajo de los 600 km<sup>2</sup>. En el año 2009 se componía de 94 localidades y de una población total de 44,122 habitantes por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2009).

Su territorio está dentro de la cuenca del río Lerma, al que surte con el escurrimiento de sus montañas.

En su territorio predominan los climas templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (48.48%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (44.95%), semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano (3.44%). La parte noroeste tiene un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (2.99%) y templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (0.14%), con temperatura promedio que varía de 10-20°C y con un rango de precipitación de 700 a 1,600 mm, (García, 2004). La vegetación se compone principalmente de bosque de coníferas y quercus, bosque espinoso, y vegetación acuática (Rzedowski, 2006).

**Mapa 1.** Ubicación del municipio de Zinapécuaro, Michoacán.



Fuente: INEGI (2009)

El uso del suelo se encuentra distribuido principalmente en uso pecuario y uso agrícola, aunque también existen porciones de uso forestal con bosque de pino. Las proporciones del uso agrícola son las siguientes: el 26.21% se encuentra ocupado por agricultura mecanizada continua; la agricultura de tracción animal, el 0.01%; la agricultura de tracción animal estacional, el 12.12%; finalmente, el 0.17% de la superficie municipal se emplea en la agricultura manual estacional. El 61.49% de la superficie se considera como no apta para la actividad agrícola.

Respecto al tipo de uso pecuario, la superficie se distribuye de la siguiente manera: el cultivo de praderas ocupa el 26.21% de la superficie municipal; 12.12% para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal; el 47.28% en el aprovechamiento únicamente para el ganado caprino; y el 14.39% como no apta para uso pecuario (INEGI, 2009).



## Marco teórico

En este trabajo se han retomado las propuestas sobre el estudio del paisaje de investigadores de la Universidad de la Habana, Cuba y de la Universidad Nacional Autónoma de México. El enfoque de la Geografía del paisaje es considerado el más antiguo el cual tuvo su origen con las contribuciones del científico ruso V. V. Dokuchaev, fundador de la Edafología científica; y del biogeógrafo alemán A. Von Humboldt, quienes sentaron las bases para enunciar las leyes de la zonalidad y azonalidad geográfica (Bocco, Mendoza, Priego, & Burgos, 2010) El desarrollo teórico de la Geografía física compleja como ciencia tuvo lugar en la antigua Unión Soviética por los discípulos de Dokuchaev y se ha continuado hasta la actualidad (Mateo, 1991)

Este enfoque propone un sistema de clasificación taxonómica donde se distinguen las unidades tipológicas y las regionales con base en índices diagnósticos y definiciones en cada caso. Las unidades tipológicas se pueden encontrar en cada uno de los tres niveles geográficos que reconoce la escuela Soviética: a) planetario, b) regional, y c) local.

La tipología físico-geográfica consiste en el esclarecimiento, clasificación y cartografía de los paisajes naturales en general modificados por la actividad humana, así como en la comprensión de su composición, estructura, relaciones, diferenciación y desarrollo (Mateo, J y E.V. da Silva, 2007).

Los paisajes del tipo tipológico se caracterizan por ser repetibles en el espacio y el tiempo, y se distinguen de acuerdo con los principios de homogeneidad relativa en su estructura y composición, repetitividad y pertenencia a un mismo tipo (Priego, 2010).

En este enfoque, la distinción de unidades tipológicas se apoya en dos principios básicos:

1. *Histórico-evolutivo*: donde los componentes del paisaje evolucionan en el espacio y el tiempo, lo que significa que lo observado actualmente en el paisaje es el resultado de años de evolución conjunta entre todos los elementos que lo componen. Este principio se puede operacionalizar a través del análisis de aquellos componentes del paisaje que son relativamente más estables en el proceso de evolución natural dentro de un lapso determinado, por ejemplo, la litología, la estructura geológica y el tipo de clima.

2. *Estructural-genético*: todas las entidades geográficas poseen una determinada estructura como consecuencia de su proceso genético. El principio estructural implica reconocer las relaciones entre los distintos componentes de la estructura vertical del paisaje, es decir, entre la geología, el relieve, las condiciones hidro-climáticas, los suelos y la biota.

Por lo general, en el ámbito local las unidades inferiores y básicas se representan cartográficamente entre dos y tres niveles taxonómicos en un mismo mapa, de tal forma, que estas puedan ofrecer información sobre todos los componentes naturales. Por su parte, la nomenclatura de las unidades superiores puede limitarse al tipo morfogenético del relieve y el clima; lo cual quiere decir que el mapa de unidades paisajísticas tiene un orden taxonómico de clasificación en la que, para llegar a niveles locales, se deberá proceder a dividir el paisaje desde lo regional que es caracterizado por las morfo estructuras del relieve en una misma condición climática, hasta llegar a dividir el paisaje a un nivel local caracterizado por diversos aspectos como el tipo climático, la litología, la clase de vegetación, el tipo de suelo y el grado de su pendiente (Priego, 2010).

En México, las actividades agrícolas, pecuarias y forestales son esenciales para el sector rural, debido a que son las principales fuentes de ingresos y son el medio de subsistencia para la mayoría de su población. Sin embargo, sin el manejo adecuado, este conjunto de actividades puede generar efectos negativos sobre ambiente como consecuencia del mal uso del agua, la deforestación, el uso excesivo de plaguicidas, entre otras causantes (Escalante, 2006). Dicha situación representa uno de los enormes retos en la estrategia del crecimiento y desarrollo del país. Para superar los problemas ambientales ya acotados, el Estado ha establecido una serie de políticas públicas y reformas jurídicas instrumentadas mediante leyes, organismos públicos y modelos de planeación territorial a diferentes escalas (nacional, regional y local) (Negrete y Aguilar, 2006) y (Ojeda, León, Michael, Dunn y Cajuste, 2015).

El trabajo técnico-cartográfico se acompañará de información proporcionada con el apoyo de los habitantes Sauvé (2000), menciona que la investigación híbrida es aquella que utiliza o combina estrategias o herramientas tanto del enfoque cuantitativo como cualitativo con grados diferentes y en momentos diferentes de la investigación. Este enfoque

concuera con el *paradigma de opciones* expresado por Patton (1990), en el cual se plantea que el investigador puede hacer uso de diferentes métodos dependiendo del objetivo de la investigación, sus cuestionamientos y los recursos disponibles. En este sentido, hacer uso de métodos cuantitativos y cualitativos para buscar y procesar información, posibilita el uso de un enfoque más integral y ofrece más posibilidades tanto para explicar, como para comprender la realidad que se estudia (Perdomo, 2007).

También Escudero (2004) considera que la aplicación de enfoques cualitativos o cuantitativos se complementan, ya que no constituyen perspectivas excluyentes, sino que ambos están al servicio del problema a investigar y el propósito que se persigue. Además, este tipo de métodos presentan la ventaja de proporcionar mayor credibilidad a los resultados de la investigación, a partir de la triangulación de los resultados obtenidos por medio de estas metodologías, mismas que consisten en el empleo de diferentes métodos, técnicas o herramientas para la recopilación de datos; condiciones necesarias en la investigación de tipo híbrido.

En el modelo de planeación territorial local está contenido el Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC), el cual es considerado un instrumento dirigido a la organización y planificación de actividades silvícolas en los espacios de uso común de los núcleos agrarios (CONAFOR, 2007); éste tiene como principio reconocer que las comunidades rurales poseen una experiencia importante en lo que se refiere a la administración de los recursos naturales (Negrete y Bocco, 2003). Uno de los requerimientos metodológicos en los OTC, es la integración de unidades de paisaje en las que se describan las características cualitativas y cuantitativas de las condiciones socioeconómicas y ambientales del territorio estudiado (CONAFOR, 2007).

En una investigación realizada por Ramírez-Sánchez, Priego y Manent (2012), para diferenciar el paisaje se utilizan los términos: Clase, Subclase, Localidades, Parajes complejos y Paraje simple. En la propuesta de la escuela cubana, en el nivel local se distinguen cuatro unidades tipológicas: localidades, comarcas, subcomarcas y facies, (Mateo, 1984), aunque, Aguirre (2010) y López y Aguilar (2018) utilizan el concepto de paraje como sinónimo de comarca. Sin embargo, en este trabajo se usará la propuesta de Vidina (1973) citada por Mateo (2002), resumida en el Cuadro 1.

En el Cuadro 1 se definen las unidades tipológicas y sus respectivos índices, los cuales se proponen para trabajos a nivel semidetallado, sin usar las facies debido a que estas requieren una escala más detallada. Los términos parajes complejos y paraje simple son similares a comarca compleja y comarca simple.

**Cuadro 1.** Definiciones e índices de diagnóstico de las unidades del paisaje a nivel semidetallado

Nivel de Geosistema	Índice de Diagnóstico Principal	Índice de diagnóstico Complementario
Localidades	Paisaje de estructura de muchos escalones: formado por comarcas y facies individuales, que forman una asociación espacial particular y su representación es a escala 1: 250 000	Coincide con un determinado complejo de mesoforma del relieve (positivas y negativas) en los límites de una misma región.
Comarca compleja	Paisaje de estructura de dos escalones: formado por comarcas y facies individuales, esc:1:250,000	Coincide con una mesoforma del relieve (o con partes de la mesoforma con muchos elementos), caracterizada por la asociación de regimenes de humedad, de rocas formadoras de suelos, de suelos y biocenosis todos del mismo tipo.

Fuente: Elaborado a partir de Mateo (2002).

### Metodología

Para esta investigación, la clasificación de los paisajes se reflejará en el nivel de estudio del territorio y el grado de su diferenciación espacial. Lo anterior, se debe a que se parte de la idea de que la tipología de los paisajes, además de ser un resultado científico, puede constituir un valioso instrumento metodológico en la planeación y gestión ambiental del territorio (Mateo, 2002).

Las etapas de estudio serán las siguientes:

- 1.- Búsqueda de la cartografía 1: 250,000 de INEGI 2009, de fisiografía, geología, edafología, vegetación y uso del suelo y, de clima
- 2.- Se empleará el Sistema de información Geográfico, SIG, Arc Gis 10.1, para sobreponer la información de las cartas de fisiografía con geología y clima.

- 3.- El resultado de sobreposición de las cartas anteriores se une con la carta de vegetación y uso del suelo.
- 4.- Lo anterior se sobrepone a la carta de edafología, producto de esa sobreposición se obtiene una carta que sintetiza los elementos anteriores, donde se obtienen diferentes paisajes.
- 5.- Después se realiza trabajo en campo para corroborar los linderos
- 6.- Producto de lo anterior se obtiene las unidades cartográficas corregidas, y con información de uso de muestreo de geología, suelo, vegetación y uso agrícola actual de la tierra, se genera un mapa de Comarcas

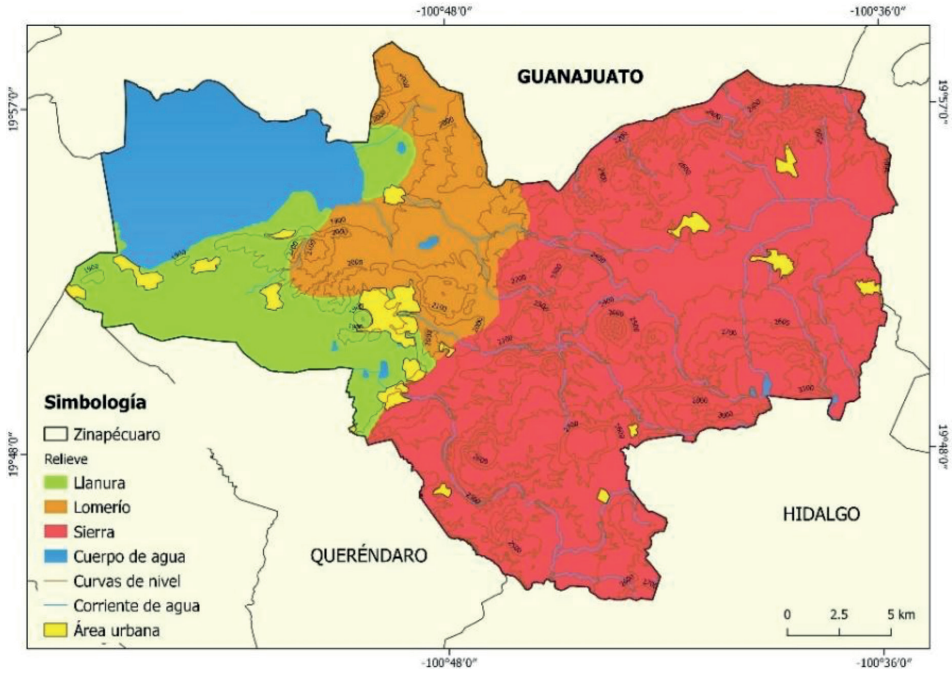
Para dar alternativas sobre el uso y manejo de la tierra y de los recursos naturales al interior de las localidades y comarcas identificadas, según lo indicado en el Cuadro 1, se realiza trabajo en campo, por medio del cual se fue obteniendo información más detallada respecto a las características de los recursos, como el suelo, la vegetación y la fauna, así como sobre su uso actual.

Para diferenciar la clase de tierras se utilizará la propuesta de Zonificación agroecológica de tierras de la (FAO, 1997), la cual indica la existencia de ocho clases de tierra. Las tierras clase 1 son aquellas que no presentan restricciones de uso, mientras que las de clase 8 tienen las mayores limitantes en cuanto a su uso. De manera general, las clases que van de los números 1 al 4, poseen aptitud agropecuaria, la clase 5 está limitada por diferentes factores, tales como un porcentaje alto en su pendiente, alta pedregosidad, salinidad, entre otras condicionantes; finalmente, las clases 6 y 7 tienen limitaciones severas, por lo que deberían de ser destinadas como áreas de protección natural, como reservas, o unidades de conservación, mientras que la clase 8 corresponde a tierras cuyo uso debe ser destinado a la contemplación del paisaje, es decir, para un uso recreativo.

## **Resultados**

Se han realizados varios mapas como el producto de la obtención de información del medio físico y la caracterización de sus componentes.. En el Mapa 2, se muestran las unidades cartográficas de sierra, lomerío, llanura, cuerpo de agua y áreas urbanas que conforman el área de estudio.

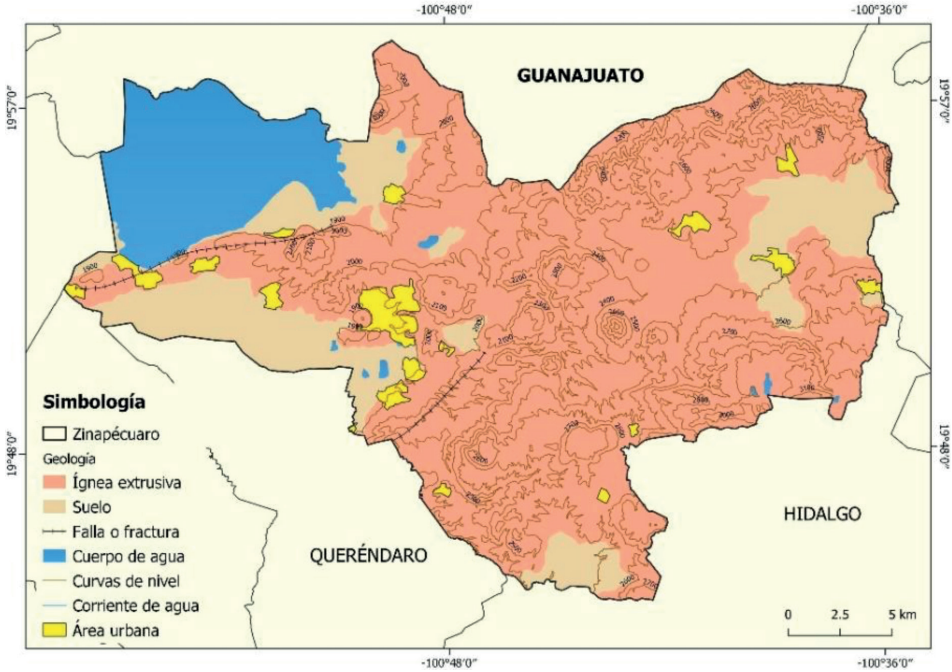
## Mapa 2. Fisiografía del municipio de Zinapécuaro, Michoacán



Fuente: Elaboración propia, con base en INEGI, 2009.

Además, con la información obtenida en gabinete y campo se caracterizó la geología del municipio de Zinapécuaro, en el cual predominan las rocas ígneas extrusivas como el basalto, la riolita y, en menor medida, la andesita (como indica el Mapa 3). Por otro lado, también se encuentran algunas extensiones de suelo del cuaternario.

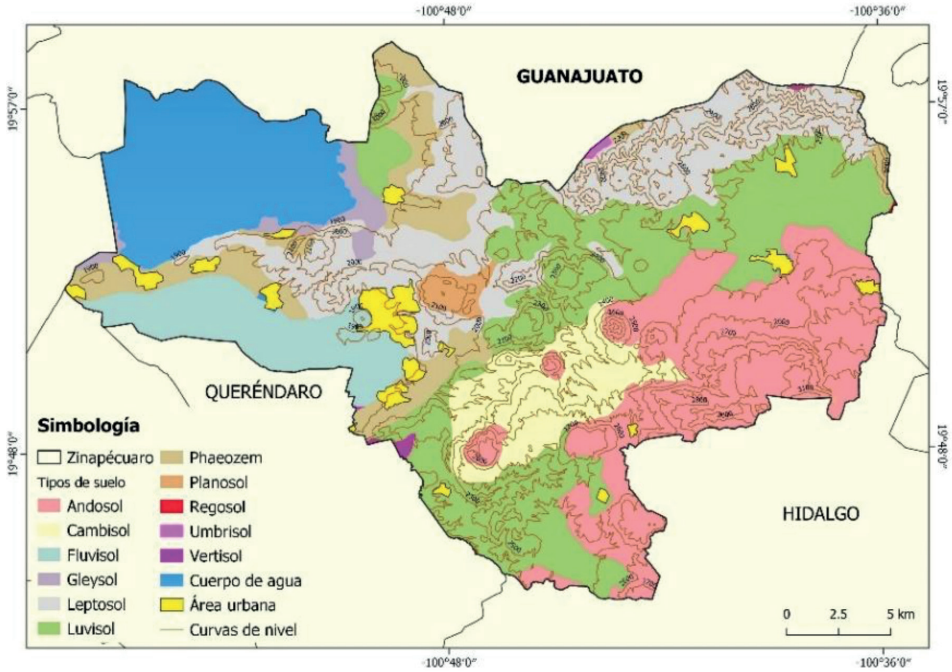
### Mapa 3. Geología del municipio de Zinapécuaro, Michoacán



Fuente: Elaboración propia, en base a INEGI, 2009.

El mapa de edafología (ver el Mapa 4) indica una diversidad de unidades de suelo en el área de estudio. Por encontrarse en una zona volcánica, resalta de manera importante el suelo de tipo Andosol; por otro lado, a partir del material geológico, la materia orgánica y de la lluvia se originaron suelos de tipo luvisol y cambisol, además, el relieve ha influido en el desarrollo del leptosol y regosol. También, la presencia de afluentes de agua ha derivado en la formación de fluvisoles. Finalmente, en las partes planas y semiplanas existen unidades de vertisol, phaeozem y gleysol en zonas de acumulación de humedad.

**Mapa 4.** Unidades de suelo en Zinapécuaro, Michoacán.

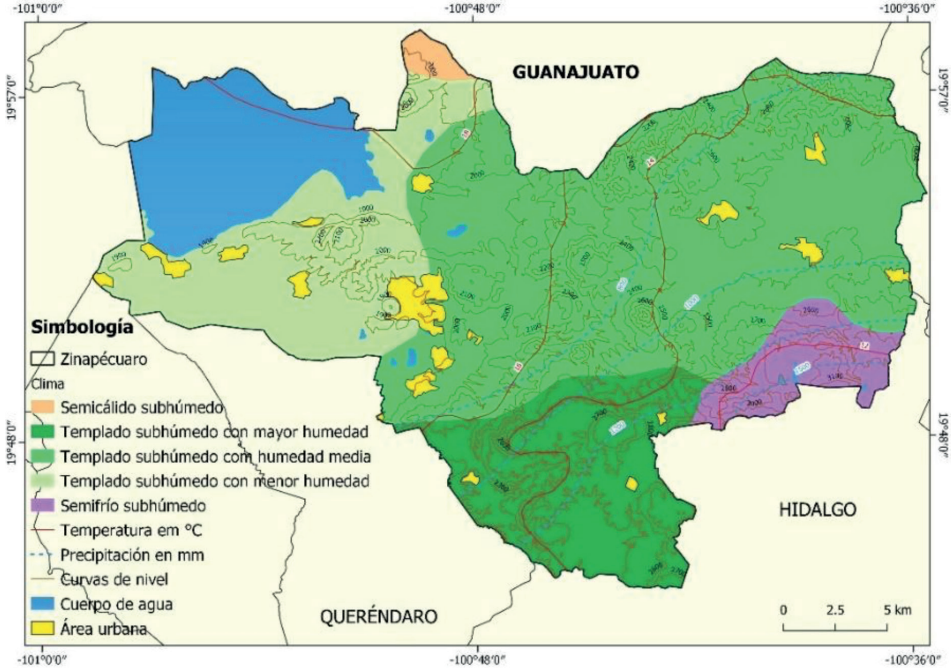


Fuente: Elaboración propia, en base a INEGI, 2009.

La heterogeneidad del relieve de Zinapécuaro, la cual se expresa por medio del conjunto de sierras, partes altas, medias y bajas que presentan alturas que van desde los 1800 hasta más de 2000 msnm., influye en el clima del municipio, como se muestra en el Mapa 5., en el cual se observa que predomina el clima templado subhúmedo con diferentes gradientes de humedad.



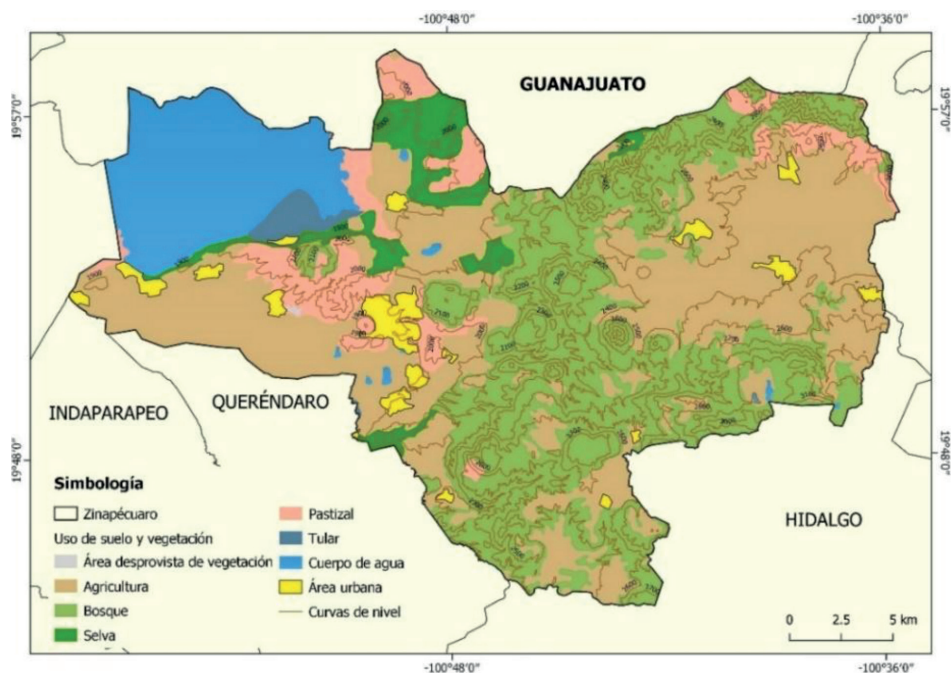
**Mapa 5.** Climas del municipio de Zinapécuaro, Michoacán



Fuente: Elaboración propia, en base a INEGI, 2009.

Como resultado de la suma de los atributos geológicos, climáticos, edáficos y de relieve presentes en el territorio, se ha desarrollado el tipo de vegetación y uso agropecuario y forestal particular del área de estudio, como se muestra en el Mapa 6.

## Mapa 6. Vegetación y uso del suelo en el municipio de Zinapécuaro, Michoacán.

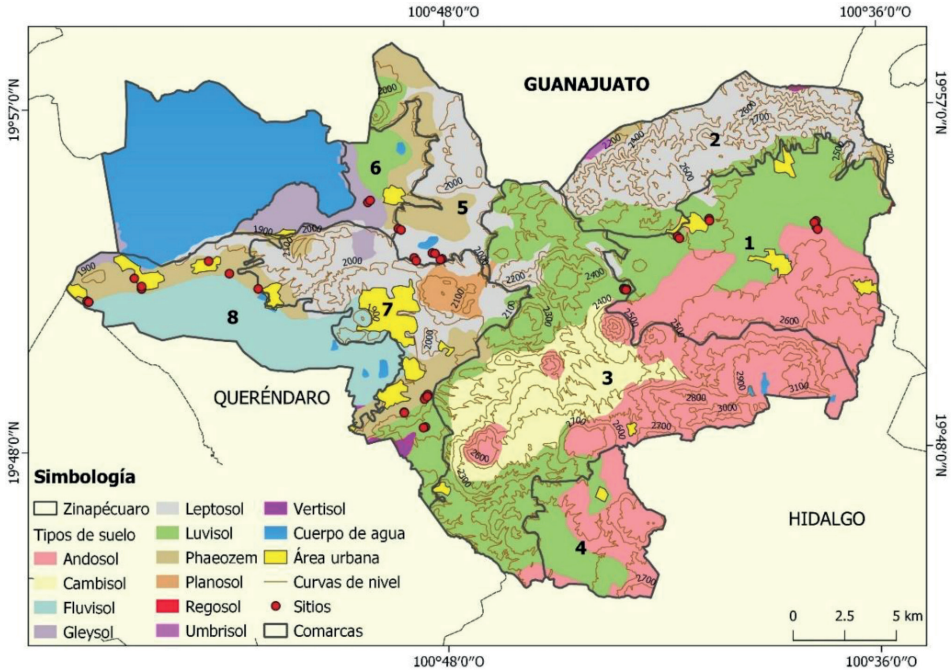


Fuente: Elaboración propia, con base en INEGI, 2009.

Así, se tiene como resultado que la presencia de varias formas topográficas, mostradas en el mapa 2, indica la delimitación de 4 subclases del Geosistema: sierra, lomerío, llanura y cuerpo de agua, las cuales están diferenciadas por las mesoformas, como lo indica Mateo (2002), en una misma región fisiográfica, la cual en este caso es la región del eje neovolcánico.

A partir de la combinación de los elementos del medio físico o natural dentro de una mesoforma del relieve (o con partes de la mesoforma con muchos elementos), caracterizada por la asociación de regímenes de humedad, de rocas formadoras de suelo, de unidades de suelo y biocenosis todos del mismo tipo, se generan las pautas que permiten diferenciar ocho comarcas complejas, las cuales son mostradas en el Mapa 7.

**Mapa 7.** Comarcas del municipio de Zinapécuaro y unidades de suelo



Fuente: Elaboración propia, con trabajo en campo, e INEGI, 2009.

Como se observa en el Mapa 7, en la delimitación de las 8 comarcas tiene mucha influencia el aspecto del relieve (y su expresión en mesoformas), ya que las curvas de nivel ayudaron a trazar las líneas que las delimitan; la ubicación y extensión de cada de una de ellas se describe en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Comarcas, áreas y coordenadas de los sitios de muestreo en campo en el municipio de Zinapécuaro, Michoacán

Comarca	Área (hectáreas)	Área (%)	ID	Sitio	X	Y
1	9,504	15.9	17	17	-100.692528	19.8925
			18	18	-100.628389	19.8987222
			35	18	-100.677861	19.9001389
			36	19	-100.628278	19.8960556
			70	15	-100.677722	19.89925
			72	17	-100.627639	19.8950833
2	5,979	10.0		NM		
3	15,893	26.6	16	16	-100.717611	19.8699722
			34	17	-100.716333	19.8695833
			53	17	-100.7175	19.8694444
			71	16	-100.716611	19.8692778
4	3 136	5.3		NM		
5	3479	5.8	9	9	-100.801639	19.8835833
			14	14	-100.814528	19.8841389
			27	10	-100.806139	19.8861667
			46	10	-100.8025	19.8833333
			50	14	-100.820556	19.8963889
6	2,440	4.1	51	15	-100.813611	19.8827778
			64	9	-100.804889	19.8859167
			12	12	-100.835778	19.9085556

Comarca	Área (hectáreas)	Área (%)	ID	Sitio	X	Y
			13	13	-100.821806	19.8969722
			49	13	-100.834722	19.9094444
7	6,988	11.7	15	15	-100.809889	19.8230833
			31	14	-100.81975	19.8166111
			32	15	-100.81	19.8100556
			33	16	-100.808778	19.8242778
			52	16	-100.810278	19.8222222
			67	12	-100.810889	19.80975
			68	13	-100.819694	19.8163611
			69	14	-100.808972	19.8233611
8	5,490	9.2	10	10	-100.944167	19.8760833
			11	11	-100.886861	19.8710833
			28	11	-100.966111	19.8663056
			29	12	-100.909722	19.8833611
			47	11	-100.940833	19.8713889
			48	12	-100.940833	19.8725
			63	8	-100.965361	19.8658333
Lago de Cuitzeo	6,734	11.3	65	10	-100.900167	19.8778611

Fuente: trabajo en campo NM. No muestreado

La Comarca más amplia es la numero 3, la cual cuenta con un relieve montañoso, pero con curvas de nivel extendidas y con una extensión de su área de 15,809 hectáreas, (el 26.6 % de toda la superficie municipal) con predominio de suelo de tipo andosol, cambisol y luvisol, a lo que se le suma un clima templado subhúmedo con precipitaciones mayores de 800 mm anuales, y una vegetación de pino y encino. Por otro lado, la Comarca menos extensa es la numero 6, con una dimensión de 2,440, hectáreas, (4,1% del área de Zinapécuaro), su relieve es semiplano, y se caracteriza por ser una llanura con vegetación de pastizal en la parte firme; y de tular, en su porción pantanosa. Su es clima templado con precipitaciones menores a los 800 mm, y su edafología se caracteriza por suelos de tipo gleysol, luvisol y phaeozem, destinados al uso agrícola para la producción de granos básicos como el maíz.

En el Mapa 7 se observa un área con color azul intenso marcado como lago, esa porción es la parte del lago de Cuitzeo que pertenece al municipio de Zinapécuaro, el cual ocupa un área extensa del municipio: 6,734, hectáreas, el 11.3% del área municipal total. Dentro de esa parte de la laguna tiene lugar la cría de peces como la mojarra, charal, patos y otras aves migratorias.

En el Cuadro 2 y Mapa 7, se observa que en las Comarcas 2 y 4 no hay sitios de muestreo, lo que significa que no se corroboró en campo la información cartográfica y bibliográfica relacionada con esas áreas. Ello se debió a que los habitantes de los poblados cercanos recomendaron no asistir a esas comarcas, tanto por las dificultades de acceso físico a esas zonas, como por la presencia de grupos vinculados con la delincuencia. Debido a lo anterior, la información de las comarcas mencionadas solo tiene como respaldo aquella que se obtuvo por medio del trabajo de gabinete.

El detalle de información en todas las comarcas, de relieve, geología, clima, suelo, flora, fauna y actual uso de la tierra se detalla en el Cuadro 3. Dicha información es producto de la combinación entre la revisión bibliográfica con trabajo de campo realizado.

**Cuadro 3. Recursos Naturales y biocenosis de las Comarcas de Zinapécuaro**

Comarca	Relieve	Geología	Clima	Suelo	Vegetación	Fauna	TUT
1	Sierra	Ige, S(Q)	Templado Subhúmedo Pp= 1000 mm	T+L	Cultivos y bos- que de pino	Aves, Coyote, Conejos reptiles	F+M+P
2	Sierra	Ige	Templado Subhúmedo Pp= 1000mm	LP	Bosque de pino y encino	Aves, Coyote, Conejos reptiles	Forestal y pecuario
3	Sierra	Ige	Templado Subhúmedo Pp= 1000mm Y Semifrío Húmedo Pp> 1100mm	T+L+B	Bosque de Enci- no y cultivos	Aves, Coyote, Conejos reptiles	Forestal, fruta- les, Maiz
4	Sierra	Ige	Templado Subhúmedo Pp> 1000mm	T+L	Bosque de Enci- no y cultivos	Aves, Coyote, Conejos reptiles	Forestal, Maiz

Comarca	Relieve	Geología	Clima	Suelo	Vegetación	Fauna	TUT
5	Lomerío	Ige, S(Q)	Templado Subhúmedo Pp= 1000mm y Semicálido Pp= 700mm	LP+W	Selva, pastizal y cultivos	Aves, Conejos, reptiles	Pecuario Maíz
6	Llanura y lomerío	S(Q), Ige	Templado Subhúmedo Pp=800mm	L+G+W	Cultivos, Pasti- zal y Tule	Aves, Conejos, reptiles	Maíz, Pecuario
7	Llanura y lomerío	Ige, S(Q)	Templado Subhúmedo Pp=800mm	LP+W+ H	Pastizal y cultivos	Aves, Conejos, reptiles	Maíz, frijol y pecuario
8	Llanura	S(Q)	Templado Subhúmedo Pp=800mm	J +H	Cultivos	Aves, conejo, tuza	Maíz, Sorgo, frijol
Lago de Cuitzeo			Templado Subhúmedo Pp=800mm			Peces, patos, garzas	

Fuente: Trabajo en campo e INEGI, 2009

Nota: TUT= tipos de uso de la tierra, Ige= ígnea extrusiva como basalto y andesita, S(Q) = Suelo del cuaternario, T= Andosol, L= Luvisol, B= Cambisol, G= Gleysol, H=Phaeozem, W= Planosol, J= Fluvisol, LP= Leptosol, Pp= Precipitación pluvial, F= Forestal, M= Maíz, P= Pecuario (hatos mixtos de ovinos, caprinos, bovinos y equinos)



En el Cuadro 4, se concentró la información obtenida en campo. En las dos últimas columnas se menciona el tipo de uso de la tierra ideal (TUT→) que se indica de acuerdo con la metodología de FAO (1997) y la clase equivalente de tierra.

**Cuadro 4.** Características del suelo y uso por sitio en las Comarcas de Zinapécuaro

C	ID	S	Textura, horizonte 1,2,3	Prof. Cm	pH	m%	L.T	M.O.	TUT→	Clase
1	17	1	Areno-limoso	0-30	5	60	20	Alta	Recreativo	8
	18	2	franca, arena, limo-arcillosa	0-15; 16-40	5	6	100	Alta	Pecuario	2
	35	3	arcillo limoso	>30 cm	6	6	100	Baja	Agrícola	2
	36	4	Arenosa	>30 cm	6	2	100	Baja	Agrícola	1
	70	5	Arcillo arenoso	>50	5	5	25	Alta	C-F	2
	72	6	franco arcilloso	>50	5	6	100	Alta	Conservación	2
2*	ND	1	Arenoso	0-20	6	25	100	Baja	F-Recreativo	8
3	16	1	limo arenoso	30	5.5	3	100	Media	Forestal	1
	34	2	arcillo limoso	>30 cm	4.5	8	100	Alta	Agrícola	3
	53	3	Arcillo limosa	>50	6	7	100	Alta	Pastoreo	3
	71	4	Arcillo arenoso	>50	5	2	150	Alta	Forestal	2
4**	ND	1	Areno-limoso	0-40	5	10	100	Media	Agrícola	3
5	9	1	Arcillosa	30	6,5,5	9	100	Alta, media	Pecuario	3
	14	2	limo arcilloso	31	6	6	100	Alta	Pecuario	3
	27	3	areno arcillo limoso	>50 cm	5	4	150	Alta	Forestal	2
	46	4	limo arcilloso	>50	5.5	20	100	Media	F-Recreativo	7
	50	5	Franco	> 50	5	12	100	Media	Pastoreo	3
	51	6	Arenosa	> 50	5	16	100	Media	Pastoreo	5
	64	7	Areno-limoso	>50	5	4	100	Alta	Pastoreo	2

C	ID	S	Textura, horizonte 1,2,3	Prof. Cm	pH	m%	L.T	M.O.	TUT→	Clase
6	12	1	arcillo- limosa arenoso- limosa	10, 11-20,>21	6,6, 5,5	6	15	Media, baja, baja	Z. de Reserva	8
	13	2	arcilloso limosa	10, 20	4, 4	8	120	Baja, baja	Pecuario	3
	49	3	arcillo limoso	50	6,5	2	100	Poca	Agrícola	1
7	15	1	Arenoso	44	5,5	16	20	Baja	Pecuario	5
	31	2	Franca	>30 cm	5,5	2	100	baja	Agrícola	1
	32	3	Arenosa	>50 cm	6	28	100	media	R-Forestal	8
	33	4	Arenoso	> 30 cm	6	22	100	baja	Recreativo	8
	52	5	Arenosa	<30	6	40	100	Poca	R-Pastoreo	8
	67	6	Areno-limosa	>50	5,5	29	70	Alta	R-Forestal	8
	68	7	Areno-limosa	>50	4,5	2	150	Alta	Agrícola	1
	69	8	Areno-limoso	>50	5	6	50	Alta	Agrícola	2
8	10	1	arcillo arenoso	10, 25	6, 5,5	16	80	Alta, baja	Conservación	8
	11	2	Arenosa	36	5	8	50	Baja	Agrícola	2
	28	3	Arenosa	> 50cm	7	7	100	alta	Agrícola	2
	29	4	arcillo arenoso	>30 cm	7,5	8	150	alta	Agrícola	2
	47	5	Limoso	20	7	20	100	Media	Recreativo	6
	48	6	Franco arenoso	>30	6	15	50	Poca	Agrícola	4
	63	7	Limoso	>30	5,5	7	150	Alta	Agrícola	2
	65	8	Arenosa	>30	5	6	100	Poca	Agrícola	2

Fuente: Trabajo en campo

Nota: C: Comarca, ID: Identificador de coordenadas, S: sitio de muestreo pH: potencial de hidrogeno, m: pendiente en porcentaje, LT: longitud del terreno, MO: materia orgánica. En las comarcas 1,2 y 3 el uso agrícola implica la siembra de árboles de frutales como: pera, durazno, ciruela, aguacate y maíz. En las otras comarcas domina la siembra de maíz, sorgo, frijol y avena. F: forestal, R: recreativo, Z: zona

TUT→: Tipo de uso de la tierra de la parcela recomendados por los lineamientos de la FAO, 1997.

## **Análisis**

Al comparar los datos de uso de la tierra actual del Cuadro 3, con los usos recomendados, presentados en el Cuadro 4, se observa que en la Comarca 1, el 50% del uso agrícola no es el adecuado, principalmente por las restricciones que imponen la pendiente del terreno y la poca profundidad del suelo, la cual es menor de 30 cm. Dadas esas condiciones la comarca debería de tener un uso forestal y no uno dedicado a la siembra de cultivos anuales.

En la Comarca 2, el uso agrícola y pecuario que se le ha dado a la tierra tampoco corresponde con las características del terreno, ya que se debería usar como espacios de recreación y de conservación con vegetación de bosque de pino y encino y, no para el desarrollo de actividades agropecuarias.

En el caso de la Comarca 3, el uso actual sí se corresponde con lo recomendado por **FAO (1997)**, ya que en sus extensiones se combina el uso forestal en áreas de pendiente mayor a 10% con el uso agrícola, específicamente la siembra de maíz en áreas con menos del 10% de inclinación del terreno y con suelos de buena profundidad.

En la Comarca 4 se tiene amplio uso agrícola de la tierra, mientras las recomendaciones indican que deberían ser terrenos de conservación, o destinado a la recreación.

En la Comarca 5, se encontró un uso predominantemente pecuario y un área de uso forestal, sin embargo, el terreno requiere de labores de conservación para detener la erosión del suelo.

La Comarca 6, tiene un uso agrícola y ganadero en áreas semiplanas y zonas de reserva en tierras con más del 10% de pendiente, lo que implica un uso adecuado de la tierra de acuerdo con lo observado en los tres sitios visitados.

En la Comarca 7, el 50% de los sitios no tiene el uso adecuado, ya que se usan para actividades ganaderas, mientras su vocación natural es para el recreo, con vegetación de bosque.

Finalmente, el trabajo de campo llevado a cabo en la Comarca 8, indicó que el 25% de los sitios muestreados no tiene el uso adecuado, ya que tiene lugar el uso agrícola y ganadero en tierras con pendiente mayor del 10%, mientras que lo recomendado sería el uso forestal, así como la siembra de frutales, llevando a cabo obras de conservación del suelo.

De las 8 Comarcas delimitadas, sólo la Comarca 3 tiene el uso recomendado por la FAO, la Comarca 8, la cual está conformada por los

terrenos más planos, tiene el 75% de uso agrícola con siembra de maíz, sorgo y frijol, lo que resulta adecuado para las características de su superficie. Las otras seis Comarcas, es decir el 75% de todas ellas, se caracterizan por darle un uso agropecuario a su suelo, destacándose la siembra de frutas y cultivos básicos, pastoreo de ganado semiestabulado y trashumante, así como por la presencia de bosque de pino. Por otro lado, en la forma en que se hace uso de la tierra de clase 2 a la 6, según la FAO (1997), requiere de obras de conservación del suelo, ya que se han observado distintas formas de erosión, como laminar, en canalillos, en surcos, y cárcavas.

También, es necesario mencionar que en las Comarcas 1, 2, 3 y 4, ubicadas en la sierra del municipio, la vegetación natural de pino está siendo talada, desmontándose tierras con inclinaciones o pendientes mayores al 20%, las cuales corresponden a las clases 6, 7 y 8, situación que está contribuyendo a la erosión de suelos, principalmente de las unidades de andosol, leptosol, cambisol y luvisol. La razón del cambio de uso del suelo de tipo forestal está en la apertura de nuevas superficies para la siembra de árboles frutales, pero vale resaltar que en los últimos años también se ha incrementado la siembra de aguacate, actividad que no aparece dentro de las estadísticas oficiales.

### Conclusiones

Lo que se encuentra en el uso de la tierra, en el municipio de Zinapequaro corresponde a una realidad de México y otros países de América. Por ejemplo, Vargas (1992), por medio de técnicas cartográficas, realizó un análisis comparativo del uso actual de la tierra y su capacidad de uso, ello con el objetivo de determinar las áreas que tenían un uso incorrecto y las que eran usadas correctamente en el área de América Central. Sus resultados indican que las tierras que se usaban de forma incorrecta representaban alrededor del 72.9 % de la superficie, lo que constituye un catalizador para incrementar la erosión y la pérdida de fertilidad del suelo, así como para la ocurrencia de inundaciones, sedimentación en ríos y embalses, y un incremento en los periodos de sequías.

La tecnología agrícola que se usa en el manejo de las tierras es variable; en las Comarcas: 1, 2, 3 y 4, ubicadas en la parte de las sierras, la tecnología utilizada es menos sofisticada que la que se aplica en las tierras de las Comarcas 6, 7 y 8, donde el relieve va de pendientes menores al

10%, hasta superficies planas con suelos profundos y en ocasiones con facilidades para la implementación de sistemas de riego por gravedad y por aspersión. Características que favorecen la mecanización de las labores agrícolas y donde incluso se aplican paquetes tecnológicos similares a los de la revolución verde, aunque en las áreas de temporal, el uso de esta tecnología es menos intensivo. En la Comarca 5, con pendientes que van del 11 al 19 %, la tierra se dedica en su mayoría a la ganadería extensiva, con un manejo técnico de bajo nivel, también existen pequeños ranchos con ganadería intensiva que cuentan con un nivel técnico más alto.

Se encontró que en diversas comarcas existen diferentes niveles tecnológicos, lo cual refleja múltiples maneras de hacer las cosas, en este caso, el proceso de producción agropecuaria. De acuerdo con la aplicación de una tecnología particular se tiene un efecto diferente en el paisaje de las comarcas. Se puede decir que, a través del tiempo, empujados por la necesidad de obtener productos agrícolas, los habitantes han modificado el paisaje original, particularmente en las Comarcas 6, 7 y 8, donde las modificaciones ocurridas han sido más intensas que las que han acontecido en los paisajes de las demás Comarcas. En suma, como indica Santos (2000), las técnicas incluyen al tiempo, cualitativa y cuantitativamente, por lo que las técnicas son una medida del tiempo en lo que concierne al proceso de trabajo agrícola, pecuario y forestal a su diferenciación territorial y a todo el proceso global de producción.

El uso de las tierras ubicadas en las 8 Comarcas de Zinapécuaro tiene como resultado directo la modificación de los paisajes originales, situación que ha ocasionado la degradación de la vegetación nativa, la pérdida de fauna silvestre, la erosión de suelos y el incremento en los sedimentos en los arroyos y ríos del municipio. Debido a lo anterior, se debe controlar el cambio de uso del suelo, ya que, de lo contrario, con el paso de los años, estas modificaciones pueden derivar en la devastación de los paisajes.

Las afirmaciones anteriores se basan en el trabajo de campo realizado en los 36 sitios visitados, del cual se obtuvo información relacionada con los recursos naturales, el manejo de la tierra y su producción. En algunos sitios se contó con el apoyo de los agricultores locales quienes otorgaron información diversa relacionada con el manejo de sus cultivos e indicaron los sitios que no eran recomendados para realizar investigación de campo como consecuencia de las problemáticas sociales que tienen lugar en esos sitios.

## Referencias

- Aguirre, R. (2010). Unidades campesinas de paisaje: estudio de caso en el ejido Nexpa, Michoacán-Morelia, Michoacán. /IPN. [Tesis de Maestría en Geografía]. CIGA-UNAM.
- Bocco, G. Mendoza, M. Priego, A. & Burgos, A. (2010). La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial. CIGA.
- Chiappy, G. (2000). Caracterización de los paisajes terrestres actuales de la península de Yucatán. *Investigaciones Geográficas*. (42) 28–39.
- Comisión Nacional Forestal. [CONAFOR]. (2007). Manual básico para el Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC). Comisiona Nacional Forestal.
- De Fuentes, K. (2009). Análisis del Paisaje y Estudio de la Percepciones ambientales en la Congregación Tapachapan, Municipio de Coatepec, Veracruz. Instituto de Ecología A.C.
- Escalante, R. (2006). Desarrollo rural, regional y medio ambiente. *ECONOMÍA/UNAM*. 3 (8), 70-94.
- Escudero, E. (2004). Investigación Cualitativa e Investigación Cuantitativa: Un punto de vista. *Revista Enfoques Educativos*. 6 (1), 11-18.
- Organización para la Agricultura y la Alimentación. (1997). Boletín de suelos de la FAO: Zonificación agro-ecológica. UNESCO.
- García, E. (2004). Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. (5ª ed.). Instituto de Geografía-UNAM.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2009). Pronuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Zinapécuaro, Michoacán de Ocampo. México. Clave geoestadística 16110. México: INEGI.
- López, A. y Aguilar, G. (2018). Unidades de paisaje locales en el noreste de Michoacán, México. *Revista Geográfica de América Central*. 3 (61E), 157-179. <https://doi.org/10.15359/rgac.61-3.9>
- Mateo, M. y da Silva, V. (2007). La Geoecología del paisaje como fundamento para el análisis ambiental. REDE. <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/5>, 77-98.
- Mateo, M. (1991). Geoecología de los paisajes. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales.
- Mateo, M. (2002). Geografía de los paisajes. Facultad de Geografía, Universidad de la Habana.

- Mateo Rodríguez, J. M. (1984). *Apuntes de Geografía de los paisajes*. La Habana, Cuba: Imprenta Andre Voisin.
- Mazzoni, E. (2014). Unidades de paisaje como base para la organización y gestión territorial. *Estudios Socioterritoriales*. 2 (16), 51–81.
- Negrete, G. y Bocco, G. (2003). El ordenamiento ecológico comunitario: una alternativa de planeación participativa en el contexto de la política ambiental de México. *Gaceta ecológica*. (68) 9-22.
- Negrete, G. y Aguilar, E. (2006). Territorios Rurales, Política de Planeación y Ordenamiento Ecológico Local-Comunitario en México. En: Anta, S., Arreola, A., González, M. y Acosta, J. (comps.). *Semblanza histórica del Ordenamiento Ecológico Territorial*, SEMARNAT-INE.
- Ojeda, M., León, A., Michael, C., Dunn, C. y Cajuste, B. (2015). Cartografía participativa para el Ordenamiento Territorial Comunitario: el caso del ejido de Santa María Nativitas, Texcoco, Estado de México. En: Sorani, V. y M. Alquicira-Arteaga. (Eds.). *Perspectivas del ordenamiento territorial ecológico en América y en Europa* 213-237. ISLPEP.
- Patton, M. (1990). *Qualitative Evaluation and Research Methods*. Sage Publications.
- Perdomo, M. (2007). El problema ambiental: hacia una interacción de las ciencias naturales y sociales. *Revista Iberoamericana de educación*. 44 (3), 1-11. <https://doi.org/10.35362/rie4432243>
- Priego, A. (2010). Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje. UNAM.
- Ramírez-Sánchez, G, Priego, G. y Manent, B. (2012). Paisajes Físico-Geográficos del estado de Michoacán. CIGA- UNAM. escala 1:250 000. Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Michoacán.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Limusa.
- Salinas, E. (2005). La geografía física y el ordenamiento territorial en Cuba. *Gaceta ecológica*. (76), 35-51.
- Santos, M. (2000). *La naturaleza del espacio*. Ariel.
- Sauvé, L. (2000). Para construir un patrimonio de investigación en educación ambiental. *Tópicos en educación ambiental*. 2 (5), 51–68.
- Vargas, G. (1992). Estudio del uso actual y capacidad de uso de la tierra en América Central. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, Universidad de Costa Rica. 18 (2), 7-23.

Vidina, A. (1973). Clasificación tipológica de las partes morfológicas de los paisajes de las llanuras. En: Moscú, Colección de Geografía de los Paisajes 550-601. Editora de la Universidad estatal de Moscú.



## **Estimación de la superficie afectada por inundaciones mediante polarimetría con imágenes radar de apertura sintética (SAR) Sentinel 1A en la cuenca hidrográfica del río Frío (Costa Rica)**


Estimation of flooded areas on Frío river basin (Costa Rica) using polarimetry with synthetic aperture radar (SAR) of Sentinel 1A imagery

Estimativa da área afetada por inundações através de polarimetria com imagens Sentinel 1A Synthetic Aperture Radar (SAR) na bacia do rio Frío (Costa Rica)

*Rubén Martínez Barbáchano<sup>1</sup>*  
*Universidad de Costa Rica, Costa Rica*

### **Resumen**

La polarimetría con radar de apertura sintética (SAR) es una técnica conocida en teledetección por sus aplicaciones en el monitoreo de cambios sobre la superficie terrestre y en cuerpos de agua. El objetivo de la polarimetría radar es caracterizar la superficie terrestre analizando las propiedades de la señal que se dispersa cuando se utilizan diferentes combinaciones de polarización de las antenas transmisoras y receptoras, definidas como canales polarimétricos. La utilización de la polarización cruzada (vertical/horizontal) se mostró eficiente para estimar la extensión de las inundaciones producidas entre el 22 y el 25 de julio de 2021 en la cuenca del río Frío (Costa Rica). Para ello se utilizaron imágenes captadas por el sensor Sentinel 1A, de la Agencia Espacial Europea, mediante un flujo de procesamiento y una composición RGB posterior que permitió establecer una

1 Geógrafo especializado en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: [rubenztm@gmail.com](mailto:rubenztm@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0002-9176-3112>

clara distinción entre las zonas inundadas de los cuerpos de agua permanentes. La utilización de imágenes ópticas para el mapeo de inundaciones está limitada por las condiciones climáticas, especialmente por la presencia de nubes. Las mediciones con SAR son independientes de la hora del día y de las condiciones climáticas, proporcionando valiosa información para el monitoreo de inundaciones (Horritt, 2006, p 187). Además, la extensión de las inundaciones es un factor crítico para la calibración y validación de modelos hidráulicos. La extensión de las inundaciones puede usarse también para evaluación y gestión del riesgo, y pueden beneficiarse de ello rescatastas durante las inundaciones (Corbley, 1999, p 1).

**Palabras clave:** Teledetección, radar, SAR, polarimetría, inundaciones.

### Abstract

Synthetic Aperture Radar (SAR) polarimetry is a remote sensing technique known for being applied to monitoring of land surface and water bodies. Polarimetry aims at characterizing the land surface through the analysis of its response under different combinations of transmitting and receiving antennas polarization, called polarimetric channels. The use of cross-polarization (vertical/horizontal) proved to be efficient for estimating the extent of the floods between July 22<sup>nd</sup> and July 30<sup>th</sup> in the Frio river basin (Costa Rica). To that end, Sentinel-1 images from the European Space Agency have been used, with a workflow process and RGB composition that allowed to draw a clear distinction between flooded and permanent water bodies. The use of optical imagery for flood mapping is limited by weather conditions, specially by the presence of clouds. SAR measurements are independent of daytime and weather conditions, providing valuable information for monitoring flood events. Furthermore, flood extent is a critical factor for the calibration and validation of hydraulic models (Horritt, 2006). Flood extent can be also used for damage assessment and risk management and can be of benefit to rescuers during flooding (Corbley, 1999).

**Keywords:** Remote sensing, radar, SAR, polarimetry, flooding

### Resumo

A polarimetria por radar de abertura sintética (SAR) é uma técnica conhecida em sensoriamento remoto por suas aplicações no monitoramento de mudanças na superfície terrestre e em corpos d'água. O objetivo da polarimetria de radar é caracterizar a superfície terrestre analisando as propriedades do sinal que é espalhado quando são utilizadas diferentes combinações de polarização das antenas transmissoras e receptoras, definidas como canais polarimétricos. O uso da polarização cruzada (vertical/horizontal) mostrou-se eficiente para estimar a extensão das inundações produzidas entre 22 e 25 de julho de 2021 na bacia do rio Frio (Costa Rica). Para isso, foram utilizadas imagens captadas pelo sensor Sentinel 1A da Agência Espacial Europeia, através de um fluxo de processamento e posterior composição RGB que permitiu distinguir claramente as áreas inundadas dos corpos d'água permanentes. O uso de imagens ópticas para mapeamento de inundações é limitado pelas condições climáticas, especialmente pela presença de nuvens. As medições de SAR são independentes da hora do dia e das condições meteorológicas, fornecendo informações valiosas para o monitoramento de enchentes (Horritt, 2006, p.187). Além disso, a extensão da inundação é um fator crítico para a calibração e validação de modelos hidráulicos. A extensão das inundações também pode ser usada para avaliação e gestão de risco e pode beneficiar os socorristas durante as inundações (Corbley, 1999, p. 1).

**Palavras-chave:** Inundações; Polarimetria; Radar; SAR; Sensoriamento remoto.

## Introducción

La teledetección con sensores ópticos requiere de observaciones sin nubes o sombras de nubes para minimizar la confusión espectral de los datos (Shen *et al.*, 2019, p 2). Sin embargo, en zonas tropicales las coberturas nubosas son constantes y abundantes, por lo que su aplicación resulta limitada (Flores *et al.*, 2019). En este sentido, el uso de las imágenes radar despeja la limitante de la nubosidad y permite la obtención continua de información (Flores *et al.*, 2019). Hace escasos veinte años estas perturbaciones comprendían aproximadamente el 48 % del planeta; hoy se han incrementado hasta cubrir un 62 % y dentro de 20 años podrían superar el 80 % de manera irreversible (Moreira *et al.*, 2013, p 38).

En Costa Rica existen zonas que anualmente están expuestas a eventos extremos de inundación recurrentes. Por ello, se eligió un evento extremo particular de inundación (entre el 22 y el 25 de julio de 2021) para resaltar las ventajas de utilizar imágenes radar de apertura sintética (SAR) bajo condiciones de nubosidad y lluvia, referido en especial a la cuenca del río Frío, en el extremo norte de Costa Rica (Figura 1).

**Figura 1.** Comunidades anegadas en Caño Ciego. Fotografía tomada de San Carlos Digital (año 2021)



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la teledetección mediante SAR ha experimentado un renovado impulso en los últimos años, con nuevos sensores y plataformas que han permitido la obtención de variables geofísicas de enorme valor geográfico. En este sentido, destacan iniciativas como el programa Copérnico de la Agencia Espacial Europea, un ambicioso programa espacial de observación de la Tierra, que desde 2011 proporciona información de la superficie terrestre y de la atmósfera de forma sistemática, actualizada y de fácil acceso con el objetivo de comprender y mitigar los efectos del cambio climático a través de los datos procedentes de más de 30 satélites. Entre dichos satélites, cabe mencionar las cinco familias de misiones Sentinel, comenzando por las imágenes radar de Sentinel-1, el cual desde 2014, nos proporciona observaciones de la superficie de la Tierra en cualquier condición meteorológica, sea día o sea noche.

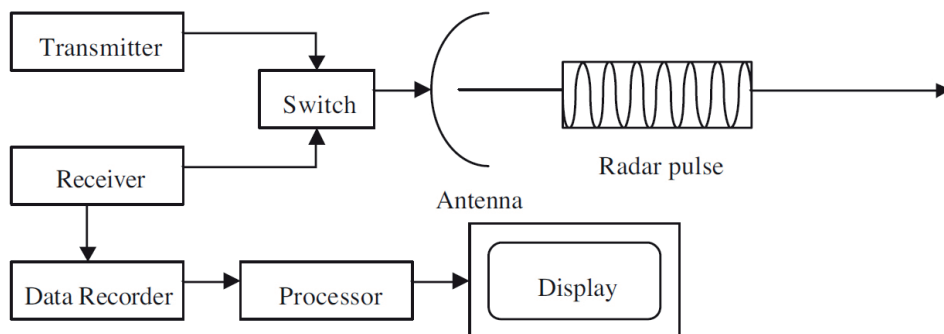
Desde el punto de vista del espectro electromagnético, los sistemas RADAR trabajan en el rango de las microondas como sensores activos, debido a

que la emitancia de los objetos es difícilmente perceptible en esa banda (Chuvieco, 2010, p 73). Entre las técnicas recientes más utilizadas con radar destaca la polarimetría. Esta técnica opera considerando la polaridad de la señal electromagnética emitida y las propiedades de polarización de la señal de retorno (dado que se trata de sensores activos). Una onda polarizada horizontalmente (H) o verticalmente (V) al incidir sobre un objeto genera otra onda de retorno que puede leerse en ambas polarizaciones H y V.

### Marco conceptual

Radar es un término que se deriva del acrónimo inglés (Radio Detection and Ranging), un sistema basado en ondas electromagnéticas que puede medir distancias, altitudes, direcciones y velocidades de objetos móviles o estáticos. Su funcionamiento se basa en la emisión de pulsos de onda de radio, cuyo reflejo en los objetos es captado por el sensor (Figura 2). A partir de esa señal reflejada o eco, puede obtenerse una gran cantidad de información de los objetos de la superficie (información de carácter morfométrico).

**Figura 2.** Diagrama de funcionamiento de un sistema radar (Chan y Koo, 2008, p 32).



Fuente: Chan y Koo, 2008, p 32.

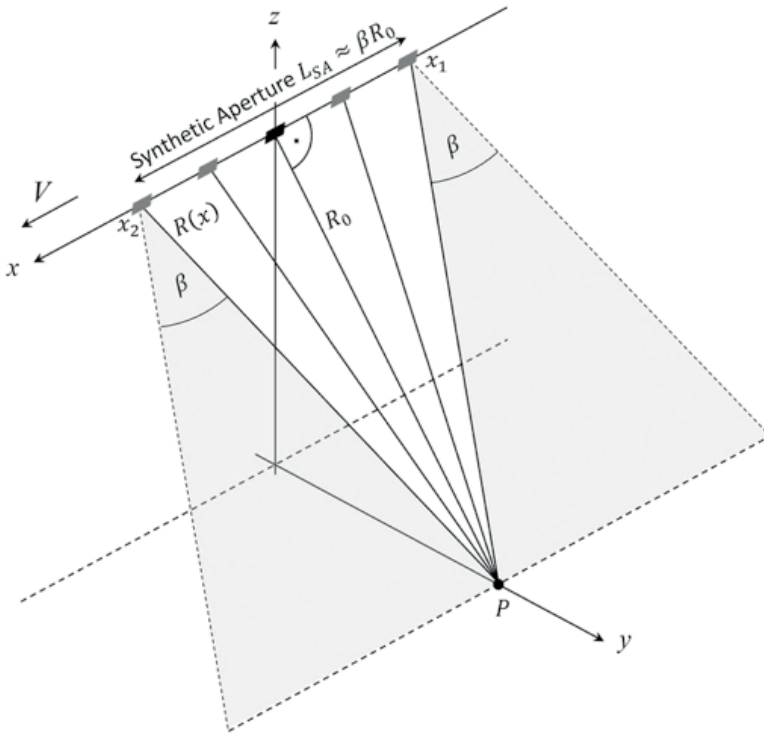
Aunque el primer sistema de pulso radar fue desarrollado en 1934, no es hasta la década de 1950 cuando se desarrolla el Side Looking Airborne Radar (SLAR) utilizado principalmente para reconocimiento militar, el cual debió esperar hasta la década de 1960 para acceder a la primera imagen de alta resolución SLAR desclasificada para uso científico (Chan & Koo, 2008), p 28.

En cuanto a la longitud de onda, estos sistemas trabajan en un rango que va de los 0,1 cm hasta 1 m. La observación de la superficie terrestre en este rango del espectro presenta dificultades complejas, pero su principal ventaja reside en que es prácticamente transparente a la cobertura nubosa y las influencias atmosféricas debido a que trabaja en longitudes de onda mayores a 0,1 mm, que es el tamaño habitual de las gotas de agua.

Una imagen radar se compone de una matriz de píxeles que representan el coeficiente de retrodispersión de la superficie del terreno, con valores directamente proporcionales a la intensidad de la señal de retorno. A diferencia de los sensores pasivos que trabajan en el espectro óptico, la principal virtud o ventaja que ofrece la tecnología radar es que puede trabajar en cualquier condición atmosférica (Chuvieco, 2010). Este hecho hace del radar de apertura sintética un sistema de teledetección particularmente adecuado para países tropicales. Además, al tratarse de un sensor activo que provee su propia fuente de iluminación, puede trabajar tanto de día como de noche (Chan Y Koo, 2008, p 28).

La apertura sintética en radar es una técnica que utiliza el procesamiento de la señal para mejorar su resolución, más allá de la limitación impuesta por la apertura de la antena física (Curlander & McDonough, 1991). En este sistema, los movimientos hacia al frente de la antena real se utiliza para imitar una antena de mayor longitud y obtener así una apertura de mayor amplitud (Figura 3).

**Figura 3.** Geometría de observación de un radar de apertura sintética (Meyer, 2018, p.3).



Fuente: (Meyer, 2018, p.3).

De hecho, resulta habitual encontrar sensores RADAR con distintas bandas de observación, diferentes alturas, diferentes ángulos de observación, diferentes polarizaciones y antenas de tamaño diverso. La polarización de la señal describe la orientación del plano de oscilación de la señal propagada por la antena. En los sistemas de polarización lineal, la orientación de este plano de oscilación es constante a lo largo de la ruta de propagación de la onda electromagnética (Meyer, 2018, p 3). Ello implica que este tipo de sensores transmiten y reciben la señal en dos o más polarizaciones: Vertical-vertical, vertical-horizontal, horizontal-vertical y horizontal-horizontal. Con base en lo expuesto, el objetivo del presente estudio es aprovechar las diferentes respuestas obtenidas en el análisis de la retrodispersión que proporcionan el agua y la tierra, debido a que la

primera actúa como una superficie lisa o especular, la cual devuelve una retrodispersión muy baja; mientras que la segunda, devuelve al sensor un valor mucho más alto que el del agua, lo que permite fácilmente reconocer el límite entre ambos elementos (Bioresita Hayati, 2016, p. 193).

Las aplicaciones de los sistemas SAR han demostrado la versatilidad de esta técnica, con ejemplos en la minería (Lynne y Taylor, 1986) el estudio de monitoreo marítimo y comportamiento de capas de hielo (Kwok, Rignot, & Drive, 1990) el monitoreo de la nieve (Storvold, R., *et ál.*, 2006) los derrames de petróleo (Hovland, Johannessen, y Digranes, 1994) la cobertura de suelo (Lim, *et al.*, 1989) la oceanografía (Romeiser, 2013) o la estimación de la extensión de las inundaciones (Cunjian, *et al.*, 2001)

### Área geográfica de estudio

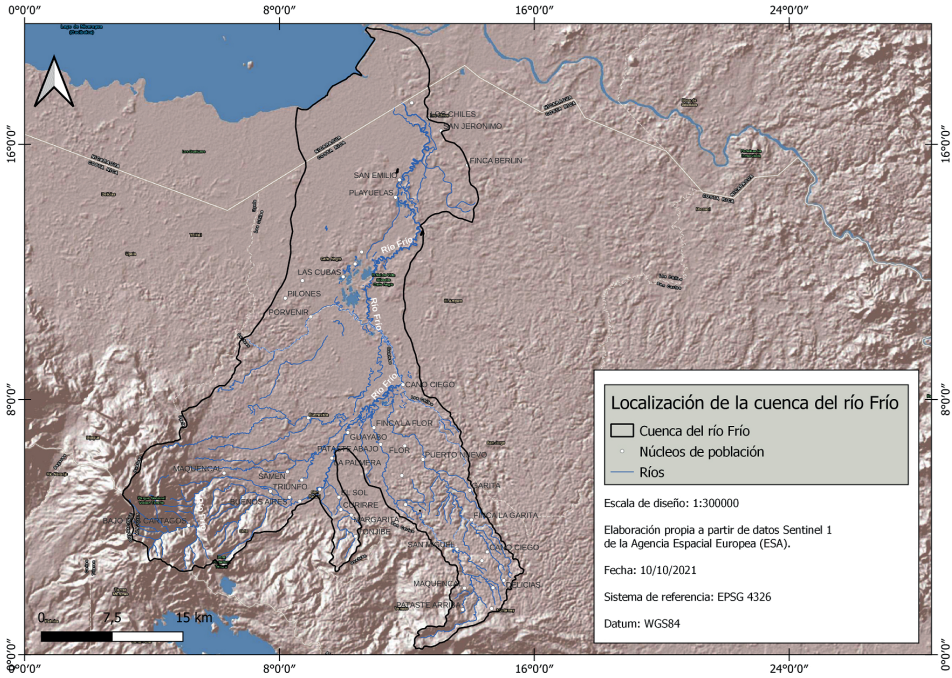
La cuenca del río Frío se extiende desde la cima de las cordilleras Volcánica Central, Tilarán y Guanacaste hasta la frontera con Nicaragua. Esta región es parte de la gran cuenca binacional del río San Juan. Esta cuenca tiene un área de drenaje de 1779,38 km<sup>2</sup>, lo que corresponde a un 3,5 % de la superficie de Costa Rica. La cuenca se ubica entre las coordenadas 11°07'17" de latitud norte, 10°31'12" de latitud sur, 84°37'25" de longitudeste y 85°00'42" de longitud oeste.

Se trata de un espacio de elevada riqueza ambiental, pero también, es uno de las más rezagados en términos de desarrollo humano del país (Barrantes-Sotela, O., *et al.* 2016). En dicha cuenca, el índice de desarrollo humano (IDH) que para el año 2011, en el que los cantones de Los Chiles y Guatuso ocupan las últimas posiciones del indicador de los 81 cantones de Costa Rica (Los Chiles (74), Guatuso (76) y Upala (59) (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, 2013, p 21).

En la parte central de su cuenca se encuentra el Refugio Nacional de Vida Silvestre Caño Negro, que cuenta con algunas lagunas de carácter permanente asociadas al cauce del río Frío.



**Figura 4.** Mapa de ubicación de la cuenca del río Frío en Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia.

La geología de la zona de estudio muestra rocas volcánicas del Mioceno, Plio-Pleistoceno y Pleistoceno, así como rocas sedimentarias marinas someras del Mioceno. En la parte baja predominan las rocas continentales del Holoceno (Rojas, 2011).

En esta cuenca el rasgo típico climático es el régimen de precipitación del Caribe, el cual se caracteriza por presentar un período lluvioso a lo largo de casi todo el año, con disminución de lluvias y lapsos cortos sin lluvia en los meses de marzo y abril. La precipitación media anual para el registro de lluvias va desde los 2.000 a los 6.000 mm; en la cuenca en la parte alta las lluvias son de 4.000 a 6.000 mm, en la parte media de 2.000 a 3.000 mm y en la parte baja de 3.000 a 5.000 mm. Los meses de julio y agosto suelen ser los más lluviosos, los cuales aportan aproximadamente un 14% del promedio anual de precipitaciones. Los meses menos lluviosos suelen ir desde enero hasta abril, con lluvias promedio que no sobrepasan los 120 mm (Rojas, 2011, p 306). En la cuenca se presenta un promedio de

203 días con lluvia. (estación de San Jorge, Los Chiles, Instituto Meteorológico Nacional, IMN) y según la Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica, el período de recurrencia de las inundaciones en esta cuenca es de dos años. El río Frío, junto a otros como el Samén, Aguas Negras, Buena Vista y El Sol generan anegamientos frecuentes en las poblaciones aledañas (ver Figura 3) durante eventos de lluvias extraordinarias, favorecidos por un deterioro en la capacidad hidráulica de sus cuencas, que han sufrido un aporte alto de sedimentos en los últimos años. Dicho fenómeno continúa cada vez que se presenta un evento extremo en la zona y aumenta la erosión de las partes altas de la cuenca (Sánchez Ureña, *et al.* 2020, p 9). Las cercanas subcuencas de Zapote, Guacalillo y Cabeza de León tienen un reconocido historial de inundaciones (Quesada Román, *et ál.* 2020, p 3). Por otra parte, el incremento de las lluvias es un fenómeno habitual en el Pacífico de Costa Rica durante La Niña. De hecho, en términos de precipitación anual los valores pueden incrementarse hasta un 50% por encima de la media (Quesada Román, *et ál.* 2019, p 9).

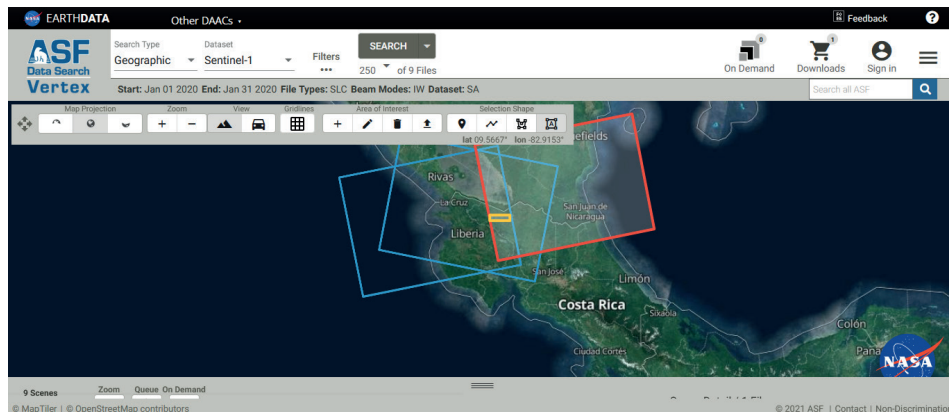
### **Materiales y métodos**

Se utilizaron dos imágenes del sensor Sentinel-1A, con el objeto de estimar la superficie inundada a lo largo de la cuenca del río Frío durante las inundaciones ocurridas entre el 22 y el 25 de julio de 2021. Las imágenes fueron obtenidas mediante el método Interferometric Wide Swath (IW) que comprende imágenes con nivel de procesamiento en alta resolución y capturadas mediante el modo Ground Range Detected (GRD). Según Aulard Macler (2012) la resolución espacial de este producto es de 10 metros y su precisión posicional absoluta es de 7 metros (p 33). Posteriores estudios realizados por Schubert *et ál.* (2017) señalan que en pruebas de precisión posicional se pueden alcanzar precisiones más altas, incluso hasta los 5 metros aproximadamente (p 11). La cobertura de las imágenes es de 250 kilómetros de anchura, con una adquisición de datos en polarización dual (vertical/vertical y vertical/horizontal). Concretamente, se probaron las capacidades de las imágenes Sentinel-1 adquiridas en polarización vertical-horizontal (VH) para la detección de áreas inundadas, a pesar de que la polarización horizontal-horizontal (HH) es más apropiada en la detección de agua (Henry, 2006, p 1925) ésta no está disponible en Sentinel-1.

Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el software SNAP Desktop, en su versión 8.0, desarrollado por la Agencia Espacial Europea, ESA y distribuido de forma libre bajo los términos de General Public License (GNU) junto con las herramientas contenidas en la Sentinel-1 Toolbox, que permite realizar correcciones de efemérides, radiométricas y geométricas a diferentes productos radar.

Dado que la técnica polarimétrica se basa en la orientación del haz de energía relativa a la superficie de la Tierra, y que Sentinel 1 opera en modalidad polarimétrica (al emitir y recibir energía polarizada) el primer paso consistió en escoger las imágenes inmediatamente anteriores y posteriores a las inundaciones ocurridas entre el 22 y el 25 de julio de 2021. Las imágenes Sentinel 1 están disponibles para libre descarga en el sitio web Alaska Satellite Facility (Figura 4), una instalación de procesamiento de datos y una estación terrestre de rastreo satelital dentro del Instituto Geofísico de la Universidad de Alaska Fairbanks (en colaboración con la National Aeronautics and Space Administration, NASA) que proporciona acceso gratuito y abierto a los productos de usuario de la misión radar SAR Sentinel-1.

Figura 5. Sitio web de Alaska Satellite Facility



Fuente: <https://search.asf.alaska.edu/>

Las imágenes utilizadas correspondían a los días entre el 18 de julio y 30 de julio de 2021, del satélite Sentinel 1A, en modo Interferometric Wide Swath (IW) nivel de producto GRD (ground range detected) que implica un barrido de 3 franjas paralelas dirigiendo la antena a tres posiciones

*across-track* (a lo ancho del barrido) cuyo resultado es un ancho de escena de 250 km con una resolución de 5 x 20 m. Las imágenes seleccionadas para el presente estudio fueron las más cercanas al evento de inundación de la cuenca del río Frío.

El flujo de procesamiento de las imágenes radar en polarimetría se divide en varias fases, tal y como muestra el cuadro 1:

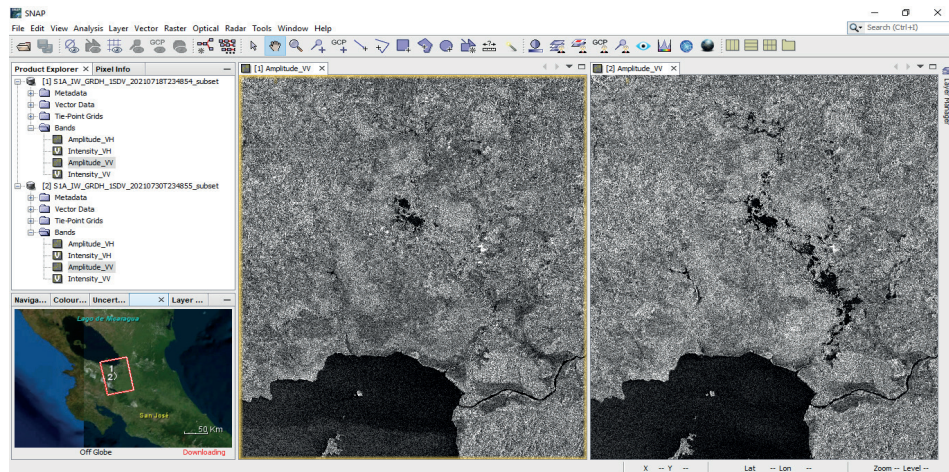
**Cuadro 1.** Flujo de procesamiento de Sentinel 1A para inundaciones.

Tipo de procesamiento	Herramientas de software
1. Corrección orbital	Apply orbit file
2. Eliminación del ruido termal	Thermal noise removal
3. Eliminación del ruido de bordes	Border noise removal
4. Calibración radiométrica de las imágenes.	Radiometric / Calibrate
5. Aplicación de filtro Speckel	Single Product Speckel filter
6. Corrección geométrica.	Range Doppler Terrain Correction
7. Conversión de datos lineales a escala logarítmica de decibeles.	Linear to/from dB
8. Corregistro de imágenes.	Radar / Corregistration / Stack toos / Create stack.

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-types-processing-levels/level-1>

Como paso previo al procesamiento, se realizó un subset consistente en seleccionar únicamente la cuenca del río Frío en ambas imágenes (18 y 30 de julio de 2021) tal y como muestra la Figura 6:

**Figura 6.** Creación de un subset del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el subset de franjas de barrido, el siguiente paso fue la corrección orbital de ambas imágenes. Los productos Sentinel 1 cuentan con los vectores de sus órbitas satelitales dentro de los metadatos. El problema es que dichos vectores no cuentan con la precisión necesaria, por lo que resulta conveniente actualizar dichos metadatos con órbitas más precisas, que proporcionen a las imágenes posiciones y velocidad del satélite en el momento preciso de adquisición. Para lograr esa mayor precisión se optó por seleccionar la descarga de órbitas precisas basadas en efemérides (Precise Orbit Ephemerides o POE), que abarcan aproximadamente 28 horas y contienen vectores de órbita a intervalos fijos de 10 segundos (Veci, 2015).

El siguiente paso consistió en eliminar el ruido termal. Este se produce en forma de un ruido aditivo que puede ser identificado, especialmente en áreas con una baja retrodispersión, como el mar en calma, lagos, etc (Hajduch, *et ál.* 2017, p 1). Los metadatos de las imágenes Sentinel 1 contienen los vectores de corrección de este ruido que tiene su origen en las mismas ganancias aplicadas a la señal real, de tal manera que siendo  $P_S$  y  $P_N$  el poder de la señal y el ruido, respectivamente, el poder de la señal resultante en los productos GRD de Sentinel 1 es:

$$P_{SN} = G(P_S + P_N)$$

Donde  $G$  es la ganancia total aplicada durante la formación de la imagen SAR (Won *et ál.* 2017, p 1556).

Seguidamente se procedió a eliminar de las imágenes el ruido de los bordes. En este caso se trata de un bandeado o franja estrecha que aparece a lo largo de los bordes de la dirección de rango y acimut. La causa está en fallos de procesamiento al documentar áreas con una señal inválida, debida a cambios en la curvatura terrestre (Filipponi, 2019, p 2). La herramienta para solucionarlo en SNAP (Border noise removal) resulta satisfactoria en tierra, pero no en océanos (Luo, y Flett., 2018, p 2).

Se procede entonces con la calibración radiométrica. El objetivo de la calibración de imágenes SAR es ofrecer imágenes en las que los valores del píxel se pueden relacionar directamente con la retrodispersión del radar de la escena. Para ello, hay que convertir los valores digitales (DN) a coeficientes de retrodispersión (Song *et ál.*, 2007, p 288). No obstante, para el cálculo de la retrodispersión (sigma) debe calcularse beta, que expresa a través de la función:

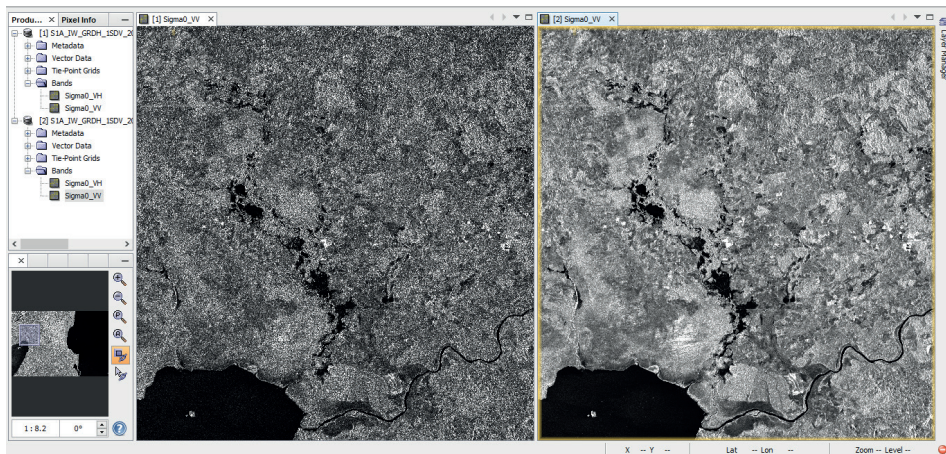
$$\beta_j^0 = 10 \times \log_{10} [ (DN_j^2 + A_3) A_{2j} ]$$

Siendo  $DN_j$  el valor digital que representa la magnitud de  $j$ -ésimo píxel,  $A_3$  un desplazamiento fijo y  $A_{2j}$  el valor de ganancia de escalado de  $j$ -ésimo píxel en una dirección de rango oblicuo.

A partir de los productos calibrados del paso anterior, se aplicó un filtro mediante la herramienta Single Product Speckel filter. Las imágenes Sentinel 1 (y por extensión todas las imágenes radar) contienen un ruido multiplicativo denominado speckle o moteado, que se origina por la interferencia y contribución de distintos reflectores presentes durante la adquisición de la imagen. Ello provoca una degradación de la información contenida y conlleva errores en la interpretación por parte del observador (Choi, 2019, p 1). Para evitar este problema, Lee (1981) propuso la aplicación de un filtro para reducir ruidos radiométricos basándose en la aplicación de medidas estadísticas. El filtro Lee se basa en asumir que la media y la varianza del píxel considerado son iguales a la media y la varianza local de los píxeles de la ventana móvil definida por el usuario. En el caso que nos ocupa (monitoreo de inundaciones) se ha podido comprobar, mediante índices de calidad, que reduce los píxeles relacionados con el ruido

speckle, lo que muestra la efectividad del filtro en una sola pasada (Parra, *et ál.* 2015, p 15) como se muestra en Figura 7. De hecho, el filtro Lee se muestra superior respecto de otros filtros speckle para la interpretación visual, por su habilidad para preservar bordes, elementos lineales, objetivos puntuales e información textural (Filipponi, 2019, p 4).

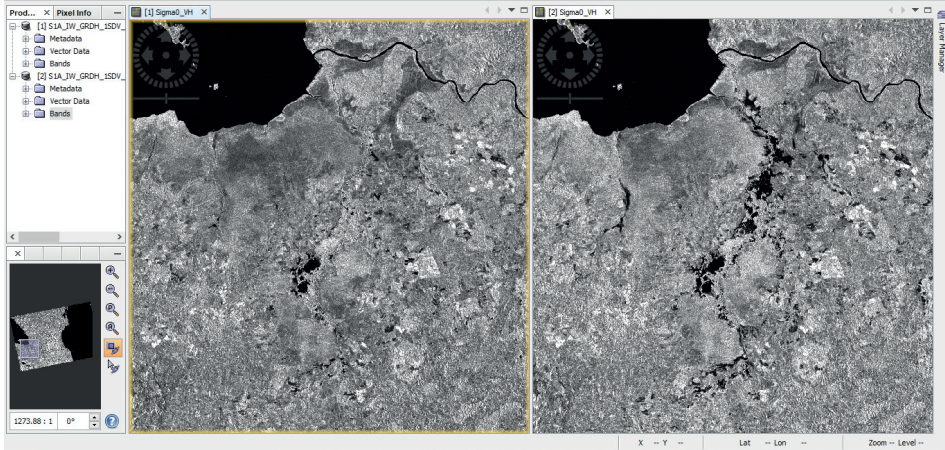
**Figura 7.** Imágenes del área de estudio antes (izquierda) y después (derecha) de la aplicación del filtro Lee para reducción del ruido speckle.



Fuente: Elaboración propia

El siguiente procesamiento, de acuerdo con la Figura 8, fue la corrección geométrica de las escenas radar mediante la herramienta de SNAP Range Doppler Terrain Correction. Para ello se requiere la información precisa de las órbitas del satélite y un modelo digital de elevación del área abarcada. SNAP permite descargar automáticamente de internet tanto las órbitas (vistas anteriormente) como la información topográfica (modelo digital de elevaciones). Para el presente estudio se utilizó el modelo digital SRTM 1 sec HGT, un producto de la NASA (Shuttle Radar Topography Mission), generado a partir de datos radar SAR de banda C y X con una resolución de 3 arcosegundos, es decir, 30 metros. El método de remuestreo para alinear los puntos de la imagen subordinada con los de la imagen de referencia fue el de interpolación bilineal, recomendada para conjuntos de datos continuos sin límites definidos.

**Figura 8.** Imágenes del área de estudio el 17 de julio (izquierda) y el 30 de julio (derecha) después de la aplicación de la herramienta Range Doppler Terrain Correction en SNAP.



Fuente: Elaboración propia

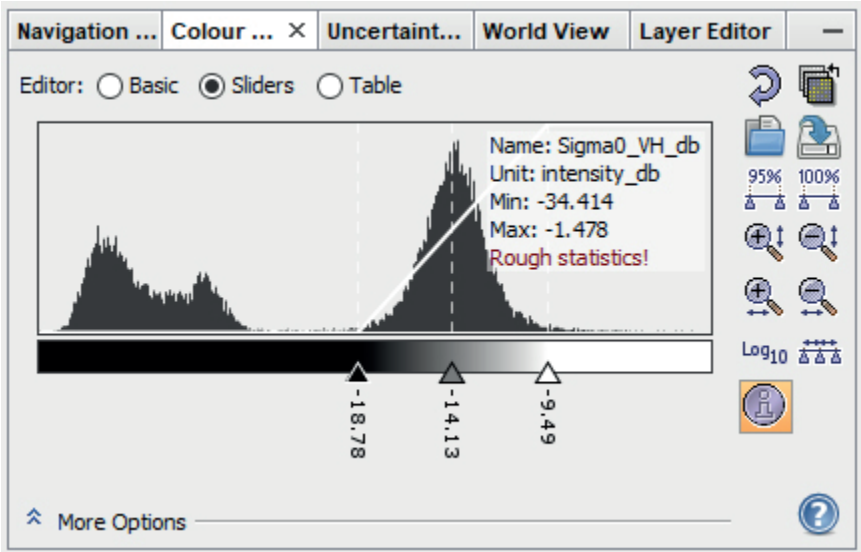
El último paso del flujo de procesamiento fue la conversión de datos lineales a escala logarítmica de decibeles (dB). Para realizar la transformación de los valores de Sigma a dB, se utilizó la herramienta de SNAP Linear to/from dB”, que aplica la siguiente transformación a escala logarítmica.

$$\text{decibel} = 10 * \log_{10} (\text{linear})$$

Dicha transformación se aplica a las bandas con la corrección geométrica de terreno del paso anterior. De acuerdo con los histogramas de las imágenes, se estableció un umbral de -18,78 a 9,49 para distinguir los cuerpos de agua de la tierra (Figura 9).



**Figura 9.** Histograma de una de las dos imágenes radar convertida a decibeles.

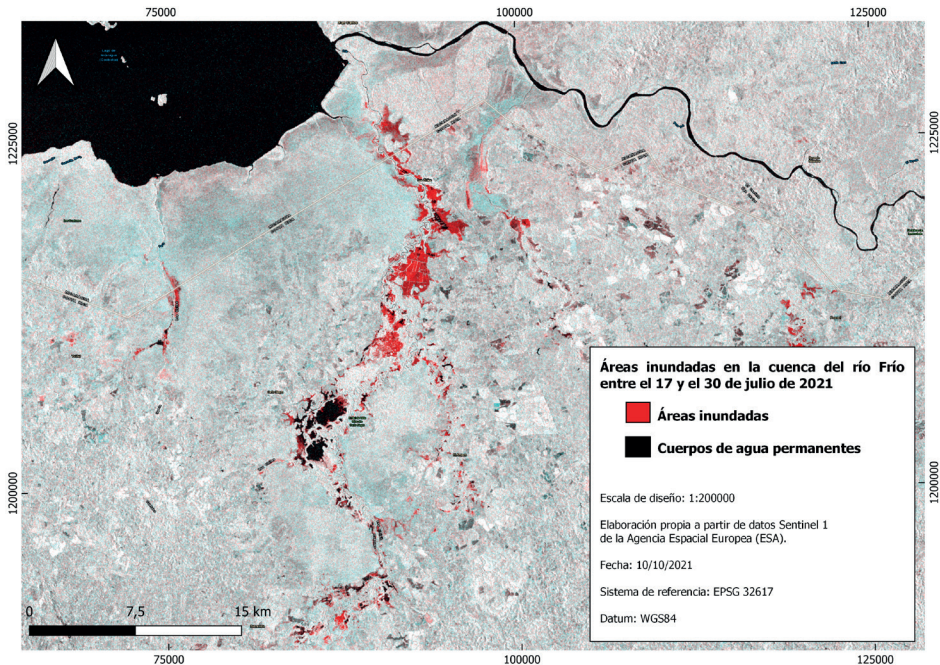


Fuente: Elaboración propia a partir de datos Sentinel 1

## Resultados

Para visualizar la extensión de las inundaciones con respecto a la tierra no inundada y los cuerpos de agua permanentes (como las lagunas de Caño Negro) se generó una composición RGB, con la herramienta de SNAP Create Stack, asignando al canal rojo del software la banda de polarización Vertical/Horizontal en decibeles del 18 de julio, mientras que a los canales verde y azul se les asignó la banda Vertical/Horizontal en decibeles del 30 de julio del año 2020(ver Figura 10).

**Figura 10.** Mapa de inundaciones en julio de 2021 en la cuenca del río Frio a partir de datos radar Sentinel 1.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos Sentinel 1

La verificación de resultados obtenidos en el mapeo de las áreas inundadas se basó en un muestreo de campo mediante tecnología GNSS. Se ubicaron 20 puntos de alta fiabilidad en ubicaciones inundadas y 10 en puntos no inundados, pero debido a problemas de accesibilidad (por las propias inundaciones) y a restricciones sanitarias, solo se pudieron verificar 12 de los 30 puntos planteados.

La generación de estadísticas de área y posterior vectorización de los resultados dio una superficie inundada de 4,943 hectáreas, de las cuales, la mayor parte se concentraron en zonas pantanosas de inundación recurrente (depósitos aluviales y coluviales) y, secundariamente, planicies aluviales con influencia lacustre del lago Nicaragua (facies distales de rocas volcánicas recientes).

## Discusión de resultados

El presente artículo ha optado por una metodología de obtención de superficies inundadas que no dependa de unas condiciones meteorológicas que, en contextos de fuerte precipitación e inestabilidad atmosférica condicionan (cuando no impiden) el uso de imágenes ópticas.

La fiabilidad de las estimaciones con Sentinel. 1 se encuentra dentro del rango de los 10 metros de resolución espacial. Una delimitación de sectores con depresiones propensos a inundarse en el área perilagunar y sectores en dirección norte con respecto a la laguna de Caño Negro requeriría de un mapeo histórico de las inundaciones en el área de estudio, y dada la topografía predominantemente llana, de un modelo digital de elevaciones de mayor resolución, que pudiera describir la tendencia del agua que se acumularía en un punto determinado y la pendiente local, que indicarían eventualmente el efecto gravitacional en el movimiento del agua para delimitar con mayor precisión las áreas más propensas a inundarse.

Los 12 puntos de muestreo de campo se encontraban sobre superficies inundadas con una profundidad variable, y esta es precisamente otra de las limitaciones de la tecnología radar, ya que esta aporta información de la señal retrodispersada sobre agua frente a otras coberturas, pero no aporta información sobre la profundidad de la lámina de agua. Combinar la información obtenida de radar de apertura sintética (Sentinel 1) con índices de sequedad y vegetación derivados de imágenes ópticas es una posibilidad, dado que los valores más altos de estos índices indican terrenos que presentan una cobertura de biomasa seca o leñosa o de suelo desnudo seco (Vidal Quini, *et ál.* 2021, p 237). Sin embargo, ello requeriría de la disponibilidad de imágenes ópticas libres de nubosidad inmediatamente antes y después del evento de inundación, algo que no ocurrió.

Desde el punto de vista del efecto de las inundaciones, cabe indicar que la Ruta 35 y la Ruta 138 Upala - Caño Negro - Los Chiles (una de las escasas vías de comunicación que comunican la zona de este a oeste) se vieron parcialmente inundadas, aunque no las poblaciones de Los Chiles, Barrio San Jerónimo I y II y Barrio Achiotal.

## Conclusiones

Los resultados mostrados en este estudio han evidenciado el potencial de uso de imágenes radar para el estudio y monitoreo de inundaciones,

dado que este tipo de eventos se suelen producir bajo condiciones meteorológicas de nubosidad y lluvia. Todo ello, a pesar de que la aplicación de sucesivos filtros para poder reducir el efecto de moteado, supone una merma en la resolución de las imágenes, con el consiguiente efecto en la estimación de la superficie de inundación. En este caso la superficie inundada, excluyendo los cuerpos de agua permanentes (humedal de Caño Negro) fue de 4,943 hectáreas.

De las dos polarizaciones disponibles para imágenes Sentinel 1, la que mejores resultados proporcionó fue la polarización VH, generando áreas de inundación más extensas que las obtenidas con polarización VV.

Por otra parte, la presente metodología de composición RGB tiene la ventaja de permitir una clara distinción entre las zonas inundadas temporalmente, en color rojo (ver Figura 10) de las zonas de inundación permanente, en color negro. Diferenciar áreas inundadas de cuerpos de agua permanentes resulta muy complejo mediante umbrales de calibración, en cambio la composición RGB nos aporta información de retrodispersión por lámina de agua en dos fechas distintas (antes y después de la inundación).

Finalmente, la presencia de áreas con una topografía accidentada, en el extremo sur de la cuenca del río Frío, pueden dar lugar a áreas oscuras o de sombra, con coeficientes de retrodispersión similares a los que se dan en zonas inundadas. Sin embargo, para el presente estudio la mayor parte de las inundaciones se dieron en los sectores medio y bajo de la cuenca, con una altitud media inferior a los 100 metros sobre el nivel del mar, por lo que la sobrerrepresentación de áreas inundables no constituyó un problema.

## Referencias

- Aulard-Macler, M. (2012). Sentinel-1 Product definition. s1-rsmda-52-7440. Technical report, MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd. Google Scholar.
- Barrantes-Sotela, O. y Sandoval-Murillo, L. (2016). Uso/cobertura de la tierra en los cantones de Upala, Guatuso y Los Chiles en el año 2011. *Revista Geográfica de América Central*, 56, 59-91.
- Bioresita, F. y Hayati, N. (2016). Coastline Changes Detection Using Sentinel-1 Satellite Imagery in Surabaya, East Java, Indonesia. *Geoid*, 11 (2), 190-190. DOI: [10.12962/j24423998.v11i2.1265](https://doi.org/10.12962/j24423998.v11i2.1265).

- Corbley, K. (1999). Radar imagery proves valuable in managing and analyzing floods red river flood demonstrates operational capabilities. *Earth Observation Magazine*, 8 (10).
- Chan, K & Koo, V. (2008). An introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR). *Progress In Electromagnetics Research B*, Vol. 2, 27–60, 2008. Faculty of Engineering & Technology Multimedia University Jalan Ayer Keroh Lama, Bukit Beruang, 75450 Melaka, Malaysia.
- Choi, H. y Jeong, J. (2019). Speckle noise reduction technique for sar images using statistical characteristics of speckle noise and discrete wavelet transform. *Remote Sensing*, 11 (10). <https://doi.org/10.3390/rs11101184>.
- Cunjian, Y. yiming, W., Siyuan, W., Zeng-xiang, Z. y Shifeng, H. (2001). Extracting the flood extent from satellite SAR image with the support of topographic data. 2001 International Conferences on Info-Tech and Info-Net. *Proceedings* (1 1), 87-92.
- Curlander J. C. and McDonough R. N. (1991). *Synthetic Aperture Radar*. Publisher: Wiley Interscience, New York, USA
- Chuvieco, E. (2010. Edición actualizada octubre de 2010). “Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio”. Ariel Ciencia. Editorial Planeta, S.A. (Barcelona). Impreso en España por Huertas Industrias Gráficas, S.A. Barcelona: Ariel. ISBN 978-84-344-3498-1. Depósito legal: M. 35.932 - 2010.
- Filipponi, F. (2019). Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow. *Proceedings*, 18 (1), 11-. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/ECRS-3-06201>
- Flores-Anderson, A., Herndon, K. BahadurThapa, R. y Cherrington, E. (Eds). (2019). *The Synthetic Aperture Radar (SAR) Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*. <https://doi.org/10.25966/nr2c-s697>
- Hajduch, Guillaume & Miranda, Nuno & Piantanida, Riccardo & Meadows, Peter & Vincent, Pauline & Franceschi, Niccolò. (2017). Thermal Denoising of Products Generated by the S-1 IPF.
- Henry, J., Chastanet, P., Fellah, K & Desnos, Y. L. (2006). Envisat Multi-Polarized ASAR Data for Flood Mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (10), 1921-1929. <https://doi.org/10.1080/01431160500486724>

- Horritt M. (2006). A methodology for the validation of uncertain flood inundation models. *Journal of Hydrology*, Volume 326, Issues 1–4, 326:153–165
- Hovland, H., Johannessen, J. y Digranes, G. (1994). Slick detection in SAR images. *Proceedings of IGARSS '94 - 1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium [Simposio]*, 4, 2038–2040. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.1994.399647>
- Kwok, R., Rignot, E. y Drive, G. (1990). Synthetic aperture radar polarimetry of sea ice. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*. 88, 1525–1528.
- Lee, J. S. (1981). Speckle analysis and smoothing of synthetic aperture radar images. *Computer graphics and image processing*, 17(1), 24-32.
- Lim, H., Swartz, A. yueh, H., Kong, J., Shin, R. y Van Zyl, J. (1989). Classification of earth terrain using polarimetric synthetic aperture radar images. Title. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth and Planets*, 94. <https://doi.org/0148-0227>
- Lynne, G. y Taylor, G.. (1986). Geological assessment of SIR- B imagery of the amadeus basin. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing, ge-*. 24 (4), 575–581.
- Luo, Y. y Flett, D. (2018). Sentinel-1 Data Border Noise Removal and Seamless Synthetic Aperture Radar Mosaic Generation. *Proceedings*, 2 (7), 330-. <http://dx.doi.org/10.3390/ecrs-2-05143>
- Moreira, A., Prats, I. younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I. y Papathanassiou, P. (2013). A . *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine* 1, 6-43. Meyer, F. (2018). Spaceborne Synthetic Aperture Radar – Principles, Data Access, and Basic Processing Techniques. *SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*. Eds. Flores, A., Herndon, K., Thapa, R. y Cherrington, E. (Eds). NASA. 2019. <https://doi.org/10.25966/ez4f-mg98>
- Meyer, Franz. 2018. Spaceborne Synthetic Aperture Radar – Principles, Data Access, and Basic Processing Techniques. *SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*. Eds. Flores, A., Herndon, K., Thapa, R., Cherrington, E. NASA. 2019. DOI: [10.25966/ez4f-mg98](https://doi.org/10.25966/ez4f-mg98)

- Parra, J. y Hernández-De la Rosa, J. (2015). Estudio de reducción del ruido en Imágenes SAR para el Análisis de Inundaciones. *Ingenium*, 16, (32), 9-18.
- PNUD. (2013). *Informe nacional sobre desarrollo humano 2013*. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo(Ed) PNUD Costa Rica.
- Quesada-Román, A., Fallas-López, B., Hernández-Espinoza, K., Stoffel, M. y Ballesteros-Cánovas, J. (2019). Relationships between earthquakes, hurricanes, and landslides in Costa Rica. *Landslides*. 16 (8) 1539-1550. <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01209-4>
- Quesada-Román, A. y Villalobos-Chacón, A. (2020). Flash flood impacts of Hurricane Otto and hydrometeorological risk mapping in Costa Rica. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*. 120 (2) 142-155. <https://doi.org/10.1080/00167223.2020.1822195>
- Shen, W., Li, M., Huang, C., Tao, X., Li, S. y Wei, A. (2019). Mapping annual forest change due to afforestation in Guangdong Province of China using active and passive remote sensing data. *Remote Sensing*. 11 (5) 1-21. <https://doi.org/10.3390/rs11050490>
- Romeiser, R. (2013). The future of SAR-based oceanography: High-resolution current measurements by along-track interferometry. *Oceanography*. 26 (2) 92–99. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2013.37>.
- Rojas, N. (2011). *Cuencas hidrográficas de Costa Rica. Análisis biofísico, climatológico y socioeconómico*. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica.
- Sánchez-Ureña, B. y Esquivel-Valverde, L. (2020). *Análisis de riesgo para varias comunidades aledañas a los cauces de los ríos a intervenir por la Municipalidad de Guatuso*. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. Unidad de Investigación y Análisis de Riesgo. Informe técnico CNE-UIAR-INF-0300-20.
- Schubert, A., Miranda, N., Geudtner, D. y Small, D. (2017). Sentinel-1A/B combined product geolocation accuracy. *Remote Sensing*, 9 (6) 1–16. <https://doi.org/10.3390/rs9060607>
- Song, Y., Sohn, H. y Park, C. (2007). Efficient Water Area Classification Using Radarsat-1 SAR Imagery in a High Relief Mountainous Environment. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 73 (3) 285-296. <https://doi.org/10.14358/PERS.73.3.285>

- Storvold, R., Malnes, E., Larsen, Y., Høgda, K., Hamran, S., Müller, K. y Langley, K. (2006). Sar Remote Sensing of Snow Parameters in Norwegian Areas — Current Status and Future Perspective. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 20 (13) 1751–1759. <https://doi.org/0.1163/156939306779292192>
- Veci, L. (2015). Toolbox Interferometry Tutorial. Sentinel-1 Toolbox. Issued March 2015. Array Systems Computing Inc. <http://www.array.ca/> and ESA <http://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20Strip-map%20Interferometry%20with%20Sentinel-1%20Tutorial.pdf>.
- Vidal-Quini N. y Geraldi A. (2021). Sinergia de imágenes Sentinel 1 y Sentinel 2 A para la delimitación de humedales a partir de un enfoque ecohidrogeomórfico. *Cuadernos Geográficos*. 60 (3) 233-252. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i3.18039>
- Won Jeong, J. -W. Park, A. A. Korosov, M. Babiker, S. Sandven. (2017). Efficient Thermal Noise Removal for Sentinel-1 TOPSAR Cross-Polarization Channel. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. PP. 1-11. 10.1109/TGRS.2017.2765248.



## **Análisis morfométrico de la cuenca río Santa Lucía (Corrientes, Argentina)**

*Morphometric analysis of the Santa Lucía river basin  
(Corrientes, Argentina)<sup>1</sup>*

**Análise morfométrica da bacia do rio Santa Lucía  
(Corrientes, Argentina)**

*Humberto Smichowski<sup>2</sup>*



*Centro de Ecología Aplicada del Litoral – CECOAL  
(CONICET / UNNE), Argentina*

*Félix Ignacio Contreras<sup>3</sup>*

*Centro de Ecología Aplicada del Litoral – CECOAL  
(CONICET / UNNE), Argentina*

### **Resumen**

En el presente trabajo se realizó un estudio morfométrico de la cuenca del río Santa Lucía de la provincia de Corrientes-Argentina con el fin de determinar su respuesta hidrológica, y señalar la influencia de los factores morfométricos en la intensificación o atenuación de las crecidas, lo que genera datos útiles para planificación territorial. Los resultados obtenidos de la cuantificación y medición de los parámetros muestran una cuenca con una forma alargada, relieve con alto potencial

- 1 Este trabajo fue parcialmente financiado por los Proyectos: PICT – 2018 – 636; PI 19Q002 y 20Q001 de la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE).
- 2 Licenciado en Geografía. Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL – CONCIET / UNNE). Correo-e: [cepismichowski@gmail.com](mailto:cepismichowski@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0002-6176-3699>
- 3 Doctor en Geografía. Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL – CONCIET / UNNE). Correo-e: [figcontreras@hotmail.com](mailto:figcontreras@hotmail.com)  <https://orcid.org/0000-0002-2548-8351>

erosivo, muy escasa pendiente, y una red de drenaje poco eficiente; de lo que se concluye que la cuenca tendrá crecidas graduales, pero extendidas en el tiempo.

**Palabras Clave:** Geomorfología cuantitativa, Modelo digital de elevación, Morfometría, Sistemas de Información Geográfica, Recursos hídricos.

### Abstract

In this work, a morphometric study of the Santa Lucia River basin in the province of Corrientes-Argentina was carried out to determine its hydrological response, and to indicate the influence of morphometric factors on the intensification or attenuation of floods, which generates useful data for territorial planning. The results obtained from the quantification and measurement of the parameters show a basin with an elongated shape, relief with high erosive potential, very low slope, and a not very efficient drainage network; from which it is concluded that the basin will have gradual floods but extended in time.

**KeyWords:** Digital elevation models; Geographic information systems; Morphometry; Quantitative geomorphology; Water resources.

### Resumo

No presente trabalho foi realizado um estudo morfométrico da bacia do rio Santa Lucia na província de Corrientes-Argentina para determinar sua resposta hidrológica e apontar a influência de fatores morfométricos na intensificação ou atenuação das inundações, que gera dados úteis para o planejamento territorial. Os resultados obtidos a partir da quantificação e medição dos parâmetros mostram uma bacia com forma alongada, relevo com alto potencial erosivo, pouca declividade e uma rede de drenagem ineficiente; do qual se conclui que a bacia terá inundações graduais, mas prolongadas no tempo.

**Palavras-chave:** Geomorfologia quantitativa; Modelo digital de elevação; Morfometria; Sistemas de informação geográfica; Recursos hídricos.

## Introducción

Una cuenca de drenaje es la zona de tierra drenada por una corriente y sus afluentes, mientras que las divisorias son los límites que separan las diferentes cuencas de drenaje (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 468). Constituye un espacio socio ambiental, cuyo conflicto más frecuente son las inundaciones, debido al incremento del nivel de la superficie libre del agua de los ríos, hecho que genera invasión o penetración de agua; además, ocasionan daños en la población, a la agricultura, a la ganadería y la infraestructura (Salas Salinas Jiménez Espinoza, 2004, p. 19).

Para realizar un análisis detallado sobre el posible impacto negativo de las inundaciones en una cuenca, es importante considerar previamente los factores morfométricos, ya que permiten establecer parámetros de evaluación del sistema hidrológico (Camino *et ál.*, 2018, p. 3). En este

sentido, en los antecedentes sobre estudios morfométricos se contemplan variables de forma, relieve y red de drenaje, que revelan el comportamiento morfodinámico e hidrológico de las cuencas (Salas Aguilar *et ál.*, 2011; Gaspari *et ál.*, 2012; Cruz Romero *et ál.*, 2015; Aumassanne *et ál.*, 2018; y Moretto, Gentili y Campo, 2019). El caudal y las crecidas pueden verse modificadas por las propiedades morfométricas y morfológicas como el tamaño, la forma y la pendiente que resultan muy importantes en la respuesta del volumen de agua recibido y que pueden operar, tanto para atenuar como para intensificar las crecidas. Lo anterior influye sobre el flujo y la velocidad de su movimiento (González de Matauco, 2004, p. 312). Es por esto que son importantes a la hora de prevenir percances en caso de exceso de precipitaciones y contribuir al ordenamiento territorial (Salas Aguilar *et ál.*, 2011, p. 35).

Las formas del terreno necesarias para los estudios morfométricos pueden ser descritas y cuantificadas por la parametrización del relieve a partir de un modelo digital de elevación (Aumassanne *et ál.*, 2018, p. 15). Con los sistemas de información geográfica es posible extraer de los modelos digitales de elevación (MDE) diferentes variables hidrológicas de manera automática, y su aplicación ha cobrado relevancia en estudios morfométricos por ser útil para analizar característica de ambientes geomorfológicos (Cruz Romero *et ál.*, 2015; Salas Aguilar *et ál.*, 2011; Viramontes Olivas *et ál.*, 2007).

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio morfométrico de la cuenca del río Santa Lucía, a partir del uso de herramientas de análisis espacial para determinar la respuesta hidrológica de la cuenca, señalar la influencia de los factores morfométricos en la intensificación o atenuación de las crecidas y, generar así, datos útiles para planificación territorial.

### Área de Estudio

El río Santa Lucía, es un afluente del río Paraná, cuya cuenca se encuentra ubicada en el sector Noroeste de la provincia de Corrientes (República Argentina). Sus manantiales se encuentran en depresiones de poca pendiente y escurrimiento laminar, localmente conocidos como esteros. Se extiende unos 310 km, de los cuales 190 km son de un cauce definido, con dirección predominante de noreste a sudoeste, el cual desemboca en el río Paraná entre las localidades de Lavalle y Goya. Durante

su trayecto recorre nueve departamentos (General Paz, San Miguel, Mburucuyá, Concepción, Saladas, San Roque, Bella Vista, Lavalle, Goya) y en la mayoría se le utiliza como límite interdepartamental (Figura 1).

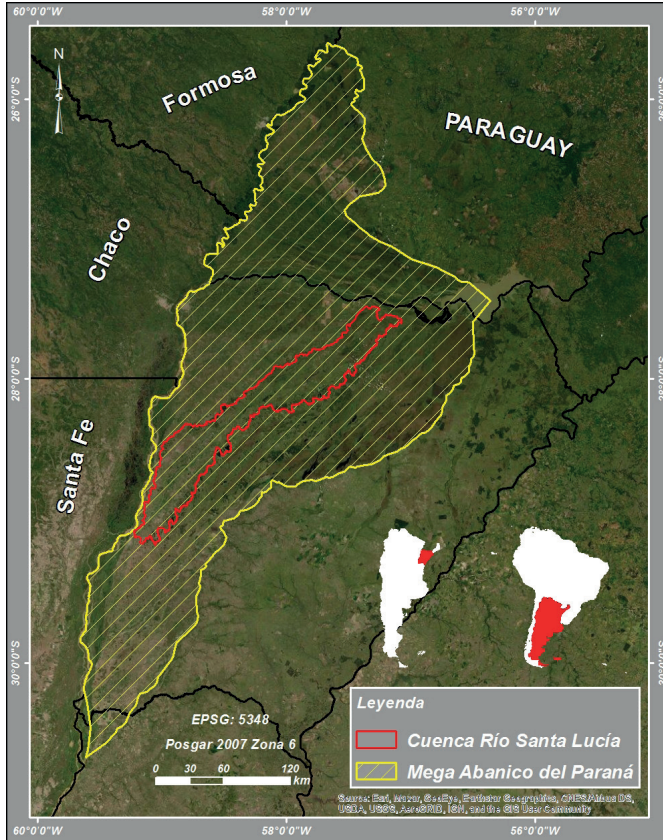
La cuenca del río Santa Lucía, se encuentra emplazada sobre una unidad geomorfológica (UG) más amplia conocida como mega abanico aluvial del Paraná (Contreras y Contreras, 2017, p. 16) que determina sus rasgos morfométricos. La columna estratigráfica que compone dicha unidad está integrada por las secuencias fluviales de la formación Ituzaingó y la formación Toropí - Yupoí (Iriundo, 2010, p. 55).

La formación Ituzaingó constituye el cuerpo principal del mega abanico y se encuentra compuesta por arenas cuarzosas intercaladas con limo. Se extiende en todo el este de la provincia de Corrientes y al sur de Paraguay y puede alcanzar profundidades de hasta 150 m de espesor máximo. En el subsuelo, se extiende en el este de Formosa, Chaco, Santa Fe y Buenos Aires hasta la depresión del Salado (Santa Cruz, 1972, p. 55). Con respecto a la edad, esta formación es “tiempo-transgresiva”: comenzó a depositarse en el Plioceno, continuó a lo largo del Pleistoceno y continúa sedimentando en la actualidad (Iriundo, 2010).

Por otro lado, la formación Toropí-Yupoí se encuentra en contacto superior y lateral con la formación Ituzaingó y está compuesta por arenas arcillosas, limos arenosos y arcillas arenosas de edad pleistocena, de color en general es gris verdoso. Tiene un espesor de entre 2 y 4 metros, con hasta 9 metros de potencia en los sectores de mayor desarrollo, y se trata de rellenos de características palustres ambientes de humedales acumulados en fajas abandonadas por el río Paraná. (Santa Cruz, Orfeo y Gulisano, 2019, p. 73)

Los escurrimientos actuales se ubican en antiguos cauces labrados por el río Paraná, que fueron abandonados y rellenados por sedimentos limo-arcillosos más modernos (Orfeo y Neiff, 2008, p. 420). Presentan el comportamiento hidrológico característico de los cursos de agua que dependen de precipitaciones locales en la llanura del nordeste argentino (NEA) que, debido a las escasas pendientes, poseen grandes dificultades para el drenaje (Iriundo, 2011; y Contreras y Contreras, 2017).

Mapa 1. Área de estudio



Fuente: Elaborado a partir del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2021).

## Materiales y Métodos

El desarrollo del análisis morfométrico de la cuenca se llevó adelante utilizando un modelo digital de elevación (MDE) de 90 m de resolución espacial, adquirido del GeoPortal - Consortium for Spatial Information (2021), que proporciona datos de la misión la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), llevada adelante por la NASA en el año 2000. El MDE fue reproyectado al sistema nacional argentino de coordenadas planas, POSGAR 2007 Faja 6 de Gauss Krugger, correspondiente al área de estudio. Una vez preparado el MDE, se procedió a la delimitación de la cuenca y a la extracción de la red de drenaje a partir

de procesamientos automáticos realizados con el software GRASS GIS 7.4.2. Por último, se midieron las variables necesarias para el cálculo de los parámetros morfométricos relativos a la forma, relieve y red de drenaje, detalladas en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Variables de medición directa en SIG

Variable	Unidad	Definición
Área (A)	km <sup>2</sup>	Proyección ortogonal del área de drenaje de un sistema de escorrentía.
Perímetro (P)	km	Longitud de la línea que limita la cuenca hidrográfica.
Longitud axial (L <sub>m</sub> )	km	Distancia entre la desembocadura y el punto más lejano de la divisoria de aguas de la cuenca.
Ancho máximo (l)	km	Distancia entre los puntos más alejados de la cuenca medidos perpendicular a la longitud axial.
Vertiente mayor (A <sub>max</sub> ) y menor (A <sub>men</sub> )	km <sup>2</sup>	Áreas de drenaje de la cuenca separadas por el cauce principal.
Longitud de las curvas de nivel (L <sub>c</sub> )	km	Sumatoria de las longitudes de las líneas que unen puntos de misma altura topográfica.
Longitud del cauce principal (L)	km	Distancia medida desde el punto más distante del curso colector de la cuenca hasta la desembocadura.
Longitud total de la Red (ΣL <sub>r</sub> )	km	Sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan en una cuenca determinada.
Altura máxima (H <sub>max</sub> ) y mínima (H <sub>min</sub> ) del Cauce Principal.	m	Cota del punto más elevado y del punto más bajo del cauce principal.

Fuente: Elaborado a partir de Reyes Trujillo, Barroso y Caravajal Escobar, 2010 p. 31-37; y Gaspari *et al.*, 2012 p. 152; Camino *et al.*, 2018 p. 4.

Una vez realizadas las mediciones directas se aplicaron las fórmulas para obtener los parámetros y su respectiva interpretación. En los que respecta a los parámetros de forma se calcularon el factor de forma, el índice de compacidad, el índice de alargamiento y el índice asimétrico (Tabla 2).

**Tabla 2.** Parámetros relativos a la forma de la cuenca

Factor de forma	$F = \frac{A}{L_m^2}$	F > 1: Cuenca Achatada = Tendencia a ocurrencia de avenidas. F < 1: Cuenca alargadas = Baja susceptibilidad a avenidas.
Índice de compacidad	$K_c = 0.28 \times \left[ \frac{P}{\sqrt{A}} \right]$	K <sub>c</sub> = 1,00 – 1,25: Cuenca redonda a oval Redonda. K <sub>c</sub> = 1,25 – 1,50: Cuenca Oval Redonda s Oval Oblonga. K <sub>c</sub> = 1,50 – 1,75: Cuenca oval oblonga a rectangular oblonga.
Índice de alargamiento	$I_a = \frac{L_m}{l}$	I <sub>a</sub> > 1: Cuenca alargada. I <sub>a</sub> = 1: Cuenca achatada y cauce principal corto.
Índice asimétrico	$I_{as} = \frac{A_{may}}{A_{men}}$	I <sub>as</sub> > 1: Cauce principal recargado a una de las vertientes. I <sub>as</sub> = 1: Distribución uniforme del cauce principal

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis del relieve se obtuvieron datos correspondientes a la pendiente y elevación media de la cuenca, con los que se construyeron la curva hipsométrica (Figura 1) y el perfil longitudinal del cauce principal. También se calcularon los coeficientes de masividad y orográfico (Tabla 3).

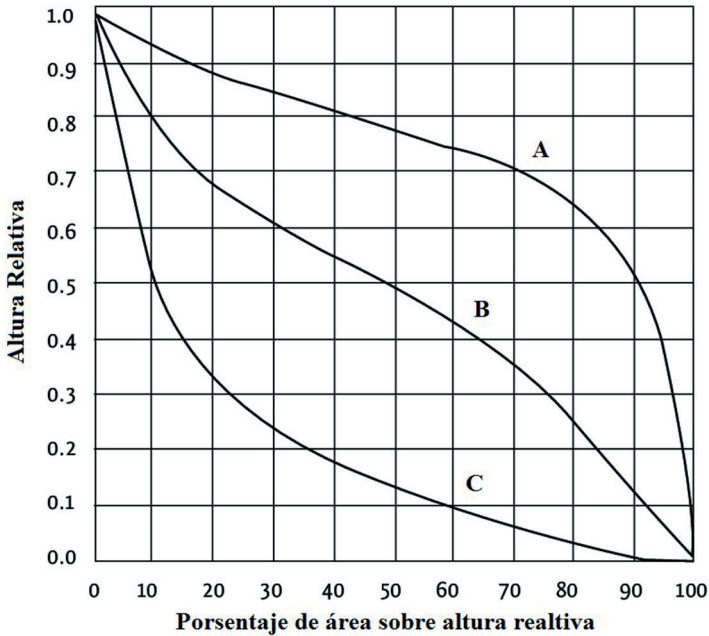
Pendiente media de la cuenca:

$$S_m = \frac{D \times L_c}{A}$$

Elevación media de la cuenca:

$$E_m = \frac{\sum A_i \times e_i}{A_i}$$

**Figura 1.** Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión



Fuente. Elaborado a partir de Salas Aguilar *et al.*, (2011, p. 36)

**Tabla 3.** Coeficientes de masividad y orográfico

Coeficiente de masividad	$K_m = \frac{h}{A}$	$K_m = 0 - 35$ : Moderadamente montañosa $K_m = 35 - 70$ : Montañosa $K_m = 70 - 105$ : Muy montañosa
Coeficiente orográfico	$C_o = \frac{h^2}{A}$	$C_o < 6$ : Relieve poco accidentado $C_o > 6$ : Relieve accidentado

Fuente: Elaboración propia

La caracterización de la red de drenaje se realizó calculando la pendiente media del cauce principal y el número de orden. Luego se obtuvo la relación de bifurcación y relación de longitud, la densidad de drenaje, la constante de estabilidad y el índice de torrencialidad (Tabla 4).



**Tabla 4.** Parámetros relativos a la Red de Drenaje

Relación de bifurcación	$R_b = \frac{n_1}{n_{i+1}}$
Relación de longitud	$R_l = \frac{L_1}{L_{i-1}}$
Densidad de drenaje	$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$
Constante de estabilidad	$C = \frac{A}{\sum L_i}$
Índice de torrencialidad	$C_i = \frac{n_i}{A}$

Fuente: Elaboración propia

En última instancia fue calculado el tiempo de concentración a través de la fórmula de Kirpich (1940, p. 175).

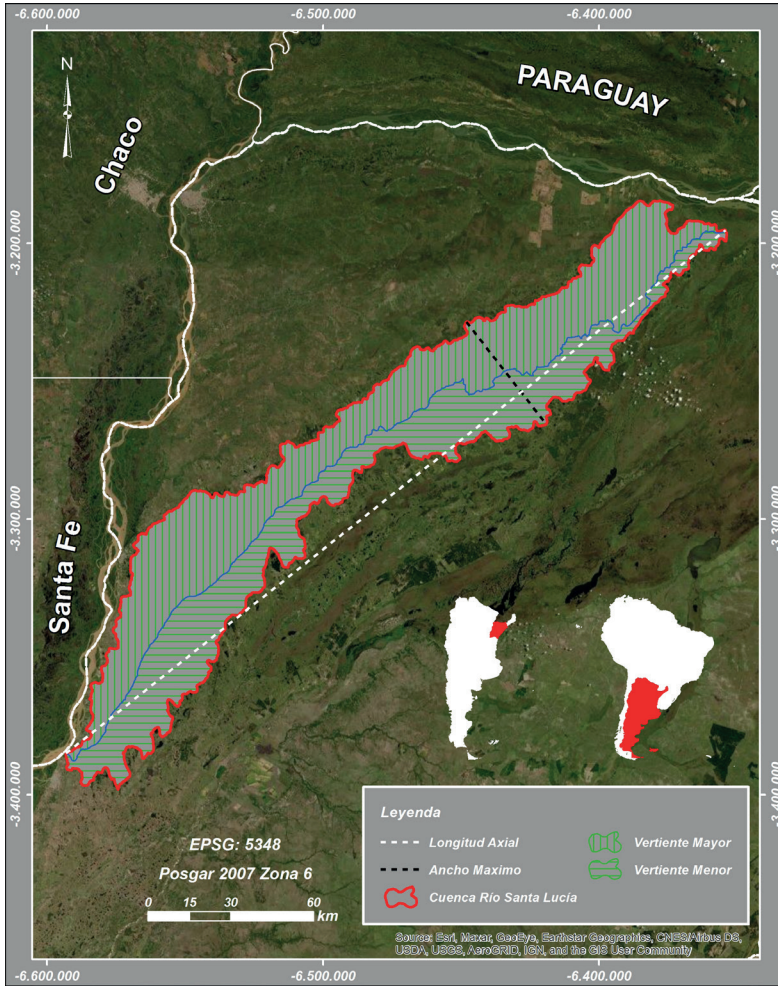
Tiempo de concentración

$$T_c = \frac{0,01947 \times L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

## Resultados

Las variables de medición directa (Mapa 2) utilizadas para los cálculos de los parámetros morfométricos revelan que la cuenca del río Santa Lucía posee una superficie de 7.356,96 km<sup>2</sup>, un perímetro de 820,94 km, 268,17 km de longitud axial, 41,48 km de ancho máximo, 4.223,60 km<sup>2</sup> de vertiente mayor, 3.133,36 km<sup>2</sup> de vertiente menor, 8.632,92 km de longitud de curva de nivel, 329,91 km de longitud de cauce principal, 1.912,71 km de longitud total de la red, 72,63 m de altura máxima del cauce principal y 36 m de altura mínima del cauce principal.

**Mapa 2.** Variables de medición directa



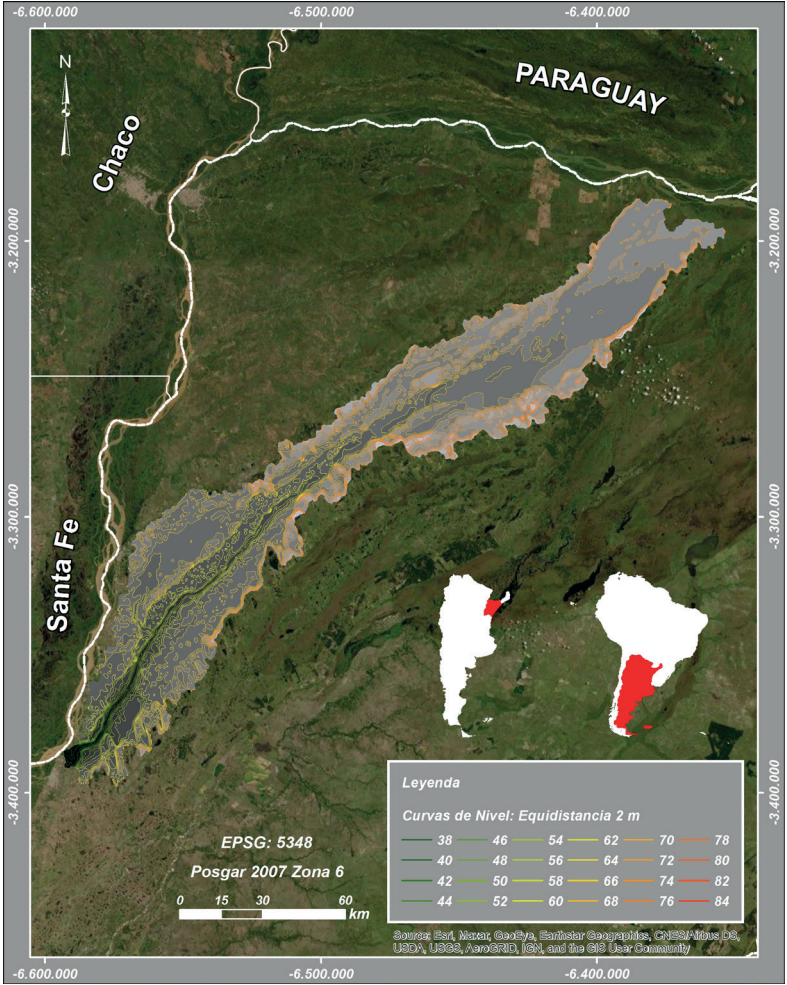
Fuente: Modelo digital de elevación SRTM – 30 m; IGN (2021)

**Tabla 5.** Resultados parámetros de forma

Parámetro	Resultado
Factor de Forma	0,1
Índice de Compacidad	2,68
Índice de Alargamiento	6,46
Índice Asimétrico	1,35

Fuente. Elaboración propia.

**Mapa 3.** Parámetros relativos al relieve de la cuenca



Fuente: Modelo digital de elevación SRTM – 30 m; IGN (2021)

**Tabla 6.** Resultados parámetros de relieve

Parámetro	Resultado
Pendiente media de la cuenca	0,23
Elevación media de la cuenca	67,23
Coefficiente de masividad	0,0091
Coefficiente orográfico	0,61

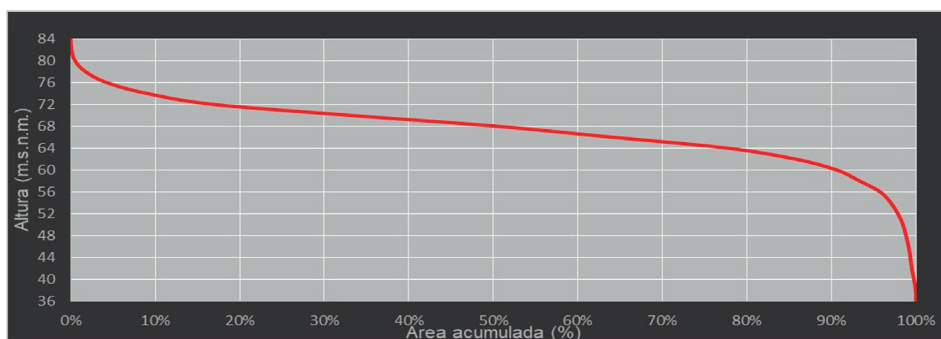
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.** Datos curva hipsométrica.

Área (m <sup>2</sup> )	Área Acumulada (m <sup>2</sup> )	Porcentaje	Porcentaje Acumulado	Cota
407675,43	407675,43	0,0055%	0,0055%	84
6300922,49	6708597,92	0,0856%	0,0912%	82
29538489,85	36247087,77	0,4015%	0,4927%	80
90383675,43	126630763,20	1,2285%	1,7212%	78
182447516,31	309078279,51	2,4799%	4,2012%	76
350239433,58	659317713,09	4,7607%	8,9618%	74
571240196,63	1230557909,72	7,7646%	16,7264%	72
1186663074,60	2417220984,32	16,1298%	32,8562%	70
1276403852,41	3693624836,72	17,3496%	50,2058%	68
1007438836,35	4701063673,07	13,6937%	63,8995%	66
1003567864,45	5704631537,53	13,6411%	77,5406%	64
594937808,70	6299569346,23	8,0867%	85,6273%	62
364031456,07	6663600802,30	4,9481%	90,5754%	60
198924067,95	6862524870,25	2,7039%	93,2793%	58
180897423,59	7043422293,84	2,4589%	95,7382%	56
93050820,49	7136473114,33	1,2648%	97,0030%	54
62343941,78	7198817056,11	0,8474%	97,8504%	52
44712741,73	7243529797,84	0,6078%	98,4582%	50
26242351,47	7269772149,31	0,3567%	98,8149%	48
22581889,24	7292354038,55	0,3069%	99,1218%	46
15205582,53	7307559621,08	0,2067%	99,3285%	44
12613345,40	7320172966,48	0,1714%	99,4999%	42
18660424,93	7338833391,41	0,2536%	99,7536%	40
15166879,60	7354000271,01	0,2062%	99,9597%	38
2962398,66	7356962669,67	0,0403%	100,0000%	36

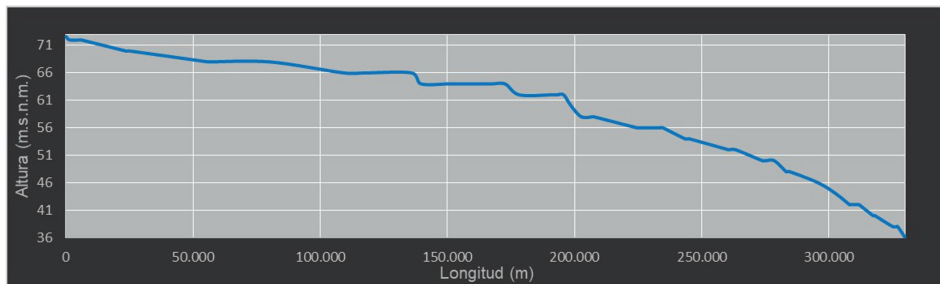
Fuente: Modelo digital de elevación SRTM - 30, IGN (2021)

**Figura 2.** Curva hipsométrica cuenca río Santa Lucía.



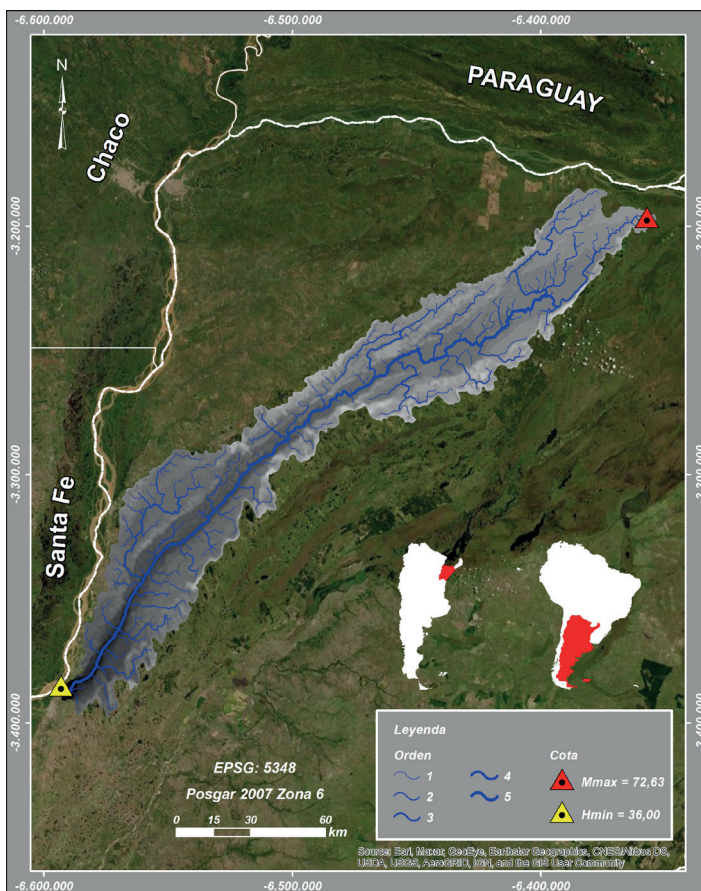
Fuente. Modelo digital de elevación SRTM – 30 m, IGN (2021)

**Figura 3.** Perfil longitudinal río Santa Lucía.



Fuente: Modelo Digital de Elevación SRTM – 30 m, IGN (2021).

**Mapa 4.** Parámetros relativos a la red de drenaje.



Fuente: Modelo digital de elevación SRTM – 30 m; IGN, (2021).

**Tabla 8.** Resultados parámetros de drenaje

Parámetro	Resultado
Orden	5
Pendiente del cauce principal	0,01%
Densidad de Drenaje	0,26
Constante de Estabilidad	3,85
Índice de Torrencialidad	0,03

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9.** Relación de bifurcación y de longitud

Número de Orden	1	2	3	4	5
Número de Cauces	256	59	11	2	1
	Rb <sub>1</sub>	Rb <sub>2</sub>	Rb <sub>3</sub>	Rb <sub>4</sub>	Rc
	4,34	5,36	5,50	2,00	4,30
Longitud promedio de Cauces	3.343,27	9.781,77	19.375,30	5.292,25	265.777,40
	RL <sub>1</sub>	RL <sub>2</sub>	RL <sub>3</sub>	RL <sub>4</sub>	RL
	2,93	1,98	0,27	50,22	13,85

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10.** Resultado tiempo de concentración

	Minutos	Horas	Días
Tiempo de concentración	11509,04	191,82	8

Fuente: Elaboración propia.

## Discusión

El factor de forma muestra cuán redondeada o alargada de la cuenca y mide la tendencia hacia crecidas rápidas y muy intensas o lentas y sostenidas (Horton, 1932, p. 351). Para el caso de la cuenca en estudio, el factor de forma arrojó un valor de 0,1, lo que indica que es una cuenca muy alargada y por lo tanto tiene una susceptibilidad baja a las avenidas fuertes. En este sentido, Reyes Trujillo, Barroso y Caravajal Escobar (2010, p. 33-34), mencionan que en aquellas cuencas donde se supere la unidad, el escurrimiento responde rápidamente formando grandes crecidas.

El índice de compacidad 2,68 indica que es una cuenca rectangular (Gravelius, 1914). En este caso, la aplicación de la fórmula indicó como resultado 2,68, lo que muestra que es una cuenca rectangular (Cruz Romero *et ál.*, 2015). Estos resultados se condicen con los anteriores, ya que los

cercanos a 1, según Sellers, Corbelle, Buján y Miranda (2015), presentan mayor tendencia a crecientes o concentración de altos volúmenes de escorrentía, ya que la información resultante se relaciona con la fuerza y ondas de crecidas (Camino *et ál.*, 2018). Del mismo, el resultado de 6,46 en el índice de alargamiento demuestra que es una cuenca mucho más larga que ancha, indicando que el sistema tiene la capacidad para absorber grandes montos pluviométricos sin generar grandes crecidas, lo cual es de gran importancia para predecir la dinámica del movimiento del agua en los drenajes y su potencia erosiva (Salas Aguilar *et ál.*, 2011).

El índice asimétrico obtuvo un valor de 1,35 indicando una distribución simétrica entre las vertientes izquierda y derecha, por lo tanto, ambas vertientes producen volúmenes de escorrentía similares (Reyes Trujillo, Barroso & Caravajal Escobar, 2010) y por lo tanto existe una homogeneidad en la distribución del drenaje (Cruz Romero *et ál.*, 2015).

La aplicación de las diferentes fórmulas para la obtención de los parámetros relativos a la forma muestra el desarrollo de una cuenca muy alargada con una simetría alta entre las vertientes izquierda y derecha. Esta forma influye de manera directa en la eficiencia que esta presenta a la hora de evacuar las aguas de exceso ya que en cuencas alargadas los tiempos de recorrido del agua hacia la desembocadura son mayores, haciendo que su respuesta hidrológica sea más difusa y los tiempos de concentración altos, contribuyendo a que los picos de crecidas sean menos súbitos en caso de precipitaciones intensas (Campo *et ál.*, 2012; Gaspari, *et ál.*, 2012; Méndez *et ál.*, 2015). Estudios realizados en cuencas alargadas por Camino *et ál.*, (2018) en el sur de la provincia de Buenos Aires, y Aumassanne *et ál.*, (2018) en la cuenca alta del río Colorado muestran una tendencia similar.

Los parámetros relativos de relieve son de gran importancia puesto que el relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma. Influye sobre el comportamiento hidrológico, y sus consiguientes efectos sobre la erosión y la sedimentación, y sobre la magnitud y el tiempo de formación de las crecientes (González de Matauco, 2004; Reyes Trujillo, Barroso & Caravajal Escobar, 2010; Camino *et ál.*, 2018). La cuenca del río Santa Lucía cuenta con un relieve netamente plano y una pendiente media de 0,23%, lo que indica una velocidad de escorrentía muy baja con muy poca potencia erosiva.

La Curva hipsométrica (Strahler, 1952), es un modelo que permite conocer la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo, a partir de la relación entre la altura y el área de la cuenca (Racca, 2007). Refleja con precisión el comportamiento global de la altitud de la cuenca y la dinámica del ciclo de erosión. A partir de la simple observación de las formas de la misma, podemos inferir el grado de madurez de la cuenca o si existe algún control litológico que esté influyendo en el sistema hidrológico (Salas Aguilar *et ál.*, 2011) (Figura 2). La curva hipsométrica de la cuenca muestra un relieve de tipo A, lo que quiere decir que estamos ante una cuenca poco desarrollada con alto potencial erosivo.

Las variaciones de altitud y su elevación media son importantes para el estudio de la temperatura y precipitación dentro de la cuenca (Llamas, 1993). Muchas cuencas presentan grandes diferencias de elevación entre la cabecera y la desembocadura, teniendo variaciones ecosistémicas fuertes que influyen de manera importante en los procesos erosivos y de transporte (Cruz Romero *et ál.*, 2015, Gutierrez *et ál.*, 2019). Sin embargo, la elevación media estimada para el río Santa Lucía muestra que el régimen de las precipitaciones y de las temperaturas no presenta variaciones a lo largo de la cuenca.

El perfil longitudinal del cauce principal representa las diferentes elevaciones del fondo del arroyo desde el nacimiento hasta la desembocadura del río, evidenciando las particularidades del relieve de la cuenca a la que pertenece (Sellers *et ál.*, 2015). En su forma pueden quedar registrados los efectos de la deformación de la corteza, cambios en el clima o procesos propios de la evolución del drenaje, como pueden ser capturas fluviales (Jiménez-Cantizano *et ál.*, 2017). El perfil longitudinal muestra una forma convexa con poca pendiente en sus nacientes donde desarrollan gran cantidad de esteros. Luego a medida se acerca a la desembocadura, la pendiente va aumentando y el curso se va encauzando, elevando la velocidad y la energía de la escorrentía.

El coeficiente de masividad ( $K_m$ ) permite diferenciar cuencas de igual altura media, pero con relieve diferente (Reyes Trujillo, Barroso & Caravajal Escobar, 2010). Toma valores altos en cuencas pequeñas y montañosas, y valores bajos para cuencas extensas y con pendientes bajas. Por otra parte, el coeficiente orográfico ( $C_o$ ) combina por un lado la altura, que influye en la energía potencial del agua, y el área por otro, cuya inclinación



ejerce acción sobre la escorrentía directa por efecto de las precipitaciones (Quintero, 2003). El valor del coeficiente de masividad (0,0091), indica que se trata de una cuenca extensa y con pendientes muy bajas, lo que se condice con el reducido valor de coeficiente orográfico (0,61), es decir que el relieve es poco accidentado.

Teniendo en cuenta lo expresado, podemos decir que nos encontramos ante una cuenca poco desarrollada en cuanto a su relieve y con un potencial erosivo alto, lo que se ve en la forma de la curva hipsométrica y el perfil longitudinal del cauce principal. Sin embargo, las pendientes muy suaves, no favorecen estos procesos erosivos ya que hacen que la velocidad de escorrentía sea muy baja al igual que la capacidad de transporte (Camino *et ál.*, 2018). Esto además se refleja en los bajos valores de los Coeficientes de Masividad y Orográfico que revelan que se trata de una cuenca de llanura con relieve muy plano, lo que se traduce en bajos niveles de degradación.

Las corrientes interconectadas forman patrones de drenaje que pueden variar mucho de un terreno a otro, fundamentalmente en respuesta a los tipos de rocas sobre los cuales se desarrolla la corriente o al modelo estructural de fallas y pliegues (Tarbuck & Lutgens, 2005). Según la clasificación propuesta por estos mismos autores, se define la red de drenaje del Río Santa Lucía como rectangular, con un cauce principal bien marcado y recto, y con tributarios formando ángulos rectos (Mapa 4).

La pendiente del cauce principal es un factor directamente relacionado con la velocidad del flujo que discurre por el canal principal, incidiendo en la capacidad de transporte de sedimentos (Farfán *et ál.*, 2010). La pendiente del cauce principal muestra un valor de 0,01%, denotando que el canal principal se halla en un área evidentemente plana, lo que se traduce una velocidad baja de la escorrentía.

El número de orden indica el grado de estructura de la red de drenaje. En general, mientras mayor sea el grado de corrientes, mayor será la red y su estructura más definida. Asimismo, un mayor orden indica en general la presencia de controles estructurales del relieve y mayor posibilidad de erosión o bien, que la cuenca podría ser más antigua (en determinados tipos de relieve) (Fuentes Junco, 2004). El número de orden 5 del río Santa Lucía indica un grado de ramificación alto de la red de drenaje,

revelando controles estructurales y alta probabilidad de erosión (Fuentes Junco, 2004; Cruz Romero *et ál.*, 2015).

La relación de bifurcación permite comprender algunas variaciones geoecológicas que se producen en el territorio de la cuenca, fundamentalmente cambios importantes en el sustrato rocoso y de los grupos de suelo dominantes (Horton, 1945). Por otro lado, la relación de longitud establece que la longitud media de los cauces de órdenes creciente forma una progresión geométrica cuyo primer término es la longitud media de los cauces de orden menor. Altas relaciones de longitud ( $R_1 > 3$ ) revelan una concentración paulatina de caudales a lo largo del colector principal, mientras que bajas relaciones ( $R_1 < 3$ ) muestran mayor energía concentrada bruscamente (Campo *et ál.*, 2012).

El valor relativamente alto de relación de bifurcación (4,3) se debe a que la cuenca es muy alargada en dirección al curso de mayor orden, y no a un relieve montañoso. La red de drenaje adquiere su número de orden máximo cerca de la naciente, y luego se mantiene hasta la desembocadura, haciendo que la concentración de la escorrentía sea rápida, pero con picos de crecida poco importantes (Reyes Trujillo, Barroso & Caravajal Escobar, 2010). La relación de longitud (13,85) revela un muy fuerte incremento en la longitud promedio de los cauces de un orden a otro. Esto demuestra que la cuenca tiene una capacidad muy alta de almacenamiento de caudales en el colector principal (Campo *et ál.*, 2012). Los cambios bruscos de longitud indican un curso principal y cuenca muy alargada, por lo tanto, los caudales pico serán atenuados y aumentarán los tiempos de concentración.

La densidad de drenaje indica el grado de desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca y su eficiencia (Horton 1945). Cuanto mayor sea el valor de la densidad de drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca ante una tormenta, evacuando el agua más rápidamente (Reyes Trujillo, Barroso & Caravajal Escobar, 2010; Gaspari *et ál.*, 2012). Relacionado con esto, la constante de estabilidad representa la superficie de la cuenca necesaria para mantener condiciones hidrológicas estables en una unidad de longitud de canal (Schum, 1956). Regiones con suelos muy permeables o con densa cobertura vegetal tienen valores altos de constante de estabilidad y bajos de densidad de drenaje, mientras que cuencas con baja capacidad de infiltración y escasa cobertura vegetal tendrá baja constante de estabilidad y elevada densidad de drenaje (Torrero, 2017).

El índice de torrencialidad mide el grado de torrente que se puede producir en una cuenca ante eventos de precipitación por medio de la relación entre el número de cauces de orden 1 con respecto al área total (Camino *et ál.*, 2018, p. 9). A mayor magnitud, mayores los flujos turbulentos de los canales y, en consecuencia, mayor erosión. El valor bajo de densidad de drenaje indica que es una cuenca pobremente drenada. Las aguas precipitadas tendrán más dificultades a la hora de ser evacuadas de la cuenca, disminuyendo los caudales picos del hidrograma (Cruz Romero *et ál.*, 2015, p. 32). El resultado alto obtenido para la constante de estabilidad estaría dado principalmente por la elevada capacidad de infiltración de los suelos y una cobertura vegetal densa (Reyes Trujillo, Barroso y Caravajal Escobar, 2010, p. 73). El bajo índice de torrencialidad de la cuenca indica baja susceptibilidad a la erosión y torrencialidad, que se traduce en altos tiempos de concentración (Camino *et ál.*, 2018, p. 9).

El tiempo de concentración se encuentra influenciado por las características de forma, relieve y red de drenaje de la cuenca (Vélez Upegui y Botero Gutiérrez, 2011; Gaspari, *et ál.*, 2012; Camino *et ál.*, 2018; Aumassanne *et ál.*, 2018; Mariscal Romero *et ál.*, 2019). El tiempo de concentración de ocho días calculado para la cuenca en estudio va en consonancia con los demás parámetros morfométricos y morfológicos. La forma alargada de la cuenca, la longitud del cauce principal, las pendientes muy escasas y los problemas para el drenaje se traducen en tiempos de concentración extremadamente altos (Gaspari, *et ál.*, 2012; Camino *et ál.*, 2018; Aumassanne *et ál.*, 2018; y Mariscal Romero *et ál.*, 2019). Esto también se debe a que la cuenca se encuentra en un área de llanura con nacientes en esteros que retardan mucho el desagüe y amortiguan los picos de crecidas (Iriondo, 2011).

## Conclusiones

Los ríos que se extienden sobre las llanuras del litoral argentino presentan una serie de elementos hidrográficos característicos producto principalmente de las casi nulas pendientes que dificultan el drenado de las aguas pluviométricas. En general nacen en zonas de bañados o en esteros donde las divisorias son muy difíciles de identificar. También se van encauzando hacia la desembocadura con el aumento de la pendiente. Este tipo de comportamiento hidrológico recurrente ha sido descrito por varios

autores para cuencas autóctonas en las llanuras del NEA, los cuales se corresponden con los resultados obtenidos de los parámetros morfométricos calculados para la cuenca del río Santa Lucía.

En líneas generales es posible concluir que el análisis morfométrico permite comprender el comportamiento hidrológico de una cuenca y su respuesta ante posibles crecidas. Atendiendo los resultados obtenidos entendemos que estamos ante una cuenca en una etapa de juventud con un potencial erosivo muy grande, pero con una pendiente sumamente escasa que no permite que el agua tenga la suficiente energía como para erosionar los suelos de manera rápida. También se desprende del análisis que las características morfométricas tienden a atenuar los efectos negativos y fuerza de las crecidas. Sin embargo, la baja eficiencia para drenar las aguas precipitadas hace que las mismas se mantienen por largos períodos de tiempo, lo que se convierte en una amenaza para las poblaciones en caso de una crecida extraordinaria.

La utilización de modelos digitales de elevación en un entorno de Sistemas de Información Geográficas permitió realizar un trabajo detallado que procesa gran cantidad de datos de forma rápida y precisa. Su aplicación puede ayudar a tomar decisiones sobre el manejo de grandes extensiones territoriales donde las cuencas forman parte importante de la dinámica natural y antropogénica. La información aportada puede servir de base para estudios hidrológicos e hidráulicos posteriores orientados a un manejo integral de cuencas. En ese sentido, es importante seguir trabajando en este tipo de temáticas, promoviendo el desarrollo de metodologías necesarias para establecer descripciones y diagnósticos generales de las cuencas hidrográficas, ya que en ellas se asientan las poblaciones y los recursos naturales.

## Referencias

- Aumassane C. M., Gaspari, F. J., Bege, M. E., Sartor, P. D., Oricchio, P. & Di Bella, C. (2018). Morfometría de la cuenca alta del río Colorado, Argentina. *Boletín geográfico* 40 (1): 13-29. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.68-1.1>
- Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., López de Armentia, A., Del Río J. L., & De Marco, S. G... (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía* 27 (1): 73-97. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=383257036005>

- Campo A., Aldalur N., & Fernández S. (2012). Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina. *Investigaciones geográficas* (77): 7-17. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112012000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112012000100002&script=sci_arttext)
- Consortium for Spatial Information (2021). SRTM 90m DEM Digital Elevation Database, Update - Version 4.. <http://srtm.csi.cgiar.org/>
- Contreras, F., y Contreras, S. (2017). La Incidencia de la Pendiente en la Distribución de las Morfologías de las Lagunas sobre Lomadas Arenosas (Corrientes, Argentina). *Anuário do Instituto de Geociencias – UFRJ*, 40 (1), 15-25. Doi: [10.11137/2017\\_1\\_15\\_25](https://doi.org/10.11137/2017_1_15_25)
- Contreras, F. I., & Contreras, S. A. (2017). La incidencia de la pendiente en la distribución de las morfologías de las lagunas sobre lomadas arenosas (Corrientes, Argentina). *Anuário do Instituto de Geociencias – UFRJ*, 40(1), 15-25. [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_1\\_15\\_25](http://dx.doi.org/10.11137/2017_1_15_25)
- Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez, V., Alfonso, M., Carrillo González, F. M., & Téllez López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia* 23 (64): 26-34. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67441039004>
- Farfán F., Urbina L., Ferreira S., y Brandan M. (2010). Caracterización y red de drenaje de la subcuenca del río Tin-Tin, PN Los Cardones, Salta. *Revista Científica de Educación* 5 (16):7-21. <https://fdocumento.com/document/caracterizacion-y-red-de-drenaje-de-la-subcuenca-del-farfan-f-l-urbina.html>
- Fuentes-Junco, J. (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro*. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G., Delgado, M. I. & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGM DOMUS* (4)143-158.
- González de Matauco, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles* (38) 311–329. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1079160>

- Gutiérrez, R. D. G., López, J. L. O., Villa, Ó. R. M., y García, Ó. A. B. (2019). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (24), 9.
- Gravelius, H. (1914). *Grundrifi der gesamten Gewisserkunde. Compendium of Hydrology*. Goschen.
- Horton, R. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions* 13 (1): 350-361.
- Horton, R. (1945). Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56 (3): 275-370.
- Instituto Geográfico Nacional. (2021). Información Geoespacial. Capas SIG. <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>
- Iriondo, M. (2010). *Geología del Cuaternario en Argentina*. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino.
- Iriondo, Martín H. (2011). Aguas subterráneas y superficiales de la provincia de Santa Fe. Santa Fe: Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino.
- Iriondo, M. (2011). Aguas subterráneas y superficiales de la provincia de Santa Fe. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino.
- Jiménez-Cantizano F., Loreto A., Soria-Jáuregui A., y Pastor-Martín, C. (2017). Cálculo del perfil teórico de equilibrio de un río en función del índice de gradiente. *Geogaceta*, 62: 51-54. [https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/geo62/geo62\\_13.pdf](https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/geo62/geo62_13.pdf)
- Kirpich, P. (1940). Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. *Civil Engineering* 10 (6) 362-.
- Llamas J. (1993). *Hidrología general: principios y aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- Mariscal Romero J., Chávez-González T., y Arciniega-Flores J. (2019). Caracterización hidrográfica de las cuencas de la Bahía de Navidad, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27 (77) 38-46. <https://www.redalyc.org/journal/674/67459697005/movil/>

- Méndez W., Pacheco H., Cartaya S., Marcano, A., León C. (2015). Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río San Julián (estado Vargas, Venezuela): aportes para la evaluación de la amenaza hidrogeomorfológica. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 24 (2) 133-156. DOI: [10.15446/rcdg.v24n2.50213](https://doi.org/10.15446/rcdg.v24n2.50213)
- Moretto, B., Gentili, J., y Campo, A. (2019). Análisis morfométrico multiescalar en la cuenca alta del arroyo Sauce Corto (Buenos Aires, Argentina). *Revista Huellas*, 23 (2) 149-167. DOI: <http://dx.doi.org/10.19137/huellas-2019-2316>
- Orfeo, O., & Neiff, J. J. (2008). Esteros del Iberá. Un enorme laboratorio a cielo abierto. Tomo I. Sitios de Interés Geológico de la República Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino.
- Quintero, T. (2003). Plan Rector de Producción y Conservación (PRPC) para la Microcuenca “Toledo Yerbabuena”, municipio de Talpa de Allende Jalisco. Programa Editorial UNIVALLE
- Racca J. (2007). Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 77 (1) 31-38. [https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/970/BIFG\\_77\\_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/970/BIFG_77_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Reyes-Trujillo, A., Barroso, F., y Carvajal-Escobar, Y. (2010). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Programa Editorial Universidad del Valle.
- Salas-Aguilar, V., Pinedo-Álvarez, C., Viramontes-Olivas, O., Báez-González, A. y Quintana-Martínez, R. (2011). Morfometría de la cuenca del río Nazas Rodeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial. *Tecnociencia Chichuahua*. 5 (1) 34-42. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/705>
- Salas-Salinas M. y Jiménez-Espinosa M. (2004). *Inundaciones*. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).
- Santa Cruz, J. (1972) Estudio sedimentológico de la Formación Puelches en la provincia de Buenos Aires. *R.A.G.A.*, 27: 5-63.
- Santa Cruz, J., Orfeo O. y Gulisano F. (2019) Geología de la Provincia de Corrientes-Argentina y cuencas geotectónica relacionadas. *Prensa del ICAA*, 273

- Schumm, S. A. (1956). Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Anboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, 597-646.
- Sellers C., Corbelle E., Buján S., y Miranda D. (2015). Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LIDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador. *IERSE* 30: 131 – 180. <http://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/87>
- Strahler A. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topograph. *Bulletin of the Geological Society of America*. 63: 1117-1142.
- Tarbuck, E. y Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Editorial Pearson Educación
- Torrero, M. (2017). Hidrografía de la cuenca del Río Tecka–Gualjaina, Chubut, Argentina. *Revista Geográfica de Valparaíso*. (54) 1-12. <http://www.revistageografica.cl/index.php/revgeo/article/view/24>
- Vélez Upegui, J. J. & Botero Gutierrez, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Dyna* 78(165): 58-71. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49622372006.pdf>
- Viramontes Olivas, Ó. A., Escoboza García, L. F., Álvarez, C. P., Álvarez, A. P., Reyes Gómez, V. M. & Pérez Márquez, A. (2007). Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia Chihuahua*, 1 (3), 21-31. Tus ped que vendae lam quam que re, quia voluptam et renihil mo des cuptatur atque voluptatiis volupta dellam, sinvent peratis parci etur renima ini beatet eium fugit occum quis re experatet, simusam, situs accus quibus pellaborpos quidem int vellat.



## Mapeamento geomorfológico dos municípios de Guaraciaba do Norte e Carnaubal, no estado de Ceará, Brasil

Geomorphological mapping of the municipalities of Guaraciaba do Norte and Carnaubal, in the state of Ceará, Brazil

Mapeo geomorfológico de los municipios de Guaraciaba do Norte y Carnaubal, en el estado de Ceará, Brasil

*Nayane Barros Sousa Fernandes*<sup>1</sup>



*Universidade Estadual Vale do Acaraú/UVA, Brasil*

*José Falcão Sobrinho*<sup>2</sup>

*Universidade Estadual Vale do Acaraú/UVA, Brasil*

### Resumo

A presente pesquisa tem como análise de estudo o relevo dos municípios de Guaraciaba do Norte e Carnaubal, ambos situados no planalto sedimentar da Ibiapaba, na porção noroeste do estado do Ceará. Isto posto, objetivou-se mapear os compartimentos do relevo, indicando os modelados e índice de dissecação dos mesmos utilizando escala de 1:300.000, com o intuito de evidenciar o atual estado do relevo da área. Nesta perspectiva, apresenta aspectos da cartografia geomorfológica, ressaltando sua importância para os estudos das geoformas e para o planejamento ambiental. Adotamos a proposta teórica e metodológica de mapeamento geomorfológico de Ross (1990) a partir da análise taxonômica do relevo inspirada nas concepções de morfoestrutura e morfoescultura. Foram mapeadas quatro subunidades morfoesculturais com padrões de aplanamento e denudação as quais apresentaram índice de dissecação do relevo variando entre fraca a moderada, ou seja, áreas de certa

- 1 Geógrafa. Pesquisadora do Grupo de Pesquisa e Extensão do Semiárido, cadastrado no CNPq. Email: [nayanebousa@gmail.com](mailto:nayanebousa@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0003-4108-9411>
- 2 Pós-doutorado em Geografia. Professor Associado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Vale do Acaraú/UVA, Ceará, Brasil. Email: [falcao.sobral@gmail.com](mailto:falcao.sobral@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-7399-6502>

forma em equilíbrio mesmo com cotas altimétricas e declividade com elevados valores. Conclui-se a diversidade de formas de relevo as quais refletem no cenário das paisagens.

**Palavras-chave:** Planalto Sedimentar, Relevo, Geografia Continental.

### Abstract

This study analyzes the importance of the municipalities of Guaraciaba do Norte and Carnaubal, both located in the sedimentary plateau of Ibiapaba, in the northwest portion of the state of Ceará. That being said, the objective was to map the relief compartments, indicating the models and the dissection index of them using a scale of 1:300,000, in order to highlight the current state of the relief of the area. In this perspective, it presents aspects of geomorphological cartography, emphasizing its importance for geofom studies and for environmental planning. We adopted the theoretical and methodological proposal of Ross' geomorphological mapping (1990) based on the taxonomic analysis of the relief inspired by the conceptions of morphometry and morphological sculpture. Four morphological and sculptural subunits were mapped with flattening and denudation patterns, which presented dissection index of the relief varying between weak and moderate, that is, areas in some way in equilibrium even with elevation and slope with high values. It is concluded the diversity of forms of relief which reflect in the scenery of the landscapes.

**Keywords:** Sedimentary Plateau, Relief, Continental Geography.

### Resumen

La presente investigación tiene como análisis de estudio el relieve de los municipios de Guaraciaba do Norte y Carnaubal, ambos situados en la meseta sedimentaria de Ibiapaba, en la porción noroeste del estado de Ceará. Esto puesto, se objetivó, mapear los compartimentos del relieve, indicando los modelados e índice de disección de los mismos utilizando escala de 1:300.000, con el fin de evidenciar el actual estado del relieve del área. En esta perspectiva, presenta aspectos de la cartografía geomorfológica, resaltando su importancia para los estudios de las geoformas y para la planificación ambiental. Adoptamos la propuesta teórica y metodológica de mapeo geomorfológico de Ross (1990) a partir del análisis taxonómico del relieve inspirado en las concepciones de morfoestructura y morfoescultura. Fueron mapeadas cuatro subunidades morfoesculturales con patrones de aplanamiento y denudación las cuales presentaron índice de disección del relieve variando entre débil a moderada, o sea, áreas de cierta forma en equilibrio incluso con cotas altimétricas y declividad con elevados valores. Se concluye la diversidad de formas de relieve las cuales reflejan en el escenario de los paisajes.

**Palabras clave:** Meseta Sedimentaria, Relieve, Geografía Continental.

## Introdução

Baseado em uma leitura integrada entre a organização taxonômica dos fatos geomorfológicos indicada por Tricart (1965), dos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura (Gerasimov, 1963); (MercerjaKov, 1968), e das experiências adquiridas durante a execução do Projeto Radambrasil 1992, firma uma proposta metodológica de mapeamento geomorfológico

a partir do estabelecimento de seis ordens de grandeza têmpero-espaciais, dispostas em seis táxons distintos, proposta esta que promoveu uma propagação na cartografia do relevo desempenhada em território nacional.

O mapeamento geomorfológico se tornou uma ferramenta indispensável para a compreensão do modelado terrestre, tanto na interpretação da paisagem, como na visualização dos compartimentos do relevo e até mesmo no processo de identificação de áreas de estocagem de sedimentos. Esta ferramenta é usada para diversos fins como, por exemplo, na localização e distribuição espacial dos diversos compartimentos do relevo, na investigação do processo de desertificação, entre outros.

Sob uma perspectiva técnica, a escolha do tema do trabalho é relevante por possibilitar contribuições para um tema não muito abordado através de uma abordagem geográfica. A escolha da área de estudo também pode ser destacada, visto que não há estudos similares para esse recorte geográfico.

Neste contexto, o presente estudo objetivou realizar um mapeamento geomorfológico voltado para a caracterização fisiográfica dos municípios de Guaraciaba do Norte e Carnaubal, Ibiapaba-CE. Nesse sentido almejou contribuir para o desenvolvimento metodológico da cartografia geomorfológica, bem como para o planejamento do uso da Terra e gestão do patrimônio ambiental. Para tal, foi realizado um mapeamento geomorfológico em três níveis taxonômicos do relevo, no qual abrange a morfogênese e a morfodinâmica da Ibiapaba, como também uma caracterização fisiográfica, que permitiu mapear os compartimentos do relevo e indicar os modelados e índice de dissecação presente na área na escala de 1: 300.000 conforme a proposta de Ross (1990, 1992, 1994, 1997, 2006 e 2009).

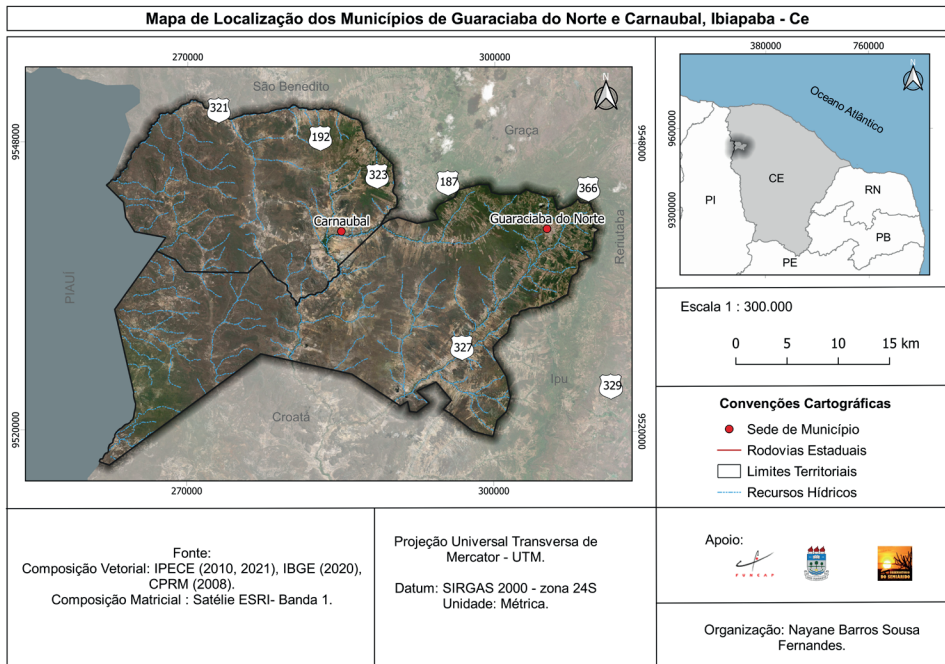
A delimitação da área de estudo se deu a partir de uma análise estrutural e por se tratar de um amplo território com modelado complexo, foi necessária uma seleção de área e conseqüentemente, realizado um recorte considerando limites municipais, especificamente na porção setentrional da Ibiapaba.

A área em estudo encontra-se no nordeste brasileiro, especificamente a região da Ibiapaba é considerada um ambiente de exceção se comparada com a depressão sertaneja. Sua litologia é de origem sedimentar, a área em questão faz parte do Grupo Serra Grande, sua geomorfologia se destaca por apresentar um modelo expressivo com elevadas altitudes entre 500

a acima de 900 metros, apresentando em boa parte solos bem drenados, com fertilidade natural o que proporciona o desenvolvimento de atividades agrícolas na região. Mesmo sendo do clima semiárido apresenta uma pluviometria média anual superior a 1200mm/a, com chuvas regulares e temperaturas médias anuais em torno de 22° a 24° C.

Essa área, também conhecida como “Serra Grande”, “Planalto da Ibiapaba” e/ou “Serra da Ibiapaba”, está situada a noroeste do estado do Ceará, na divisa com o estado do Piauí. Fazem parte da área selecionada os municípios de Carnaubal (Lat: 4° 9' 4" S/ Long: 40° 56' 43" O) e Guaraciaba do Norte (Lat: 4° 10' 1" S/ Long: 40° 44' 60" O), que correspondem a uma área total de aproximadamente 987,826 km<sup>2</sup>, segundo o IBGE (2020) (Figura 1).

**Figura 1.** Mapa de Localização dos municípios de Guaraciaba do Norte e Carnaubal



Fonte: Os autores (2021).

## Mapeamento geomorfológico

A análise geomorfológica, quando considera as influências do substrato geológico na formação e configuração do relevo, pode ser representada cartograficamente por unidades morfoestruturais. Já quando considera a natureza das rochas em relação à ação intempérica, resultam as unidades morfoesculturais (Ross, 1990, p. 17)

A cartografia geomorfológica é considerada como um instrumento importante na representação do relevo da superfície terrestre, e por muitos autores é defendida como um dos principais métodos para estudo. A pesquisa em geomorfologia também pode ser usada no planejamento ambiental, coletando informações sobre as potencialidades, vulnerabilidades, restrições e riscos de ocupação e intervenções possíveis na paisagem.

Ross (1990, p.19) aponta a padronização ou uniformização da representação cartográfica como a mais problemática. Segundo ele, ao contrário de outros mapas temáticos, ainda não se conseguiu chegar a um modelo de representação que satisfaça os diferentes interesses dos estudos geomorfológicos.

Para Kohler (2002, p.22), a noção de escala é fundamental na cartografia geomorfológica, determinando a adoção de diferentes estratégias e técnicas de abordagem. Ross (1990, p. 20), da mesma forma, também destaca a importância da escala de tratamento ou de representação do relevo no grau de detalhamento ou de generalização da informação. Por exemplo, as cartas de grande escala permitem mapear formas de relevo em nível local, bem como processos atuais, enquanto os mapas de pequena escala permitem mapear, principalmente, unidades morfoestruturais e unidades morfoesculturais.

O mapeamento geomorfológico é um instrumento de grande significância, no que cerne a espacialização dos fenômenos geomorfológicos, propiciando a representação espacial da gênese das formas de relevo, além de suas estruturas e processos, levando em conta as suas peculiaridades (Rocha *et al*, 2016, p.11).

Falcão Sobrinho (2006, p.67) afirma que o mapa geomorfológico corresponde a uma análise de estudo especializada. É um documento que contém grandes números de informações necessárias ao planejamento ambiental, já que trata além de formas, seus materiais e processos, dando a compreensão de dinâmica do relevo ou tendências evolutivas.

A utilização de técnicas de geoprocessamento na geomorfologia demonstra uma alternativa viável e adequada para mapeamento e caracterização de áreas de interesse para preservação, que contribuem para decisões sobre conservação das condições naturais (Dourado *et al*, 2021, p.30).

Apesar de pesquisas e modelos de representação que visam facilitar o entendimento, a cartografia geomorfológica tem se mostrado de forma complexa e de difícil execução, haja vista a quantidade de informações que esta deve conter.

Os mapas geomorfológicos, ao contrário dos demais mapas temáticos, apresentam um grau de complexidade maior. Essa complexidade, decorre da dificuldade de se apreender e representar uma realidade relativamente abstrata – as formas do relevo-, sua dinâmica e gênese (Ross, 1990, p. 51).

Frente a tais direcionamentos, a presente pesquisa surge da aspiração de um modelo que seja capaz de elucidar, as principais indagações a respeito do aspecto geomorfológico da área de estudo.

### **Materiais e métodos**

Considerando a diversidade de informações de caráter heterogêneo, no que condiz a variação de escala em outras pesquisas, grande parte da base cartográfica foi ajustada para a escala de trabalho – 1/ 300.000. Todas as informações adquiridas ao longo da pesquisa foram analisadas na escala proposta com o intuito de tornar as informações do banco de dados alfanuméricos o mais próximo possível à realidade do relevo.

### **Materiais**

Considerando o aspecto geomorfológico de maior expressividade da região que é o de elevadas altitudes e variação dos tipos de modelados, foi delimitado o polígono da área por meio de técnica de delimitação automática, tornando-se necessário recortar um mosaico com imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), adquiridas no site Earth Explore (USGS) do satélite LANDSAT 8. Posteriormente essas imagens passaram por uma classificação com composição colorida das bandas 7, 6 e 4. Utilizou-se também as camadas vetoriais do IBGE e IPECE para fazer a delimitação municipal e estadual, como também setorização dos municípios.

Alguns dados cartográficos foram coletados de alguns órgãos públicos do IPECE (2010), IBGE (2009), CPRM (2003), EMBRAPA (2009) e FUNCEME (2009).

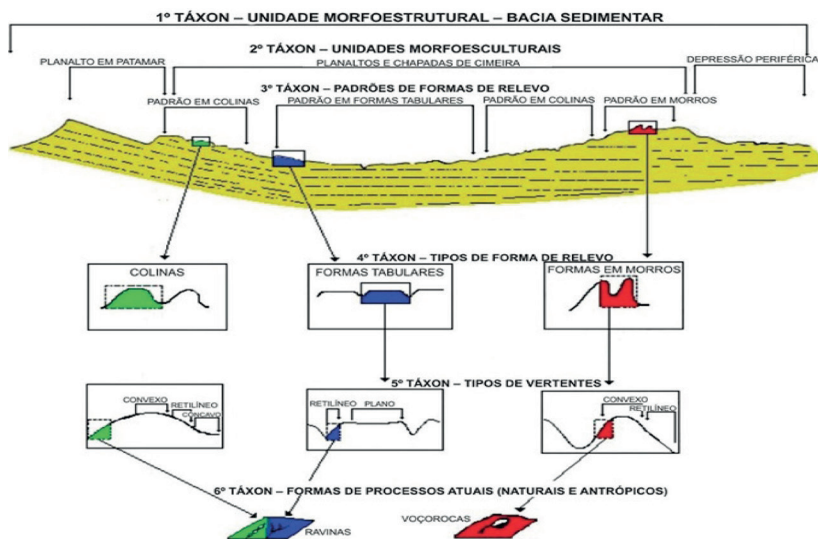
Não apenas dados cartográficos contribuíram para esta pesquisa, mas também manuscritos encontrados em diversas bibliotecas, como a Carta Topográfica Matricial: elaborada no BDGEx, Folha SB-24-V-A-III, na escala de 1: 100 000, BDGEx, (1968), Mapas Geológicos do estado do Ceará do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, de escala de 1: 500 000. Visitas de campo evidenciaram o estado atual da área e permitiu maior detalhamento.

Material cartográfico, dados georreferenciados, sistema de informações geográficas (SIG) e software de geoprocessamento versão Qgis 3.10, auxiliaram na produção de mapas da pesquisa.

## Métodos

Em Ross (1990, p.20), encontra-se o método proposto, este categoriza o relevo em seis táxons distintos no que se refere ao conceito de representação e categorização do relevo, considerando os parâmetros métricos, genéticos e temporais das formas do relevo (Figura 2).

Figura 2. Unidade Taxonômica de classificação do Relevo



Fonte: Ross (1992, p.22).

Segundo o autor, a morfoestrutura refere-se às zonas de maiores extensões superficiais, onde podem ser identificados, por exemplo, áreas de Escudos Antigos ou mesmo Bacias Sedimentares. Nestas grandes áreas estão contidos os aspectos morfoesculturais, estes por sua vez são compartimentos gerados pela ação climática em escala geológica.

Já o terceiro táxon faz menção às pequenas manchas de formas fisio-nomicamente semelhantes, sendo qualificados pela rugosidade topográfica ou pela intensidade de dissecação do relevo. Podendo esta ser diferenciadas segundo sua natureza genética, sendo formas agradacionais, ou de acumulação, ou formas denudacionais, ou de erosão.

O quarto Táxon diz respeito a cada uma das formas de relevo contidas nas Unidades Morfológicas ou de padrões de formas semelhantes que, observadas em escala de detalhe, demonstram aspectos fisionômicos próprios a cada forma (Ross, 1990, p.17).

O quinto táxon refere-se á representação dos tipos de vertentes que se encontram nas formas de relevo, As vertentes foram classificadas como côncavo, convexos, retilíneos, aguçados, planos e abruptos.

Por fim, o sexto táxon faz referência às formas de relevo geradas ao longo da vertente por processos geomórficos atuais, podendo o homem está incluso em algum momento neste processo. Neste podemos citar como exemplos as ravinas, voçorocas, assoreamentos, dentre outros.

A concepção metodológica de Ross (1992, p.20) considera seis táxons distintos. Entretanto, foi aplicada de forma parcial neste mapeamento, visto que não é possível representar individualmente os táxons 4º, 5º e 6º na escala 1: 300.000 propostas para o presente estudo.

- 1º Táxon: Unidades morfoestruturais, representando pela Bacia Sedimentar do Parnaíba.
- 2º Táxon: Unidades Morfoesculturais representado pelo Planalto Sedimentar da Ibiapaba e
- 3º Táxon: representado por Padrões de formas semelhantes fornecendo informações do modelado dominante como dissecação, topos, gradiente altimétrico e declividade.



## Resultados e discussão

### 1º Táxon: Bacia Sedimentar do Parnaíba

O Planalto da Ibiapaba representa a borda oriental da Bacia do Parnaíba, uma das maiores bacias sedimentares brasileiras. Trata-se de uma sinéclise paleozóica com geometria elíptica e eixo maior com direção NE-SW.

A bacia abrange praticamente toda a área dos estados do Piauí e do Maranhão, com limites atingindo o nordeste do Pará, centro-norte de Tocantins e oeste do Ceará, compreendendo uma superfície de aproximadamente 660.000 Km<sup>2</sup> (Cacama *et al.*, 2015, p.6).

A Bacia do Parnaíba representa uma bacia cratônica (sag basin), formada na sequência da Orogênese Brasileira, de idade neoproterozoica (720–540 Ma). A orogênese brasileira, foi à última a envolver o Nordeste setentrional brasileiro, representa o mais importante de todos os eventos tectônicos na evolução geológica do Brasil (Shobbenhaus *et al.*, 1984, p.5). Foi essa orogênese que estruturou a faixa geológica que hoje caracteriza os terrenos do nordeste brasileiro.

A Bacia do Parnaíba é classificada como “Intracratônica de interior remoto, com amplos arcos regionais”. O arcabouço da bacia está associado à trama tectono-estrutural herdada do Pré – Cambriano, particularmente à estruturação da faixa de dobramentos e lineamentos estruturais formados e/ou reativados durante o Ciclo Brasileiro (Cunha, 1986, p. 107).

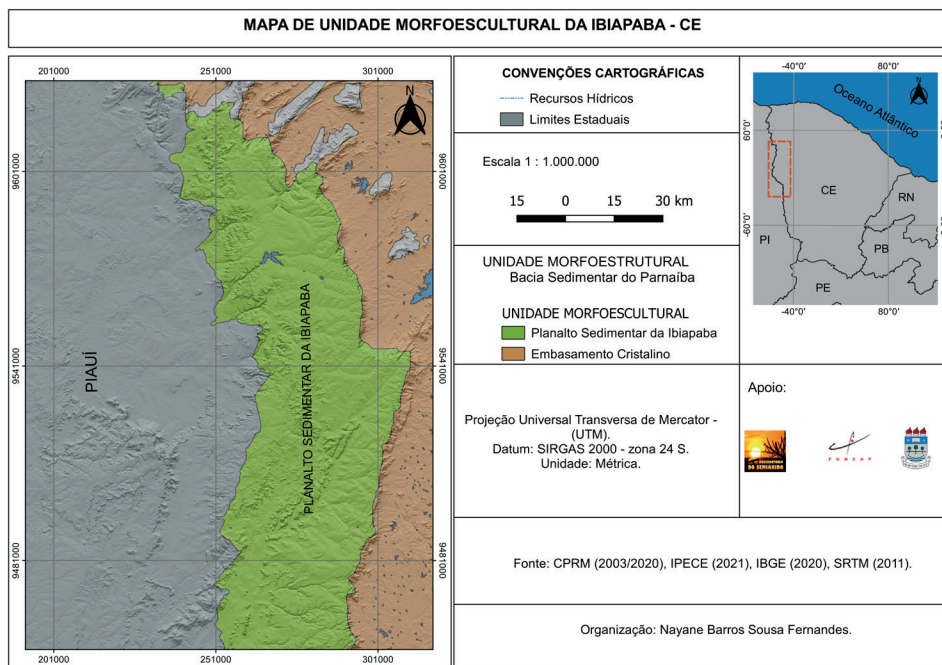
A bacia foi implantada sobre os riftes cambro-ordovicianos de Jaiaras, Jaguarapi, Cococi/Rio Jucá, São Julião e São Raimundo Nonato (Brito Neves, 1998, p.31), compreendendo as supersequências Siluriana (Grupo Serra Grande), Devoniana (Grupo Canindé) e Carbonífero – Triássica (Grupo Balsas) de Góes e Feijó (1994, p.40).

A Bacia do Parnaíba, antes denominada Bacia do Maranhão, insere-se na Província Estrutural Parnaíba (Hasui, Abreu e Villas, 1984, p.200), situa-se na região nordeste ocidental do território brasileiro, ocupando grandes áreas nos estados do Maranhão e Piauí, e pequenas faixas do leste do Pará, oeste do Ceará e norte de Tocantins.

## 2º Táxon: Planalto Sedimentar da Ibiapaba

Este táxon está diretamente associado a fatores climáticos passados e atuais da enculturação da superfície, por exemplo, o Planalto Sedimentar da Ibiapaba (Figura 3).

**Figura 3.** Mapa de Unidade Morfoescultural da Ibiapaba



Fonte: Adaptado de [CPRM \(2003\)](#).

Em relação às unidades de planaltos, [Ross \(1990\)](#) identificou quatro grandes categorias morfogenéticas, uma delas foi: Planaltos em bacias sedimentares.

Os planaltos em bacias sedimentares são quase inteiramente circundados por depressões periféricas ou marginais. Essas unidades também se caracterizam por apresentar nos contatos (planaltos – depressões) os relevos escarpados caracterizados por frentes de cuestas. ([Ross, 2009, p. 74](#)).

A partir dessa unidade surge outras subunidades, considerando o recorte da área de estudo a subunidade mais adequada para o contexto é

Planaltos e Chapadas da bacia do Parnaíba. Segundo Ross (2009, p. 100) esta categoria apresenta um modelado mais complexo.

Esta unidade é denominada como Planalto da Ibiapaba. Segundo Lima *et al* (2000, p.26) o Planalto da Ibiapaba trata-se de um relevo dissimétrico, cujo front escarpado contrasta para oeste, com um reverso de caimento topográfico suave, configurando a morfologia de cuesta.

Considerando o ponto de vista geomorfológico, anteriormente essa estrutura era classificada como uma chapada, classificação considerada errônea, pois este relevo é caracterizado como tabular, diferente do que ocorre na Ibiapaba que é um leve declínio no sentido oeste, criando feições cuestiformes sucessivas em direção ao estado do Piauí (Costa *et al.*, 2020, p.196).

Estudos mais recentes consideram o Planalto da Ibiapaba como sendo uma cuesta, que se caracteriza como sendo um relevo dissimétrico definido, a partir da erosão em camadas inclinadas de bacias sedimentares (Souza *et al.*, 1996, p. 13).

As cuestas, também denominadas escarpas homoclinais (*homoclinal rigides*), são feições bem estabelecidas na geomorfologia mundial e indicam a existência de feições formadas por vertentes íngremes de um lado (front) e vertente suavemente inclinada de outro (reverso), representando relevos onde uma escarpa modelada em rocha sedimentar resistente recobre uma camada frágil (Claudino-Sales *et al.*, 2020, p. 24).

Novas pesquisas vêm sendo desenvolvidas a respeito da geomorfologia da Ibiapaba entre esses autores se destaca Claudino Sales (2002, p.12). A qual propõe uma nova classificação, que indica a Ibiapaba como sendo um glint.

### **3º Táxon: Unidade Morfológica ou Padrões de Formas Semelhantes**

Representa as unidades morfológicas ou padrões de formas semelhantes, contidos no segundo táxon. Segundo Ross (1992, p.26) este táxon retrata um determinado aspecto fisionômico que decorre das influências dos processos erosivos mais recentes, como os processos morfoclimático atuais. São unidades que apresentam dimensões de área menores, idades mais recentes e processos erosivos que favorecem a dissecação do relevo.

Esses padrões de formas semelhantes são conjuntos de formas menores do relevo, que apresentam distinções de aparência entre si em função

da rugosidade topográfica ou índice de dissecação do relevo, bem como do formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão existente (Ross, 1992).

Segundo Ross (1992), os padrões de formas semelhantes, corresponde às unidades em manchas de menor extensão territorial e se definem por conjuntos e tipologias de formas, que guardam entre si elevado grau de semelhança, quanto ao tamanho de cada forma e o aspecto fisionômico.

Esses padrões são identificados por conjuntos de letras símbolos acompanhados de um conjunto de algarismos arábicos. Os padrões de formas podem ser de duas linhagens genéticas as chamadas formas de acumulação, representadas por planícies de diferentes gêneses (marinha, fluvial, lacustre) e as formas de denudação, esculpidas pelo desgaste erosivo, como morros, colinas, serras, formas aplanadas, entre outros.

Segundo Jatobá e Lins (2003, p.13) “Modelados são agrupamentos de formas de relevo que apresentam similitudes de definição geométrica em função de uma gênese comum e da generalização dos processos morfogenéticos atuantes”.

Através do mapeamento geomorfológico foi possível identificar três tipos de modelado na área de estudo: formas de acumulação, dissecação e aplainamento (Figura 6). Para uma compreensão desses modelados é necessária um levantamento das unidades geomorfológicas presentes e uma caracterização das mesmas.

As unidades geomorfológicas da área de estudo, considerando o IBGE (2020) são classificadas em Planalto da Ibiapaba e Patamares do Parnaíba. Para definição do 3º táxon optou-se por outra classificação aplicável a escala utilizada na pesquisa e apresentando mais riqueza de detalhes referentes às unidades geomorfológicas.

Segundo a CPRM (2020) a área apresenta quatro tipos de unidades geomorfológicas, e podemos considerá-las também como sendo sub-unidades morfoestruturais, são elas: Chapadas e Platôs, Degraus estruturais e Rebordos erosivos, Escarpas serranas e Planaltos (Figura 4).

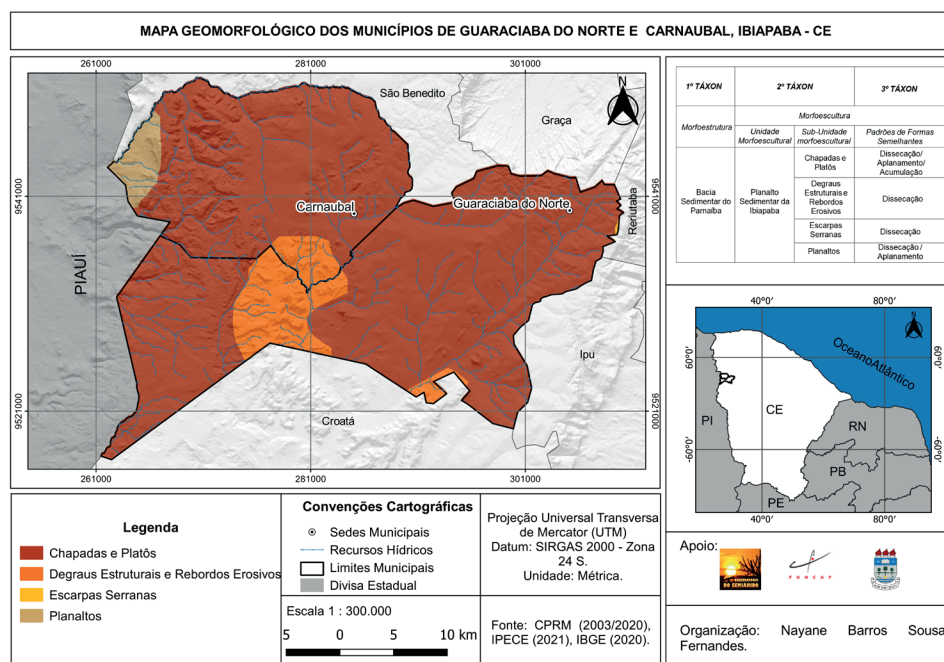
Chapadas e Platôs (R2c) caracterizam-se como um relevo de degradação em rochas sedimentares, superfícies tabulares alçadas, ou relevos soerguidos, planos ou aplainados, não ou pouco dissecado. Os rebordos dessas superfícies, posicionados em cotas elevadas, são delimitados em geral em vertente íngreme e escarpada (Machado, 2010, p 539).

Degraus estruturais e Rebordos erosivos (R4e) relevo acidentado constituído por vertentes predominantemente retilíneos e côncavos, declives e topos levemente arredondados, representam um relevo de transição (Machado, 2010).

Escarpas serranas (R4d) relevo montanhoso, muito acidentado, representa um relevo de transição entre duas superfícies distintas alçadas a diferentes cotas altimétricas (Machado, 2010).

Planaltos (R2b3) Superfícies mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares ou colinas muito amplas. Predomínio de processo de formação de solos espessos e bem drenados, em geral com baixa moderada susceptibilidade à erosão (Machado, 2010).

**Figura 4.** Mapa Geomorfológico dos municípios de Guaraciaba do Norte e Carnaubal



Fonte: Os autores (2021).

### **Hipsometria e declividade**

Observa-se que o contexto geomorfológico está diretamente ligado a aspectos como a hipsometria (altitude) e declividade. Para identificação dessas unidades de relevo e geração do mapa geomorfológico foram desenvolvidos mapas que auxiliaram e definiram a classificação em cada nível taxonômico, sendo eles o mapa geológico, o modelo digital de elevação (MDE), a imagem sombreada, o mapa Hipsométrico e de declividade.

O mapa Hipsométrico é usado para representar a elevação de um terreno em um mapa topográfico (Altitude) através de uma variação de cores. Geralmente utiliza-se na simbologia um gradiente de cores de uma cor mais quente para uma mais fria. No mapa Hipsométrico (Figura 5), no qual de acordo com as normas cartográficas os tons de verde são cores frias e representa locais de menor altitude, até chegar à cor vermelha que é uma cor quente e representa áreas de maior altitude. Foram definidas nove intermitências hipsométricas, com intervalos de 100 a 200 metros (Tabela 1).

**Tabela 1.** Intervalos hipsométricos da área de estudo

Intervalos							
100 -200m	200 - 300m	300 - 500m	500 - 600m	600 - 700m	700 - 800m	800 - 900m	Acima de 900m.

Fonte: MDE – 30m, SRTM (2011). – Falta aclarar

A maior parte da área apresenta elevadas altitudes oscilando entre 600 á 900 metros, chegando a ultrapassar os 900 metros de altitude como é o caso do município de Guaraciaba do Norte. Sabe-se que quanto maior a altitude menor a temperatura, logo justifica-se as temperaturas médias anuais entre 22° a 24° celsius da Ibiapaba.

Na confecção do mapa de declividade, implantou-se a classe de declividade proposta por Ross (1994, p 10.) o qual determina 5 classes de declividade aliadas ao nível de fragilidade do relevo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Classes de Declividade em Porcentagem

Classes	Intervalo de Declividade (%)	Características do Relevo	Fragilidade do Relevo
1	0 – 6%	Plano e Suave	Muito Fraca
2	6 – 12%	Suave Ondulado	Fraca
3	12 – 20%	Ondulado	Média
4	20 – 30%	Forte Ondulado	Forte
5	>30%	Montanhoso/ Escarpado	Muito Forte

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

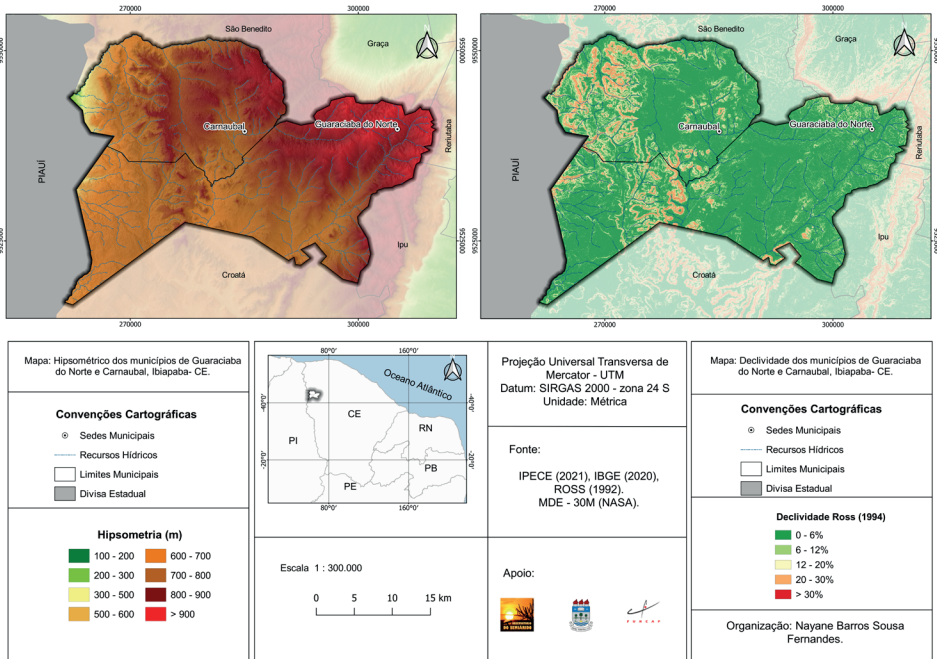
Seguindo a orientação do mapa de declividade (Figura 5) e Tabela 1, compreende-se que nos municípios de Guaraciaba do Norte e Carnaubal as classes de declividade podem ser descritas da seguinte maneira:

- Classe 1:** Essa classe vai de 0% a 6%, o relevo apresenta-se plano e suave, com escoamento lento.
- Classe 2:** Vai de 6% a 12%, o relevo será suave ondulado, apresentando declives e acíves, portanto, o escoamento superficial será de lento a médio.
- Classe 3:** Vai de 12% a 20%, nesta classe o relevo será ondulado e ligeiramente inclinado, apresentando escoamento superficial de médio a rápido.
- Classe 4:** 20% a 30%, o relevo será fortemente ondulado, apresentando áreas de inclinação consideráveis e o escoamento superficial será bastante rápido, o que significa dizer mais propício à erosão dos solos.
- Classe 5:** Acima de 30%, o relevo será montanhoso/escarpado com áreas bastante inclinadas de fácil erosão, apresentando restrições para o cultivo agrícola.

Assim como no mapa Hipsométrico as normas cartográficas recomendam que o gradiente das cores usados sejam de cores frias e quentes. Grande parte da área se mantém entre 600 a 900 metros ocasionado pequena oscilação no que condiz a declividade que se mantém entre 6% a 12% apresenta um escoamento superficial de lento a médio área propícias a agricultura tendo a presença de solos propícios a agricultura, já na área de mudança abrupta de altitude que ocorre com maior abrangência no sentido do reverso seco

dos dois municípios a altitude variam entre 200 metros a 600 metros, nessas áreas a declividade é mais acentuada de 20% a acima de 30%, nessas terras a situação é imprópria para a agricultura e restrita para pastagem, por apresentar áreas fortemente inclinadas, o escoamento superficial é muito rápido e os solos, são extremamente suscetíveis a erosão hídrica.

**Figura 5.** Mapa Hipsométrico e de declividade dos municípios de Guaraciaba do Norte e Carnaubal



Fonte: Os autores (2021).

### *Padrões de formas semelhantes*

Nesta unidade, estabelece dados morfométricos, que podem ser diferentes tipos, entre estes estão à densidade de drenagem, as declividades médias das vertentes, densidade de crênulas ou da matriz dos índices de dissecação do relevo.

Para Ross (1993, p.4) “A análise em escalas médias e pequenas [...], utiliza-se como base de informação os padrões de formas com a rugosidade topográfica ou os índices de dissecação do relevo, expressos através da matriz dos índices de dissecação”.



Para estudos de escalas médias e pequenas como é o caso da pesquisa (Escala 1: 300.000) toma-se como referencial morfométrico a matriz dos índices de dissecação desenvolvida por Ross (1992, p. 27).

Essa matriz é baseada na relação de dimensão interfluvial média ou densidade de drenagem nas colunas horizontais e no grau de entalhamento dos vales nas colunas verticais (Quadro 1).

**Quadro 1.** Matriz dos índices de dissecação do relevo

Grau de entalhamento dos vales (classes)	Dimensão interfluvial média (classes)				
	Muito grande (1) > 1.500	Grande (2) 1.500 a 700	Média (3) 700 a 300	Pequena (4) 300 a 100	Muito pequena (5) <100
Muito fraco (10) < 10m	11	12	13	14	15
Fraco (20) 10m - 20m	21	22	23	24	25
Média (30) 20m a 40m	31	32	33	34	35
Forte (40) 40m a 80m	41	42	43	44	45
Muito forte (50) >80m	51	52	53	54	55
<b>Dissecação</b>					
	Muito Fraca	Fraca	Modera da	Forte	Muito Forte

Fonte: Adaptado de Ross, 1992.

Por exemplo, o conjunto numérico 32 – o número 3 refere-se ao entalhamento do vale do tipo médio (20 a 40m) e o número 2 significa que a forma de relevo representada têm dimensão interfluvial grande que oscila no intervalo de 700 a 1.500 metros. É a partir dessa matriz que se estabelece as categorias de influência de Muito fraca a Muito forte.

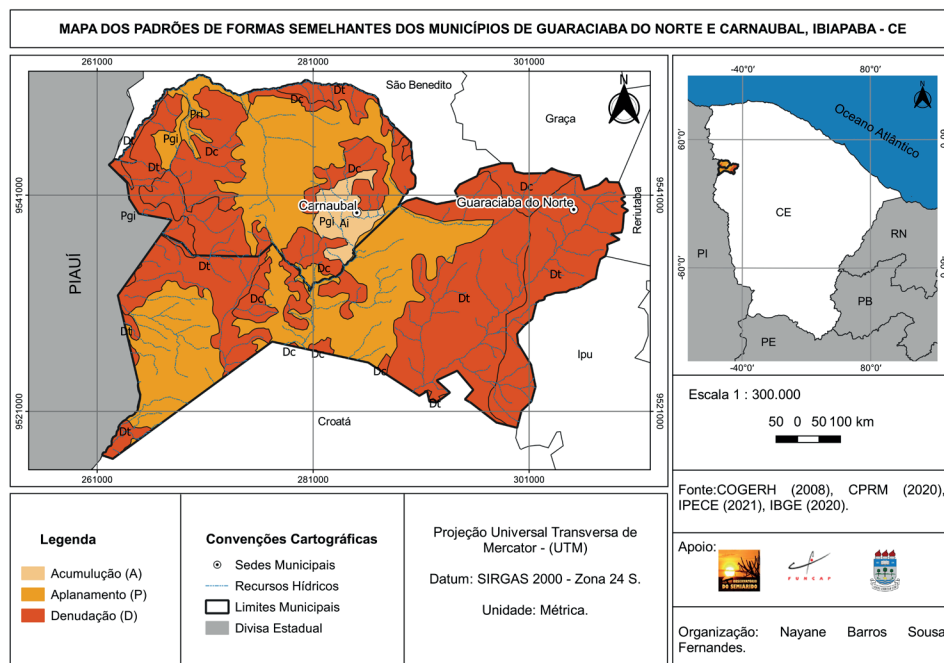
“[...] face a dificuldade de se estabelecer as classes de densidade da drenagem, utiliza-se a dimensão interfluvial média, cujos valores são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a densidade de drenagem, menor a dimensão interfluvial média. Quanto ao índice de dissecação, o

menor valor numérico é a dissecação mais fraca, ou seja 11 e o maior valor numérico é a dissecação mais forte, ou seja 55” (Ross, 1992, p. 13).

Essa matriz possibilita uma maior representação dos índices de dissecação do relevo, sendo assim quanto maior for o valor numérico expresso pelo o conjunto dos dois algarismos arábicos, maior é a dissecação e vice-versa.

Na área de estudo foram cartografados três tipos de modelados: Modelado de Dissecação, Modelado de Aplanamento e Modelado de Acumulação (Figura 6).

**Figura 6.** Mapa dos padrões de formas semelhantes de Guaraciaba do Norte e Carnaubal



Fonte: Os autores (2021).

Com base na metodologia de Ross (1992), as letras símbolos são de duas naturezas genéticas, as formas Agradacionais (acumulação) recebem a primeira letra maiúscula (A), acompanhada de outras duas letras minúsculas que determinam a gênese e processo de geração da forma de

agradção. As formas de agradção não recebem algarismos arábicos, pois estas não apresentam dissecação por erosão.

As formas Denudacionais (D) são acompanhadas de outra letra minúscula que indica a morfologia do topo da forma individualiza que é reflexo do processo morfogenéticos que gerou tal forma. As formas podem apresentar características de topos aguçados (a), convexos (c), tabulares (t) ou planos (p).

As formas de Aplanamento (P) são representadas por relevo de gradiente suave, com pouco ou nenhum entalhamento pelos processos erosivos lineares naturais.

### ***Acumulação***

Os modelados de acumulação são diferenciados, em função de sua gênese, em fluviais, lacustres, marinhos, lagunares, eólicos e de gêneses mistas, resultantes da conjugação ou atuação simultânea de processos diversos (IBGE, 2009, p.30). Na área de estudo foi identificado o modelado de acumulação do tipo Plano de Inundação (Ai).

O **Plano de Inundação (Ai)** representa uma área abaciada de planos convergentes, arenosa e/ou argilosa, sujeita ou não a inundações periódicas, podendo apresentar arreísmo e/ou comportar lagoas fechadas ou precariamente incorporadas à rede de drenagem (IBGE, 2009, p.37).

Essa formação é concentrada na região adjacente a sede do município de Carnaubal, promovendo a existência de lagoas em certos períodos do ano como também a ativação de cachoeiras.

### ***Aplanamento***

Os modelados de aplanamento foram identificados pela definição de sua gênese e funcionalidade, combinadas ao seu estado atual de conservação ou degradação imposta por episódios erosivos posteriores à sua elaboração (IBGE, 2009).

Através do mapeamento foram identificados dois tipos de aplanamento, distribuídos em toda a área de estudo, o Pediplano Degradado Inumado (Pgi) e Pediplano Retocado Inumado (Pri).

O **Pediplano Degradado Inumado (Pgi)** representa uma superfície de aplanamento parcialmente conservada, tendo perdido à continuidade em consequência de mudança do sistema morfogenéticos. Geralmente,

apresenta-se conservada ou pouco dissecada e/ou separada por escarpas ou ressaltos de outros modelados de aplanamento e de dissecção correspondentes aos sistemas morfogênicos subsequentes. (IBGE, 2009, p. 40).

O **Pediplano retocado Inumado (Pri)** é uma superfície de aplanamento elaborada durante fases sucessivas de retomada de erosão, sem, no entanto perder suas características de aplanamento, cujos processos gerais de sistemas de planos inclinados, às vezes levemente côncavos (IBGE, 2009, p.40).

### ***Denudação***

Os modelados de dissecção são os que ocorrem de formas mais generalizada na paisagem brasileira, sendo caracterizados como dissecados homogêneos, estruturais e em ravinas. Os dois primeiros são definidos pela forma dos topos e pelo aprofundamento e densidade de drenagem (IBGE, 2009).

Nas formações denudacionais as formas predominantes foram acompanhadas com informações do tipo de modelado dominante, sendo de dois tipos: Dc e Dt.

**Dc – Forma denudacional de topo convexo:** São geralmente esculpidas em rochas ígneas e metamórficas e eventualmente em sedimentos, às vezes denotando controle estrutural. São caracterizadas por vales bem definidos e vertentes de declividades variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem (IBGE, 2009, p. 44).

**Dt- Forma denudacional de topo tabular:** Delineiam feições de rampas suavemente inclinadas e lombadas (Figura 7), geralmente esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas e rochas metamórficas, denotando eventual controle estrutural. Geralmente são definidas por rede de drenagem de baixa densidade, com vales rasos, apresentando vertentes de pequena declividade (IBGE, 2009, p. 44).

**Figura 7.** Modelado denudacional de topo tabular



Fonte: Os autores (2021).

### ***Índice de Dissecação do Relevo***

O índice de dissecação do relevo (IDR) pode ser utilizado para diversas finalidades, como contribuir para o melhor entendimento da distribuição espacial de processos morfogenéticos, segmentação do relevo e de unidades de paisagem que serve como base para o trabalho de mapeamento geomorfológico (Ross, 1992, p.28).

Ross (1992) formalizou este índice o qual possui diversas aplicações como segmentação do relevo, fornecer bases para o mapeamento geomorfológico, estudar a relação morfogênese – pedogênese e vulnerabilidade ambiental.

Para a classificação do nível de dissecação do relevo da área de estudo foi utilizada a classificação de Ross (1994, p.63) para evidenciar os resultados de índice de dissecação do relevo da área (Quadro 2).

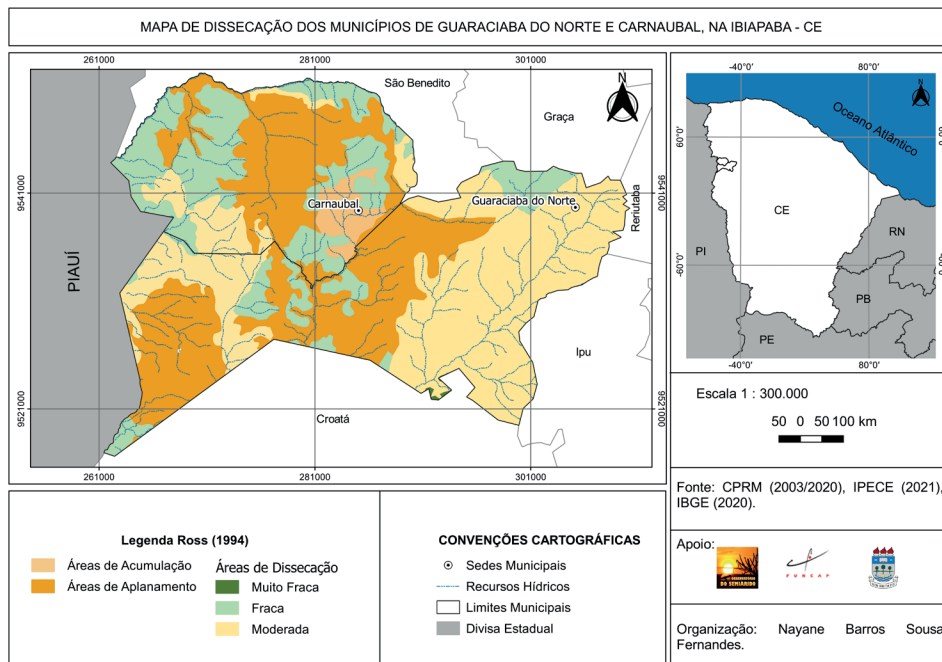
**Quadro 2.** IDR proposto por Ross (1994)

Proposta de ROSS (1994)				
11	12	13	14	15
21	22	23	24	25
31	32	33	34	35
41	42	43	44	45
51	52	53	54	55
Muito Fraca	Fraca	Moderada	Forte	Muito Forte

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Com base nessa classificação e com uso do geoprocessamento foi possível identificar os níveis de dissecação do relevo dos municípios de estudo, os quais variam com índice de dissecação entre muito fraca, fraca e moderada, como mostra a (Figura 8).

**Figura 8.** Mapa de dissecação dos municípios de Guaraciaba do Norte e Carnaubal



Fonte: Os autores (2021).

Do ponto de vista geomorfológico a área em estudo é classificada como sendo uma cuesta, tendo um relevo dissimétrico por erosão em camadas o que resulta nas 4 unidades geomorfológicas cartografadas, diretamente associadas a altitude e declividade, a altitude em sua maioria varia entre 600 à acima de 900m, nessas áreas o intervalo de declividade varia entre 6% a 12%, representando um relevo suave ondulado representado pelas chapadas e platôs, apresentando aclives e declives, e conseqüentemente tendo um escoamento superficial de lento a médio. Ocorrendo o processo quase que inverso no sentido oeste do reverso seco dos municípios.

A partir da proposta metodológica adotada, dos dados levantados e gerados, e dos mapas temáticos elaborados, fez-se um quadro de correlação contendo a caracterização da área e os comportamentos do relevo sob o viés da taxonomia do relevo, do 1º ao 3º táxon. E constatou-se que:

As Chapadas e Platôs caracterizam-se por terem altitudes de 600 a acima de 900 metros, com declividade de 0% a 30%, com maior parte do território entre 0% a 12%. Apresenta formas de acumulação, aplanamento e denudação, com índice de dissecação de fraca a moderada.

Os Degraus estruturais e Rebordos erosivos estão associados á altitude de 600 á 800 metros, declividades de 0 a 30% e com relevos de acumulação e denudacionais, com dissecação fraca.

As escarpas serranas apresentam altitudes acima de 900 metros, declividade de 0 a 6%, com modelado do tipo denudacional, com índice de dissecação moderado.

Os Planaltos ocorrem nas áreas de maior variabilidade de altitudes entre 200 á 800 metros, com declividade variante entre 0 a 30%. Apresenta uma pequena parte do modelado de aplanamento e em maioria o de denudação, com índice de dissecação fraca.

### **Considerações finais**

As paisagens morfológicas nos municípios de Guaraciaba do Norte e Carnaubal apresentam grande diversidade. Todas essas paisagens estão no interior da 1ª e 2ª unidades taxonômicas do relevo, sendo respectivamente, a Bacia Sedimentar do Parnaíba e Planalto Sedimentar da Ibiapaba.

A área apresenta quatro subunidades morfoesculturais, que incluem os relevos de acumulação, aplanamento e denudacionais. As morfologias denudacionais apresentam dois modelados diferentes, os de topo convexo (Dc) e de topo tabular (Dt), os quais são classificados em dissecação fraca a moderada, estes relacionados ao 3º e 4º táxon.

Em apreciação, vimos que o relevo estudado apresenta-se de certa forma em equilíbrio por apresentar em maior parte de fraca a moderada dissecação, mesmo apresentando em algumas áreas cotas altimétricas e declividade com elevados valores. Com a atividade de campo foi identificado que em porções concentradas pela ação antrópica evidenciam interferência como corte de estrada, agricultura, pecuária e construções, a paisagem vem respondendo a essas intervenções, ocasionando no aumento da atividade erosiva, alguns pequenos movimentos de massa, entre outros aspectos.

Não podemos garantir que o mapeamento é passível de fim, pois o relevo está em constantes mudanças, a paisagem está sempre se modificando e novos eventos estarão sempre interferindo no modelado. Em suma,



as paisagens geomorfológicas da área de estudo são complexas, e estão sujeitas a alterações de curto, médio e longo prazo e resultam da interação dos processos naturais e antropogênicos.

Diante desse quadro, o estudo por agora elaborado se enquadra como um ponto de partida para novas constatações, análises e aprimoramentos metodológicos e técnicos para pesquisas posteriores.

## Referências

- Brito Neves, B.B. (1998). The Cambro-ordovician of the Borborema Province. São Paulo, USP, Boletim IG, Série Científica, p.31.
- Cacama, M. S. J. B.; Jardim De Sá, E. F.; Silva, F. C. A.; Lins, F. A. P. L. (2015). Assinatura estrutural e geofísica da Porção Norte (fronteira Ceará/Piauí) do Lineamento Transbrasiliano: reativação na Bacia do Parnaíba. *Geologia USP, Série Científica*, v. 15, n. 3-4, p. 6-81.
- Claudino-Sales, V. (2002). Les littoraux du Ceará – Evolution géomorphologique de la zona côtière de l'Etat du Ceará. Nord-est Brésil. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sorbone.
- Claudino-Sales, V.; Lima, E. C.; Diniz, S. F.; Cunha, F. S. S. (2020). Megageomorfologia do Planalto da Ibiapaba, estado do Ceará: uma introdução. *William Morris Davis – Revista de Geomorfologia*, p.24.
- Costa, L. R. F.; Maia, R. P.; Barreto, L. L.; Claudino-Sales, V. C. (2020). Geomorfologia do Nordeste setentrional brasileiro: uma proposta. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.21, n.1, p.24.
- Cunha, F. M. B. (1986). Evolução Paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Serviço Geológico do Brasil [CPRM]. (2003). Mapa Geológico do Estado do Ceará. Fortaleza: CPRM.
- Dourado, Álvaro Andrade; Sobrinho, José Falcão; Barbosa, Francisca Edineide Lima, Ernane Cortez. (2021). Mapping and Characterization of the Landscape Units of the Coastal Hydrographic Basin of Rio Pacoti, Ceará, Brazil. *JOURNAL OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM*, v. 13, p. 260-273.

- Dourado, Álvaro Andrade; Sobrinho, José Falcão; Barbosa, Francisca Edineide Lima. (2021). Characterization of the Landscape Units of the Residual Massif of the Pacoti River Watershed, Ceará, Brazil. *Journal Of Sustainable Development*, v. 14, p. 107-120.
- Dourado, Á.; Sobrinho, J; Barbosa, F. (2021). Characterization of the Physical-natural Units of the Hinterland Surface of the Pacoti Drainage Basin, Ceará, Brazil. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, v. 25, p. 30-42.
- EMBRAPA. (2009). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ed. Rio de Janeiro, 367p.
- Falcão, J. (2006). O relevo, elemento âncora, na dinâmica da paisagem do vale, verde e cinza, do Acaraú, estado do Ceará. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade de São Paulo – USP/FFLCH, São Paulo, p. 300.
- FUNCEME. (2009). *Compartimentação geoambiental do Estado do Ceará*. Fortaleza.
- Gerasimov, J. (1963). *Problemas metodológicos de la ecologización de la ciencia contemporânea. La sociedad y el medio natural*. Moscú: Progreso.
- Góes, A. M.; Feijó, F. J. (1994). *Bacia do Parnaíba*. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro.
- Hasui, Y.; Abreu, F. A. M.; Villas, R. N. N. (1984). *Província Parnaíba*. In: Almeida, F. F. M.; Hasui, Y. *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, p. 378.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [IBGE]. (2009). *Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – Manual técnico de geomorfologia*, 2 eds. Rio de Janeiro.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. [IBGE]. (2020). *Cartas e mapas*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 08/ 10/ 2021.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. [IBGE]. (2009). *Manual técnico de geomorfologia. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.(Manuais técnicos em geociências)*. 2ª ed. – Rio de Janeiro.
- Instituto de Pesquisa e estratégia econômica do Ceará. [IPECE]. (2010). *Ceará em mapas: caracterização territorial*. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/index.htm>. Acesso em: 13/07/2021.

- Jatobá, L.; Lins, R. C. (2003). Introdução a Geomorfologia. 4 ed<sup>a</sup>. Ed. Bagaço. Recife.
- Kohler, C. H. (2002). A escala na análise geomorfológica. Revista Brasileira de Geomorfologia, Uberlândia: UFU, n.1, p. 21-31.
- Lima, Luiz Cruz.; Souza, Marcos José Nogueira de.; Morais, Jäder Onofre de. (2000). Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Fortaleza: FUNECE, p. 26.
- Machado, Marceley Ferreira. (2010). Análise de padrões de relevo como instrumento aplicado ao mapeamento de Geodiversidade. Geodiversidade do estado de Minas Gerais – Belo Horizonte, CPRM, p. 20-129.
- Mercerjakov, J. P. (1968). Lês concepts de morphostructure et de morphosculture: um nouvel instrument de l'analyse géomorphologique. Annales de Géographie, 77 années, n. 423, p. 539-552.
- Moura-Fé, M.M. (2015). Evolução geomorfológica da Ibiapaba Setentrional, Ceará: gênese, modelagem e conservação. Tese (Doutorado em Geografia) - Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 309.
- Rocha, Dyego Freitas., Souza, Henrique Clementino de. (2016). A importância do mapeamento geomorfológico como subsidio aos estudos sobre desertificação. Revista de Geociências do Nordeste, Vol.2, N<sup>o</sup> Especial, p. 11.
- Ross, J. L. S. (1990). Geomorfologia: Ambiente e Planejamento. (Coleção repensando a Geografia). Ed. Contexto. São Paulo.
- Ross, J. L. S. O. (1992). Registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. Revista do Departamento de Geografia. FFLCH-USP. N.6. São Paulo, p. 17 -30.
- Ross, J. L. S. (1993). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. Laboratório de Geomorfologia – Dept. de Geografia – FFLCH-USP, p.13.
- Ross, Jurandy Luciano Sanches. (1994). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. Revista do departamento de geografia, v. 8, p. 63-74.
- Ross, J. L. S. (1995). Análises e síntese na abordagem geográfica do planejamento ambiental. Revista do Departamento de Geografia – FFLCH-USP, São Paulo, n.9, p. 65-76.

- Ross, Jurandy Luciano Sanches. (1997). Geomorfologia: ambiente e planejamento. 4ª Ed. São Paulo: Contexto.
- Ross, Jurandy Luciano Sanches. (2000). Geomorfologia: ambiente e planejamento. Editora Contexto.
- Ross, J. L. S. (2006). Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, p. 209.
- Ross, J. L. S. (2009). Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, p. 209.
- Shobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Derze, G. R.; Asmus, H. E. (1984). Geologia do Brasil. Texto explicativo. Mapa Geológico, Escala 1: 2. 500.000. DNPM, Brasília.
- Souza, M. J. N., Oliveira, J. G. B., Lins, R. C., Jatoba, L. (1996). Condições GeoAmbientais do Semi-Árido Brasileiro. Notas e Comunicações de Geografia. Textos Didáticos, v. 15, p. 13-19.
- Tricart, J. (1965). Principes et méthodes de la géomorphologie. Mason: Paris. 496p.

## Identificación espacial del riesgo por deslizamiento de tierra en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México

Landslide risk spatial identification in the municipality of Autlan of Navarro, Jalisco, Mexico





Identificação espacial do risco de deslizamento de terra no município de Autlán de Navarro, Jalisco, México

*Fátima González Bolaños<sup>1</sup>*  
*Universidad de Guadalajara, Jalisco, México*

*José Luis Olguín López<sup>2</sup>*  
*Universidad de Guadalajara, Jalisco, México*

*Rubén Darío Guevara Gutiérrez<sup>3</sup>*  
*Universidad de Guadalajara, Jalisco, México*

*Carlos Palomera García<sup>4</sup>*  
*Universidad de Guadalajara, Jalisco, México*

- 1 Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Centro Universitario de la Costa Sur, Av. Independencia Nacional #151, CP.48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: [fatima.gbolanos@alumnos.udg.mx](mailto:fatima.gbolanos@alumnos.udg.mx).  <https://orcid.org/0000-0003-1404-4736>.
- 2 Profesor Investigador Asociado A. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: [olguin@cucsur.udg.mx](mailto:olguin@cucsur.udg.mx).  <https://orcid.org/0000-0002-6400-7039>.
- 3 Profesor Investigador Titular C. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: [rguevara@cucsur.udg.mx](mailto:rguevara@cucsur.udg.mx).  <https://orcid.org/0000-0003-0940-7061>.
- 4 Profesor Investigador Titular C. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: [cpalomera@cucsur.udg.mx](mailto:cpalomera@cucsur.udg.mx).  <https://orcid.org/0000-0001-5338-9177>.

*José Manuel Ramírez Romero*<sup>5</sup>  
*Universidad de Guadalajara, Jalisco, México*

*Víctor Manuel Villavazo López*<sup>6</sup>  
*Universidad de Guadalajara, Jalisco, México*

## Resumen

El municipio de Autlán presenta problemas de cambio de uso de suelo y erosión que favorecen los deslizamientos de tierra. La identificación espacial de este fenómeno (5 clases de riesgo) muestra que 3 localidades se ubican en riesgos altos y muy altos (Autlán, Ahuacapán y Mezquitán), debido principalmente a la influencia de los suelos Regosol, precipitación anual y máxima en 24 horas con una relación estadísticamente significativa de  $P < 0.05$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $0.66$  y  $0.86$ . El deslizamiento presenta un riesgo para la infraestructura y la población encontrando una relación significativa ( $\alpha = 0.001$ ) entre el número de viviendas y densidad de población por localidad solo para amenaza regular a alto al deslizamiento de tierra. Al no existir una planeación de uso de suelo por parte del municipio se plantea realizar actividades de atención y remediación principalmente en zonas urbanas ubicadas en estructuras sensibles al deslizamiento tomando en cuenta los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** Deslave, riesgo, SIG, criterios, suelo.



## Abstract

The municipality of Autlán presents problems of land use change and erosion that favor landslides. Spatial identification of these phenomena (5 risk classes) shows that 3 localities are located in high and very high risks areas (Autlán, Ahuacapán and Mezquitán), mainly due to the influence of Regosol soils, annual and maximum precipitation in 24 hours with a statistically significant relationship of  $P < 0.05$ ,  $R^2 = 0.99$ ,  $0.66$  and  $0.86$ . Landslides represent a risk for infrastructure and the population, finding a significant relationship ( $\alpha = 0.001$ ) between the number of houses and population density per locality only for regular to high threat to landslide. In the absence of land use planning by the municipality, attention and remediation activities are proposed, mainly in urban areas located in landslide-sensitive structures, taking into account the results obtained.

**Keywords:** Landslide, risk, GIS, criteria, soil.

## Resumo

O município de Autlán apresenta problemas de mudança de uso da terra e erosão que favorecem os deslizamentos de terra. A identificação espacial deste fenômeno (5 tipos de risco) mostra que 3 localidades estão localizadas em risco alto e muito alto (Autlán, Ahuacapán e Mezquitán), principalmente devido à influência dos solos Regosol, precipitação anual e máxima em 24 horas com uma relação significativa de  $P < 0,05$ ,  $R^2 = 0,99$ ,  $0,66$  e  $0,86$ . O deslizamento apresenta risco para a

- 5 Profesor Investigador Titular B. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: [jmromero@cucsur.udg.mx](mailto:jmromero@cucsur.udg.mx).  <https://orcid.org/0000-0003-4698-7747>.
- 6 Profesor Investigador Titular B. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio de desarrollo rural, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: [vvillalv@cucsur.udg.mx](mailto:vvillalv@cucsur.udg.mx).  <https://orcid.org/0000-0003-1160-6457>.

infraestrutura e para a população, encontrando uma relação significativa ( $\alpha = 0,001$ ) entre o número de casas e a densidade populacional por localidade apenas para ameaça de deslizamento regular a alta. Como não há planejamento de uso do solo por parte do município, propõe-se a realização de atividades de atenção e remediação principalmente em áreas urbanas localizadas em estruturas sensíveis a deslizamentos, levando em consideração os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Critérios; Deslizamento de terra; Risco; SIG; Solo.

## **Introducción**

Los deslizamientos de tierra son procesos destructivos donde el 90% de las pérdidas son evitables si el problema se identifica con anterioridad bajo la prevención (Suárez-Díaz, 1998), al igual que los flujos o caídas de tierra y la expansión lateral del suelo son fenómenos gravitacionales (Fraustro, 1999) causados por alteraciones en el equilibrio natural de una pendiente por lluvias torrenciales, sismos, y cambios de uso de suelo (Andrade, 2020). Para Alcántara (2000, p. 77) son los movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, la cual ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura y, son las grietas transversales la primera señal de la ocurrencia de estos movimientos. Mergili, Marchant y Moreiras (2014, p. 120) identifican las lluvias prolongadas como el agente que inducen variaciones freáticas que saturan niveles profundos del terreno, lo que facilita su inestabilidad con superficies de rotura profundas. Por el contrario, las lluvias intensas de corta duración tienden a producir superficies inestables. Por su parte Suárez-Díaz (1998, p. 1) menciona que las zonas más susceptibles son las zonas montañosas tropicales, debido a su topografía, sismicidad, meteorización y presencia de lluvias intensas. Adicional a ello, Borja y Alcántara (2004, p. 12) mencionan que otro factor como la actividad antrópica, que puede traer como consecuencia cambios de relieve que ocasionan inestabilidad en las laderas. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2018) afirma que el deslizamiento es influenciado por variables predictoras, como la pendiente, humedad del suelo, tipos de vegetación, textura del suelo y nivel altitudinal; para Chacón (2012) la meteorización química-física y para Mardones y Vidal (2001, p. 112) son los sismos, deforestación y la construcción sin medidas de mitigación. Ayala-Carcedo (2002), añade que uno de los procesos geológicos más destructivos, es la remoción en masa, ya que dañan a infraestructura y personas, lo que causa pérdidas millonarias anualmente, tanto como cientos

de muertos y heridos. Así mismo, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED 2016, p. 4) menciona que México presenta una alta incidencia a la ocurrencia de estos fenómenos, principalmente en las zonas montañosas durante la época de lluvias, llegando a afectar severamente poblaciones y vías de comunicación. De los estudios realizados se identifican a Borja y Alcántara (2004, p. 13), quienes emplean los criterios de relieve, humedad y propiedad de materiales, a través del Modelo Digital del Terreno (MDT) identificando el incremento de los asentamientos humanos en laderas inestables sin planeación del crecimiento. Quesada-Román y Feoli-Boraschi (2018) utilizan una comparación entre el método de Mora y Varhson (1994) y el método morfométrico; para el primero, se concluye que se debe poner atención en la escala de trabajo y el número de variables a utilizar; y para el segundo, en las curvas de nivel. Quesada y Zamorano (2019, p. 3-18) utilizaron la altitud, inclinación del terreno, densidad y profundidad de la disección, relieve, erosión potencial y total y donde esta metodología puede ser replicada con facilidad.

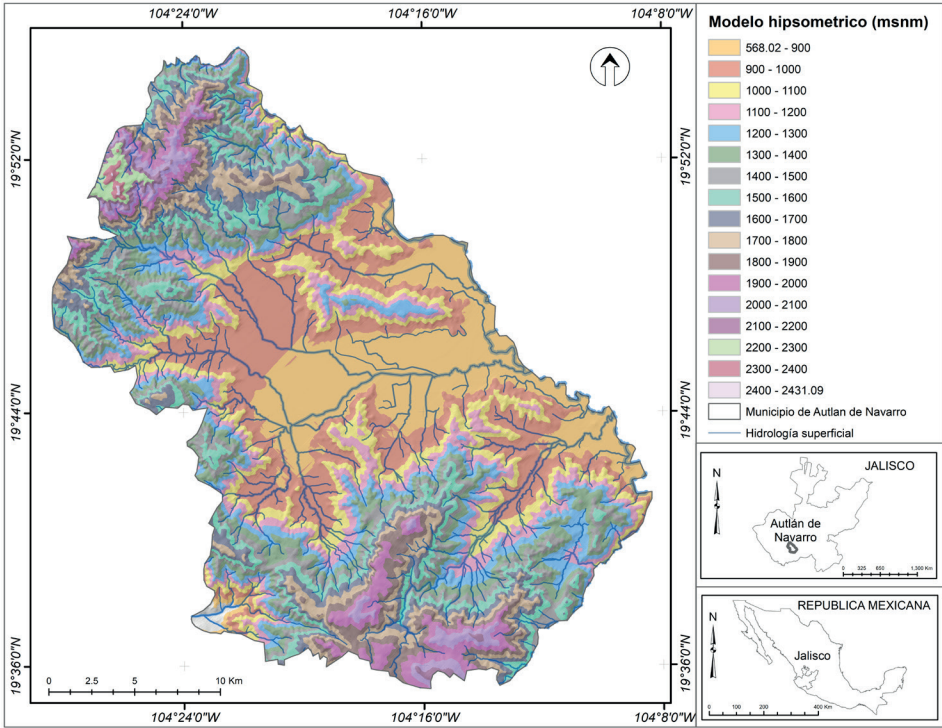
Con base en lo dicho, este estudio surge con la finalidad de identificar zonas susceptibles a deslizamientos de tierra en el municipio a partir del uso de los sistemas de información geográfica (SIG) y la determinación de criterios edafoclimáticos. Así mismo, la importancia de los resultados radica en el interés de prevenir y evitar la afectación de áreas urbanas ubicadas en zonas de laderas, además, de poder ser incluido en un atlas de riesgo para implementar medidas preventivas y de control.

### **Área de estudio**

El municipio de Autlán de Navarro forma parte de la región Sierra de Amula en el estado de Jalisco, se localiza entre las coordenadas geográficas de 19°30'00" a 20°10' 00" de latitud norte y 104°05'00" a 104°15'00" de longitud oeste. Tiene un área de 715.08 km<sup>2</sup> de los cuales el 60% se conforma de terrenos montañosos con pendientes arriba de 15 grados, con rango altitudinal de 568.02 a 2431.09 msnm (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018).



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio.



Fuente: elaboración propia con información del [Instituto Nacional de Estadística y Geografía \(2018\)](#).

Dentro del municipio se localiza la ciudad de Aultán en la cual se concentra el 80% de un total de 64,931 habitantes ([Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020](#)). Según el Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco ([IIEG, 2019](#)) la región mencionada está influenciada por climas semicálidos y semihúmedo donde la temperatura media anual es de 21.2° C, la precipitación media anual es de 967 mm. El municipio se encuentra delimitado por dos sistemas montañosos con pendientes promedio de 22 grados y constituidas mayormente por suelos regosoles ubicados principalmente sobre zonas de montaña ([Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018](#)). El área de estudio ha sido expuesto a diferentes fenómenos naturales como lo fue el registro del huracán Jova, en el que se registró rangos de precipitación pluvial de 230 a 490 mm en un tiempo de 18 horas y 30 minutos provocando deslizamientos de tierra ([Olguín-López, Guevara-Gutiérrez, Ramírez-Romero y Álvarez-Rodríguez., 2012, p. 9](#)), así como la

presencia de fenómenos sísmicos, como en el año 1995, que registró una intensidad de 7.3 magnitud Richter y en el 2003 de 7.6, tal como lo ha reportado el Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2021).

### **Marco conceptual**

La presente investigación se basa en la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación espacial de áreas susceptibles al deslizamiento de tierra en el municipio de Autlán, la herramienta SIG identifica áreas bajo condiciones físicas (pendiente, tipos de suelo, vegetación y erosión) y climáticas y las relaciona al riesgo por deslizamiento, las anteriores condiciones varían de un lugar a otro, específicamente en cuanto a condiciones naturales y humanas (Mergili Marchant y Moreiras, 2014). La identificación de la susceptibilidad a movimientos en masa es un paso necesario para la gestión del riesgo a desastres, ya que genera el conocimiento base para la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial (Quesada y Barrantes, 2017), por lo tanto, los resultados de la presente investigación es ubicar y relacionar las zonas urbanas con las condiciones de riesgo por deslizamiento de tierra en el municipio de Autlán.

#### *¿Que son los Sistemas de Información Geografica?*

Un SIG se definen como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para trabajar coordinada y lógicamente en la captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de la información geográfica (Moreno-Jiménez, 2006, p. 3), entendiéndose por información geográfica, la abstracción o representación de la realidad de manera gráfica; ésta información puede referirse al ambiente natural (topografía, geología, geomorfología) o al ambiente humano (ciudades, edificaciones, vías).

#### *Los Sistemas de Información Geográfica en los deslizamientos de tierra.*

Los SIG es una herramienta valiosa que se complementa con el levantamiento geomorfológico que proporciona una información precisa y concreta de los procesos geomorfológicos, de las formas resultantes y los fenómenos naturales, como el caso de los deslizamientos. Lo anterior se obtiene a partir del análisis de la cartografía topográfica, geológica y modelos de clima se determinan las áreas susceptibles a peligros por procesos

gravitacionales (Aceves-Quesada, Legorreta-Paulín, Umaña-Romero y Legorreta-Cuevas, 2016, p. 45).

### Marco metodológico

Para identificar zonas en laderas susceptibles al deslizamiento de tierra y el riesgo que esto conlleva, se implementaron tres pasos fundamentales:

1. Uso de información cartográfica (edafología, geología, uso de suelo y vegetación, curvas de nivel, hidrología y cuerpos de agua) escala 1 a 50,000 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018). Obtención de la precipitación pluvial máxima diaria y anual, obtenida de la base de datos climática ERICIII V. 3.2 del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2016); y finalmente la información de sismos, extraída del Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2021) a la vez que se utilizan magnitudes Richter arriba de 4 considerando que bajo estas intensidades los daños son menores a destructivos (Trujillo P., Ospina L. y Parra L., 2010).
2. La clasificación de atributos para cada criterio condicionante y desencadenante se expresó con valores cuantitativos a partir de la relación de éstos para desencadenar el riesgo alto o bajo al deslizamiento de tierra.

#### A. Criterios condicionantes

El riesgo de erosión del suelo, para su estimación fue a través de la metodología RUSLE3D desarrollada en Arcmap 10.5, mediante la siguiente ecuación:

$$E = R * K * L * S * C * P$$

Dónde: *E*, pérdida de suelo promedio anual en ( $t\ ha^{-1}$  al año); *R*, Factor erosividad de la lluvia ( $Mj\ mm/ha\ hr$ ); *K*, factor erodabilidad del suelo [ $(t\ ha)\ (ha\ h/Mj\ mm)$ ]; *LS*, factor de la inclinación y forma de la pendiente (adimensional); *C*, factor cubierta vegetal (adimensional); *P*, factor de prácticas del suelo (adimensional).

Para el factor R se utilizó la metodología adaptada para la República Mexicana, propuesta por Cortés (1991, p. 48-49), de la que se ha indicado para la zona de estudio la región 7 (14 regiones diferentes para México) y donde se aplica a la relación siguiente.

$$Y = -0.0334X + 0.006661X^2$$

Dónde:  $Y$ , valor de  $R$  con una correlación del 98%,  $X$ , es la precipitación anual (mm).

El factor  $K$  se utilizó la metodología propuesta por la FAO (1980) citado por Figueroa *et al.*, (1991, p. 88), donde se utilizó cada unidad de suelo y grupo textural.

El factor  $LS$  se obtuvo con base en la metodología de Moore y Burch (1986) citados en Dumas (2012, p. 25-27) quienes indican que este factor varía de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$LS = (\text{Flujo acumulado} * \text{Tamaño de celda} / 22.13)^{0.4} \\ * (\sin \text{ pendiente} / 0.0896)^{1.3}$$

Dónde: *Flujo acumulado* proviene del modelo digital de elevación; *tamaño de celda* corresponde a los valores aplicados para el modelo (20 x 20 metros); *la pendiente* en radianes.

El factor  $C$ , proviene de la propuesta de Montes, Uribe y García. (2011) utilizada por Renard *et al.*, 1997 y Becerra, (1999), la cual utiliza cuadros con valores que relaciona los tipos de uso de suelo y vegetación. El factor  $P$ , no se aplica debido a que no existen estudios de prácticas aplicadas al suelo y cultivo, por lo tanto, el valor  $P$  asume el valor de la unidad.

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2013, p. 148-149), los atributos para el criterio de erosión se clasificaron mediante cinco categorías: nula (0 – 5), ligera (5 – 10), moderada (10 – 50), alta (50 – 200) y muy alta (> 200).

Luego el criterio de geología refleja la influencia de los tipos de materiales, sedimentos y rocas en la activación de los deslizamientos. Por tal motivo, se elaboró cinco categorías con base a la metodología de Mora y Vahrson (1996), además, se tomó en cuenta las características que propician los deslizamientos de tierra. Por lo tanto, las rocas sedimentarias con baja resistencia a las condiciones climáticas, estos atributos fueron clasificados con valores cercanos a 5 como máximo y por el contrario valores cercanos a 1 para las rocas volcánicas resistentes y con alta resistencia al deslizamiento.

Sobre el uso de suelo y vegetación, en este criterio se consideró lo mencionado por Suárez-Díaz (1998), quienes identifican el mayor movimiento

del suelo en terrenos cultivados que en bosques naturales. En ese contexto, se utilizó la metodología de Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN, 2011), de la que se han considerado cinco categorías, de las cuales, los valores cercanos a uno representan atributos sensibles al riesgo bajo. En esta última, parte se implementó el criterio de pendiente en porcentaje que utiliza las categorías: nula (0 – 5), ligera (5 – 12), moderada (12 – 35), alta (35 – 75) y muy alta (> 75) a través de la metodología de la Corporación Autónoma Regional Rionegro-Nare (CORNARE, 2012, p. 20). El criterio de edafología fue establecido en relación de los tipos de suelo y grupos de textura (gruesa, media y fina), y con ello, se estableció su influencia sobre los deslizamientos; el riesgo alto se presenta en suelos poco profundos y con poca estructura y textura gruesa, contrario en suelos profundos con estructura definida y de textura fina. Finalmente, para el criterio de altitud, fueron consideradas cinco clases de riesgo (1 al 5) en función de la pendiente (0 – 15, 15 – 25, 25 – 35, 35 – 45 y > 45). La relación de estos dos criterios se realizó con apoyo de la metodología realizada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2004) con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

### *B. Criterios desencadenantes*

La precipitación pluvial máxima diaria y precipitación pluvial media anual, fueron consideradas en función de lo establecido por la CENAPRED (2016) y Mora Vahrson (1996). En estos criterios, se consideran cinco categorías de 1 a 5 que corresponden al mayor valor para aquellas zonas con presencia de lluvias anuales (> 1000 mm) y lluvias máximas diarias de fuertes e intensas (206 a 536.4 mm) que pueden ser una condicionante para el deslizamiento de tierra. Sumado a ello, los sismos, según Cuanalo *et al.*, (2006, p. 4-5), generan fuerzas inerciales dentro de la ladera, las cuales aumentan el esfuerzo cortante en la superficie, lo que provoca el desprendimiento de bloques y deslizamientos, entre otros. Con base a la metodología utilizada por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE, 2013), se elaboraron cinco categorías de 1 a 5, de las que la de mayor valor han sido aquellas zonas con presencia de sismos de alta magnitud (5 a 7.3 grados Richter). Por el contrario, han sido los valores más pequeños 2 a 5 grados (en Richter) para aquellas zonas con presencia de sismos de magnitudes bajas.

### 3. Riesgo por deslizamiento de tierra.

Se tomó en cuenta el análisis heurístico utilizando los Sistemas de Información Geográfica, de la cual se toman las siguientes acciones:

- Elaboración y clasificación de cada uno de los atributos para los criterios establecidos.
- Generación y combinación de coberturas digitales en formato ráster y definir riesgos.
- Reducción del número de clases a cinco categorías para la zonificación por deslizamiento de tierra a: riesgo muy bajo, bajo, moderado, alta y muy alto.
- Distribución espacial por localidades dentro del municipio para determinar el riesgo a la infraestructura y población mediante la utilización de GPS para el área urbana.

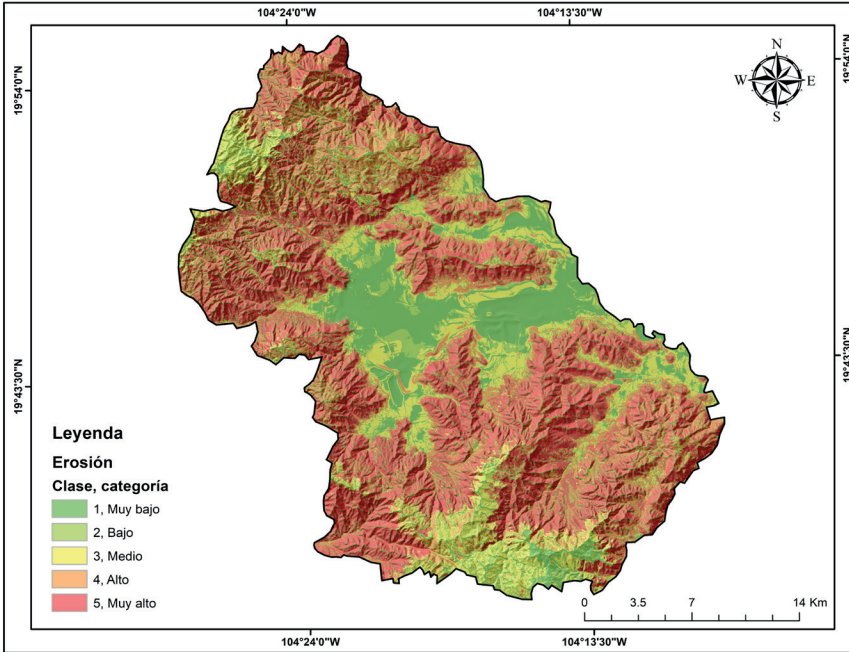
#### **Resultados y discusión**

El municipio de Autlán es diverso en cuanto a relieve se refiere, ya que presenta grandes valles y montañas con pendientes suaves, pero también abruptas. Esta última característica, está influenciada por fenómenos climáticos, sísmicos y por actividades antrópicas como la deforestación, la agricultura de temporal, así como la ganadería intensiva.

##### *a) Descripción general por criterio*

Los fenómenos mencionados provocan que aumente el proceso de erosión en las zonas de montaña, representan un 35.2% del total del territorio, por lo tanto, las localidades ubicadas en estas superficies pueden presentar riesgo al deslizamiento de tierra (ver la Figura 2).

**Figura 2.** Modelo ráster de erosión hídrica en el municipio de Autlán.



Fuente: elaboración propia utilizando información de [Figueroa et al., \(1991\)](#).

Del porcentaje anterior, el 20.8% del territorio tiene una pérdida máxima 118.8 t ha<sup>-1</sup> año y el resto que representa un 14.4% un total de 34.3 t ha<sup>-1</sup> año. El proceso de erosión como lo indica [Chacón \(2012\)](#) puede influenciar el riesgo por deslizamiento, si se toma en cuenta la relación de la erosión alta y muy alta en laderas con pendientes abruptas.

**Cuadro 1.** Criterios de riesgo para el deslizamiento de tierras.

Criterio	Riesgo alto (ha)	Riesgo muy alto (ha)
Erosión	3679.5	18933.0
Geología	8027.64	5526.04
Uso de suelo y vegetación	369.2	4.04
Edafología	5168.24	5882.08
Altitud pendiente en grados	6862.7	4725.8
Precipitación máxima diaria	7260.0	4515.2
Precipitación media anual	7852.2	6572.32
Sismos	5697.3	6893.1

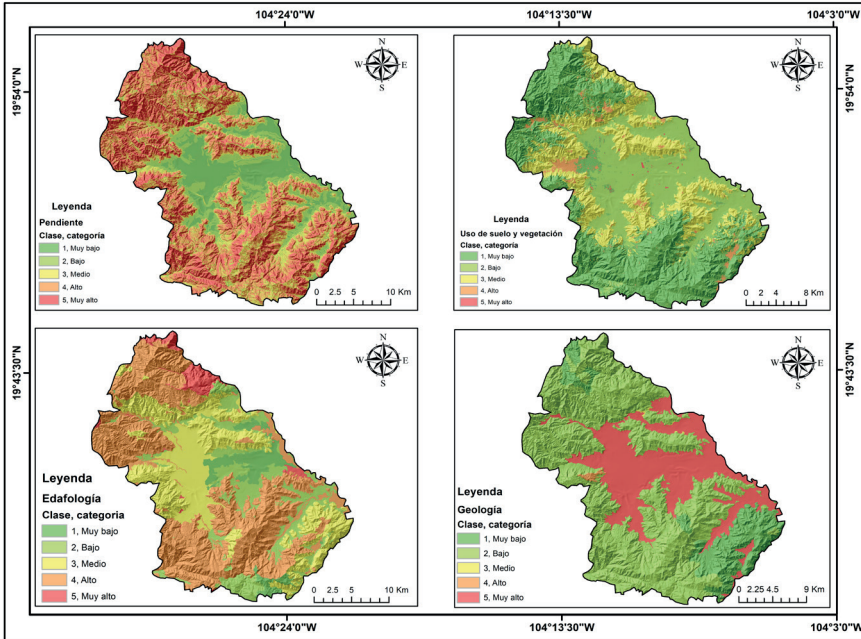
Fuente: elaboración propia. Impacto superficial por criterio en el riesgo alto y muy alto

La superficie con susceptibilidad al deslizamiento alto y muy alto (ver el Cuadro 1) se encuentra compuesta por diferentes tipos de rocas y suelos impactados por las actividades antrópicas. Aquellas rocas que están clasificadas por su alta susceptibilidad son las rocas ígneas (intrusiva acida, extrusiva acida, y suelos residuales) distribuidas en 19%; también la actividad agrícola de temporal, cuerpos de agua y suelo desnudo (ubicados en zonas de ladera), con una superficie de 0.5% del área total de municipio.

Otro aspecto relevante es el de los tipos de suelo, puesto que constituye uno de los factores más importantes en la incidencia de transporte de tierra ladera abajo, suelos Litosol (Cuadro 1 y Figura 3), Fluvisol eútrico y Vertisol pélico los cuales se encuentran en una categoría alta de riesgo y los suelos regosoles (eútrico y districo), a la vez que están clasificados como los más susceptibles o con un riesgo muy alto. Estos tipos de suelo están presentes en el 15.5% del territorio del municipio. Las características anteriores están influenciadas por pendientes medias de 27 grados distribuidas en un 20.8% del área susceptible a riesgo alto y pendientes medias de 32 grados distribuidos en el riesgo muy alto al deslizamiento (14.4%). Las condiciones físicas (ver la Figura 3) como el tipo de roca, vegetación y suelos e impactados por las pendientes puede ser un factor para el deslizamiento de tierra dependiendo del acomodo y estructura del lugar. Copons-Llorens y Tallada-Masquef (2009, p. 286) identifican que los deslizamientos de tierra son frecuentes en laderas inclinadas entre 35 y 100% de pendiente y con formaciones geológicas poco resistente y cohesivas (lutitas, arcillas entre otras); suelos profundos sin estructura llamados regosoles y algunos otros suelos delgados pero arcillosos como los litosoles.



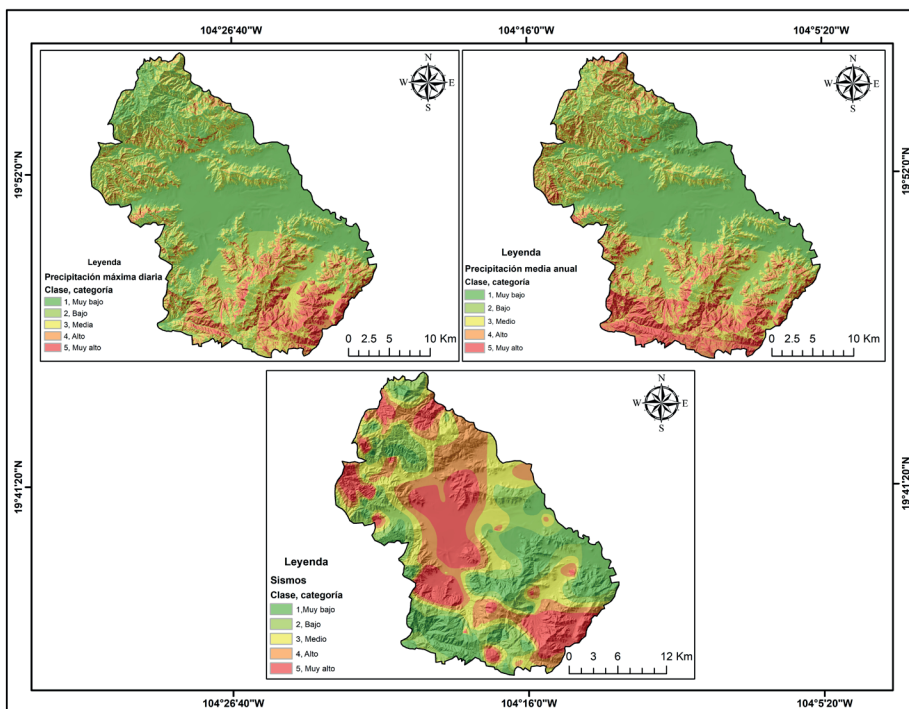
**Figura 3.** Criterios condicionantes y su relación con el deslizamiento de tierra.



Fuente: elaboración propia utilizando información cartográfica del [Instituto Nacional de Estadística y Geografía \(2018\)](#)

Para los criterios desencadenantes (ver la Figura 4) la presencia o ausencia del deslizamiento se presenta una precipitación máxima diaria de 534.27 mm en zonas de riesgo alto (20.8%), y en zonas (14.4%) con riesgo muy alto, lluvias máximas de diarias de hasta 536 mm. Las lluvias anuales se registran en rangos de 754 a 1352 mm para riesgo alto 755 a 1352 en zonas con riesgo muy alto. Según la figura anterior, las lluvias anuales y máxima diaria se distribuyen sobre zonas de montaña, principalmente con valores máximos en la zona sur del municipio, posiblemente afectadas por las condiciones costeras. [Cuanalo et al. \(2006, p. 2\)](#) mencionan que la cantidad de lluvia es producto de factores como la latitud, el relieve y corrientes marinas. Para [Herrera-Castañeda \(2002, p. 9\)](#) los deslizamientos están asociados con mayor frecuencia a clima cálido húmedo y semihúmedo, en segundo término, a zonas templadas y finalmente a las zonas áridas. Cabe destacar que los primeros climas mencionados anteriormente influyen el relieve en el municipio de Autlán según Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco ([IEEG, 2017](#)).

**Figura 4.** Criterios desencadenantes y su relación con el deslizamiento de tierra.



Fuente: elaboración propia con información del SSN (2021) y del IMTA (2016).

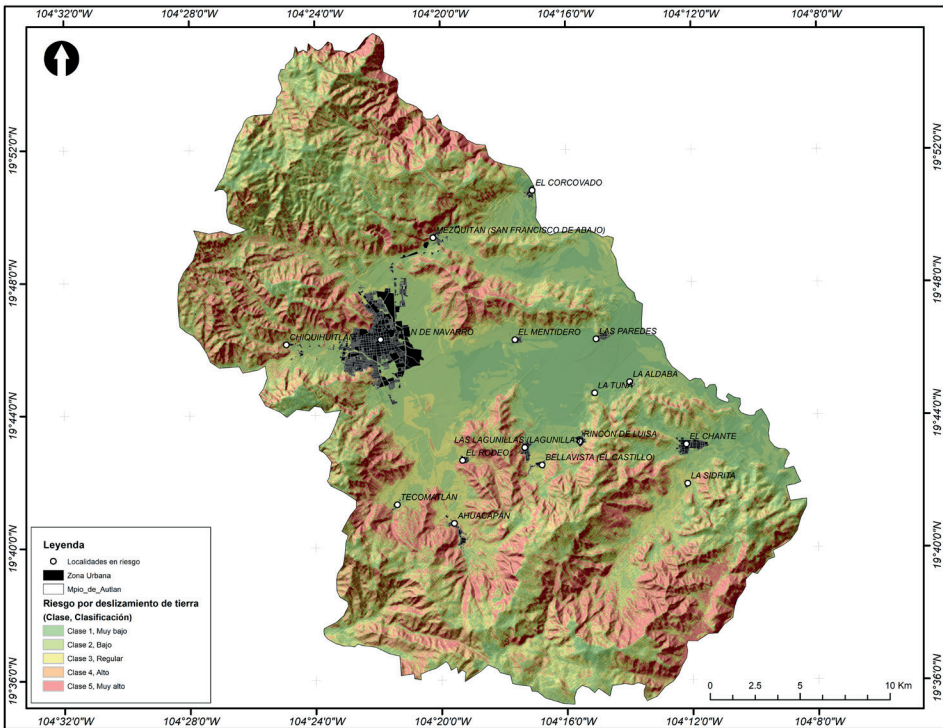
Los sismos más intensos se distribuyen principalmente en el centro y sur del municipio con valores máximos que pueden impactar positivamente sobre el proceso de deslizamiento de tierras, como lo menciona Kramer (1996, p. 2), los sismos pueden provocar deslizamientos dependiendo de las propiedades intrínsecas de la ladera como la topografía, tipo y propiedades de la roca, suelos de cobertura, la magnitud de los sismos y la distancia del epicentro. Dentro del área de interés, los fenómenos sísmológicos se presentan con magnitudes de 2.9 a 4.37 grados Richter que posiblemente no ocasionan grandes daños, sin embargo, según el Servicio Sismológico Nacional (2021) el municipio de Autlán de Navarro está influenciado por sismos muy fuertes como el registrado en año 1995 con una magnitud de 7.3, el cual es considerado como un movimiento donde puede fracturar el suelo y construcciones, aunque su ubicación se presente fuera

del municipio o inclusive del estado (ver el Cuadro 1 y la Figura 4). Las condiciones anteriores han sido sustentadas por [Quesada-Román y Feoli-Boraschi \(2018\)](#), quienes explican que el cambio de uso de suelo intensivo, la sismicidad y la variabilidad climática influyen a largo plazo los principales elementos para detonar los movimientos de ladera.

*b) Descripción y análisis del riesgo por deslizamiento de tierra.*

La distribución espacial del riesgo por deslizamiento de tierra en el municipio de Autlán (ver la Figura 5) fue producto de la relación de los criterios, este proceso permitió la identificación de áreas susceptibles sobre el relieve. También, se detectó la influencia del deslizamiento sobre áreas urbanas (16 localidades).

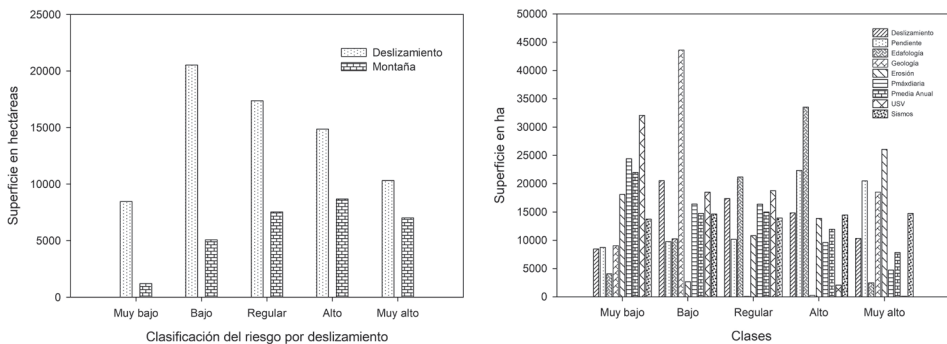
**Figura 5.** Distribución espacial del riesgo por deslizamiento de tierra.



Fuente: elaboración propia utilizando los Sistemas de Información Geográfica.

En el municipio de Autlán se observa la distribución espacial del deslizamiento dependiendo del relieve que presente, por ejemplo, la clasificación de riesgo baja y muy baja se ubica principalmente en zonas de valle aproximadamente el 64.8% de la superficie total (ver la Figura 5 y 6), no obstante, se distribuye en zonas de montaña donde la pendiente es acentuada. Para las clasificaciones de riesgo al deslizamiento de tierra regular a muy alta se encuentran sobre superficies montañosas con un porcentaje de 35.2% de la superficie total, área influenciada por relieves abruptos. Esta condición se distribuye principalmente sobre las laderas y el pie de cerro; lo anterior es destacable debido a que la mayoría de las localidades presentan áreas sobre este tipo de riesgo. Estas localidades están ubicadas sobre una estructura física (edafología, tipo de roca, vegetación y pendiente) susceptible al movimiento ladera abajo; sin embargo, Quesada y Barrantes (2016, p. 230) mencionan que la vegetación no es un atenuador en la dinámica de los procesos de ladera.

**Figura 6.** Criterios detonantes y desencadenantes en el deslizamiento de tierra.



Fuente: elaboración propia.

Al tener en cuenta el análisis de Pearson por clasificación (cinco clases), se muestra que no existe una diferencia significativa entre los criterios utilizados y el deslizamiento, la característica edáfica obtuvo un  $R^2$  de 0.44 y el tipo de roca con  $R^2$  0.41 con alfa 0.05, cuyo resultado ha sido una relación positiva que sugiere que, a medida que exista suelos y rocas susceptibles, aumentará la posibilidad al deslizamiento. El análisis ANOVA manifiesta que las diferencias entre los valores medios entre los grupos de tratamiento (ver el Cuadro 2) no son lo suficientemente grandes como

para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio, de lo que se concluye que no hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = 1.00$ ) y un alfa de 0.05.

**Cuadro 2.** Análisis ANOVA para los criterios clasificados.

Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre sujetos	4	139172423.1	34793106		
Entre tratamientos	8	7.94E-22	9.93E-23	9.21E-31	1
Residual	32	3449316013	107791125		
Total	44	3588488436			

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, cada uno de los criterios utilizados presentan diferentes atributos (tipos de suelo, suelos con o sin vegetación, rocas resistentes, lluvias intensas entre otros) que pueden influir en menor o mayor medida sobre el deslizamiento de tierra. En este caso la correlación de Pearson arroja una relación estadísticamente significativa solo en el criterio de edafología con un valor de  $P < 0.05$  y una correlación de  $R^2 = 1.0$ . Tras haber aplicado el ANOVA (ver el Cuadro 3) se determina que la diferencia en los valores de la mediana entre los grupos de tratamientos es mayor de lo que cabría esperar por casualidad debido a un valor de  $H = 29.305$  con 9 grados de libertad y  $P < 0.001$ , por lo tanto, se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa.

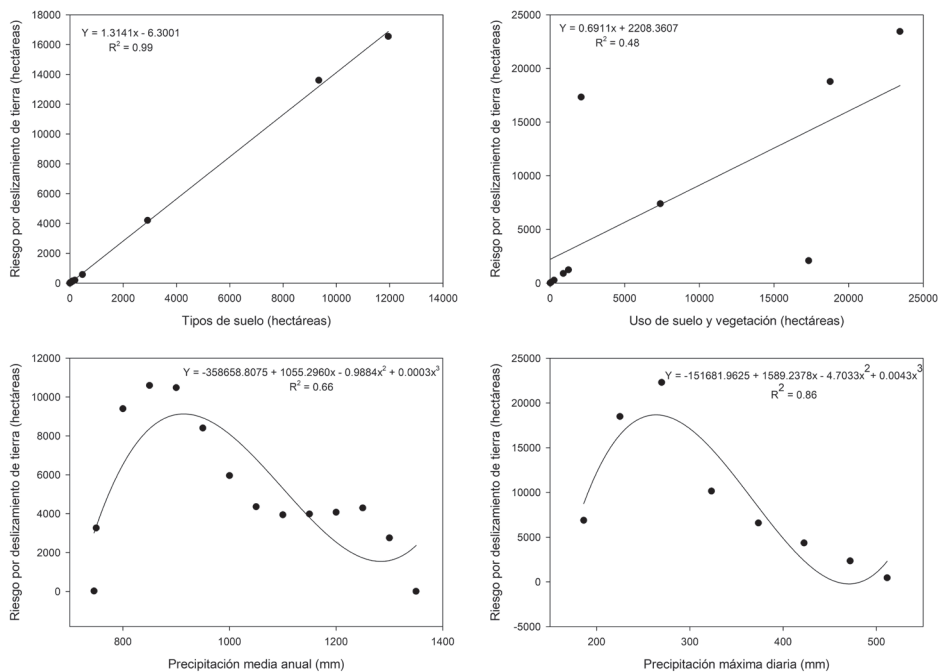
**Cuadro 3.** Comparación en el deslizamiento de tierra sobre los atributos por criterio.

Método de Dunn's			
Comparación múltiple	Diferencia de rangos	Q	$P < 0.05$
Precipitación máxima diaria - Edafología	50.661	3.583	Yes
Precipitación máxima diaria - Geología	17.958	1.159	No
Precipitación máxima diaria – Uso de suelo y vegetación	32.369	1.185	No
Precipitación máx. diaria - Precipitación anual	10.768	0.762	No
Precipitación anual - Edafología	39.893	3.309	Yes
Precipitación anual - Geología	7.190	0.528	No
Precipitación anual – Uso de suelo y vegetación	7.157	0.542	No
Uso de suelo y vegetación - Edafología	32.736	2.479	No
Uso de suelo y vegetación - Geología	0.0333	0.0022	No
Geología - Edafología	32.702	2.400	No

Fuente: elaboración propia.

La comparación múltiple (ver el Cuadro 3) refleja una diferencia estadística solo entre el comportamiento del riesgo por deslizamiento para los tipos de precipitación y los atributos de la edafología (tipos de suelo). Lo anterior es debido a la variable Q, en donde los valores cercanos a cero las comparaciones no presentan una relación significativa; mientras que en los alejados se presentan las diferencias estadísticas significativas entre comparaciones. Por lo tanto, se concluye que la mayor influencia sobre el riesgo por deslizamiento se debe a las condiciones edafológicas y de precipitación que impactan al municipio de Autlán de Navarro. A continuación, se presentan regresiones lineales y cúbicas donde se observa el grado de correlación entre el riesgo por deslave de tierra y los criterios utilizados.

**Figura 7.** Relación entre criterios y el riesgo para el deslizamiento de tierra.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 7 se observa que los criterios de edafología y lluvia media anual y diaria influyen sobre el riesgo de deslizamiento, idea corroborada en Alcántara y Murillo (2008), quienes han indicado que la inestabilidad de las

laderas se debe principalmente a factores edafológicos y el cambio de estructura de la roca superficial, aunado a la presencia de una mayor infiltración y saturación del suelo por las lluvias fuertes. Quesada-Román, Falla-López, Hernández-Espinosa, Stoffel y Ballesteros-Castillo (2019) en su estudio sobre deslizamientos por terremotos y huracanes indican que los factores fueron las lluvias, la pendiente y la altitud, además de la cercanía del epicentro del sismo.

*c) Descripción y análisis del riesgo por deslizamiento a nivel localidad.*

En el municipio de Autlán se encuentran ubicadas 16 localidades distribuidas en las cinco clasificaciones de riesgo para deslizamiento de tierra, de las cuales, 5 de ellas no presentan en su área un riesgo entre alto y muy alto por deslizamiento de tierra. Al considerar solo las áreas urbanas distribuidas en las clases mencionadas anteriormente, se tiene que Ahuacapan presenta un área de 19.11% de la superficie total de la zona urbana, mientras que El Rodeo con el 14.67%, La Sidra 60.2%, Tecomatán de 46.45% y Autlán presenta un área aproximada de 1.79%.

**Cuadro 4.** Relación del área urbana y el riesgo de deslizamiento de tierra.

Localidad	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Total, ha
Tecomatán	0	1.25	1.19	1.16	0.93	4.5
Rincón de Luisa	8.47	13.77	0.96			23.2
Mezquitán	4.35	65.30	15.27	1.30	0.39	86.6
Las Paredes	36.12	0.52				36.6
Lagunillas	14.76	25.36	9.65	2.31	0.26	52.3
La Tuna	1.37	1.25	0.01			2.6
La Sidra		2.20	5.71	0.14		8.1
La Aldaba	4.45	4.21				8.7
El Rodeo		4.74	8.10	2.07	0.13	15.0
El Mentidero	17.73	11.73	0.20			29.7
El Chante	63.40	18.00	0.71			82.1
El Corcovado	11.13	13.29	0.22			24.9
Chiquihuitlán	2.67	16.35	8.86	0.17		15.9
Bella Vista	0	2.99	12.21	0.68	0.0007	15.9
Autlán	252.42	1173.35	145.20	21.01	7.63	1599.6
Ahuacapán	0.06	13.66	24.41	7.96	1.04	47.1

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, se aprecian algunas localidades que no presentan áreas en zonas de riesgo regular a muy alto como es el caso de Las paredes y La Tuna

(ver el Cuadro 4). Estas localidades están ubicadas en suelos con características de estructura y de rocas resistentes donde los criterios desencadenantes no presentan un impacto considerable al deslizamiento. Entonces, en las laderas con presencia de áreas urbanas ubicadas en riesgos bajos, los árboles, las cercas, los muros y los postes se encuentran en posición vertical, por lo anterior, el factor inclinación puede aclarar el problema del deslizamiento (Alcántara y Murillo (2008, p. 54). Por otra parte, cabe mencionar que dentro de las localidades diversas manzanas (construcción de viviendas) se encuentran en alguna categoría de riesgo por deslizamiento, por ejemplo, al tomar en cuenta solo las clases de riesgo alto y muy alto, en la cabecera municipal se contabilizaron 153 manzanas y 65 respectivamente (ver el Cuadro 5). Si se toma el total de manzanas con riesgo alto en el municipio se tienen un total de 269 y para la clase de muy alto riesgo 85, lo anterior, sugiere mayor atención a estas zonas con construcciones para viviendas y donde las personas pueden presentar riesgo a su salud.

**Cuadro 5.** Distribución de las viviendas por riesgo al deslizamiento de tierra.

Localidad	No. De manzanas			No. De viviendas			Habitantes	
	Regular	Alto	Muy alto	Regular	Alto	Muy alto	media	Total
Bella Vista	40	10		86	12		3.3	325.4
Ahuacapán	67	59	9	214	116	24	3.2	1139.9
Chiquihuitlán	31	7		30	7		3.9	143.9
Corcovado	1			1			4.7	4.7
El Chante	1			4			3.5	13.8
El Mentidero	1			1			4.4	4.4
El Rodeo	18	5	1	31	11	1	3.5	149.6
La Aldaba	1			1			3.1	3.1
La Sidra	6	2		29	2		3.0	94.2
La Tuna				1	0		3.3	3.3
Lagunillas	40	20	6	66	21	8	3.2	307.8
Las Paredes				1			3.4	3.4
Mezquitán	34	8	2	102	7	3	3.5	396.5
R. Luisa	15	2		19	1		2.7	54.6
Tecomatlán	13	3	2	12	3	3	3.6	64.9
Aulán	240	153	65	873	415	383	3.4	5664.7

Fuente: elaboración propia.

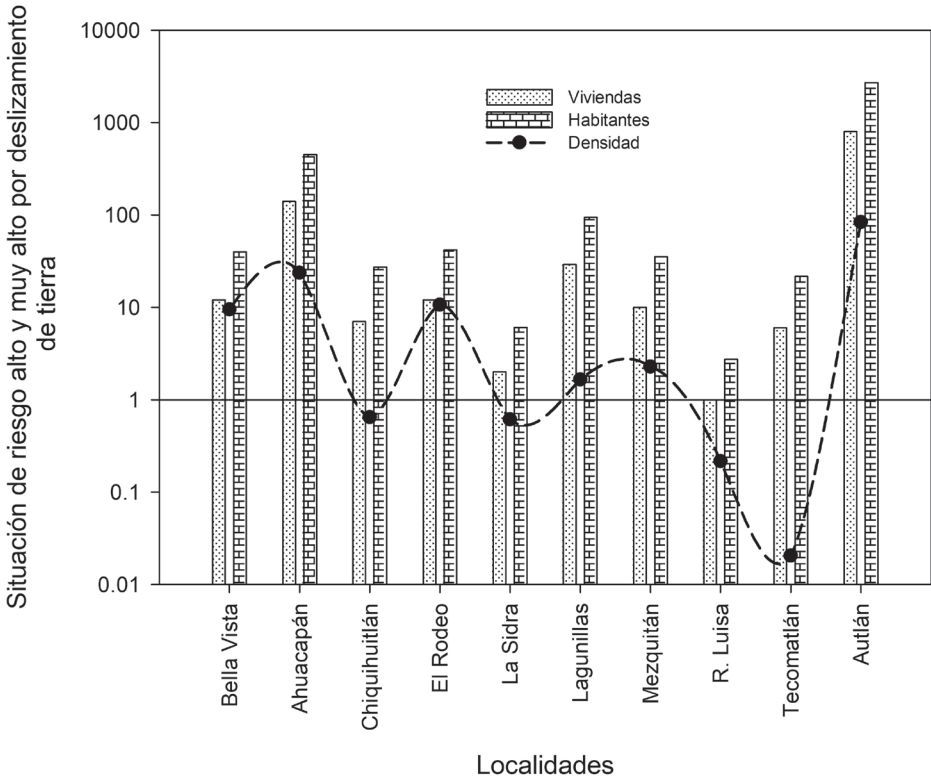
Según el promedio de habitantes por vivienda (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020), las localidades con mayor población



bajo riesgo regular a muy alto son Ahuacapán y Autlán. Tampoco se puede dejar de lado que solo las clasificaciones de riesgo alto y muy alto se obtiene la distribución de viviendas y habitantes por localidad, así como su densidad de población (ver la Figura 8) En algunas localidades, el número de viviendas y habitantes es semejante, pero el número de personas por unidad de área (hectáreas) se comporta de manera diferente.

Lo anterior, se da principalmente debido a la falta de superficie para construcción urbana en condiciones que limiten el proceso de deslizamiento de tierra, lo que obliga a construir viviendas cercanas a las zonas de laderas.

**Figura 8.** Distribución de viviendas, habitantes y densidad.



Fuente: elaboración propia.

Siguientemente, se presenta el tipo de riesgo en las viviendas y salud de los habitantes con base a una jerarquización y ponderación del número de habitantes por unidad área (Salgado 2005, p. 93-102). Las viviendas en 6 localidades se ubican en riesgo alto y muy alto, donde los valores

mayores son para Ahuacapán y Autlán; las cuales son las más representativas en el contexto de deslizamiento de tierra (ver el Cuadro 6) y en su caso al riesgo a la salud.

Con base a lo anterior, se considera que se deben aplicar estrategias de planificación como lo manifiesta Suárez-Díaz (1998) quien considera que esta estrategia es uno de los métodos más efectivos para reducir la susceptibilidad al proceso de deslizamiento en estas áreas zonas verdes o de baja intensidad de uso.

### Cuadro 6. Clases de riesgo en el municipio de Autlán (Salgado,2005).

Localidades	Viviendas	Clases	Habitantes	Densidad (ha)	Clases
Bella Vista	12	Muy alto	39.84	9.49	Bajo
Ahuacapán	140	Muy alto	450.80	23.58	Alto
Chiquihuitlán	7	Alto	27.23	0.64	Regular
El Rodeo	12	Muy alto	41.76	10.65	Bajo
La Sidra	2	Muy bajo	6.08	0.61	Muy bajo
Lagunillas	29	Muy alto	93.96	1.65	Bajo
Mezquitán	10	Muy alto	35.40	2.27	Muy bajo
R. Luisa	1	Muy bajo	2.73	0.22	Muy bajo
Tecomatán	6	Medio	21.66	0.02	Muy bajo
Autlán	798	Muy alto	2705.22	83.29	Muy alto

Fuente: elaboración propia a partir de Salgado (2005).

Con base al Cuadro 6 y al método estadístico Kruskal Wallis, se determina que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos establecidos (clases de riesgo) y la densidad de población (Cuadro 7), debido a que la diferencia entre los valores de las medianas no es tan grande como se esperaría y a valores de  $P=0.138$ ,  $H=6.964$  con 4 grados de libertad. Lo anterior sugiere que la densidad de población en las zonas de riesgo alto y muy alto de deslizamiento de tierra no es determinante en el riesgo a la salud de los habitantes. Por otro lado, en la comparación múltiple se observa una diferencia significativa entre los riesgos regular a muy alto y por el contrario en los riesgos bajos. Lo anterior, determina que a medida que aumenta la población en zonas de deslizamiento de tierra aumentará el riesgo a la salud de los habitantes de la zona.

### Cuadro 7. Comparación estadística de clases de riesgo a la población.

Kruskal Wallis				
Grupos	N	Mediana	25%	75%
Bajo	3	9.486	3.609	10.361
Alto	1	23.577	23.577	23.577
Regular	1	0.644	0.644	0.644
Muy bajo	4	0.413	0.118	1.440
Muy alta	1	83.289	83.289	83.289
Comparación múltiple				
Comparación	Dif. de medias	t	Nivel crítico	
Muy alto vs. Muy bajo	2688.752	106.120	0.005	Yes
Muy alto vs. Bajo	2646.700	101.143	0.006	Yes
Muy alto vs. Regular	2677.990	83.559	0.006	Yes
Muy alto vs. Alto	2254.420	70.343	0.007	Yes
Alto vs. Muy bajo	434.332	17.142	0.010	Yes
Alto vs. Bajo	392.280	14.991	0.010	Yes
Alto vs. Regular	423.570	13.216	0.013	Yes
Bajo vs. Muy bajo	42.053	2.430	0.017	No
Bajo vs. Regular	31.290	1.196	0.025	No
Regular vs. Muy bajo	10.762	0.425	0.050	No

Fuente: elaboración propia.

### Conclusiones

Se determinó que las zonas urbanas de Autlán, Ahuacapán presentan las mayores superficies dentro de los riesgos alto y muy alto al deslizamiento; lo anterior, indica que se le debe poner atención prioritaria debido a que las superficies urbanas están ubicadas sobre material susceptible, aunado a la influencia de los factores climáticos. Según el análisis estadístico, se concluye que los suelos y la precipitación son los criterios que más influyen sobre el deslizamiento, por consiguiente, el cambio de uso de suelo en zonas de ladera puede ser un factor determinante para disminuir la problemática, sumado a una planeación en la distribución espacial de las zonas urbanas y la probable pérdida de infraestructura y vidas humanas.

### Referencias

Alcántara, A. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones geográficas*, (41), 7-25.

- Alcántara, A. y Murillo, G. (2008). Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. *Investigaciones geográficas*, (66), 47-64.
- Aceves-Quesada, J. F., Legorreta-Paulín, G., Hubp, J. L., Umaña-Romero, J., y Legorreta-Cuevas, H. A. (2016). Sistemas de Información Geográfica y cartográfica geomorfológica. *Investigaciones Geográficas*, (91), pp. 43-55.
- Andrade, A. (2020). Formulación de un concepto de gestión del riesgo del cambio climático ajustado a las condiciones naturales de Colombia. [https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/3654/1/MONOGRAF%C3%8DA\\_Lindy\\_Andrade.pdf](https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/3654/1/MONOGRAF%C3%8DA_Lindy_Andrade.pdf).
- Ayala-Carcedo, F. (2002). *Riesgos Naturales*. Editorial Ariel.
- Becerra, M. (1999). Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo.
- Borja, B. y Alcántara A. (2004). Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla. *Investigaciones Geográficas*, (53), 7-26.
- El Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED]. (2004). *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligro y riesgos*. Secretaría de Gobernación.
- El Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED]. (2016). Análisis de umbrales de lluvia que detonan deslizamientos y sus posibles aplicaciones en un sistema de alerta temprana por inestabilidad de laderas. Subdirección de Dinámica de Suelos y Procesos Gravitaciones. [https://www1.cenapred.unam.mx/COORDINACION\\_ADMINISTRATIVA/SRM/FRACCION\\_XLI\\_A/23.pdf](https://www1.cenapred.unam.mx/COORDINACION_ADMINISTRATIVA/SRM/FRACCION_XLI_A/23.pdf).
- El Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED]. (2018). Inestabilidad de laderas: ¿cómo influyen las lluvias en este fenómeno? Centro Nacional de Prevención de Desastres. <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/inestabilidad-de-laderas-como-repercuten-las-lluvias>.
- Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos. [CLIRSEN]. (2011). Metodología para la elaboración de categoría planimétrica, generación de geoinformación del territorio y valoración de tierras rurales del río a nivel nacional. [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA5/NIVEL\\_DEL\\_PDOT\\_CANTONAL/GUAYAS/MILAGRO/IEE/BASE/METODOLOG%C3%8DA/METODOLOG%C3%8DA\\_CARTOGRAF%C3%8DA\\_FINAL.doc](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA5/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/GUAYAS/MILAGRO/IEE/BASE/METODOLOG%C3%8DA/METODOLOG%C3%8DA_CARTOGRAF%C3%8DA_FINAL.doc).

- Chacón, J. (2012). Movimientos de ladera: clasificación, descripción y evolución espacial y temporal. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, (28), 73– 89.
- Copons–Llorens, R. y Tallada–Masquef, A. (2009). Movimientos de ladera. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17 (3), 284 – 294.
- Corporación Autónoma Regional Rionegro-Nare [CORNARE]. (2012). Zonificación de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales. Atención de áreas afectadas por eventos desastrosos. *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*.
- Cortés, T. (1991). *Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados*. [Tesis de maestría]. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- Cuanalo, C., Quezada P, Aguilar M., Oliván R. y Barona d. E. (2006). Sismos y lluvias, factores detonantes de deslizamientos de ladera en las regiones montañosas de Puebla, México. *e-Gnosis*, (4), 1–15.
- Dumas, S. (2012). *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río mundo*. [Tesis de maestría]. Universidad Complutense de Madrid.
- Figuroa, S., Amante, O., Cortes T., Pimentel L., Osuna C., Rodríguez, O. y Morales F. (1991). Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH-CP.
- Fraustro, M. (1999). Derrumbes, deslizamientos y expansión lateral del suelo provocados por la sismicidad en el graben de Cuauhtepc: región sur de la Sierra de Guadalupe, en la Ciudad de México. *Investigaciones geográficas*, (38), 15-29.
- Herrera–Castañeda, S. (2002). Regionalización de los deslizamientos en México. Academia de Ingeniería. [http://www.ai.org.mx/revista/numero\\_tres/regionalizacion\\_de\\_los\\_deslizamientos\\_en\\_mexico.html](http://www.ai.org.mx/revista/numero_tres/regionalizacion_de_los_deslizamientos_en_mexico.html).
- Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco [IIEG] (2017). Autlán de Navarro; Diagnostico del municipio. <http://iieg.gob.mx/contenido/Municipios/AutlandeNavarro>.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco [IIEG, 2019]. (2019). Diagnóstico del municipio de Autlán de Navarro. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/06/Autl%C3%A1n-de-Navarro.pdf>.

- Instituto Espacial Ecuatoriano [IEE]. (2013). Análisis de amenaza por tipo de movimiento en masa Cantón Tosagua. Memoria técnica.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA]. (2016). Extractor rápido de información climática Eric III 3.2.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). Cartografía topográfica escala 1:50,000. <https://www.inegi.org.mx/datos/?t=0150>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Censo de población y vivienda. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>.
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Editorial Prentice Hall.
- Mardones, M. y Vidal, C. (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *EURE* 27 (81) 97-122.
- Mergili, M., Marchant, S. y Moreiras, S. (2014). Causas, características e impactos de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Revista Colombiana de Geografía*, 24 (2), 114–131.
- Montes, L., Uribe, A. y García, C. (2011). Mapa nacional de erosión potencial. *Tecnología y Ciencia del Agua*, 2 (1), 5–7.
- Moore, I. y Burch, G. (1986). Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects. *Trans. ASAE* 29,1624-1630.
- Mora, S. y Vahrson, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Bulleting of the Association of Engineering and Geologist*, 31 (1), 49-58.
- Mora, S. y Vahrson, W. (1996). Determinación a priori de la Amenaza de Deslizamientos sobre grandes áreas, utilizando Indicadores Morfo-dinámicos. In Alzate, J.B. (ed) *Memoria sobre el primer simposio internacional sobre sensores remotos, sistemas de información Geográfica (SIG), para estudios de Riesgos naturales*. IGAC. 259 – 273.
- Moreno-Jiménez, A. (2006). *Sistemas y Análisis de la información Geográfica*. Alfaomega. México.
- Olguín-López, J., Guevara-Gutiérrez, L., Ramírez-Romero, J. y Álvarez-Rodríguez, M. (2012). Los efectos de “Jova” en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México: un caso histórico. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 4 (2), 1–19.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma.
- Quesada-Román, A. y Barrantes-Castillo, G. (2016). Procesos de ladera cosísmicos del terremoto de Cinchona (Costa Rica) del 8 de enero de 2009 ( $M_s = 6.2$ ). Cuadernos de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 25 (1), 217–232.
- Quesada-Román, A. y Barrantes-Castillo, G. (2017). Modelo Morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. *Investigaciones Geográficas*, 94, 1–12.
- Quesada-Román, A., Falla-López, B., Hernández-Espinoza, K., Stoffel, M. y Ballesteros-Cánovas, J. (2019). Relaciones entre terremotos, huracanes y deslizamientos en Costa Rica. *Deslizamientos de Tierra*, 16, 1539–1550.
- Quesada-Román, A., y Feoli-Boraschi, S. (2018). Comparación de la metodología Mora-Vashrson y el método morfométrico para determinar áreas susceptibles a deslizamientos en la microcuenca del río Macho, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, (61), 17–45.
- Quesada-Román, A. y Zamorano-Orozco, J. (2019). Zonificación de procesos de ladera e inundaciones a partir de un análisis morfométrico en la cuenca alta del río General, Costa Rica. *Investigaciones Geográficas*, 99, 1–9.
- Renard, K. Foster, G., Weesies, G., McCool, D. y Yoder, D. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation*, US Department of Agriculture, Agricultural Research Services. Agricultural Handbook 703.
- Salgado, M. (2005). Análisis integral del riesgo a deslizamiento e inundación en la microcuenca del río Gila, Copán, Honduras. [Tesis de maestría]. CATIE.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2013). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012.

Fátima González Bolaños, José Luis Olguin López, Rubén Darío Guevara Gutiérrez,  
Carlos Palomera García, José Manuel Ramírez Romero, Víctor Manuel Villalvazo López  
*Landslide risk spatial identification in the municipality of Aultan of Navarro, Jalisco, Mexico*

Servicio Sismológico Nacional [SSN]. (2021). Catálogo de sismos <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>.

Suárez-Díaz, J. (1998). Caracterización de los movimientos. En: Suárez, J. (ed.). *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos pp. 1-30. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

Trujillo P., Ospina L., y Parra, L. (2010). Los terremotos: una amenaza natural latente. *Scientia Et Technica*, 16 (45), 303–308.



## **Valoración estética de los paisajes de interés turístico: caso de estudio Carretera-Parque Piraputanga - Aquidauana - Mato Grosso del Sur – Brasil**

Aesthetic assessment of landscapes of tourist interest: case study Piraputanga Park - Aquidauana Mato Grosso del Sur- Brazil





Avaliação estética de paisagens de interesse turístico: estudo de caso da Rodovia Piraputanga-Parque - Aquidauana - Mato Grosso do Sul – Brasil

*Eros Salinas Chávez<sup>1</sup>*  
*Universidad de la Habana, Cuba*

*Eva Teixeira dos Santos<sup>2</sup>*  
*Universidad Federal de Mato Grosso del Sur, Brasil*

*Lucy Ribeiro Ayach<sup>3</sup>*  
*Universidad Federal de Mato Grosso del Sur, Brasil*

*Lidiane Perbelin Rodrigues<sup>4</sup>*  
*Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil*

- 1 Facultad de Turismo. Universidad de la Habana, Ave. de los Presidentes y L, Vedado, La Habana, Cuba. Correo electrónico: [salinaschavezeros@gmail.com](mailto:salinaschavezeros@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0003-2612-8048>
- 2 Universidad Federal de Mato Grosso del Sur. Campus de Aquidauana, Praça Nossa Senhora Imaculada Conceição, 163 – Centro – Aquidauana/MS, Brasil. Correo electrónico: [eva.teixeira@ufms.br](mailto:eva.teixeira@ufms.br),  <https://orcid.org/0000-0002-3571-6522>
- 3 Universidad Federal de Mato Grosso del Sur. Campus de Aquidauana, Praça Nossa Senhora Imaculada Conceição, 163 – Centro – Aquidauana/MS, Brasil. Correo electrónico: [lucy.ayach@ufms.br](mailto:lucy.ayach@ufms.br),  <https://orcid.org/0000-0003-4792-4190>
- 4 Universidade Federal da Grande Dourados, Programa de Doutorado em Geografia. Rodovia Dourados/Itahum, Km 12 - Unidade II. Grande Dourados. MS. Brasil. Correo electrónico: [lidiane\\_perbelin@hotmail.com](mailto:lidiane_perbelin@hotmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-6799-456X>

## Resumen

Las características estéticas de los paisajes y su percepción son tema actual de interés científico, en particular, aplicado al turismo y a la recreación. Se consideró como problema de investigación el siguiente: ¿cómo estimar los valores estéticos de los paisajes con el empleo de un mapa de unidades o tipos de paisajes? A su vez, se estableció el objetivo siguiente: proponer un procedimiento evaluativo cualitativo-cuantitativo, resultado de la experimentación con varios indicadores cartográficos, seleccionados empíricamente, representativos de características geográficas observables de los paisajes. Se presentan como resultados distintos mapas, que reflejan el cálculo de estos indicadores y un mapa de síntesis. La identificación de los sectores paisajísticos con mayores valores estéticos es importante en la planificación espacial del turismo y contribuye a la conservación y manejo del territorio estudiado. En este caso aplicado al Área de Protección Ambiental Carretera-Parque Piraputanga, Aquidauana, Mato Grosso del Sur.

**Palabras claves:** Paisajes, Percepción estética, Geografía del Turismo y Análisis.

## Abstract

The aesthetic characteristics of landscapes and their perception are a current topic of scientific interest, in particular applied to tourism and recreation. The following was posed as a research question: how to estimate the aesthetic values of landscapes with the use of a map of units or types of landscapes? In turn, the following objective was established: to propose a qualitative-quantitative evaluation procedure, the result of experimentation with various cartographic indicators, selected empirically, representative of observable geographic characteristics of landscapes. Different maps are presented as results, which reflect the calculation of these indicators and a summary map. The identification of the landscape sectors with the highest aesthetic values is important in the spatial planning of tourism and contributes to the conservation and management of the studied territory. In this case it is applied to the Piraputanga Park-Highway Environmental Protection Area, Aquidauana, Mato Grosso do Sul.

**Keywords:** Landscapes, Aesthetic Perception, Geography of Tourism and Analysis.

## Resumo

As características estéticas das paisagens e sua percepção é um tema atual de interesse científico, em particular, aplicado ao turismo e recreação. Foi considerado como problema de pesquisa: como estimar os valores estéticos das paisagens com o uso de um mapa de unidades ou tipos de paisagens? Para tanto, estabeleceu-se o seguinte objetivo: propor um procedimento de avaliação qualitativo-quantitativo, resultado da experimentação com diversos indicadores cartográficos, selecionados empiricamente, representativos de características geográficas observáveis de paisagens. Diferentes mapas são apresentados como resultados, que refletem o cálculo desses indicadores e um mapa síntese. A identificação dos setores paisagísticos com maiores valores estéticos é importante no ordenamento do território turístico e contribui para a conservação e gestão do território estudado. Neste caso aplicado à Área de Proteção Ambiental - Estrada Parque Piraputanga, Aquidauana, Mato Grosso do Sul.

**Palavras-chave:** Paisagens, Percepção Estética, Geografia do Turismo e Análises.

## Introducción

La voluntad, o mejor, el instinto de viajar, de desplazarse, de buscar, conocer y eventualmente establecerse en otros paisajes; forma parte de la historia de la Humanidad, en particular los desplazamientos temporales que se realizan en la búsqueda de algo diferente: un clima menos severo; fuentes termales para la salud y el bienestar; espectáculos de distracción; motivos religiosos, de culto y recreación; realizar compras; disfrutar de los intercambios y el descanso.

En este punto pudiera resultar conveniente insertar dos apreciaciones un tanto filosóficas, tendientes a identificar las razones que subyacen en la conducta motivacional del desplazamiento turístico: la primera afirma que es la búsqueda, el acercamiento a lo que no se tiene para la mejor visualización y comprensión del mundo y del propio hombre dentro de él; la segunda plantea que dicha búsqueda y acercamiento tiene en su sustrato motivacional el ansia del hombre –el turista en este caso– por conocerse mejor a sí mismo, una vez que amplía su visión por esos otros paisajes (Medina, Santamarina y Salinas, 2013, p.3). Se advierte que ambas apreciaciones no son en modo alguno contrapuestas, sino más bien complementarias.

Pero en ambos casos dentro de las motivaciones para los viajes y la selección de los lugares a donde viajar, juegan un papel muy importante los paisajes y sus características. Vale en este sentido recordar las siguientes palabras:

Los paisajes atractivos constituyen motivos determinantes para los turistas. Las empresas turísticas (hoteleras, transportistas, de servicios recreativos y gastronómicos, turoperadores mayoristas, agencias de viajes, etc.) a menudo se sobrevaloran. A los ojos de los turistas no son más que auxiliares para alcanzar tal o cual objetivo; se recurre a sus servicios para poder “consumir el paisaje”. El paisaje por sí sólo representa la materia prima, la base misma de la existencia y el motor económico del turismo. (Krippendorf, 1985, p.12).

Los paisajes son percibidos, interpretados, sentidos y provocan emociones muy disimiles en los observadores. Esta es la dicotomía que enfrentan y tienen ante sí, todos aquellos que por una u otra razón deben estudiar los paisajes, bajo conceptualizaciones de distintas disciplinas científicas, con diversas clasificaciones y variados enfoques metodológicos y herramientas de investigación.

Ello ha incidido en el hecho, que la conceptualización y valoración estética del paisaje sea un tema muy debatido dentro del ámbito general de la percepción del paisaje, (Bishop y Hulse, 1994; Nikolaiev, 2005; Nogué y Vela, 2011; Salinas, 2013; y Jahani, Maryam y Samura 2020), se destaca también de la revisión documental realizada, la importancia que tiene su estudio en la planificación territorial del uso de los diferentes paisajes geográficos, en especial para su aprovechamiento turístico-recreativo (Nogué, 2010; Folch y Bru, 2017; y Salinas, Texeira, Ribeiro, Perbelin, 2020).

En este diverso y complejo escenario científico, solamente esbozado. Se consideró plantear como problema de investigación el siguiente: ¿cómo estimar los valores estéticos de los paisajes con el empleo de un mapa de unidades o tipos de paisajes? A su vez, se estableció para desarrollar este problema el objetivo siguiente: proponer un procedimiento evaluativo cualitativo-cuantitativo, resultado de la experimentación con varios indicadores cartográficos, seleccionados empíricamente, reflejo de características geográficas observables de los paisajes.

Estos indicadores cartográficos propuestos son representativos de peculiaridades significativas en las relaciones espaciales existentes, entre los distintos paisajes de un territorio; en este caso aplicado al Área de Protección Ambiental Carretera-Parque Piraputanga, Aquidauana, Mato Grosso del Sur.

La identificación y distribución geográfica de los sectores paisajísticos con mayores valores estéticos es importante en la planificación territorial, desarrollo y comercialización del turismo y la recreación.

### **Marco Teórico**

Existen por lo menos dos acepciones cultas del término paisaje. Una se sitúa en el campo de las ciencias naturales con profunda tradición geográfica y ecológica, y que en lo fundamental descansa en la idea de las interrelaciones e interdependencias de todos los fenómenos naturales de la superficie terrestre. Así, el relieve, el sustrato rocoso, el clima, las aguas superficiales y subterráneas, los suelos y los organismos vivos se relacionan en sus cambios espaciales y en su desarrollo histórico (Salinas, 2013, p.103). Una definición formal con un enfoque geográfico conceptualiza el paisaje como:

Un sistema territorial objetivamente existente, homogéneo en sus diferentes partes, formado por la influencia de procesos naturales y las actividades modificadoras de la sociedad (Preobrazhenky, Gerasimov y Aleksandrova, 1982, p.5).

A su vez, una síntesis del enfoque naturalista sobre la conceptualización del paisaje, por diferentes autores, es la siguiente: Los paisajes geográficos como categoría científica de carácter transdisciplinario son sistemas espacio-temporales complejos y abiertos integrados por elementos naturales y antrópicos, condicionados socialmente, que modifican las propiedades de los paisajes naturales originales, los cuales poseen una estructura, funcionamiento, dinámica y evolución particulares que les confieren propiedades de integridad, límites propios y se constituyen en una asociación de objetos y fenómenos que están en constante y compleja interacción y movimiento; presentando una jerarquización al interior de sus componentes, constituyéndose así en verdaderos espacios naturales que las sociedades transforman para producir, habitar, vivir y soñar (Maximiano, 2004; Diakonov y Mamai, 2008; Pinto, 2009; Mateo, 2011; Vera, López, Marchena y Antón, 2011; Kiyotani, 2014; Salinas y Remond, 2015).

La otra acepción, no menos significativa, define el paisaje como: una percepción del entorno con una connotación estética determinada, en esta acepción el paisaje es esencialmente un inspirador de sentimientos y afectos. (Ode, Hagerhall y Sang, 2010; Schirpke, Tasser y Tappeiner, 2013). En un sentido estético, se puede definir también un paisaje como: un conjunto de componentes naturales y antrópicos característicos, delimitados desde el punto de vista territorial y espacialmente observables de forma visual. (Salinas e Izquierdo, 1988; Martínez de Pisón y Ortega, 2009). Estos dos enfoques son complementarios -a nuestro juicio-, de forma tal, que el paisaje está a un mismo tiempo en la naturaleza que nos rodea y en el interior de nuestras mentes, en mundo de lo objetivo y lo subjetivo.

La percepción del paisaje es un campo de estudio amplio, pluridisciplinar y complejo, pero vital para una adecuada planificación y ordenación territorial, especialmente en un área tan sensible al paisaje como es la Turística (Nogué, 1992, p.47).

En la actualidad, se le presta atención a la investigación y evaluación de la percepción del paisaje, debido a la importancia social que se le concede, al uso y protección de las bellezas escénicas naturales.

La percepción del paisaje depende de las experiencias acumuladas por el individuo, al que se adiciona el punto de vista presente o circunstancial, condicionado por los valores socioculturales, estados de ánimos, circunstancias sociales, etc., en los que se desenvuelve la propia percepción. Un ejemplo de ellos es el siguiente:

El piar del ruiseñor puede ser agradable y, si se quiere, “bello” para el campesino; sin embargo, el poeta oye ese piar de una manera particular. Para él esto no es un simple piar, sino un cantar, que tiene un carácter y significación definidos”. (Pavlov, 1983, p.51).

De dicho ejemplo se infiere una diferencia de matices entre el entorno natural y la imagen que el hombre crea:

La imagen se forma en la estructura de la actividad perceptiva y actúa como representación psíquica, la misma tiene una doble representación [...] La imagen de forma necesaria e inevitable, presupone la realidad objetiva de aquello que representa [...]. Pero esta imagen, a su vez, posee también la cualidad de la subjetividad, pues en ella también están asimiladas las propiedades y características que corresponden a las tareas de la actividad del sujeto [...] acondicionado por cierta organización y preparación para determinada acción psíquica. (Novikova, 1986, pp.32-33).

Esto explica el por qué la percepción estética de ningún modo puede reducirse al registro indirecto de los hechos, sino que es necesario interpretarla como un proceso activo, el cual representa una forma específica de comunicación del sujeto con la realidad.

Por ello, existen frecuentes cambios en la valoración estética del paisaje dados por las personas, los cuales son debidos al aumento de la experiencia o familiaridad con un paisaje determinado, los efectos de la distancia y el recuerdo, así como el aumento de aprecio que suele suponer la inminente pérdida de un paisaje dado (González Bernáldez, 1981, p.179).

### ***Evaluación estética del paisaje***

La evaluación estética del paisaje es hoy uno de los temas más debatidos dentro del ámbito más general de la percepción del paisaje, como se ha puesto de relieve desde hace algunas décadas hasta la actualidad (Salinas, Mrionienko e Iñiguez, 1979; Muñoz Pedrero, 2004; Ode et al. 2009). Esta evaluación equivale a realizar una fotografía instantánea del paisaje,

que podrá ser comparada con una fotografía homóloga del futuro. Esto facilitará cuantificar los cambios que han sufrido los paisajes, los efectos negativos o positivos realizados sobre ellos por las actividades humanas y las acciones necesarias para su conservación o recuperación.

La evaluación de la calidad estética del paisaje puede ser considerada en base a dos paradigmas contrastantes, uno, asegura que la calidad o valor estético es inherente a las características naturales y culturales de los propios paisajes (García y Muñoz, 2002; De Salvo *et al.*, 2014). El otro, califica el valor estético del paisaje como resultado del producto de la mente y los ojos del espectador (Lothian, 1999; y Rivera *et al.*, 2014) y depende de las características y experiencias anteriores de los propios observadores. El primero, es un paradigma objetivo el cual considera la calidad o valor estético del paisaje como un atributo intrínseco y físico propio, por esta razón se postula como base para su evaluación estética el análisis de las características y particularidades de los componentes naturales y la actividad antrópica existente en los paisajes. Al respecto se puede señalar:

La calidad escénica o valor escénico del paisaje está directamente relacionado con la diversidad del paisaje o su variedad (Daniel y Vining, 1983, p. 55)

El paradigma social y psicológico, por su parte, se fundamenta en las opiniones de los espectadores y usuarios del paisaje (población local y visitante), y por ello, aplica para la evaluación estética de los paisajes, distintas herramientas de investigación, (como entrevistas, encuestas y otras) que permitan analizar las opiniones perceptuales de las personas con respecto al paisaje observado. Dicho esto:

El paisaje es la expresión perceptual del medio físico, lo que implica que es detectado por todos los sentidos visual, auditivo y olfativo, es decir, es función de la percepción plurisensorial (Nogué, 1992, p. 48).

Conviene también identificar que ciertos atributos del paisaje son cambiantes o valorados de manera diferente a través del tiempo, en donde la carga cultural, cognoscitiva y empírica de los individuos le atribuyen en determinado momento un valor estético a los paisajes.

Por su parte, al referirse a este tema, el filósofo y escritor chino Lin Yutang, resume esta controversia de opiniones con este simple aforismo:

“La mitad de la belleza depende del paisaje y la otra mitad de quien lo contempla” (en: [Noguer Juncà, 2012, p. 37](#)).

Como aforismo al fin, resulta atrayente, pero no se debe tomar al pie de la letra su significado, esos porcentajes son muy relativos, dependen de los enfoques metodológicos seguidos y de las numerosas variables objetivas y subjetivas consideradas, las cuales intervienen directa o indirectamente en la relación hombre, paisaje y su valoración.

En particular, en la representación que se hacen los hombres de un paisaje, sea este natural o antroponatural y en su valoración estética, es necesario, y diríamos también prudente considerar, que la mayoría de las personas no poseen una formación artística, ni estética adecuada, la cual les permita ser más “objetivos” en sus valoraciones. Sin embargo, la opinión de las personas (sean estas residentes locales, visitantes u otros), sobre las bellezas de los paisajes observados es importante conocerla. Esta opinión es posible obtenerla a través de encuestas masivas, con base a distintos cuestionarios y entrevistas.

Las diferencias en el nivel cultural y de educación, profesión, estatus social, edad, género y muchas otras características de los observadores afectan sus concepciones sobre la belleza e inciden sobre las valoraciones estéticas que puedan realizar. Estas realidades llevan a afirmar el carácter temporal que tiene la valoración estética del paisaje por cuanto algunos elementos y atributos tienden a ser variables en el tiempo.

Por estas razones, tales encuestas, entrevistas, cuestionarios y otros procedimientos tienen una naturaleza etno-social, no obstante, la masividad de la información registrada brinda la posibilidad de aplicar técnicas estadístico-matemáticas para su análisis. ([Nikolaiev, 2005](#); [Nikolaiev, Avessalomova y Chizhova, 2011](#)).

A pesar de las grandes diferencias existentes conceptuales y de interpretación del paisaje, ambos paradigmas apoyan la idea y perspectiva de que el paisaje puede constituirse en indicador del desarrollo de cualquier comunidad humana.

### **Área de estudio**

El Área de Protección Ambiental Carretera-Parque de Piraputanga, fue creado por el [Decreto Estadual 9937 del 5 de junio del 2000](#) y comprende un trecho de vía de 42,5 km continuos de carretera, asfaltada en su





límite geomorfológico el plano alto de la planicie que se extiende hasta el Pantanal. Estos pobladores se dedicaron a la agricultura, la cría de ganado y en menor escala a la pesca comercial.

Con el transcurso de los años, este camino convertido en terraplén y después en carretera asfaltada, sirvió de vía de comunicación para el traslado de mercancías y el movimiento de los pobladores hasta la ciudad de Aquidauana, ya asfaltada en su totalidad desde el 2019, es una excelente ruta que facilita la llegada de visitantes, provenientes de la capital del estado la ciudad de Campo Grande y otras ciudades y pueblos cercanos, que vienen interesados en la práctica de distintas actividades recreativas al aire libre, como son: *mountain bike*, escalada, cabalgatas y pesca deportiva; además un creciente interés inversionista empresarial que propicia el inicio de una mejora socio-económica en las tres comunidades existentes: Camisão, Piraputanga y Palmeiras.

En este desarrollo local tiene y tendrá un destacado rol el sector del turismo y la recreación, en lo que respecta, al incremento del arribo de visitantes y el crecimiento del sector de los servicios que ello implica, con el necesario desarrollo de nuevas instalaciones de alojamiento y gastronomía, culturales, deportivas y entretenimiento, requeridas para satisfacer las motivaciones e intereses de estos viajeros por los espacios naturales y rurales. En lo que respecta al desarrollo turístico y recreativo del territorio estudiado, puede ser calificado como incipiente debido a su poca cantidad de instalaciones, de alojamientos y restaurantes y a la pobre calidad de los servicios prestados.

### **Cuadro1.** Instalaciones de alojamiento existentes en el área de estudio.

<b>Instalaciones de alojamiento</b>	<b>Caserío cercano</b>	<b>Categoría</b>	<b>Capacidad estimada</b>
Posada de la Serra (inaugurada en 2014)	Camisão	2-3 estrellas	10 chalets 30-40 plazas
Posada Sol Amarelo (inaugurada en 1990)	Piraputanga	2 estrellas	18 cabañas 60 plazas
Posada Paraiso de la Serra (inaugurada en 2012)	Palmeiras	1 estrella	6 cabañas 18 plazas

Fuente: los autores.

## Metodología de Investigación

Los métodos de evaluación estética del paisaje pueden ser divididos en tres grandes grupos (Ojeda Leal, 2011): métodos donde los procedimientos evaluativos son realizados por grupos de especialistas, métodos basados en las opiniones y preferencias del público (población residente y visitantes) y métodos que intentan combinar los dos casos anteriores de una forma más o menos equilibrada. Cada uno de estos procedimientos, pueden presentar en su propio desarrollo aspectos positivos y negativos, los cuales, pueden afectar los propios resultados obtenidos.

La posible subjetividad en las decisiones de los expertos relativa a la valoración estética de los paisajes ha sido motivo de repetidas críticas desde mediados del siglo pasado (Lowenthal, 1988 y Penning-Rowsell, 1989). Las evaluaciones basadas en los expertos no logran una alta precisión ya que dependen en gran medida del conocimiento específico y del juicio del evaluador (Miller, 2011). Estas opiniones diferentes se mantienen en la actualidad, pues al recurrir a criterios relativos de los expertos que pretenden conocer los gustos y preferencias sobre los paisajes por parte del público, cuando no siempre es así.

Desde la década de 1970 y hasta el contemporáneo siglo XXI, diferentes especialistas (Arthur, Daniel y Boster, 1977; y Buhyoff *et al*, 1994) al referirse a técnicas de valoración de la calidad estética de los paisajes señalan como fundamento, la identificación y medición de aquellos componentes fácilmente observables que se consideran importantes en la calidad escénica del paisaje.

La realización de un mapa de unidades de paisajes, el cual se entiende como mapa temático que tiene un propósito sintético general y representa las características geográficas fundamentales de un territorio (Martinelli y Pedrotti, 2001) que nos permite establecer las relaciones existentes entre los distintos paisajes cartografiados y la valoración estética del área en estudio sobre la base de indicadores cuantitativos seleccionados de forma empírica. Como área representativa de la investigación se escogió la cuadrícula de 1 km cuadrado en el mapa de paisajes.

Para la realización del mapa de paisajes se configuró una Base de Datos Geográfica en el software SPRING 5.3, para la delimitación semiautomática de los paisajes, utilizando las pendientes como criterio de zonificación, obtenida a partir de los datos del Proyecto TOPODATA, cuadrados 20s57\_ZN

y 20s555\_ZN (Valeriano, 2008), y la información de Uso y Cobertura del Suelo, obtenido de la clasificación supervisada de la imagen Landsat 8-OLI, órbita / punto 225/74 del 23 de marzo de 2017 (USGS, 2017).

Los Planos de Información (IP) de Pendientes, y de Uso y Cobertura del Suelo pasaron por el proceso de superposición y edición matricial, generando el mapa de Zonificación del Paisaje, el cual fue exportado a la Base de Datos General elaborada en el software QGIS 2.18

Las consideraciones que se tomaron en cuenta, como puntos de partida, para la selección de los indicadores fueron las siguientes:

- Se consideró que la existencia de un mayor número de unidades de paisajes (la diversidad paisajística) por km<sup>2</sup>, incidía en la valoración estética de esa área.
- Se consideró que el grado de contraste entre pares de paisajes existentes por km<sup>2</sup> no es igual en todos los casos, puesto que hay contrastes de pares de paisajes cuya presencia tienen una mayor incidencia positiva en la valoración estética de esa área, que otros pares de paisajes.
- Se consideró necesario valorar la longitud existente entre los distintos pares de paisajes por km<sup>2</sup>, pues las diferentes longitudes o extensiones de los contactos entre paisajes incidía también en la valoración estética, cuyo el resultado se obtenía de multiplicar el valor de esa largura de contacto en cada caso por el valor del indicador de contraste.

Fueron seleccionados para utilizar en este estudio los siguientes tres indicadores:

- Indicador de la variedad de unidades de paisajes (Im). Valora un número de unidades o tipos paisajes existentes por km<sup>2</sup>.
- Indicador de la valoración del grado de contraste (Ic). Valora el grado de contraste existente entre los diferentes pares de paisajes.
- Indicador de la valoración de los efectos marginales entre los paisajes (Ie). Es el resultado del cálculo de la longitud de los contactos entre los diferentes pares de paisajes.

$$Ie = \frac{L \times Ic}{S}$$

Donde:

L: longitud de la franja de contacto o límite entre dos paisajes diferentes.

Ic: Indicador de la valoración del grado de contraste en ese par de paisajes.

S: superficie

Sobre este mapa de paisaje se generó una red vectorial cuadrículada con celdas de 1km x1km, según la tabla de las características o atributos que fue editada en QGIS para insertar los valores de los indicadores: Variedad de Unidades de Paisajes, Valoración del Grado de Contraste y Valoración de los Efectos Marginales, evaluados y calculados con anterioridad. A estos tres indicadores se les asignó un mismo peso relativo; los indicadores se evaluaron a través de una escala aritmética, donde 1 es el menor valor y 5 el mayor.

Finalmente, con el empleo de la herramienta Field Calculator, disponible en QGIS, se realizó una suma simple de los valores de los tres indicadores, generando una nueva columna con los valores de la evaluación estética de los paisajes (Aesthetic landscapes assessment) del Área de Protección de Ambiental Carretera-Parque de Piraputanga.

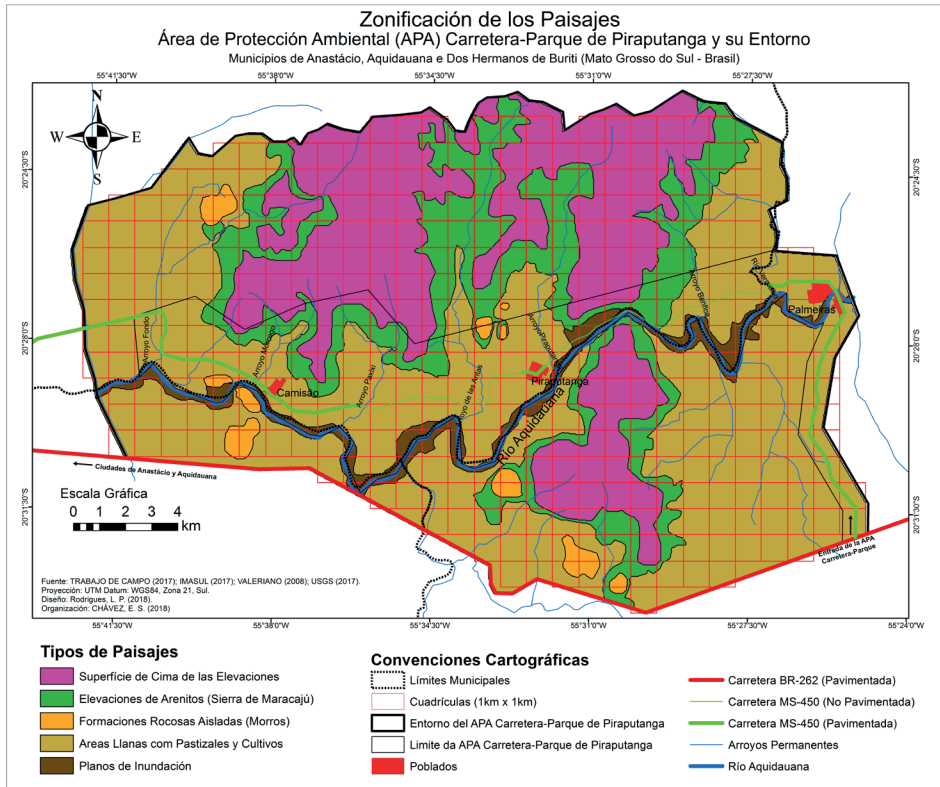
## Resultados

La identificación de las distintas unidades o tipo de paisajes existentes fue realizada durante los trabajos de campo y la observación *in situ* del territorio motivo de estudio, la determinación de los límites aproximados de esas unidades se realizó mediante el procesamiento digital descrito (Figura 2).

### *Unidades de paisajes identificadas en el Carretera-Parque de Piraputanga*

A continuación, aparece un mapa donde se delimitan las principales unidades o tipos de paisajes existentes y un grupo de fotos representativas que se corresponden con estas unidades:

**Figura 2.** Mapa de zonificación de unidades o tipos de paisajes.



Fuente: los autores.

- Sierra de Maracaju: Elevaciones de arenitos (300-600m) de forma y distribución irregulares, con paredones (escarpa con inclinaciones superiores a 45 grados en su parte superior), con vegetación arbustiva escasa, en contacto un talud inferior con inclinaciones más suaves, que presenta suelos esqueléticos y restos de una vegetación arbórea natural.
- Morros: Formaciones rocosas aisladas de arenitos (200-600 m), de formas irregulares y fuertes escarpas (superiores a 45 grados) con escasa vegetación tanto en la cima, como en las laderas.
- Cima de la sierra: Superficies superiores de las elevaciones, planas o ligeramente onduladas, con suelos arenosos de espesores variables con afloramientos rocosos aislados de arenitos, con pastos para ganadería vacuna predominantemente y algunas plantaciones de eucaliptos.

- Pequeñas propiedades rurales (chacras): áreas planas o ligeramente onduladas, sobre un substrato rocoso de arenitos, con suelos arenosos fértiles de espesor variable y de buen drenaje, con pastizales y áreas de cultivos de subsistencia, con escasa población.
- Márgenes de los ríos. Relieve plano con depósitos aluviales sedimentarios, con suelos aluviales, predominantemente arenosos, relacionados con áreas de inundación temporal, con bosques aluviales semidecíduos (bosques de galería) y especies de frutas exóticas, ocupados por casas de veraneo dispersas.

**Foto 1.** Paisaje típico de la Sierra de Maracaju



Fuente: los autores, 2019

**Foto 2.** Morro del Sombrero



Fuente: los autores, 2019

**Foto 3.** Cima de la Sierra de Maracaju



Fuente: los autores, 2019

**Foto: 4.** Patio de una pequeña propiedad rural



Fuente: los autores, 2019

**Foto 5:** Aspecto de las márgenes del río Aquidauana



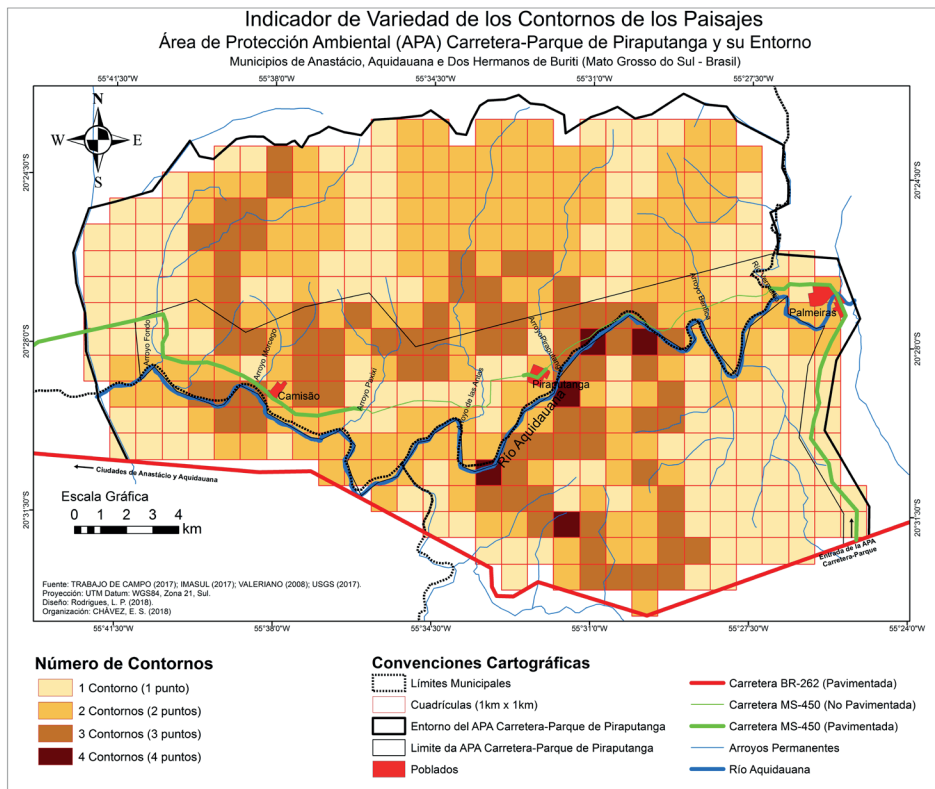
Fuente: los autores, 2019 .

A partir de este mapa de paisajes, se pasó a la etapa práctica experimental donde se aplicaron estos indicadores y se calcularon sus valores por cuadrículas de 1km<sup>2</sup> lo que facilitó el trabajo de valoración y su expresión cartográfica. En la valoración de los tres indicadores se emplearon escalas ordinales de puntos. (Ver los Cuadros 2, 3 y 4).

Los resultados de este trabajo se expresan cartográficamente a través de varios mapas (Figuras 3, 4 y 5) los cuales reflejan los resultados parciales obtenidos del cálculo de los tres indicadores propuestos, a partir del mapa de unidades de paisajes.



**Figura 3.** Indicador de Variedad de las Unidades de Paisajes



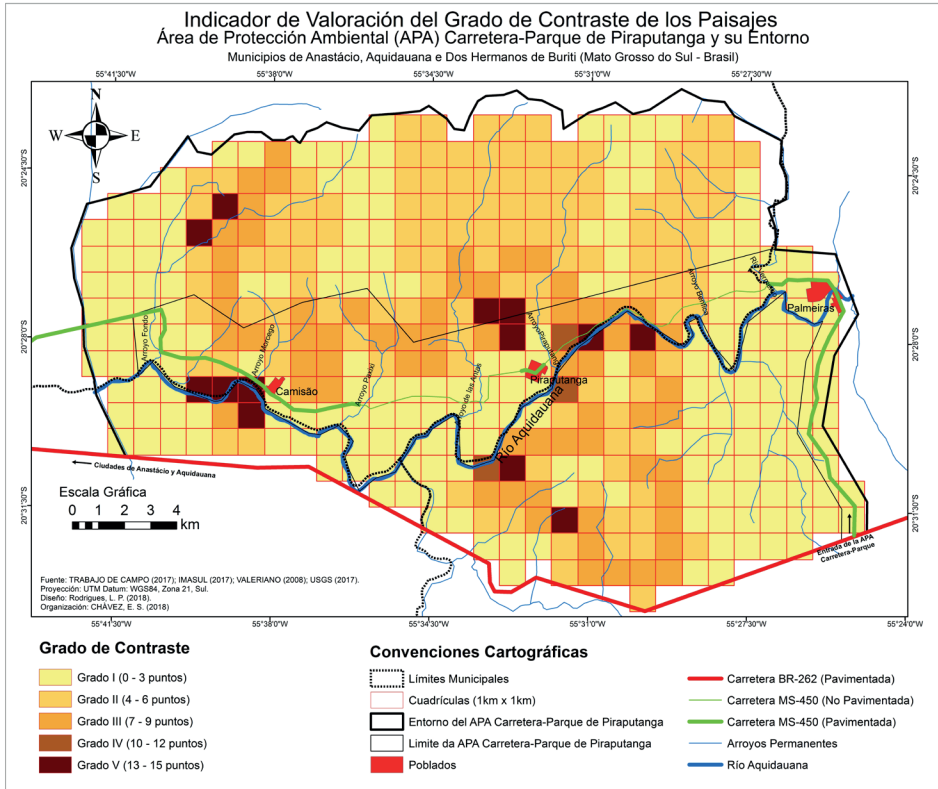
Fuente: los autores.

**Cuadro 2.** Indicador de variedad de los tipos de paisajes (Im)

Número de Unidades	Valoración
5 Unidades de paisajes	5 puntos
4 Unidades de paisajes	4 puntos
3 Unidades de paisajes	3 puntos
2 Unidades de paisajes	2 puntos
1 Unidad de paisaje	1 punto

Fuente: los autores.

**Figura 4.** Indicador de Valoración del Grado de Contraste de los Paisajes



Fuente: los autores.

**Cuadro 3.** Escala de valoración del Indicador grado de contraste por pares de paisajes (Ic).

Pares de paisajes	Valoración
Morros con Áreas llanas o ligeramente colinas	5 puntos
Morros con Márgenes de los ríos	5 puntos
Elevaciones de arenitos con Márgenes de los ríos	4 puntos
Elevaciones de arenitos con Áreas llanas o ligeramente colinas	4 puntos
Elevaciones de arenitos con Superficies de cimas	4 puntos
Márgenes de los ríos con Áreas llanas o ligeramente colinas.	3 puntos

Fuente: los autores.



#### **Cuadro 4.** Escala de valoración del Indicador efectos marginales entre los paisajes (Ie)

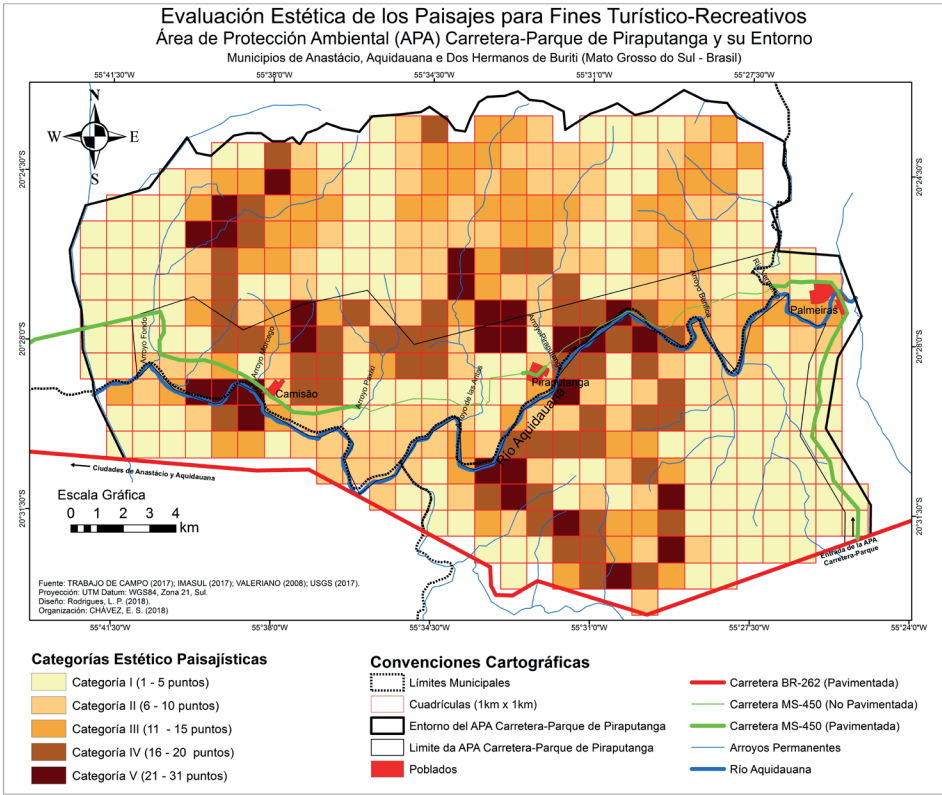
Valor I	0 - 3 puntos
Valor II	3 - 6 puntos
Valor III	6 - 9 puntos
Valor IV	9 -12 puntos
Valor V	12 - 18 puntos

Fuente: los autores.

La suma aritmética de los valores obtenidos de los diferentes indicadores permitió obtener un valor final y establecer su representación cartográfica por cuadrículas de un km<sup>2</sup>. A su vez, estos valores finales fueron agrupados experimentalmente en cinco categorías de acuerdo al valor estético: muy alto, (20-31 puntos); alto (16-20 puntos); medio (11-15 puntos); bajo (6-10 puntos) y muy bajo (1-5 puntos). Esta distribución por categorías facilitó la interpretación cartográfica y el empleo de los resultados en la práctica.

Se realizó también un mapa de carácter sintético (ver la Figura 6), donde se integran los resultados parciales obtenidos a través de los tres indicadores. En dicho mapa es posible delimitar aquellas áreas o sectores que presentan mayores valores estético-paisajísticos.

**Figura 6.** Valoración Estética de los Paisajes para Fines Turístico- Recreativos



Fuente: los autores.

La aplicación de estos indicadores demostró en la práctica ser una herramienta de trabajo de utilidad en el análisis de las relaciones existentes entre los distintos paisajes y la percepción estética de los mismos.

La identificación de los sectores con mayores valores estéticos de la Carretera-Parque Piraputanga tiene un importante significado en la planificación del desarrollo turístico y recreativo del territorio, al facilitar, entre otros aspectos: el diseño de excursiones y recorridos destinados a la práctica de actividades al aire libre; la selección de los mejores sitios para miradores naturales; y la propuesta de ubicación de las distintas instalaciones relacionadas con el propio desarrollo local. Además contribuye a establecer medidas de conservación y manejo en esta área.

## **Conclusiones**

El área estudiada es un buen ejemplo de un corredor escénico paisajístico, donde una vía asfaltada de unos 40 km atraviesa el área natural protegida Carretera-Parque de Piraputanga en toda su extensión, la cual permite visualizar en su recorrido una gran diversidad de paisajes.

La propuesta de los indicadores seleccionados, su conceptualización, aplicación práctica, y el establecimiento de las categorías para el análisis y empleo de estos resultados, constituyen el aporte teórico y práctico de este procedimiento cartográfico, destinado a la valoración estética de los paisajes.

Se demuestra experimentalmente, que a partir de la realización de mapas de paisajes a escala 1:50 000 es posible determinar con aproximación la valoración estética de los paisajes, con el empleo de indicadores los cuales son calculados cartográficamente en el propio mapa de paisajes.

El empleo de este procedimiento a través de una red de cuadrículas de 1 km cuadrado, facilita el análisis cartográfico de la diferenciación paisajística; las cuadrículas con mayores valores representan en la práctica, las áreas en las cuales se han identificado un mayor número de tipos de paisajes diferentes, también donde existen pares de paisaje con mayores contrastes en sus componentes naturales y antrópicos, y donde se presenta una mayor extensión de las líneas de contrastes entre los pares de paisajes; los valores altos de estos indicadores están relacionados con la percepción de la propia diversidad paisajística.

La expresión cartográfica de los resultados, facilita el agrupamiento y categorización de los valores obtenidos, y su empleo en la planificación territorial, en especial, en los proyectos de desarrollo y comercialización del turismo y la recreación. También favorecen la gestión y conservación de los recursos naturales y antrópicos existentes.

Las ventajas de este procedimiento evaluativo estriban en la brevedad o concisión que se logra mediante la expresión numérica de los resultados, rapidez en la realización de forma digital, bajo costo, poco personal especializado necesario y la posibilidad de su comparación con resultados de otros lugares.

## Referencias

- Arthur, L. M.; Daniel, C. y Boster, R. S. (1977). Scenic assessment: an overview. *Landscape Planning* 4, 109-129.
- Bishop, I. D. y Hulse, D. W. (1994). Predicción de la belleza escénica utilizando datos cartográficos y sistemas de información geográfica. *Revista Paisaje y Urbanismo*, 30, 59-70
- Buhyoff, G. J., Miller, P. A., Roach, J. W., Zhou, D. y Fuller, L. G. (1994). An Methodology for Landscape Visual Assessments. *AI Applications*, 8, 1-13.
- Daniel, T. C. y Vining, J. (1983). Cuestiones metodológicas en la evaluación de la calidad del paisaje. En: *Comportamiento del Medio Natural* 39-83 (Eds. Altman, I. y Wohwill, J.), Plenum Press.
- Decreto nº 9.937, de 2000. Crea el APA Estrada-Parque de Piraputanga, y otras providencias. Diário Oficial do Estado MATO GROSSO DO SUL, nº 5.279, 2000. [https://documentacao.socioambiental.org/ato\\_normativo/UC/4432\\_20200510\\_194830.pdf](https://documentacao.socioambiental.org/ato_normativo/UC/4432_20200510_194830.pdf). Acceso el 30 mayo, 2021.
- De Salvo, M. C., Valles – Planells S M., Estruch V. & Nicolo F. B. (2014). Valoración estética del paisaje mediante los modelos AHP y percepción visual. Aplicación al paisaje de olivar de la “La Piana di Gioia Tauro”. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*. 239, 87-106.
- Diakonov, K. I. y Mamai I. (2008). La escuela geográfica paisajística; En: *Las escuelas científicas geográficas* 324-386 72. (Ed: Kasimov, N.S.) Editorial Gorodiets.
- Folch, R., y Bru, J. (2017). Ambiente, territorio y paisajes. Valores y valoraciones. Editorial Barcino.
- García, A. y Muñoz, J. (2002). *El paisaje en el ámbito de la geografía*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- González Bernaldez, F. (1981). *Ecología y Paisajes*. Ediciones H. Blume.
- IBGE. (2010). Educa Jovens. Mapas. <https://educa.ibge.gov.br/jovens/jovens-mapas.html>. Acceso em:20 jan.2021.
- Jahani A., Maryam S. y Samira G. (2020). Evaluating the aesthetic quality of the landscape in the environment: A review of the concepts and scientific developments in the world. *International Journal of Environmental Science and Bioengineering*. 35-43.

- Kiyotani, I. (2014). O conceito de paisagem no tempo, *Geosul*, Florianópolis, 29 (57), 27-42.
- Krippendorff, J. (1985). El turismo transformador del paisaje. En: *Horizontes 1985* 77-98. Editorial Turística S.A..
- Lothian, A. (1999). Landscape and the philosophy of aesthetics: is landscape quality inherent in the landscape or in the eye of the beholder? *Landscape and Urban Planning*. 44 (4) 177-198.
- Lowenthal, D. (1988). Finding valued landscapes. *Progress in Human Geography*. 2 (3) 374-418.
- Martinelli, M. y Pedrotti, F. (2001). Una cartografía das unidades de paisagem. Questões metodológicas, *Revista do Departamento de Geografia*. 14. 39-46.
- Martínez de Pisón, E. y Ortega, N. (Eds.). (2009). Los valores del paisaje. Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid.
- Mateo, J. M. (2011). *Geografía de los Paisajes. Paisajes Naturales*. Editorial Universitaria.
- Maximiano, L. A. (2004). Considerações sobre o Conceito de Paisagem, *RaeGa*, No.8, 83-91
- Medina, N. J., Santamarina, J.N., y Salinas, Er. (2013). *Productos turísticos. Desarrollo y comercialización*. Ediciones Balcón.
- Miller, D. (2011). *Visualisation techniques for landscapes evaluation*. The James Hutton Institute. Aberdeen.
- Muñoz Pedrero, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural* 77. 139-156.
- Nikolaiev, V. A., Avessalomova, I. A., y Chizhova, V. P. (2011). Paisajes antropógenos-naturales: urbanos, recreativos, de parques y jardines. *Manual docente*. (Traducido del ruso por J. M. Mateo)
- Nikolaiev, V. A. (2005). *Paisajes: Estética y diseño*. Editorial Mir. (Traducido del ruso por J. M. Mateo)
- Nogué, J. (1992). Turismo, percepción del paisaje y planificación del territorio. *Estudios Turísticos*, 115, 45-54.
- Nogué, J. (2010). El paisaje en la ordenación del territorio. *Estudios geográficos* 71, 415-448.
- Nogué, J. y Vela, J. (2011). La dimensión comunicativa del paisaje. Una propuesta teórica y aplicada, *Revista de Geografía Norte Grande*, Vol. 49, 25-43.



- Noguer Juncà, E. (2012). ¿Paisaje o paisajes? *Revista Iberoamericana de Turismo*. 2 (2) 23-39.
- Novikova, I. I. (1986). *Estética y Técnica*. Editorial Arte y Literatura.
- Ode, A., Hagerhall, C. M., y Sang, N. (2010). Analyzing visual landscapes complexity. Theory and application. *Landscape Research*. Vol.35, Number 1, 111-131.
- Ode, A., Fry, G., Tveit, M.S., Messenger, P., y Miller, D. (2009). Indicators of perceived naturalness as drivers of landscape preference. *Journal Environment Planning*. 90, 375–383.
- Ojeda Leal, C. (2011). Estado del arte en las conceptualizaciones del paisaje y el paisaje urbano: una revisión bibliográfica. *Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales*. 2 (7). <http://web.ua.es/revista-geographos-giecryal> (marzo 2019)
- Pavlov, T. (1983). *Cultura, Ideología y Arte*. Editorial Arte y Literatura.
- Penning-Rowsell, E. C. (1989). The social value of English landscape. *Proceeding: Our National Landscapes*. A Conference on Applied Techniques for Analysis Visual Resource.
- Pinto, J. (2009). El concepto de paisaje y su aplicación en el planeamiento territorial y ambiental. En: Geraiges, A. I. y Galvani E. (Eds.). *Geografía, tradições e perspectivas: interdisciplinaridade, meio ambiente e representações*, CLACSO. 119-139.
- Preobrazhenky, V. S., Gerasimov, I. P. y Aleksandrova T. D. (1982). *Diccionario de conservación de la naturaleza*, Editorial Progreso.
- Rivera, A. B., García, J., Pérez, A., Gallardo, F. y de la Cruz Varga, M. (2014). La percepción en la evaluación del paisaje. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9,1811-1817.
- Salinas, Er. (2013). *Geografía y Turismo. Aspectos territoriales del manejo y gestión del turismo*. (Segunda Edición) Editorial Félix Varela.
- Salinas, Er., Teixeira, E., Ribeiro, L. & Perbelin, L. (2020). Evaluación paisajística de carreteras y miradores para su uso turístico-recreativo. *Revista Estudios y Perspectivas en Turismo*.2 (30) 266-285.
- Salinas, Er. e Izquierdo, M. (1988). Apreciación estética del paisaje. *Revista Temas*. 15, 15-21.
- Salinas, Er., Mironenko, N. e Iñiguez L. (1979). *Evaluación estética de los paisajes de Viñales para su aprovechamiento turístico*. Instituto Nacional de Turismo.

- Salinas Ed., y Remond, R. (2015). El Enfoque Integrador del Paisaje en los Estudios Territoriales: Experiencias Prácticas, En: Garrocho, C.; Buzai, G. (Eds.) *Geografía Aplicada en Iberoamérica: avances, retos y perspectivas*. 503-543.
- Schirpke, U., Tasser, E., y Tappeiner, U. (2013). Predicting scenic beauty of mountain regions. *Landscape and Urban Planning* 111, 1– 12.
- USGS. United States Geological Survey (2017) Earth Explorer. <http://earthexplorer.usgs.gov>
- Valeriano, M. (2008). *Topodata Guia para utilização de dados geomorfológicos locais*. São José dos Campos. <http://go.gl/G8Mosc/>. <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>.
- Vera, J. F.; López, F.; Marchena, M. y Antón S. (2011). *Análisis territorial del turismo y planificación de destinos turísticos*. Ed. Tirant Lo Blanch.

## **Caracterización física, demográfica y socioeconómica de los cantones de Costa Rica a partir de las tasas de usuarios lesionados o fallecidos en carretera en el año 2018**

Physical, demographic, and socioeconomic characterization of the cantons of Costa Rica based on the rates of users injured or killed on the road in 2018


Caracterização física, demográfica e socioeconômica dos cantões da Costa Rica com base nas taxas de usuários da estrada feridos ou mortos em 2018

*Henry Hernández-Vega<sup>1</sup>*  
*Universidad de Costa Rica, Costa Rica*

*Diana Sanabria-Barboza<sup>2</sup>*  
*Universidad de Costa Rica, Costa Rica*

### **Resumen**

Este trabajo presenta la aplicación de técnicas relacionadas con Análisis de Componentes Principales (ACP) que buscó caracterizar en limitadas dimensiones a los 81 cantones de Costa Rica con base en indicadores de exposición a heridas leves, graves o fallecimiento (en sitio) en accidentes de tránsito de distintos usuarios de la vía, con el fin de analizar posibles variables que podrían estar relacionadas a su incidencia. Con el análisis de agrupamientos jerárquicos se hallaron tres grupos de cantones con condiciones diferenciadas en dos componentes construidos y en términos de las

1 Máster, Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: [henry.hernandez@ucr.ac.cr](mailto:henry.hernandez@ucr.ac.cr)  <https://orcid.org/0000-0002-4765-7320>

2 Licenciada, Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: [diana.sanabriabarboza@ucr.ac.cr](mailto:diana.sanabriabarboza@ucr.ac.cr)  <https://orcid.org/0000-0001-6262-8483>

tasas de incidencia en análisis. Al asociar variables físicas, se halló que los cantones con menores índices de desarrollo y mayores carencias presentan mayor riesgo de victimización en ocupantes de automóviles de cuatro o más ruedas.

**Palabras clave:** APC, agrupación, accidentes, tránsito

### Abstract

This work presents the application of techniques related to Principal Component Analysis (PCA) to characterize the 81 cantons of Costa Rica in limited dimensions, based on indicators of road users' exposure to minor, serious injuries, or death (on-site) in traffic accidents, to analyze possible variables that could be related to their incidence. Through the analysis of hierarchical groupings, three groups of cantons were found with differentiated conditions in two constructed components, and in terms of the incidence rates in analysis. With the association of physical and sociodemographic variables, it was found that the cantons with the lowest development indices, the greatest deficiencies, and the highest proportion of young population have a higher risk of road victimization in occupants of cars with four or more wheels.

**Keywords:** PCA, aggrupation, accidents, transit

### Resumo

Este trabalho apresenta a aplicação de técnicas relacionadas à Análise de Componentes Principais (ACP) que buscaram caracterizar em dimensões limitadas os 81 cantões da Costa Rica com base em indicadores de exposição a ferimentos leves ou graves ou morte (no local) em acidentes de trânsito de diferentes usuários da via, a fim de analisar possíveis variáveis que possam estar relacionadas à sua incidência. Com a análise de agrupamento hierárquico, foram encontrados três grupos de cantões com condições diferenciadas em dois componentes construídos e em termos das taxas de incidência em análise. Ao associar variáveis físicas, verificou-se que os cantões com menores índices de desenvolvimento e maiores deficiências apresentam maior risco de vitimização em ocupantes de carros com quatro ou mais rodas.

**Palavras-chave:** Acidentes; Grupo; APC; Trânsito.

## Introducción

La investigación en torno al análisis de personas afectadas en accidentes de tránsito responde a una problemática vigente en torno a la movilidad: según la [Organización Mundial de la Salud \(2018\)](#), el número anual de muertes por accidentes de tránsito es superior a 1,35 millones y cuestan a la mayoría de los países el 3% de su Producto Interno Bruto (PIB), además, son ahora la principal causa de muerte de las personas de entre 5 y 29 años. Se destaca la afección desproporcionada a los peatones, ciclistas y motociclistas que viven en países en desarrollo. Adicionalmente, [Jaramillo, Lizárraga y Grindlay \(2012, p. 342\)](#) indican que es importante considerar las necesidades sociales de la población al momento de tomar decisiones en la planificación del transporte.

Por otro lado, la variación en los patrones de movilidad debido al origen de la emergencia sanitaria a causa de la pandemia del Covid-19 en marzo del 2020 tuvo efectos diversos en la incidencia de lesiones y defunciones por accidentes de tránsito. En el caso de Estados Unidos, si bien se redujo en 13,2% la conducción en el 2020 debido a la pandemia, se estima que alrededor de 38680 personas murieron en accidentes de tránsito automovilísticos, lo cual representa un aumento del 7,2% con respecto al año 2019 y la mayor cantidad proyectada de muertes desde 2007 ([National Highway Traffic Safety Administration, 2021](#)).

Particularmente en Costa Rica sí se observó una disminución de este tipo de sucesos. Según el Consejo de Seguridad Vial ([COSEVI, 2021](#)), la tasa de mortalidad en sitio en accidentes de tránsito durante el 2020 fue de 6,08 personas por cada 100000 habitantes, mientras que la tasa de lesionados fue de 287,1 en el mismo año, cuando en el año 2019 se estimaron tasas de 8,92 y 378,7 respectivamente. La estacionalidad generada por la pandemia no inhibe la situación nacional en cuanto a accidentes de tránsito, la cual obligó a varias instituciones gubernamentales a crear una estrategia en el año 2019 para plantear una medida contra los accidentes de tránsito ([Ministerio de Salud, 30 de octubre de 2019](#)).

En cuanto a la localización geográfica de estos eventos y su asociación a las características de los entornos donde la frecuencia es mayor, los hallazgos son necesarios para orientar la aplicación de medidas estratégicas que busquen contrarrestar este fenómeno epidémico.

El problema radica en que en el país no existe evidencia de que existan relaciones entre variables geográficas que tengan relación con el desempeño de la seguridad vial. El presente estudio tiene como objetivos agrupar a los cantones de Costa Rica con base en tasas de exposición de riesgo comparativo de sufrir heridas o fallecer (en sitio) en un accidente de tránsito durante el año 2018, y caracterizar a los grupos de cantones resultantes con base en variables externas que son determinantes en la dinámica de la movilidad cantonal. Para lograr lo anterior, se propone agrupar a los cantones nacionales según tasas de exposición construidas para eventos del año 2018, las cuales indican el riesgo comparativo de las personas de sufrir heridas o fallecer (en sitio) en un accidente de tránsito, además de su caracterización según otras variables características consideradas como significativas en la dinámica de la movilidad cantonal.

Se aclara que el propósito del presente estudio es el de añadir insumos adicionales con base en técnicas multivariantes de componentes principales y análisis de conglomerados, que permitan un mejor entendimiento y caracterización a nivel cantonal de un fenómeno complejo como lo es la accidentabilidad, en el cual intervienen una serie de diferentes factores.

### **Marco teórico-conceptual**

Variedad de autores han estudiado la relación entre accidentabilidad y características socioeconómicas a nivel de las personas usuarias de las vías, de los hogares de ellas o de una región. En relación a los individuos, por ejemplo, en una investigación realizada en los Estados Unidos, se comparó a los peatones con otros pacientes con lesiones no intencionales. En dicho estudio, se encontró que los peatones atendidos tenían una probabilidad significativamente mayor de ser afroamericanos, solteros, desempleados, bebedores compulsivos, dependientes del alcohol, dependientes de las drogas, de presentar concentración de alcohol en la sangre mayor a 200 mg/dl, de tener bajos ingresos, bajo rendimiento educativo, de ser más joven y no tener una licencia de conducir o tenerla revocada o caducada (Ryb, Dischinger, Kufera, y Soderstrom, 2007). Especialmente, con respecto a la característica de edad, Agüero Valverde y Jovanis (2006, p. 620) determinaron que los condados en Pensilvania que tenían un porcentaje más alto de población por debajo del nivel de pobreza y en los grupos de edad de 0 a 14 años, 15 a 24 años y mayores de 64 años y aquellos con un mayor kilometraje y densidad de carreteras presentaban un mayor riesgo de accidentes.

Por otro lado, al estudiar el vínculo entre los accidentes de tránsito y la caracterización de los hogares de las personas involucradas, Pirdavani, Daniels, Van Vlierden, Brijs y Kochan (2017) encontraron que el ingreso promedio del hogar y la tenencia de vehículo son predictores significativos de cierto tipo de accidente: a menor nivel de ingreso del hogar hay una mayor cantidad de accidentes viales, específicamente. También encontraron que esta magnitud varía entre géneros, aspecto que puede ser de especial interés en el futuro del país. De manera similar, Brown (2016) halló relaciones entre el riesgo de conductores de estar involucrados en colisiones con muertos o heridos y las características sociodemográficas de las áreas residenciales donde habitan los conductores en Carolina del Sur, Estados

Unidos. Anteriormente, [Fleury, Peytavin, Alam, y Brenac \(2010\)](#) encontraron un mayor riesgo de sufrir un accidente de tránsito si se vive en una zona con viviendas en mal estado o con un gran desbalance entre la cantidad de empleos y la cantidad de personas que habitan en la zona.

Las condiciones del entorno son determinantes para la ocurrencia de accidentes. Por ejemplo, recientemente, [Hu, Wu, Huang, Peng y Liu \(2020\)](#) confirmaron que la frecuencia de atropellos se encuentra relacionada con las características del ambiente de la vía, con el uso de suelo urbano y con la distribución de la red de carreteras. [Cubbin y Smith \(2002\)](#) mencionaron que las comunidades de mayores estatus sociales tienden a vivir en zonas con mejor espacio público y vías seguras, además de que usualmente tienen acceso restringido al tráfico y son menos tolerantes a comportamientos que se apartan de ciertas normas sociales; factores que podrían ser protectores ante las lesiones. En un estudio reciente se analizó la influencia de la pandemia del COVID-19 en los accidentes de tránsito en Los Ángeles y Nueva York, en la cual se encontró que, dado que ha afectado de manera desproporcionada a ciertos grupos de edad, razas y géneros, los “puntos calientes” de accidentes de tránsito se han desplazado tanto en el tiempo como en el espacio ([Lin, Shi y Li, 2020](#)).

En cuanto al estudio del entorno, en una investigación reciente de [Yang, Chung y Kim \(2021\)](#) se utilizó aprendizaje de máquinas, del cual se concluyó que la presencia de instituciones educativas, de salud y de servicios, junto con la presencia de semáforos, tienen una influencia positiva significativa en la ocurrencia de accidentes. La relación entre el paisaje urbano, su transición y la accidentabilidad fue analizada por [Poulos, Chong, Olivier y Jalaludin \(2012\)](#), quienes determinaron que localidades con mayor riesgo peatonal tienden a ser áreas metropolitanas urbanizadas con mayor densidad poblacional y el riesgo ciclista tiende a aumentar en regiones urbanas o en el margen de áreas urbanizadas metropolitanas de New South Wales en Australia.

Las características de los sitios inmediatos a los eventos de accidentes se han estudiado como potenciales causas de los accidentes. En un estudio desarrollado en Inglaterra y Gales se determinó que variables relacionadas con el número y las características de la población, la exposición al tráfico, la longitud de la carretera, la curvatura y la densidad de las intersecciones, el uso del suelo, la elevación y el tipo de terreno y el

clima como posibles variables explicativas de la cantidad de víctimas relacionadas con eventos de tránsito (Jones *et al.*, 2008). De manera similar, el estudio de Hashimoto (2005), realizado en el condado de Hillsborough en Florida, Estados Unidos, determinó que el uso de suelo y la densidad de la red vial estatal afecta el número de atropellos; por otro lado, determinó que el ingreso del hogar y el porcentaje de adultos mayores reduce la cantidad de atropellos.

No necesariamente el sitio donde ocurre una colisión corresponde con el sitio donde reside esa persona, según Hewson (2005). Además, indicó que una persona de menor nivel socioeconómico tiene menos posibilidades de viajar en automóvil, lo que establece una relación entre el nivel socioeconómico y probabilidad de sufrir un atropello. Este autor señala el problema con respecto a la subestimación de reportes de heridos. Por ejemplo, en la Dirección General de Policía de Tránsito de Costa Rica, no existe un protocolo, al menos que sea de conocimiento de los autores, para clasificar a los heridos en carretera. Se ha conocido de manera puntual de casos de heridos leves (principalmente usuarios vulnerables) que no son reportados en las estadísticas de accidentes de tránsito en el país.

En el ámbito costarricense, Vargas Aguilar y Agüero Valverde (2020) elaboraron modelos estadísticos de estimación de choques mediante la aplicación de la distribución binomial negativa y el uso de suelo, además de variables socioeconómicas y de la red vial. Los autores también determinaron los distritos con mayor exceso de frecuencia, en términos de exceso de choques sobresalió Alajuela, Uruca, Hospital, San Nicolás, Río Segundo y Heredia. En un estudio de Agüero Valverde (2013) basado en modelos univariados y multivariados derivados de un enfoque jerárquico de Bayes incluyó diferentes variables por cantón para determinar los cantones con exceso de colisiones. Las variables consideradas fueron la cantidad de colisiones (mortales, con heridos y con daños materiales), la cantidad de vehículos-kilómetro en rutas nacionales, longitud de la red vial, el porcentaje de población bajo la línea de pobreza, el porcentaje de personas por rango de edad (entre 0 y 14 años, entre 15 y 24 años, y mayores de 65 años), porcentaje de mujeres y el porcentaje de población urbana. En la capital, San José, se presentó el mayor exceso de choques, seguida de Desamparados, cantón muy poblado cercano a la capital y Alajuela, la segunda ciudad en importancia de Costa Rica (Agüero Valverde, 2013).



En el sector transporte en Costa Rica, [Magaña, Hernández y Jiménez \(2014\)](#), aplicaron métodos de conglomerados para caracterizar las variaciones temporales del tráfico en diferentes zonas del país.

Por otro lado, a partir de un análisis de conglomerados de colisiones con ciclistas involucrados en la ciudad de Bogotá, [Torres-Barragan, Cotrill y Beecroft \(2020\)](#) indican que existe concentración de colisiones que resultan de muertes de ciclistas en zonas de bajos ingresos y una asignación de infraestructura desigual. Además, [Martínez, Contreras y Moreno \(2020\)](#), generaron un índice de privación utilizando variables socioeconómicas en un estudio realizado en Chile, con el fin de analizar las desigualdades socioeconómicas. En dicho estudio concluyeron que, a mayor privación socioeconómica a nivel regional, se tienen mayores tasas de accidentes en adultos mayores. Los autores indican que es necesaria más investigación relacionada con las desigualdades socioeconómicas en las tasas de accidentes en los países en desarrollo, especialmente, enfocada en adultos mayores. En una investigación realizada por [Shen, Lu, Long & Chen \(2019\)](#), se combinó el uso de análisis de componentes principales, de conglomerados entre otras técnicas, para generar identificación de puntos negros en vías rurales en China.

## Materiales y métodos

El presente estudio se enfoca más en las víctimas de los accidentes de tránsito que los accidentes en sí mismos. Esto porque en un accidente de tránsito pueden verse afectados más de un tipo de persona usuaria de la vía, por ejemplo, personas usuarias de vehículos motorizados (tanto de transporte público como particular), ciclistas o peatones. Debido a lo anterior se generan tasas a nivel cantonal que muestran la exposición al riesgo de los diferentes tipos de personas usuarias del sistema de transporte.

Así, como variables medulares para la evaluación de los cantones en la temática, se construyeron tasas cantonales relacionadas con la exposición de las personas a heridas o decesos, derivadas principalmente de datos demográficos del X Censo Nacional de Población y VI Censo Nacional de Vivienda de Costa Rica, publicados en el año 2011 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos ([INEC, 2011](#)), en conjunto con datos de accidentes del Observatorio Costarricense de Seguridad Vial del Consejo de Seguridad Vial ([COSEVI, 2020](#)).

Para el trabajo de construir tasas poblacionales que relacionen la exposición de usuarios de la vía a lesiones o muerte en un accidente de tránsito con el total de habitantes del cantón en el periodo de estudio, que relacionen así la ocurrencia de accidentes y unidades geográficas, es necesario destacar la limitante de que la ocurrencia geográfica de un evento de accidente de tránsito no coincide necesariamente con el lugar de origen o residencia de las personas involucradas en el accidente. Si bien se esperaría que esta limitación sea menor para los accidentes con ciclistas y peatones involucrados, para los casos de accidentes con vehículos el sesgo debe ser mayor dado que este medio de transporte se asocia a traslados mayores entre el origen y el sitio del accidente.

Para cada uno de los 81 cantones existentes, en el año 2018, se estimaron tasas asociadas al riesgo de lesionarse leve o gravemente o fallecer (en sitio) en un accidente de tránsito bajo el rol de conductores, motociclistas y peatones, según las ecuaciones (1), (2) y (3) respectivamente.

$$T_C = \frac{A_{C-2018}}{V_{veh} * P_{2018}} * 1000 \quad (1)$$

Donde:

- $T_C$ : tasa conductores accidentados con lesiones o fallecidos en el año 2018 por cada 1000 habitantes del cantón.
- $A_{C-2018}$ : conductores accidentados en el año 2018.
- $V_{veh}$ : porcentaje de viviendas del cantón con vehículo en el año 2011.
- $P_{2018}$ : población del cantón en el año 2018.

$$T_M = \frac{A_{M-2018}}{V_{mot} * P_{2018}} * 1000 \quad (2)$$

Donde:

- $T_M$ : tasa de motociclistas accidentados con lesiones o fallecidos en el año 2018 por cada 1000 habitantes del cantón.
- $A_{M-2018}$ : motociclistas accidentados en el año 2018.
- $V_{mot}$ : porcentaje de viviendas del cantón con motocicleta en el año 2011.
- $P_{2018}$ : población del cantón en el año 2018.

$$T_p = \frac{A_{P-2018}}{P_{2018}} * 1000 \quad (3)$$

Donde:

- $T_p$ : tasa de peatones accidentados con lesiones o fallecidos en el año 2018 por cada 1000 habitantes del cantón.
- $A_{P-2018}$ : peatones accidentados en el año 2018.
- $P_{2018}$ : población del cantón en el año 2018.

Para las tasas calculadas se supuso que los porcentajes  $V_{veh}$  y  $V_{mot}$  son equivalentes a la proporción poblacional del cantón que conduce cada tipo de vehículo. La población  $P_{2018}$  corresponde a las proyecciones de población cantonales para dicho año, elaboradas por el Centro Centroamericano de Población (CCP, 2011) en colaboración con el INEC (2011). Se aclara, además, que no se realizó una ponderación por gravedad del accidente.

Por otro lado, se recopiló y se construyó una serie de variables demográficas, sociales y físicas, específicamente sobre la composición etaria poblacional de cada cantón, el desarrollo humano, y condiciones geográficas y de infraestructura vial. Se buscó teorizar para el caso de Costa Rica si es posible que estas variables caractericen distintivamente a los grupos de cantones encontrados que tienen similares patrones de ocurrencia de víctimas accidentadas en la vía. Seguidamente se detallan las variables consideradas para este efecto:

- **Densidad de vías (km/km<sup>2</sup>):** Se trata de una variable cantonal construida al dividir la cantidad de kilómetros de red vial nacional y cantonal entre el área del cantón. Las longitudes de vías de la red vial nacional fueron obtenidas a partir de datos geográficos del Instituto Geográfico Nacional (2020) y se estimó la longitud de vías cantonales a partir de información vectorial extraída de la plataforma Open Street Map (2020). Para el procesamiento se utilizó el software QGIS.
- **Densidad poblacional (habitantes/Ha):** Se trata de una variable cantonal construida, al dividir la variable  $P_{2018}$  entre el área del cantón.
- **Proporciones de habitantes en rangos etarios (%):** Con base en la información del Censo 2011, por cada cantón se estimaron proporciones de habitantes para los siguientes rangos etarios: menores de 14 años, 15 a 24 años, 25 a 64 años y mayores de 65 años.

- **Proporciones de habitantes con necesidades básicas insatisfechas (NBI):** A través de la consulta de la información por cantón del Censo 2011 se obtuvo la proporción de la población con 0, 1, 2, 3 o 4 NBI. Según el INEC (2015), se trata de la única medición multidimensional de pobreza que se ha realizado oficialmente en Costa Rica, la cual tuvo como objetivo identificar a los hogares pobres según un conjunto de 4 necesidades socialmente consideradas básicas: acceso a albergue digno, acceso a vida saludable, acceso al conocimiento y acceso a otros bienes y servicios.
- **Índice de Desarrollo Humano (IDH):** Se recopiló el IDH de cada cantón para el año 2018, según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2020). El IDH mide el promedio de los logros de un área geográfica específica en tres dimensiones básicas del desarrollo humano: una vida larga y saludable (medida por la esperanza de vida al nacer), el conocimiento, (medido por los años esperados de escolaridad y los años promedio de escolaridad) y un nivel de vida digno (medido por el Índice de Bienestar Material a partir del consumo de electricidad residencial por cliente).

En términos generales, para alcanzar el objetivo planteado se utilizó la técnica Análisis de Componentes Principales (ACP), para combinar las tres tasas en estudio mencionadas en este apartado ( $T_C$ ,  $T_{MP}$ ,  $T_P$ ) y reducirlas a un número menor de combinaciones lineales o dimensiones. A la vez, se plantea también la aplicación del método no paramétrico de análisis de agrupamientos para detectar posibles relaciones con las variables sociales, demográficas y físicas presentadas con las dimensiones sugeridas.

Para la relación de las tasas construidas como variables cuantitativas originales y las dimensiones por construir, se utilizó la matriz de correlaciones, dado que se trata de un subgrupo de variables que se puede considerar estandarizado: se derivaron con base en datos de accidentes del año 2018 y cuentan con la misma unidad. La matriz de correlaciones es de común aplicación para un caso como este.

Con base en el Cuadro 1 y en cuanto a la dispersión estadística de los valores, las tasas presentan varianzas en diferentes órdenes de magnitud. Esta condición es favorable para la aplicación de la técnica ACP, puesto que si se tratara de información muy redundante puede hacer que el método sobre enfatice la contribución de las variables a las dimensiones por

desarrollar. A esto también favorece la inspección de la correlación lineal entre las tasas, dado que se encontraron bajas relaciones directamente proporcionales entre los pares  $T_C$  y  $T_M$  (0,01) y  $T_C$  y  $T_P$  (0,17), la correlación más alta se observó entre las tasas  $T_M$  y  $T_P$  (0,61).

**Cuadro 1.** Descripción estadística de las tasas cantonales de víctimas de accidentes de tránsito, Costa Rica, 2018.

Valor estadístico	$T_C$	$T_M$	$T_P$
Mínimo	1,53	7,19	0,00
Q1	4,22	30,12	0,19
Mediana	7,19	41,88	0,26
Q3	12,78	61,64	0,40
Máximo	28,10	156,01	0,91
Media	9,39	50,24	0,30
Varianza	46,08	934,74	0,03
Desviación estándar	6,79	30,57	0,17

Nota:  $T_C$ ,  $T_M$  y  $T_P$  corresponde a tasa de conductores, motociclistas y peatones, respectivamente, accidentados con lesiones o fallecidos en el año 2018 por cada 1000 habitantes del cantón.

Fuente: Elaboración propia.

La técnica ACP se fundamenta en la propiedad de que la varianza de cada componente determinado es la estimación del valor característico asociado, y la sumatoria de todos los valores característicos es equivalente a la suma de las varianzas de las variables originales. Esta propiedad permite calcular la porción de la varianza original que cada uno de los componentes generados explica. Se propuso la combinación de las tasas cantonales relacionadas con el riesgo de lesión o muerte en accidentes de tránsito, a través de su nexo con la matriz de correlaciones se encontraron los componentes principales cuyas características se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Datos asociados a la importancia de los componentes definidos mediante el análisis ACP a través de la matriz de correlaciones

Valor estadístico	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Desviación estándar	1,28	1,00	0,60
Varianza	1,64	1,00	0,37
Proporción de la varianza explicada	0,55	0,33	0,12
Proporción de la varianza acumulada	0,55	0,88	1,00

Fuente: Elaboración propia.

A partir del Cuadro 2 es posible aplicar análisis elementales para seleccionar una cantidad de componentes apropiada: es adecuado utilizar únicamente los componentes para los cuales se estimó un valor característico (variancia) mayor a la unidad, con base en la información del Cuadro 2 se elegirían sólo los primeros dos componentes porque tienen esta condición.

Considerando que se busca un alto porcentaje de varianza explicada, con base en las propiedades intrínsecas del método, aunque no se cuenta con un criterio técnico definido sobre cuánto es el límite inferior conveniente, se aprecia en el Cuadro 2 que la proporción de varianza acumulada en los primeros dos componentes supera el 80%, lo cual refuerza la decisión de limitarse a ellos.

En el Cuadro 3 se presenta la matriz de contribuciones, con la cual es posible cuantificar cuál es el aporte de cada una de las tasas a la construcción de los componentes generados, en este caso a los dos elegidos. Además, el plano factorial, representado en el Gráfico 1, presenta el vínculo entre variables y dimensiones. Con base en la interpretación de ambos insumos se proponen las siguientes asociaciones.

En términos generales las tasas victimización de motociclistas como de peatones contribuyen en alto grado e igual proporción a la conformación de la Dimensión 1, ambas se ubican en el eje positivo del Gráfico 1 por lo que la Dimensión 1 puede considerarse como una función creciente de ambas tasas.

**Cuadro 3.** Indicadores de relación de las variables y los componentes definidos mediante el análisis de componentes principales a través de la matriz de correlaciones

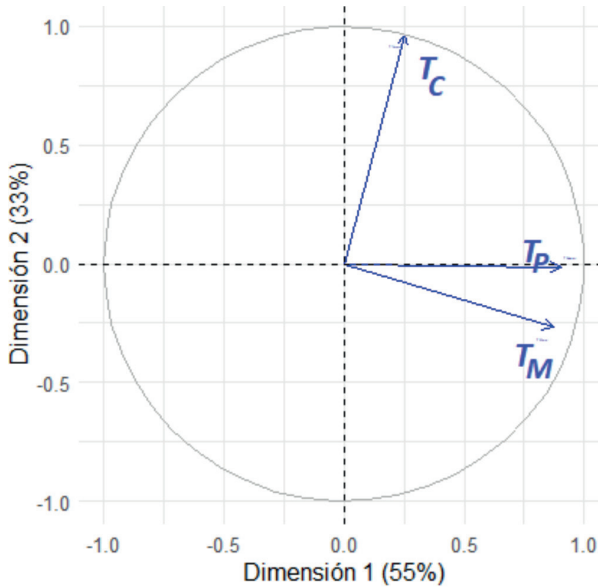
Variable	Contribución		Representación (Cos <sup>2</sup> )	
	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 1	Dimensión 2
$T_C$	3,93	92,83	6,44	92,37
$T_M$	46,27	7,16	75,84	7,12
$T_P$	49,80	0,02	81,63	0,02

Nota:  $T_C$ ,  $T_M$  y  $T_P$  corresponde a la tasa de conductores, motociclistas y peatones, respectivamente, accidentados con lesiones o fallecidos en el año 2018 por cada 1000 habitantes del cantón.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 1 se aprecia que el vector de la tasa de peatones se encuentra casi completamente en la dirección del eje, lo cual es consecuente con la nula contribución y representación de esta variable en la Dimensión 2, componente en el cual sobresale significativamente el aporte de la tasa de conductores (92,83%) y un aporte de la tasa de motociclistas, en considerable menor medida.

**Gráfico 1.** Plano factorial de relación de las variables originales con los dos componentes generados



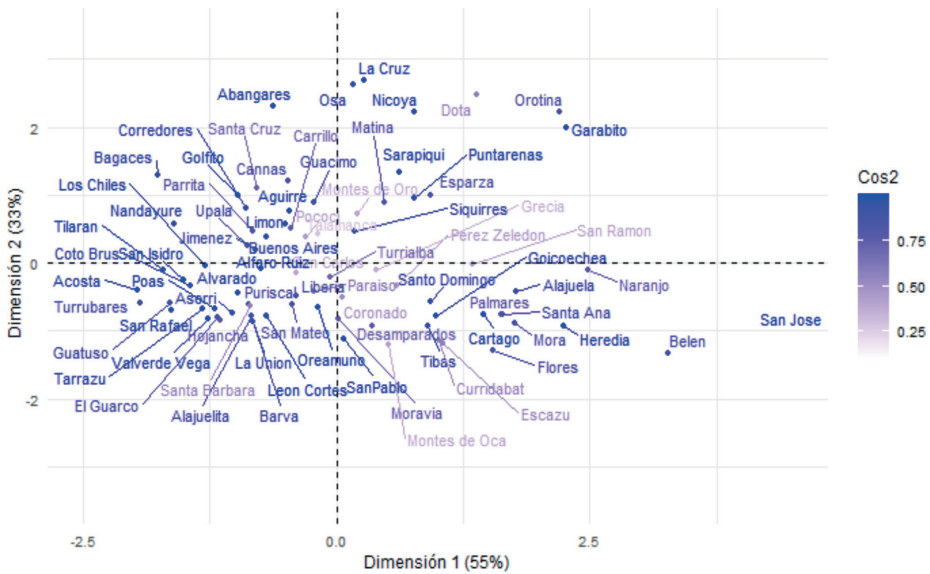
Fuente: Elaboración propia.

Nota:  $T_C$ ,  $T_M$  y  $T_P$  corresponde a la tasa de conductores, motociclistas y peatones, respectivamente, accidentados con lesiones o fallecidos en el año 2018 por cada 1000 habitantes del cantón.

Con las asociaciones realizadas se interpreta con confianza que la Dimensión 1 está regida por las tasas relativas a los usuarios con roles expuestos a mayor riesgo de sufrir lesiones o fallecer en accidentes de tránsito, por las condiciones físicas en las que se desplazan por las vías, por lo cual se define como la Dimensión Usuarios vulnerables. Consecuentemente, la Dimensión 2 corresponde a Vehículo privado (de al menos cuatro ruedas), la cual está relacionada con los usuarios expuestos a heridas o muerte en accidentes de tránsito que conducen los vehículos.

El Cuadro 3 también presenta los valores del indicador  $cos^2$ , estos son útiles para determinar si las variables originales sometidas a la técnica ACP presentan un ajuste adecuado, o en su defecto no se ajustan a la información que explican las dimensiones sugeridas. Se aprecia que los valores de representación muestran la misma tendencia que los valores de contribución, con lo cual las tasas cantonales de conductores se encuentran muy bien representadas en la Dimensión 2, y en segundo plano las tasas de motociclistas y peatones en la Dimensión 1.

**Gráfico 2.** Plano de cantones en los componentes principales construidos e indicador  $cos^2$



Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico 2 permite el análisis integral de dos elementos: el par de componentes principales en cada eje lo que conforma un plano y la dispersión de los individuos en el mismo. Con base en este gráfico y al inspeccionar ciertos datos descriptivos cantonales, se teoriza que los cantones ubicados en el cuadrante inferior derecho presentan características sociodemográficas más privilegiadas y mayor urbanización o densidad, en contraposición a los del cuadrante superior izquierdo.



## Resultados

Seguidamente, se presentan los resultados de la aplicación del método de análisis de agrupamientos jerárquicos con la finalidad de detectar patrones, es decir, grupos de cantones que sean heterogéneos entre sí, pero homogéneos en sí mismos con respecto a las dimensiones propuestas. Posteriormente se relacionan las variables de caracterización cantonal seleccionadas (físicas, demográficas y socioeconómicas) con los grupos de cantones y las dimensiones previamente determinadas.

Es destacable mencionar que se aplicarán las dimensiones resultantes de la técnica ACP como variables sustitutivas de las originales. Esas dimensiones explican la variabilidad que el conjunto original presentaba, pero con una condición estandarizada, ya que se derivan de una carga factorial.

Con base en las cargas factoriales que tiene los cantones en los nuevos componentes se hizo una exploración inicial aplicando el método del codo (*elbow method* en inglés), en donde se representa la proporción de varianza explicada en función del número de grupos, para plantear una cantidad de agrupamientos conveniente. Se observó que sobresale la desviación en la curva cuando se acumulan 3 agrupamientos.

Así, se analizó primero la generación de tres clústeres jerárquicos. Para generarlos se empleó el método de agrupación de Ward, que utiliza un criterio de varianza mínima, aplicado mediante un algoritmo que busca minimizar la varianza dentro de cada conglomerado. Se trata de un método iterativo, en cada iteración se encuentra un par de conjuntos que al mezclarse incrementan mínimamente del total de la varianza. El método de Ward se caracteriza por su insensibilidad a valores extremos o atípicos. Para efectos comparativos, también se generaron agrupaciones con el método similar denominado K-Medias que se basa en el algoritmo de [Hartigan y Wong \(1979\)](#) para la generación de conglomerados a través de un proceso de 100 iteraciones, que busca maximizar la diferencia entre los grupos y minimizando la variabilidad dentro de cada uno. Los resultados se resumen en el Cuadro 4.

#### **Cuadro 4.** Promedios de las cargas factoriales en las dimensiones en tres grupos jerárquico de cantones

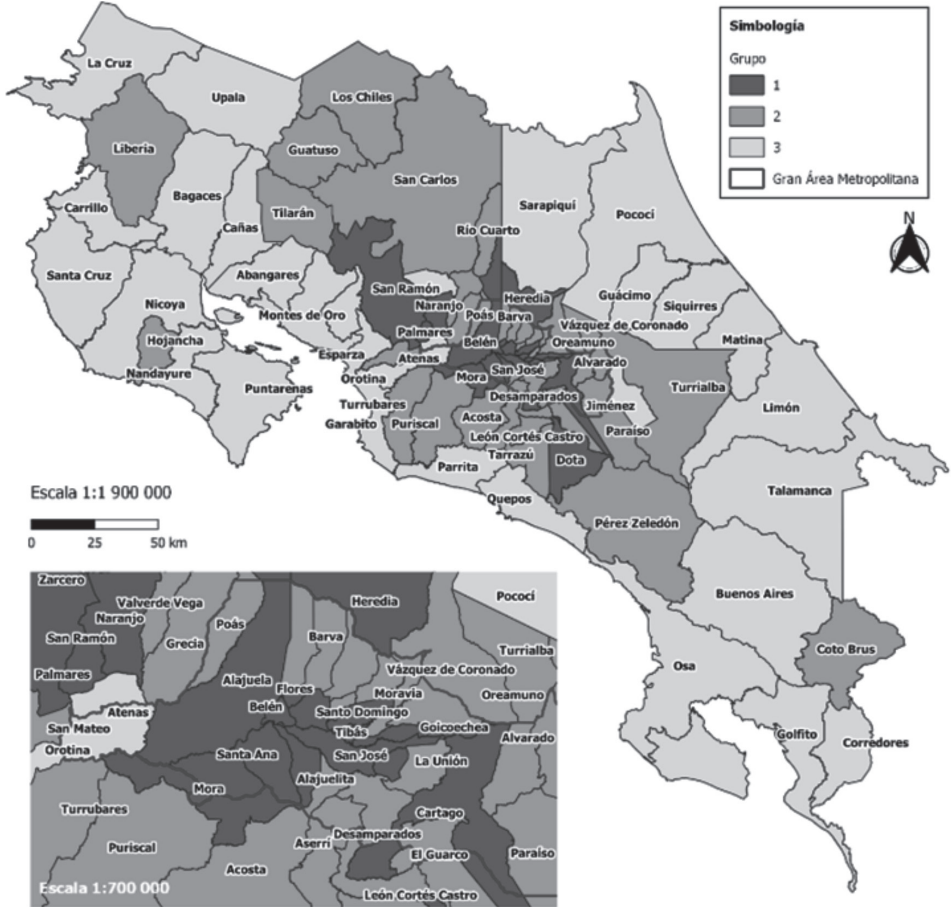
Grupo	Agrupación de Ward		Algoritmo de Hartigan-Wong	
	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 1	Dimensión 2
1	1,71	-0,63	1,60	-0,80
2	-0,80	-0,57	-0,81	-0,18
3	-0,14	1,01	0,62	1,68

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de ambos métodos son completamente comparables en magnitud y orden interno de los grupos en cada dimensión. La variabilidad de los promedios de las tres agrupaciones en cada dimensión ofrece una cómoda interpretabilidad de su significado, lo cual refuerza la elección de ese número de grupos.

Al buscar comprender el perfil de cada grupo, especialmente en relación las características físicas y sociales de cada cantón, se esperan diferencias relevantes, aun considerando las asociaciones subyacentes entre subgrupos de cantones individuales que pertenecen a un mismo grupo. Primeramente, se inspeccionó la composición de cada grupo en los cantones específicos que conforman cada uno de los tres clústeres jerárquicos generados. El resultado se presenta en la Figura 1 y la identificación de los cantones se enlista en el Cuadro 5.

**Figura 1.** Grupos de cantones según análisis de agrupamiento jerárquico en torno a tasas de personas heridas o fallecidas en accidentes de tránsito



Fuente: Elaboración propia con información del IGN (2020).

Como segundo objetivo, se buscó caracterizar a los grupos de cantones identificados con base en las dimensiones construidas. Con el vínculo de la información del Cuadro 4 y del Cuadro 5, se puede puntualizar que el grupo 1 tiene una media mayor asociada al componente Usuarios vulnerables (1,71), lo que indica mayores tasas cantonales de peatones y motociclistas lesionados o fallecidos por cada 1000 habitantes, mientras que los grupos 3 y 2 presentarían, en comparación con el componente Usuarios vulnerables, tasas cantonales decrecientes respectivamente (-0,80 y -0,14).

En cuanto al componente Vehículo privado, con base en los resultados del método K-Medias, el grupo 3 presenta una media considerablemente mayor (1,68) a la de los grupos 1 y 2 (-0,80 y -0,18).

**Cuadro 5.** Cantones agrupados en cada conglomerado generado a partir de la accidentabilidad de usuarios vulnerables (Dimensión 1) y vehículo privado (Dimensión 2).

Grupo	Observaciones	Cantones
1	18	San José, Escazú, Mora, Goicoechea, Santa Ana, Tibás, Montes de Oca, Dota, Curridabat, Alajuela, San Ramón, Naranjo, Palmares, Cartago, Heredia, Santo Domingo, Belén, Flores
2	33	Desamparados, Puriscal, Tarrazú, Aserri, Alajuelita, Coronado, Acosta, Moravia, Turrubares, Pérez Zeledón, León Cortés, Grecia, San Mateo, Poás, San Carlos, Valverde Vega, Los Chiles, Guatuso, Paraíso, La Unión, Turrialba, Alvarado, Oreamuno, El Guarco, Barva, Santa Bárbara, San Rafael, San Isidro, San Pablo, Liberia, Tilarán, Hojancha, Coto Brus
3	30	Atenas, Orotina, Alfaro Ruíz, Upala, Jiménez, Sarapiquí, Nicoya, Santa Cruz, Bagaces, Carillo, Cañas, Abangares, Nandayure, La Cruz, Puntarenas, Esparza, Buenos Aires, Montes de Oro, Osa, Aguirre, Golfito, Parrita, Corredores, Garabito, Limón, Pococí, Siquirres, Talamanca, Matina, Guácimo

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se buscó caracterizar a las tres agrupaciones de cantones considerando variables descriptivas externas a la construcción de las dimensiones para conocer si existen también patrones identificables. Así, se realizó la comparación entre las características de los tres grupos generados para las dos dimensiones construidas y las variables que fueron elegidas para distinguir a los cantones.

El Cuadro 6 incluye los promedios de las variables externas, pero agrupadas en cada uno de los grupos con el fin de caracterizarlos a través de una medida de tendencia central sobre las variables de interés.

El Gráfico 3 presenta diagramas de caja que representan las series de datos cantonales de las variables, también reunidas en los grupos sugeridos. Dicho gráfico tiene el objetivo de mostrar la distribución de los datos de las variables externas en cada grupo, a simple vista. En el Gráfico 3 se observan distribuciones simétricas, donde la media de cada variable y su mediana son

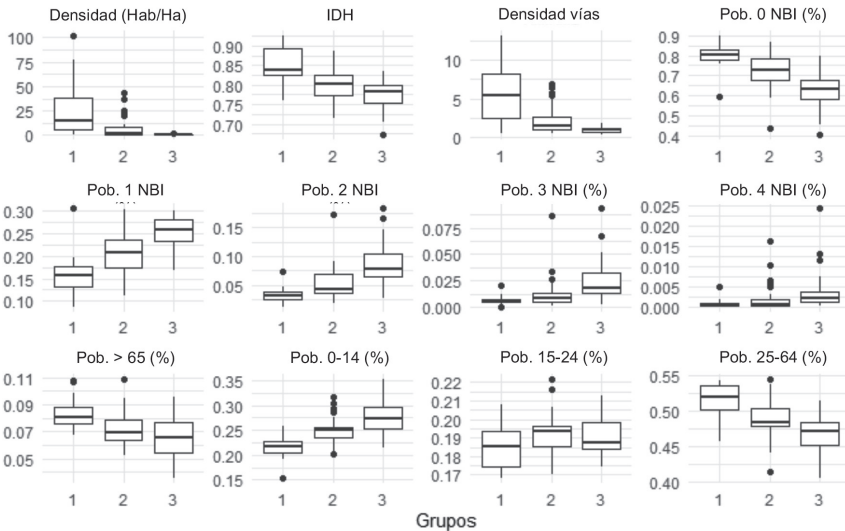
similares. Además, con base en la inspección de los rangos intercuartiles, comparativamente se observan pocas dispersiones resaltables en las variables en cada grupo (la densidad poblacional y la densidad de vías en los cantones del grupo), de los cuales predominan las bajas dispersiones.

**Cuadro 6.** Promedios de las variables de caracterización física, demográfica y socioeconómica según agrupamiento jerárquico de cantones en tres grupos, Costa Rica, 2018

Grupo	Km de vías por Km <sup>2</sup>	Hab. por Ha.	Proporción poblacional por rango etario				Proporción poblacional por número de NBI					IDH
			0-14	15-24	25-64	>65	0	1	2	3	4	
1	5,57	24,99	0,22	0,19	0,51	0,08	0,80	0,16	0,03	0,01	0,00	0,85
2	2,26	6,47	0,25	0,19	0,49	0,07	0,73	0,21	0,05	0,01	0,00	0,80
3	0,94	0,63	0,28	0,19	0,47	0,07	0,63	0,25	0,09	0,03	0,00	0,77

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 3.** Diagramas de cajas de las variables cantonales de caracterización física, demográfica y socioeconómica según agrupamiento jerárquico de 3 grupos



Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 6 y en el Gráfico 3 sobresale que los cantones del grupo 1, caracterizados previamente con mayores valores medios en la Dimensión Usuarios vulnerables, también tienen condición de mayor densidad media poblacional (24,99 habitantes por Ha) y de vías (5,57 Km de vías por Km<sup>2</sup> de área). Además, pertenecen en su mayoría al Gran Área Metropolitana (ver la Figura 1), en su mayoría. Además, se trata del grupo con una mayor proporción media poblacional sin NBI y con el IDH medio más favorable (80%), a la vez que los cantones de este grupo cuentan con mayor población media adulta (51%) y adulta mayor (8%).

El grupo 2 corresponde a cantones que se encuentran geográficamente en un anillo alrededor de los cantones del grupo 1 y comparativamente cuentan con densidades intermedias. Por su parte, el grupo 3 presenta las densidades más bajas y agrupa a los cantones costeros.

El grupo 3 es sobresaliente en las medias calculadas para la Dimensión Vehículo privado, con mayor incidencia de heridas o muertes durante accidentes de tránsito a las personas en el rol de conductores. Los cantones del grupo 3 muestran condiciones sociodemográficas opuestas a los del grupo 1: menor IDH medio (0,77) y mayor proporción media de población con NBI (25% con 1 NBI), además de mayor proporción de población joven (28% son personas con edad entre 0 y 14 años).

Dado que la agrupación de los cantones del grupo 3 se basa en las tasas de accidentes de conductores con base en la población residente de cada cantón, se plantea la interrogante de si las características asociadas a partir de los resultados del Cuadro 6 y del Gráfico 3 estarán realmente relacionadas con los accidentes ocurridos en estas unidades geográficas o si corresponden a personas externas al cantón que fueron afectadas por accidentes ocurridos en estos cantones.

### **Discusión de resultados**

Los resultados de este estudio son satisfactorios para el cumplimiento del objetivo planteado: el análisis exploratorio arrojó una agrupación de los cantones de Costa Rica en categorías con variabilidad homogénea dentro de cada grupo, pero heterogénea entre grupos, con base en los indicadores de cada unidad geográfica de exposición de los usuarios de las vías a presentar lesiones o fallecer.

La construcción de relaciones entre usuarios accidentados que presentaron lesiones o muerte y la proporción poblacional expuesta a accidentes de tránsito, para cada una de las unidades geográficas y en el periodo de estudio, permitió su combinación lineal para describir el conjunto original de indicadores en dos nuevas variables no correlacionadas: una asociada a los usuarios más vulnerables y otra a los usuarios conductores de vehículos privados.

El agrupamiento jerárquico de los cantones en tres conglomerados con base en las nuevas variables sustitutivas funcionó para unir grupos de los que se esperan similares patrones de ocurrencia de víctimas accidentadas en la vía. El grupo 1 de cantones que sobresale por presentar mayores tasas de peatones y motociclistas lesionados o fallecidos. A la vez, otra agrupación de cantones se destaca por las tasas comparativamente altas de personas conductoras lesionadas o fallecidas. Comparativamente, por ejemplo, entre los distritos con exceso de frecuencia de choques totales resaltados por Vargas Aguilar y Agüero Valverde (2020), destacan Alajuela, Río Segundo y San Joaquín, que pertenecen a los cantones Alajuela y Flores respectivamente. En el presente estudio ambos cantones pertenecen al grupo 1.

Fue posible delimitar un perfil común de cada grupo de unidades territoriales al considerar las variables demográficas, físicas y sociales propuestas. Se encontró que el grupo de cantones sobresalientes en la Dimensión Usuarios vulnerables son también comparativamente densos en población e infraestructura, con mayor desarrollo y con población mayor, mientras que el grupo de cantones que destacan en la Dimensión Vehículo privado tienen características opuestas.

Especialmente, se observan coincidencias entre estos hallazgos y las conclusiones de Hu, Wu, Huang, Peng y Liu (2020), quienes indican que las densidades de la población y de la red vial y la abundancia de servicios y actividades sociales están estrechamente relacionadas con la ocurrencia de choques de peatones. Dichos autores destacan las áreas con actividades y servicios sociales intensivos, como áreas comerciales y residenciales, con frecuencia de choques de peatones debido a las altas concentraciones de población y tráfico, así como áreas públicas en general. La concentración excesiva de servicios y actividades sociales ejercerá presión sobre la planificación histórica regional y de la red de carreteras.

Se ofrecen las siguientes recomendaciones que principalmente podrían ayudar a profundizar la aplicación de las técnicas utilizadas en esta temática particular, mediante la adición de otras variables relacionadas que pueden ser determinantes en la conformación de conglomerados y su caracterización.

El presente estudio podría complementarse en caso de tener información acerca de los viajes entre los diferentes cantones del país, o bien, de variables relacionadas con infraestructura medidas y estandarizadas a nivel cantonal (por ejemplo, que esos cantones tengan carreteras de mayor velocidad o carreteras de alto tránsito y velocidad que tengan más interacción con comunidades). Además, estudios adicionales podrían integrar los resultados obtenidos al agregar una mayor cantidad de variables socioeconómicas por cantón.

Es recomendable complementar el presente estudio con análisis que indiquen el cantón de residencia de las personas afectadas en colisiones de tránsito, con el fin de superar la limitación del presente estudio que plantea que la ubicación del evento de tránsito coincide con el cantón de residencia de las víctimas de estos eventos.

Para evaluar de manera más integral y efectiva las temáticas de densidad territorial y de infraestructura como determinantes en la incidencia de personas accidentadas, puede ser conveniente incluir variables asociadas al uso de suelo con el fin de contar con mejor una caracterización de las unidades geográficas, lejos del estudio de indicadores generales como los elegidos.

Es necesaria la generación de políticas públicas con el fin de mejorar la seguridad vial en los cantones de mayor riesgo. Por ejemplo, estudios como el de Jones, Lyons, John y Palmer (2005) muestran la efectividad de intervenciones de tráfico calmado que se asocia con reducciones absolutas en las lesiones de peatones infantiles tasas y reducciones en las desigualdades relativas en las tasas de lesiones de peatones infantiles.

## Referencias

- Agüero Valverde, J. (2013). Multivariate spatial models of excess crash frequency at area level: Case of Costa Rica. *Accident Analysis & Prevention*. 59, 365-373.
- Agüero Valverde, J., y Jovanis, P. P. (2006). Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. *Accident Analysis & Prevention*. 38 (3), 618-625.



- Brown, K. T. (2016). A safety analysis of spatial phenomena about the residences of drivers involved in crashes. en: [https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2747&context=all\\_dissertations](https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2747&context=all_dissertations)
- Centro Centroamericano de Población. (2011). Estadísticas demográficas. 2011 – 2025. Proyecciones nacionales. CCP-INEC. <https://www.inec.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de-poblacion>
- Consejo de Seguridad Vial. (2020). Datos para tabla interactiva de personas involucradas en accidentes con víctimas. <https://datosabiertos.csv.go.cr/datasets/193470/consolidado-de-personas-involucradas-en-accidentes-con-victimas/>
- Consejo de Seguridad Vial (CONAVI). (2021). Anuario estadístico de accidentes de tránsito con víctimas en Costa Rica 2020. <https://www.csv.go.cr/estad%C3%ADsticas>
- Cubbin, C., y Smith, G. (2002). Socioeconomic Inequalities in Injury: Critical Issues in Design and Analysis. *Annual Review of Public Health*. 23 (1), 349-375.
- Fleury, D., Peytavin, J. F., Alam, T. y Brenac, T. (2010). Excess accident risk among residents of deprived areas. *Accident Analysis & Prevention*. 42 (6), 1653-1660.
- Hartigan, J. A., y Wong, M. A. (1979). Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm. *Journal of the royal statistical society. series c (applied statistics)*, 28(1), 100-108.
- Hashimoto, T. (2005). Spatial analysis of pedestrian accidents.
- Hewson, P. J. (2005). Epidemiology of child pedestrian casualty rates: can we assume spatial independence? *Accident Analysis & Prevention*. 37 (4), 651-659.
- Hu, L., Wu, X., Huang, J., Peng, Y. y Liu, W. (2020). Investigation of clusters and injuries in pedestrian crashes using GIS in Changsha, China. *Safety science*. 127, 104-105.
- Jaramillo, C., Lizárraga, C. y Grindlay, A. L. (2012). Spatial disparity in transport social needs and public transport provision in Santiago de Cali (Colombia). *Journal of Transport Geography*. 24, 340-357
- Instituto Geográfico Nacional. (2020). Nodos del SNIT: servicios WMS del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. [https://www.snitr.go.cr/ico\\_servicios\\_ogc\\_info?k=bm9kbzo6MTE=&nombre=MOPT](https://www.snitr.go.cr/ico_servicios_ogc_info?k=bm9kbzo6MTE=&nombre=MOPT)

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015). Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) - Metodología. INEC. [https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos/pobreza\\_y\\_presupuesto\\_de\\_hogares/pobreza/metodologias/mepobrezaenaho2015-01.pdf](https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos/pobreza_y_presupuesto_de_hogares/pobreza/metodologias/mepobrezaenaho2015-01.pdf)
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2011). X Censo Nacional de Población y VI Censo Nacional de Vivienda de Costa Rica. <https://www.inec.cr/sistema-de-consultas>
- Jones, A. P., Haynes, R., Kennedy, V., Harvey, I. M., Jewell, T. y Lea, D. (2008). Geographical variations in mortality and morbidity from road traffic accidents in England and Wales. *Health & place*. 14 (3), 519-535.
- Jones, S. J., Lyons, R. A., John, A. y Palmer, S. R. (2005). Traffic calming policy can reduce inequalities in child pedestrian injuries: database study. *Injury Prevention*. 11 (3), 152-156.
- Lin, L., Shi, F. y Li, W. (2020). Assessing Road Traffic Safety During COVID-19: Inequality, Irregularity, and Severity. arXiv preprint arXiv:2011.02289.
- Magaña, J., Hernández H. y Jiménez, D. (2014). *Aplicación del Análisis de Conglomerados para la caracterización de factores temporales de tránsito para Costa Rica*. Congreso de Ingeniería Civil 2014. Colegio de Ingenieros Civiles.
- Martínez, P., Contreras, D. y Moreno, M. (2020). Safe mobility, socioeconomic inequalities, and aging: A 12-year multilevel interrupted time-series analysis of road traffic death rates in a Latin American country. *PLoS one*. 15 (1) 125-132.
- Ministerio de Salud. (30 de octubre de 2019). Se intensifica ofensiva contra accidentes de tránsito. Noticias. <https://www.ministeriodesalud.go.cr/>
- National Highway Traffic Safety Administration. (2021). Early estimates of motor vehicle traffic fatalities and fatality rate by sub-categories in 2020. (Crash•Stats Brief Statistical Summary. Report No. DOT HS 813 118).
- Open Street Map. (2020). Transport Map. <https://www.openstreetmap.org/export#map=17/9.93658/-84.06899&layers=T>.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Global Status Report on Road Safety. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>

- Pirdavani, A., Daniels, S., Van Vlierden, K., Brijs, K. y Kochan, B. (2017). Socioeconomic and sociodemographic inequalities and their association with road traffic injuries. *Journal of Transport & Health*. 4, 152-161.
- Poulos, R. G., Chong, S. S., Olivier, J. y Jalaludin, B. (2012). Geospatial analyses to prioritize public health interventions: a case study of pedestrian and pedal cycle injuries in New South Wales, Australia. *International journal of public health*. 57 (3), 467-475.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2020). Índice de Desarrollo Humano cantonal <https://www.cr.undp.org/content/costarica/es/home/atlas-de-desarrollo-humano-cantonal.html#:~:text=Como%20parte%20de%20la%20tendencia,más%20de%2032%2C5%25>.
- Ryb, G. E., Dischinger, P. C., Kufera, J. A. y Soderstrom, C. A. (2007). Social, behavioral, and driving characteristics of injured pedestrians: a comparison with other unintentional trauma patients. *Accident Analysis & Prevention*. 39 (2), 313-318.
- Shen, L., Lu, J., Long, M. y Chen, T. (2019). Identification of accident blackspots on rural roads using grid clustering and principal component clustering. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019. 10, 75-82.
- Torres-Barragan, C. A., Cottrill, C. D. y Beecroft, M. (2020). Spatial inequalities and media representation of cycling safety in Bogotá, Colombia. *Transportation research interdisciplinary perspectives*. 7, 100-108
- Vargas Aguilar, D. y Agüero Valverde, J. (2020). Análisis estadístico de choques viales a nivel distrital para la gran área metropolitana. *Infraestructura vial*. 40, 1-10.
- Yang, Y., Chung, H. y Kim, J. S. (2021). Local or neighborhood? Examining the relationship between traffic accidents and land use using a gradient boosting machine learning method: the case of Suzhou industrial park, China. *Journal of advanced transportation*, 2021. 2, 1-30



## **Análisis temporal del NDVI del humedal de Purrrumpampa en Huamachuco y su relación con la expansión urbana**

Temporal analysis of the NDVI of the Purrrumpampa wetland in Huamachuco and its relationship with urban expansion

Análise temporal do NDVI do pantanal Purrrumpampa em Huamachuco e sua relação com a expansão urbana

*Diego Jesús Rodríguez Mauricio<sup>1</sup>*  
*Universidad Privada del Norte, Perú*

### **Resumen**

La expansión urbana por lo general implica la ocupación informal de espacios naturales vulnerables, lo que conlleva al deterioro de estos ecosistemas. Este mismo fenómeno se presenta en el humedal de Purrrumpama, ubicado en Huamachuco, una ciudad de la sierra liberteña del Perú. Por ello, el presente artículo planteó como objetivo realizar un análisis temporal de la flora presente en el humedal, contrastando los resultados obtenidos con un análisis temporal en Google Earth e identificando la relación con la expansión urbana. Para tal fin, se hizo uso imágenes satelitales Landsat 8 y Google Earth, delimitando el área de estudio según lo establecido por planes de la Municipalidad Provincial Sánchez Carrión. De esta manera, se determinó que existe una disminución constante de cobertura vegetal en las zonas Sur y Sur-este del humedal, calculando una pérdida de 74 792 m<sup>2</sup> del humedal desde 2012 hasta 2021. Así mismo, se arguyó que las acciones ambivalentes de la municipalidad han legitimado la ocupación de viviendas y las acciones de control han sido ineficaces.

**Palabras clave:** NDVI, humedales, expansión urbana.

---

<sup>1</sup> Licenciado en Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte, Perú. Gerente de Investigación, CINECIA, Trujillo, Perú. Correo electrónico: [diegojesusm16@gmail.com](mailto:diegojesusm16@gmail.com) ORCID:  <https://orcid.org/0000-0002-7605-3577>

## Abstract

Urban expansion generally implies the informal occupation of vulnerable natural spaces, which leads to the deterioration of these ecosystems. This same phenomenon occurs in the Purrumpampa wetland, located in Huamachuco, a city in the Sierra Libertad of Peru. For this reason, the objective of this article was to carry out a temporal analysis of the flora present in the wetland, contrasting the results obtained with a temporal analysis in Google Earth and identifying the relationship with urban expansion. For this purpose, Landsat 8 and Google Earth satellite images were used, delimiting the study area as established by the plans of the Sánchez Carrión Provincial Municipality. In this way, it will continue that there is a constant decrease in vegetation cover in the South and South-East areas of the wetland, calculating a loss of 74,792 m<sup>2</sup> of the wetland from 2012 to 2021. Likewise, it was argued that the ambivalent actions of the municipality has legitimized the occupation of houses and control actions have been ineffective.

**Keywords:** NDVI; wetlands; urban sprawl.

## Resumo

A expansão urbana geralmente implica na ocupação informal de espaços naturais vulneráveis, o que leva à deterioração desses ecossistemas. Esse mesmo fenômeno ocorre no pantanal de Purrumpampa, localizado em Huamachuco, cidade da Sierra Libertad do Peru. Por esse motivo, o objetivo deste artigo foi realizar uma análise temporal da flora presente no pantanal, contrastando os resultados obtidos com uma análise temporal no Google Earth e identificando a relação com a expansão urbana. Para isso, foram utilizadas imagens de satélite Landsat 8 e Google Earth, delimitando a área de estudo conforme estabelecido pelos planos do Município Provincial de Sánchez Carrión. Dessa forma, apurou-se que há uma diminuição constante da cobertura vegetal nas áreas Sul e Sudeste do pantanal, calculando uma perda de 74.792 m<sup>2</sup> do pantanal de 2012 a 2021. Da mesma forma, argumentou-se que as ações ambivalentes do município têm legitimado a ocupação de domicílios e as ações de controle têm sido ineficazes.

**Palavras-chave:** Expansão urbana; NDVI; Pantanal.

## Introducción

El desarrollo de las sociedades trae consigo el reto de identificar y habilitar zonas propicias para el asentamiento de las viviendas, zonas que no representen un peligro para la población, pero que tampoco afectan la dinámica de los ecosistemas presentes. Sin embargo, conducir la expansión urbana sin un marco normativo concreto y una débil gestión local provoca la ocupación de espacios en los cuales la habilitación de servicios básicos sea deficiente o se vulneren ecosistemas con alto valor ecológico o recreativo; presentándose dicha problemática permanentemente en la periferia urbana.

Estos casos suelen presentarse constantemente a lo largo del territorio peruano, y Huamachuco no ha estado exento de ello. En las últimas décadas la ciudad ha experimentado un rápido crecimiento poblacional

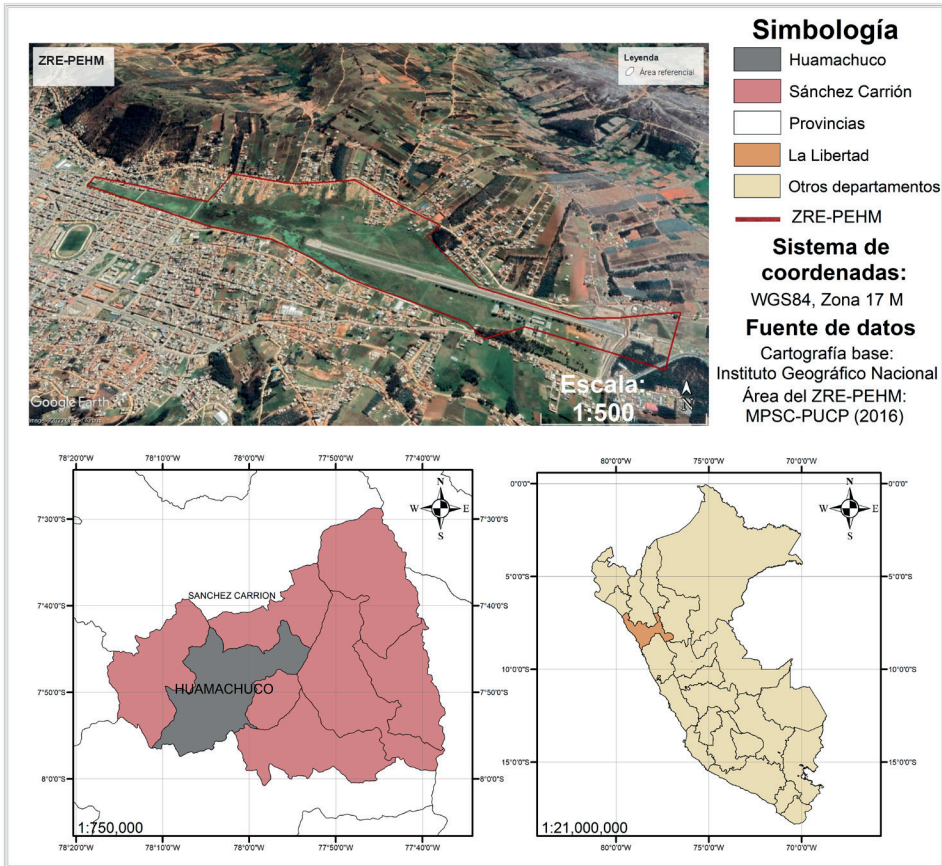
a causa de las inversiones mineras y se ha convertido en centro de servicios públicos de la provincia. Esto ha conllevado que en muchas zonas se empiece a construir viviendas sin que antes se analice la aptitud de los terrenos o el posible deterioro ambiental. Es así que, el humedal de Purrumpampa, zona de gran valor histórico, cultural y ambiental empieza a ser invadido para la construcción de viviendas, crianza de animales o simplemente como botadero de desmonte.

En este contexto, el estudio tiene como objetivo realizar un análisis temporal del índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) de la flora presente en el humedal de Purrumpampa a través de imágenes satelitales del Landsat 8, contrastando los resultados obtenidos del NDVI con un análisis temporal en Google Earth e identificando la relación con la expansión urbana y sus repercusiones en el ecosistema.

### **Área de estudio**

La ciudad de Huamachuco es la capital del distrito de Huamachuco y la provincia de Sánchez Carrión, localizada en la región de La Libertad, Perú. “La Zonificación del Esquema Director de la ciudad de Huamachuco cuenta con diversas Zonas de Reglamentación Especial, entre estas las Pampas de Purrumpampa, identificada como Zona de Reglamentación Especial de Protección Ecológica e Histórica Monumental (ZRE-PEHM)”. (Municipalidad Provincial Sánchez Carrión y Pontificia Universidad Católica del Perú [MPSC-PUCP], 2016, p. 19).

**Figura 1.** Ubicación de la Zona de Reglamentación Especial de Protección Ecológica e Histórica (ZRE-PEHM)



Fuente: Adaptado de [MPSC-PUPC \(2016\)](#).

Así mismo, este lugar es un espacio recreacional y cuenta con gran valor histórico, ya que en él tuvo lugar la “Batalla de Huamachuco”, última ofensiva peruana en la Guerra del Pacífico. En el esquema director se establece 87.70 hectáreas para la Zona de Reglamentación Especial Pampas de Purrumpampa (ZRE-PP), contando 59 hectáreas de protección ecológica e histórica y de las cuales 78 % son de propiedad municipal y 22 % de propiedad privada ([MPSC-PUPC, 2016](#); [Vilela y Moschella, 2017](#)).

Sin embargo, el área de estudio para el análisis del NDVI no corresponde a la totalidad ZRE-PP, ya que la disponibilidad de imágenes del



satélite Landsat 8 solo es a partir de abril de 2013. Por tal razón, se hizo uso de Google Earth, delimitando el área de interés según la imagen satelital más cercana a 2013, verificando que esta cuenta con la nitidez necesaria para distinguir el área libre de viviendas. Dicha imagen corresponde al 28 de julio de 2012 y se delimita un área con alrededor de 406 119 m<sup>2</sup> (ver Figura 2).

**Figura 2.** Área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

## Marco conceptual

### *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada*

Primero, es menester mencionar la razón por la cual se escogió el NDVI y no el Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad (NDMI), que se utiliza para determinar el contenido de agua de la vegetación, el cual, parecería ser más adecuado para un humedal. Se debe precisar que en el humedal de Purumpampa, la inundación es temporal y está restringida a una determinada área, donde predomina en los alrededores las plantas herbáceas, incluso al ser una zona relativamente seca entre los meses de junio y septiembre, aunque nunca sin presencia de cobertura vegetal. No obstante, se debe tener en cuenta que el NDVI en estas circunstancias está sujeto a errores, ya que en algunas secciones del humedal hay la presencia de

plantas semiacuáticas y semiacuáticas, por lo que un análisis temporal con Google Earth, dada su mayor resolución espacial, puede complementarlo.

Desde hace algunas décadas se han empezado a usar algoritmos que permitan monitorear los cambios en la estructura y crecimiento de la vegetación, ya sea para fines agrícolas, conservación o contaminación. Uno de estos índices es el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés). Este índice se basa en las propiedades de reflexión de la vegetación en las porciones visible e infrarroja, contando alta sensibilidad a los cambios de vegetación y poca sensibilidad a condiciones atmosféricas o al suelo (Tucker, 1979; Rueda, Peñarada, Velasquez y Díaz, 2015).

En teoría, el rango del NDVI oscila entre -1 y +1, con valores altos para vegetación densa y saludable, y negativos o cercanos a cero para nieve, agua o nubes. Sin embargo, en la práctica, este suele variar entre -0.1 y 0.7; sin que ello implique menor sensibilidad ante los cambios foliares o la actividad fotosintética (Salinas, Martínez y Morales, 2017; Tiedeman, 2015).

### **Landsat 8**

El Landsat 8 es un satélite lanzado el 11 de febrero de 2013 desde la Base de la Fuerza Aérea de Vandenberg, California, el cual fue desarrollado en la colaboración de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), lo cual contó con el Operational Land Imager (OLI) y el Thermal Infrared Sensor (TIRS), lo que les proporciona una resolución espacial de 30 metros para el espectro visible, NIR y SWIR; 100 metros en el térmico; y 15 metros en el pancromático (NASA, 2019).

Estas características de los sensores permiten realizar análisis y predicciones con precisiones aceptables, pudiendo utilizarse incluso para la clasificación de diferentes tipos de vegetación, volumen forestal y actividad fotosintética (Ojeda *et ál.*, 2019; García *et ál.*, 2021)

### **Google Earth**

Google Earth es un sistema de información geográfica, que permite visualizar imágenes espaciales de diferentes fechas, crear áreas y realizar rutas en 3D. Estas características han permitido estudiar la expansión

urbana, así como las tendencias particulares de cada ciudad; y aunque no permiten dilucidar por completo las causas de la expansión, permite predecir los posibles lugares en los cuales haya asentamiento de viviendas y la velocidad con la que éstas se asentarán (Cruz, 2021; Galimberti, 2021).

## Métodos

### *Descarga de imágenes satelitales*

Antes de detallar sobre la selección de las imágenes satelitales, es necesario mencionar que, la dinámica ecológica del humedal de Purumpampa puede estudiarse de acuerdo a los meses de sequía y lluvia presentes en la sierra del Perú. De esta manera, se determinó el estudio del NDVI según estas estaciones, estableciéndose la división en 4 trimestres. El primer trimestre corresponde a los meses de enero, febrero y marzo, cuando se concentran la mayoría de las precipitaciones. El segundo trimestre corresponde a los meses de abril, mayo y junio, cuando las precipitaciones son mínimas respecto al primer trimestre, pero la humedad en el humedal es notoria a causa de las lluvias en los meses anteriores. El tercer trimestre corresponde a los meses de julio, agosto y septiembre, representado los meses más secos, con escasa o nula precipitación. El último trimestre corresponde a los meses de octubre, noviembre y diciembre, en los cuales se producen precipitaciones esporádicas y de corta duración, marcando el inicio de la siguiente temporada de lluvias.

Aclarado ya el estudio por estaciones, se indica que las imágenes fueron descargadas de la plataforma Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Para ello, el área delimitada en la Figura 2 fue exportada en archivo con la extensión KMZ desde Google Earth, contrastando dicha imagen con lo mostrado en las cartas catastrales elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) (2021). Luego, el archivo con extensión KMZ se importó en la plataforma, de donde se descargan las imágenes satelitales; lo cual permitió delimitar el área de interés. Luego, se determinó el intervalo de fechas, al seleccionar desde el primero de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2021. Después, al elegir el conjunto de datos del cual se descargaría las imágenes, se decidió por Landsat, Colección Landsat 2 Nivel-1, Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L1.

Dado que el área de estudio es de poca extensión (406 119 m<sup>2</sup>), al momento de seleccionar las imágenes satelitales, se optó por un análisis visual de las interferencias atmosféricas, luego de verificar que el área no esté cubierta por nubes u otro elemento que puedan interferir. Es decir, se seleccionó imágenes en las cuales el área de interés tenga un porcentaje de nubosidad de 0 % o cercano a esa cifra. Cabe mencionar que, en muchas ocasiones, se observaron imágenes en las cuales el área de interés no tenía nubes, pero las áreas circundantes, (0.2 – 0.5 km de distancia de cualquier punto). Por ello, se ha optado por omitir dichas imágenes, debido a la posibilidad de interferencias con cirros o cirroestratos de baja densidad. Además, aquellas imágenes en las que se observó presencia de nubes a una distancia de 1 km, pero que se encontraban despejadas, pasaron por una corrección atmosférica para reducir al mínimo las posibles interferencias. Estas correcciones se realizaron en el software ArcGis 10.5.

### ***Cálculo del NDVI***

El cálculo del NDVI y la cuantificación de píxeles se realizó en el software ArcGis 10.50. Dicho indicador es el resultado de la relación entre las bandas del infrarrojo cercano y el espectro rojo. Rouse, Schell y Ciervo, (1973) proponen la relación presentada en la Ecuación 1:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Donde:

NIR: Reflectancia en el espectro del infrarrojo cercano.

R: Reflectancia en el espectro rojo

Para el caso del satélite Landsat 8, dichos espectros tienen una resolución de 30 m x 30 m, representados por las bandas de la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} = \frac{(Banda 5 - Banda 4)}{(Banda 5 + Banda 4)}$$

### ***Análisis del NDVI***

Tras haber obtenido los mapas del NDVI en formato ráster, se reclasificaron los valores en 7 rangos a saber: 0.0 a 0.1, 0.1 a 0.2, 0.2 a 0.3, 0.3

a 0.4, 0.4 a 0.5, 0.5 a 0.6 y 0.6 a 0.7. Esto permitió cuantificar los píxeles correspondientes a cada rango, para luego calcular el porcentaje que representa respecto al área total. Esto se realizó con todas las imágenes de todos los años y trimestres.

### **Análisis temporal en Google Earth**

Al tomar como base el área inicial mostrada en la Figura 1, y tras la verificación y contrastación (2021) de dicha área con los pobladores de la zona sobre los límites del humedal para el año 2012, se analizó la expansión urbana en los terrenos del humedal para los años posteriores, según la disponibilidad de imágenes satelitales. Respecto a ello se encontró una gran limitante por la poca cantidad de imágenes satelitales, encontrándose solo para los años 2012, 2014, 2016, 2017, 2018 y 2020; así como la condición de que estas imágenes son otorgadas por diferentes sensores, provocando inconsistencia, razón por la cual es más preciso evaluar las tendencias generales en lugar de interpretaciones fieles en cada año. Aclarado ello, se menciona que, en el análisis visual, se delimitó el área libre de viviendas o depósitos de material que sirvan para la posterior habilitación de casas. Es decir, se realizó una fotointerpretación a partir de la cual se delimitó el área con vegetación según el avance de los años.

### **Resultados y discusión**

Se observó que, en el primer y cuarto trimestre, las condiciones atmosféricas eran tales que las nubes cubrían constantemente el área de estudio. De allí que, en el primer trimestre, se logró cubrir solo 4 de los 9 años de estudio; y en el cuarto, solo 6. En cambio, debido a la escasa o nula ocurrencia de precipitaciones en el segundo y tercer trimestre, la nubosidad era mínima, por lo que hubo mayor cantidad de imágenes que cumplían con los requisitos para su posterior análisis (ver la Tabla 1).

**Tabla 1.** Fechas de las imágenes satelitales descargadas según trimestre y año

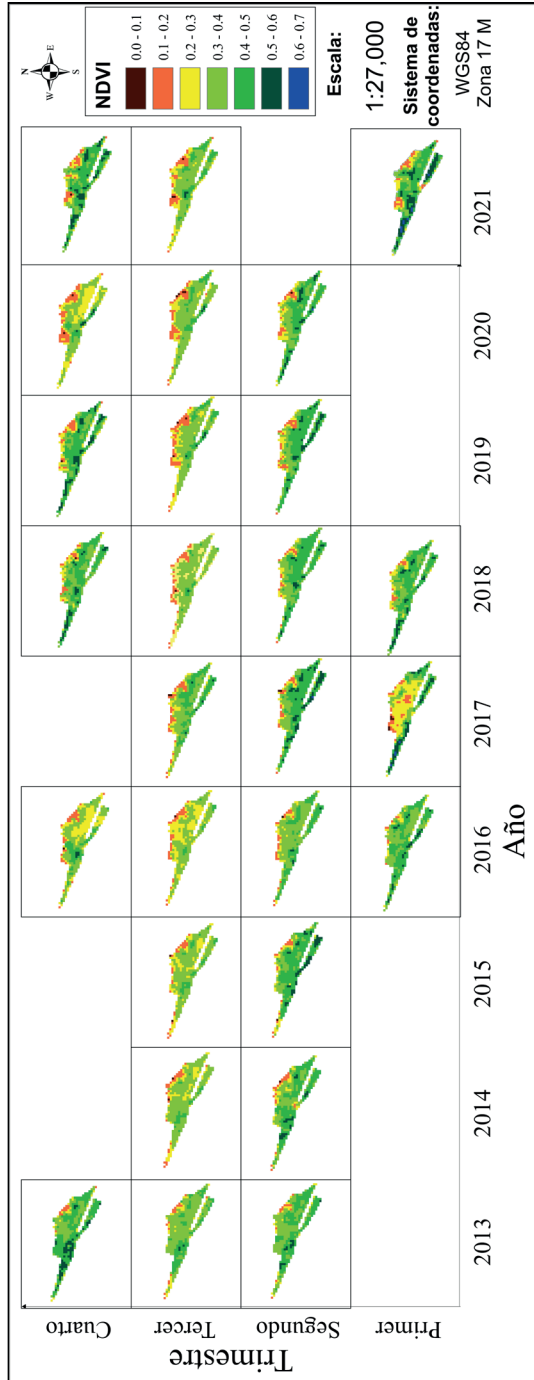
Trimestre	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Primero				14-ene	01-feb	03-ene			11-ene
Segundo	14-jun	17-jun	19-may	22-jun	25-jun	27-may	30-may	17-jun	
Tercero	17-jul	04-ago	07-ago	24-jul	27-jul	15-ago	02-ago	04-ago	07-ago
Cuarto	23-dic			13-nov		05-dic	22-nov	24-nov	13-dic

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se observó que, en todos los trimestres, las imágenes con mayor calidad oscilaban solo entre 2 meses, encontrando fechas muy cercanas en diversos casos. En el primer trimestre, osciló entre enero y febrero; en el segundo, entre mayo y junio; en el tercero, entre julio y agosto; y en el cuarto, entre noviembre y diciembre. De esta manera, el error existente por el análisis en diferentes fechas se reduce, aunque este igual debe considerarse.

Respecto al análisis del NDVI (ver la Figura 3), se puede notar que, en todos los años los mayores valores se registraron en el primer trimestre debido a la presencia de vegetación densa y vigorosa a causa de las frecuentes precipitaciones. Sin embargo, se puede notar que, en el año 2017, la imagen muestra valores cercanos a cero. Esto se puede explicar por la interferencia con el exceso de agua presente en el humedal debido al fenómeno del Niño Costero ocurrido entre enero y marzo del mismo año. Dicho fenómeno se caracteriza por temperaturas de mar muy altas, provocando intensas precipitaciones y que, en Perú, tuvo graves repercusiones, afectando principalmente a las regiones de Piura, Lambayque y La Libertad, reportándose alrededor de 1.9 millones de personas afectadas ([Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia \[UNICEF\], 2017](#)).

Figura 3. Mapas del NDVI de Purrrumpampa según trimestre y año



Fuente: Elaboración propia.

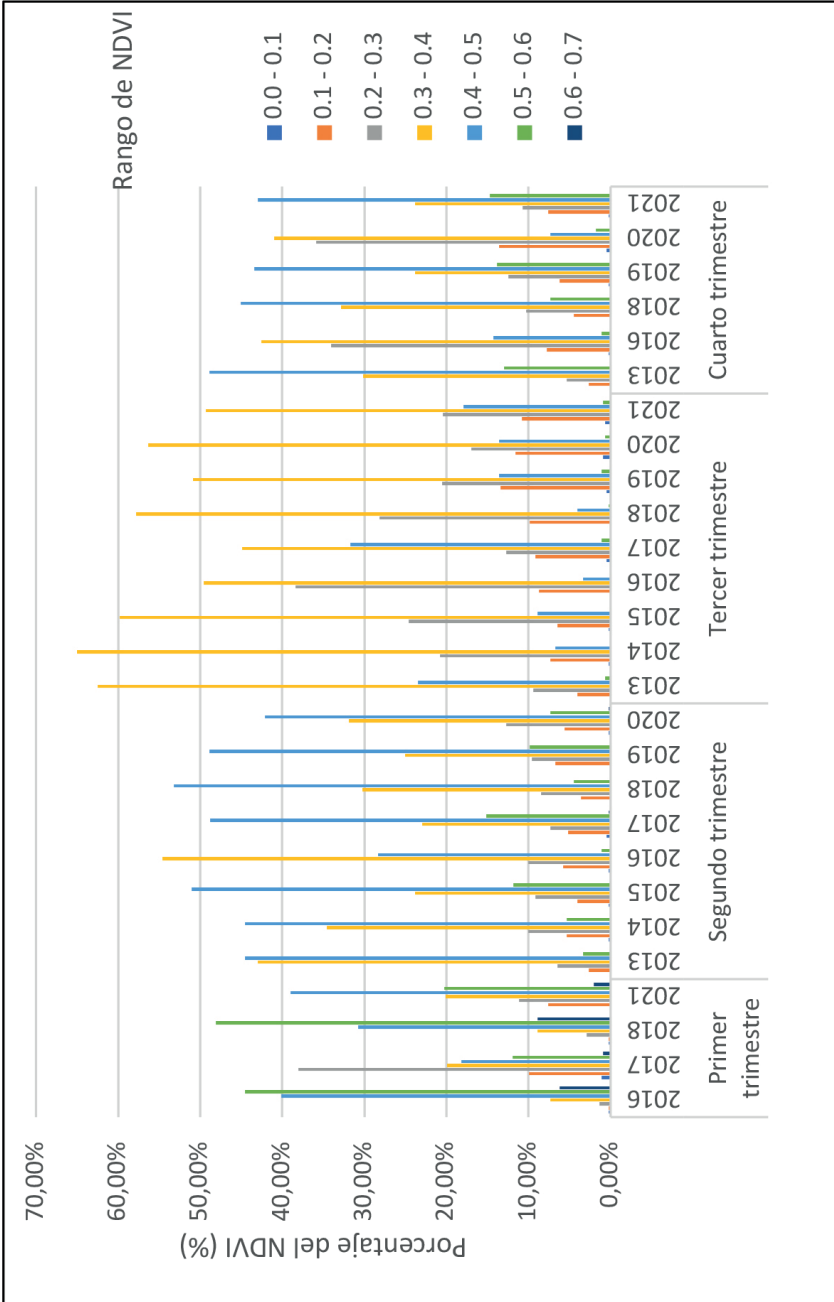
Después del primer trimestre, los mayores valores del NDVI se observaron en el segundo trimestre, cuando las precipitaciones se han apaciguado y existe alta humedad en el suelo, pero no excesiva. Añadido a ello, se debe mencionar que es en este trimestre cuando se observa la mayor cantidad de aves silvestres en el humedal, quizá, debido a la mejora de las condiciones climáticas y el suministro de alimentos.

No obstante, durante los 9 años se observó un aumento del área con valores cercanos a cero en la zona Sur-este (ver la Figura 3). Entre los años 2013 y 2016, la expansión de estas áreas con escasa o nula vegetación avanzaba lenta pero constantemente. Sin embargo, desde el 2017, se observó un mayor avance en esta zona, a una tasa promedio de pérdida de 7291.167 m<sup>2</sup> desde 2017, lo que, en relación con el área de estudio, pone en riesgo el ecosistema. Esto mismo es concordante con el aumento de píxeles con valores de NDVI menores o iguales a 0.3 y la disminución de valores mayores a este (ver la Figura 4).

Una explicación a dicho fenómeno es la ocupación informal del suelo para construcción de viviendas, acto que no necesariamente es típico de sectores con bajos recursos, sino que es un proceso característico y generalizado en la ciudad de Huamachuco (Vilela y Moschella, 2017). Además, a ello está la falta de coordinación, cohesión y cumplimiento de las políticas locales ante el creciente desarrollo urbano. Esta desarticulación trae consigo la falta de un sentido común en la construcción de una ciudad, lo cual provoca que la ocupación de un espacio no sea acorde al valor que este pueda tener, sino solamente por los beneficios que se pueda obtener de su uso (Cruz, 2021).



**Figura 4.** Distribución porcentual de los rangos de NDVI según trimestre y año.



Fuente: Elaboración propia.

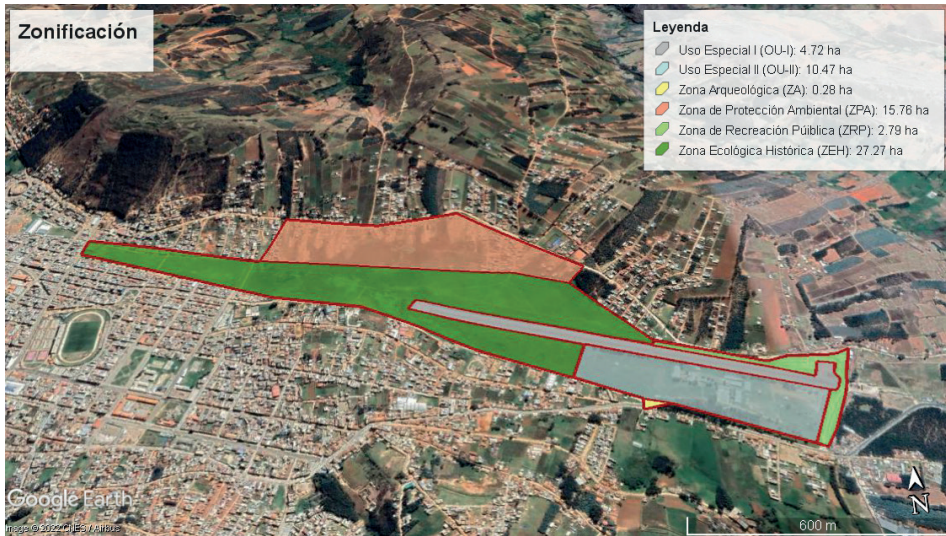
Desde esta perspectiva, no solo las personas que construyen, invaden o comercian las tierras en Purrumpampa son las culpables de su deterioro; también lo son las autoridades políticas que a través de acciones ambivalentes legitiman estos actos. Como ejemplo de ello, [Vilela y Moschella \(2017, p. 19\)](#), mencionan que la MPSC crea ordenanzas y planes territoriales desde el Centro de Planificación Provincial de la Municipalidad Provincial Sánchez Carrión (CEPPLAN-MPSC) con el fin de establecer un marco normativo para la gestión de las pampas, incluso, actuó eficazmente en el desalojo de una invasión masiva en 2014 con apoyo de la fuerza policial, pero consolidó las invasiones ya existentes por medio de la dotación de servicios básicos, obras de infraestructura y la adecuación normativa para el cambio de uso de suelo.

Por otra parte, se debe mencionar que el desarrollo de un marco normativo específico para el humedal ha sido bastante tardío, mejorando de acuerdo a la presión que la expansión urbana ejercía sobre esta área. Para sustentar lo dicho, se indica en primera instancia que el desarrollo del Plan Urbano Específico “Pampas de Purrumpampa” 2016-2026, por parte de la MPSC y la PUCP fue aún en 2016, cuando ya muchas viviendas se habían asentado en los alrededores, incluso, exigían la dotación de servicios básicos y obras de infraestructura. Además, este plan establece la zonificación de las pampas en 4 sectores, dentro de las que se encuentra la Zona de Protección Ambiental (ZPA), ubicada en la zona Sur y Sureste (ver la Figura 5), en la cual no se permite ningún tipo de edificación, cultivos demandantes de agua o arrojado de desmonte ([MPSC-PUPC, 2016](#)). Pero en la práctica, ha servido únicamente para delimitar hasta donde se puede hacer todo lo contrario, puesto que existe arrojado de desmonte, talleres artesanales, viviendas sobre las zonas compactadas, etc.

Y tal es la situación que, aun cuando en el plan se establece una “evaluación estratégica” sobre la propiedad de los terrenos y la posible reubicación de la población en zonas más seguras, hasta la fecha se sigue comerciando con los terrenos y se permite la construcción sin licencia alguna; inclusive, se tuvo que esperar hasta el 2021 para que la MPSC cerque la Zona Ecológica Histórica (ZEH) (ver la Figura 5), con el fin de evitar el avance de la expansión urbana ([HCO TV Huamachuco, 2021](#)). Aunque, esta medida ni siquiera ha sido suficiente para frenar la presión sobre el humedal, ya que el cerco ha sido destruido total o parcialmente en varios tramos ([RTC](#)

Noticias Huamachuco, 2022). Es decir, la ZPA, en la práctica, no solo ha perdido función alguna, si no que ha sido destruida por el arrojado de desmonte y habilitación de construcciones; optándose por el cercado de la ZEH para su resguardo, medida que a futuro no cumpliría con su función ya que a pocos meses de su construcción tiene graves daños.

**Figura 5.** Zonificación de las Pampas de Purrrumpampa establecida en el plan urbano específico.

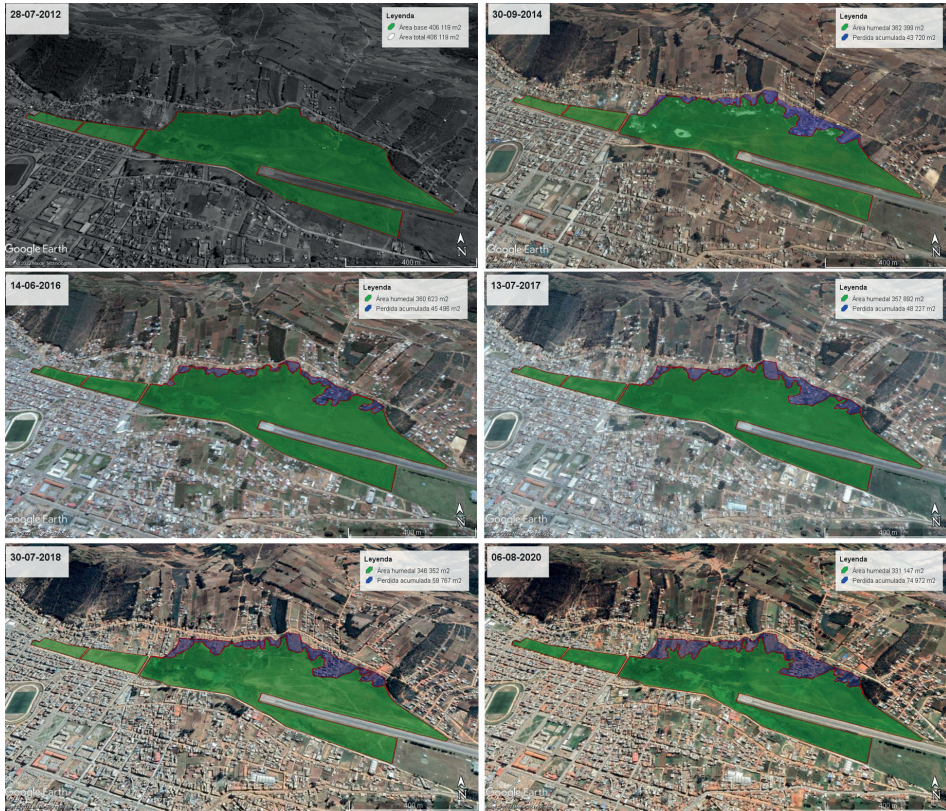


Nota: La ZPA es la identificada con color rosa y la ZEH la de color verde oscuro.

Fuente: Adaptado de MPSC-PUCP, 2016.

Todo el avance descrito puede observarse en la Figura 6. Así mismo, en esta se hace notorio que la expansión urbana sucede únicamente en la ZPA, en tanto que en las otras zonas no existe avance, lo que a su vez conuerda con la Figura 3. También, se indica que el área total pasó de 406 119 m<sup>2</sup> en 2012 a 331 147 m<sup>2</sup> en 2020, perdiéndose 74 792 m<sup>2</sup> del humedal en 8 años, a una tasa promedio de pérdida de 8924.3 m<sup>2</sup> por año, ubicándose predominantemente en las zonas Sur y Sureste.

**Figura 6.** Límite del humedal de Purrumpampa y las zonas urbanas desde el 2012 al 2020



**Nota:** El área del humedal se representa de color verde, en tanto que el área pérdida acumulada, de color azul.

Fuente: Elaboración propia.

En suma, la expansión urbana sobre el humedal no solo representa un peligro para las mismas viviendas debido a la inestabilidad del terreno y deficiente capacidad portante del suelo a causa del agua y el suelo arcilloso; con su pérdida se menoscaba la capacidad del humedal para brindar servicios ecosistémicos, así como el agravio a una zona que representa la valía de sus ciudadanos en la batalla. Y tal como menciona Galimberty (2021), la ocupación de espacios en las periferias de la ciudad es un proceso indeñible, ya que está ligada al desarrollo de nuevas actividades económicas, la migración, el crecimiento demográfico y la necesidad de habitar zonas

cercanas del casco urbano dada la localización de organismos estatales. Así mismo, este fenómeno es bastante común, por ejemplo, puede mencionarse la degradación de las lomas de Mangamarca, la cual está asociada a la expansión urbana, las políticas públicas, el estrato socioeconómico y el desconocimiento sobre los perjuicios ambientales (Sánchez, 2018).

Por último, se menciona que, si bien el NDVI resulta ser un buen indicador sobre la variación de la cobertura vegetal, este por sí mismo resulta insuficiente si es que se quiere dilucidar sobre las causas de un fenómeno, por lo que se recomienda complementarlo con el análisis de imágenes satelitales con alta resolución espacial y la verificación en campo. Así mismo, se espera que los argumentos presentados en la investigación complementen el entendimiento sobre el fenómeno de la expansión urbana presente en los humedales de Huamachuco, así como cualquier otro ecosistema inmerso o colindante con las urbes. Finalmente, se insiste en el postulado que la ocupación de cualquier espacio natural con fines urbanísticos o económicos, sin la planificación territorial adecuada, deviene en el deterioro de los servicios ecosistémicos que este puede brindarnos; así, es necesario considerar que el valor de un territorio está ligado a la calidad de vida que puede otorgar a sus habitantes y no solo al beneficio que puede obtenerse de su ocupación.

## **Conclusiones**

A partir del análisis temporal del NDVI de la flora presente en el humedal de Purumpampa, se logró determinar que existe una disminución gradual y constante de áreas con cobertura vegetal en las zonas Sur y Sureste. No obstante, fue necesario contrastar la información con un análisis temporal en Google Earth, el cual corroboró la disminución de cobertura vegetal y calculando una pérdida de 74 792 m<sup>2</sup> del humedal desde 2012 hasta 2020, a una tasa promedio de pérdida de 8924.3 m<sup>2</sup> por año.

Así mismo, se precisó que esta pérdida es producto de la ocupación informal de terrenos con el fin de habilitar zonas para la construcción de viviendas. Además, se arguyó que es la misma municipalidad la que a través de medidas ambivalentes legitima la ocupación de estos terrenos; ya que por un lado diseña políticas para la gestión del humedal y actúa ante invasiones masivas, pero, por otro lado, dota de servicios básicos e infraestructura a las viviendas existentes, lo que consolida el asentamiento de dichas viviendas.

También, se indicó que la ZPA establecida en el plan urbano específico de Purumpampa ha sido destruida; razón por la que la municipalidad optó por el cercado de la ZEH, medida que no ha sido eficaz y que ya muestra graves daños en diferentes tramos.

Por último, se insiste en el postulado que la ocupación de cualquier espacio natural con fines urbanísticos o económicos, sin la planificación territorial adecuada, deviene en el deterioro de los servicios ecosistémicos que este puede brindarnos; así, es necesario considerar que el valor de un territorio está ligado a la calidad de vida que puede otorgar a sus habitantes y no solo al beneficio que puede obtenerse de su ocupación.

### Referencias

- Cruz, F. (2021). Patrones de expansión urbana de las megaurbes latinoamericanas en el nuevo milenio. *EURE*, 47 (140). <http://dx.doi.org/10.7764/eure.47.140.02>
- Galimberti, C. (2021). Nuevos procesos de expansión metropolitana: incremento acelerado de suelo urbano en el Área Metropolitana de Rosario (1990-2010). *EURE*, 47 (140). <https://doi.org/10.7764/eure.47.140.03>
- García, P., Domínguez, P., Corral, J., Pompa, M., Chávez, J., López, P., Rodríguez, R. y Padilla, J. (2021). Estimación de volumen forestal mediante imágenes de satélite Landsat 8 OLI en bosques templados mixtos. *Investigación y Ciencia*, 29 (81), 40-49.
- HCO TV Huamachuco. (2021, 28 de mayo). *MPSC CERCARÁ PAMPAS DE PURRUMPAMPA*. <https://www.facebook.com/hcotvhuamachuco/videos/132812072157217>
- Instituto Geográfico Nacional. (2022). *Descarga de Información Geoespacial*. <http://www.idep.gob.pe/>
- Municipalidad Provincial Sánchez Carrión y Pontificia Universidad Católica del Perú. (2016). *Plan Urbano Específico “Pampas de Purumpampa” 2016-2026*. <https://es.scribd.com/document/478201535/P-E-PURRUPAMPA>
- National Aeronautics and Space Administration. (2019). *Landsat 8*. <https://eosps.nasa.gov/missions/landsat-8>

- Ojeda, N., Herrera, M., Bustamante, R., Morales, L., Carrillo, R., Bravo, L., Espinoza, A., Neira, Z., Calzadilla, S. & San-Miguel, J. (2019). Efecto de las áreas de entrenamiento y método del árbol para una clasificación precisa en bosques primarios de *Araucaria* Y *Nothofagus* en el sur de Chile: uso de datos LANDSAT e información auxiliar. *Interciencia*, 44 (6), 347-354.
- Tucker, C. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing Environment*, 8 (2), 127-150.
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J. & Ciervo, D. (1974). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS). *American Journal of Plant Sciences*, 7(15), 309-317.
- RTC Noticias Huamachuco. (2022, 12 de enero). *Increíble cerco de pampas de Purumpampa-Huamachuco a punto de desaparecer a pocos meses de su ejecución por parte de la MPSC*. <https://www.facebook.com/rtcnoticiashuamachuco/posts/495461432184831>
- Rueda, F., Peñaranda, L., Velásquez, W. & Díaz, S. (2015). Aplicación de una metodología de análisis de datos obtenidos por percepción remota orientados a la estimación de la productividad de caña para panela al cuantificar el NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada). *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agorpecuaria*, 16, 25-40.
- Salinas, C., Martínez, R. & Morales, M. (2017). Tendencia en el siglo XXI del Índice de Diferencias Normalizadas de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California. *Investigaciones geográficas*, 1(94), 01-09. DOI: [10.14350/riig.57214](https://doi.org/10.14350/riig.57214)
- Sánchez, J. (2018). *Expansión urbana en la degradación de las lomas de Mangamarca en la asociación ecoturística, San Juan de Lurigancho-2017* [Tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional Digital. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/21173>
- Tiedeman, J. (2015). Fenología y productividad primaria neta aérea de sistemas pastoriles de *Panicum maximum* en el Dpto. Moreno, Santiago del Estero, Argentina, derivada del NDVI MODIS. *Ecología Aplicada*, 14, 27-39.

- United Nations International Children's Emergency Fund. (2017). PERU Humanitarian Situation Report End of year 2017. [https://www.unicef.org/peru/sites/unicef.org/peru/files/2019-12/UNICEF\\_Peru\\_Humanitarian\\_Situation\\_Report\\_Year\\_End\\_2017.pdf](https://www.unicef.org/peru/sites/unicef.org/peru/files/2019-12/UNICEF_Peru_Humanitarian_Situation_Report_Year_End_2017.pdf)
- Vilela, M. y Moschella, P. (2017). Paisaje y expansión urbana sobre espacios naturales en ciudades intermedias. El caso de Purrumpampa en Huamachuco, La Libertad, Perú. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 46 (3), 529-550.



## A Serra de Santana no semiárido nordestino: aspectos geográficos e possibilidade de práticas sustentáveis

The Serra de Santana in the semi-arid northeast: geographical aspects and possibility of sustainable practices

La Serra de Santana en el nordeste semiárido: aspectos geográficos y posibilidad de prácticas sostenibles






*Clara Yasmim de Souza Lucena<sup>1</sup>*  
*Universidade Federal da Paraíba, Brasil*

*José João Lelis Leal de Souza<sup>2</sup>*  
*Universidade Federal de Viçosa, Brasil*

*Betânia Queiroz da Silva<sup>3</sup>*  
*UniFG Laureate International Universities, Brasil*

*João Santiago Reis<sup>4</sup>*  
*Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil*

*Rebecca Luna Lucena<sup>5</sup>*  
*Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil*

- 1 Geógrafa, mestranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Brazil, E-mail: [yasmimlucena3geo@gmail.com](mailto:yasmimlucena3geo@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-7857-4499>
- 2 Doutor em Agronomia, professor do Departamento Solo, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Brazil. E-mail [jjlelis@ufv.br](mailto:jjlelis@ufv.br),  <https://orcid.org/0000-0003-4670-66266>
- 3 Mestre em Ciências Geodésicas, doutoranda em Geotecnia, professora UniFG Laureate International Universities, Brazil. E-mail [bethqueiroz02@gmail.com](mailto:bethqueiroz02@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-7406-765X>
- 4 Doutor em Agronomia, professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Brazil. E-mail [joaosantiagor@gmail.com](mailto:joaosantiagor@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0002-3516-4334>
- 5 Doutora em Geografia, Professora do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Brazil. E-mail [rebeccaosvaldo@yahoo.com.br](mailto:rebeccaosvaldo@yahoo.com.br),  <https://orcid.org/0000-00034670-265X>

## Resumo

Enclaves úmidos que aparecem nos topos das montanhas e chapadas são de extrema importância para o semiárido, visto que são considerados refúgios para espécies da flora e fauna, além de fontes de umidade para diversas atividades humanas uma vez que apresentam clima mais fresco e úmido decorrente dos efeitos da altitude. Nesse contexto, o objetivo principal dessa pesquisa foi realizar um levantamento dos aspectos geográficos da Serra de Santana, com ênfase nas características climáticas, pedológicas, hídricas e de cobertura vegetal. Considerou-se também os usos da terra e a reflexão acerca das possibilidades de práticas sustentáveis para a conservação desta importante unidade da paisagem que, apesar de possuir condições geográficas privilegiadas a nível de região semiárida, como clima “ameno” em se tratando das condições térmicas, tipo de solo desenvolvido e condições hidrográficas de vantagem, o processo de uso e ocupação do solo acarretou em perdas significativas da vegetação nativa.

**Palavras-chave:** Áreas serranas; climas de altitude; Semiárido brasileiro; usos da terra, Lagoa Nova/RN.

## Abstract

Wet enclaves that appear on the tops of mountains and plateaus are extremely important for the semi-arid region, as they are considered refuges for species of flora and fauna, as well as sources of water moisture for various human activities, since they have a cooler and wetter climate resulting from the effects of altitude. In this context, the main objective of this research was to carry out a survey of the geographic aspects of Serra de Santana, with emphasis on climatic, pedological (i. e. soil), water and vegetation cover characteristics. It was also considered the uses of the land and the reflection on the possibilities of sustainable practices for the conservation of this important unit of the landscape that, despite having privileged geographical conditions in the semiarid region, as a “mild” climate in terms of thermal conditions, type of soil developed and hydrographic conditions of advantage, the process of use and occupation of the soil resulted in significant losses of native vegetation.

**Keywords:** Mountain areas; Altitude climates; Brazilian Semi-arid; Land uses, Lagoa Nova/RN.

## Resumen

Los enclaves húmedos que aparecen en las cimas de montañas y mesetas son de suma importancia para la región semiárida, ya que son considerados refugios de especies de flora y fauna, así como fuentes de humedad para diversas actividades humanas, ya que tienen un ambiente más fresco y húmedo. clima resultante de los efectos de la altitud. En este contexto, el objetivo principal de esta investigación fue realizar un levantamiento de los aspectos geográficos de la Serra de Santana, con énfasis en las características climáticas, edafológicas, hídricas y de cobertura vegetal. También se consideró los usos del suelo y la reflexión sobre las posibilidades de prácticas sustentables para la conservación de esta importante unidad del paisaje que, a pesar de tener condiciones geográficas privilegiadas en la región semiárida, como un clima “templado” en cuanto a temperatura condiciones, tipo de suelo desarrollado y condiciones hidrográficas de aprovechamiento, el proceso de uso y ocupación del suelo resultó en pérdidas significativas de vegetación nativa.

**Palabras-clave:** Zonas de montaña; climas de altitud; Semiárido brasileño; usos del suelo, Lagoa Nova / RN.

## Introdução

Podemos afirmar que o semiárido brasileiro, com destaque para o estado do Rio Grande do Norte, é uma região de contrastes que reúne condições climáticas especiais, solos diversificados, variedade fitogeográfica e condições socioeconômicas complexas. Sabe-se que as condições climáticas do semiárido brasileiro são marcadas principalmente pelas altas taxas de insolação e temperatura, e que associada a estas condições, ainda existe a forte variabilidade interanual das chuvas, que torna a região susceptível a períodos secos não inconstantes (Cavalcanti, 2009; Sá e Silva, 2010). O Estado do Rio Grande do Norte tem aproximadamente 90% de sua área inserida no polígono das secas, com índices pluviométricos médios anuais inferiores aos 800 mm, distribuídos de forma irregular no tempo e no espaço (Valadão *et al.*, 2010; Lucena, Santos, Silva, Costa e Lucena, 2018). As médias térmicas anuais são elevadas e relativamente constantes, variando entre 25°C e 29°C, o que junto com as altas taxas de insolação, gera elevados valores de evaporação e evapotranspiração potencial (Aprígio, Faria, Lucena, Souza, Cardozo y Silva, 2019). Essas condições climáticas contribuem para a gênese de rios intermitentes, além de favorecer o balanço hídrico negativo durante grande parte do ano na região (Lima, Cavalcante e Marín, 2011; Aprígio, Faria, Lucena, Souza, Cardozo y Silva, 2019). Também é importante destacar a característica dos solos, predominantemente rasos e pedregosos, que não favorecem a infiltração das águas (Ab' Saber, 2003).

Além das características naturais, a degradação das terras em regiões semiáridas é resultante de fatores incluindo aqueles causados por variações climáticas e atividades humanas, sendo que esta última diz respeito, principalmente, ao uso inadequado da terra (Conti, 2008). O processo de desertificação, como resultado da ação antrópica desprovida de conscientização ambiental, é fator latente e contribuinte primário para o aquecimento e a desvegetação gradual dos espaços semiáridos (Santana, 2007).

Nesse contexto geográfico próprio da região semiárida brasileira, se destacam os enclaves úmidos nos topos das montanhas e chapadas: são as áreas com clima mais fresco e úmido graças aos efeitos da altitude. Essas áreas elevadas são extremamente importantes para o semiárido como um todo, pois constituem “ilhas de umidade”, onde as condições higrotérmicas, os solos, a hidrografia e a vegetação, diferem daquelas características predominantes na depressão sertaneja (Ab' Saber, 2003; Souza e Oliveira,

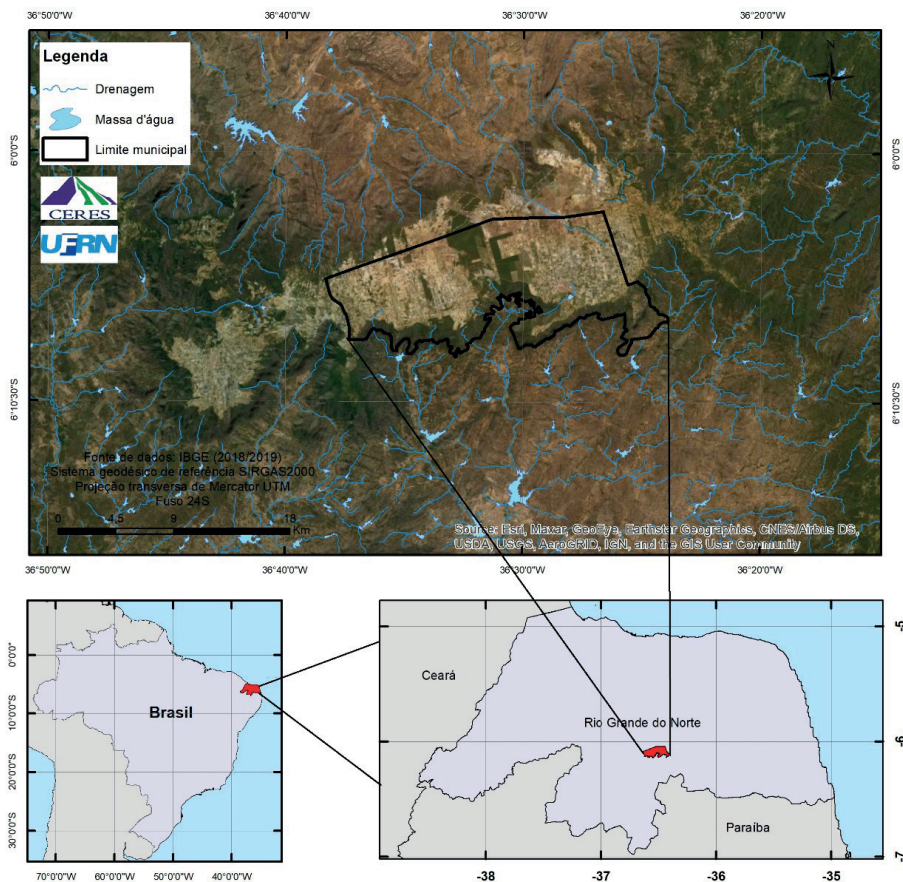
2006). As áreas montanhosas do semiárido nordestino também são um refúgio para diferentes espécies vegetais e animais, graças às suas diferentes características edáficas e climáticas (Porto, Cabral e Tabarelli, 2004; Medeiros e Cestaro, 2018). Proporcionando temperaturas mais amenas e maior umidade (Medeiros e Cestaro, 2018), são nessas áreas serranas onde se encontram importantes nascentes de rios no semiárido e também onde a fruticultura se faz presente.

Diante da escassez de informações sobre a Serra de Santana, localizada no semiárido do estado do Rio Grande do Norte, o objetivo principal dessa pesquisa foi realizar um levantamento dos aspectos geográficos da serra, com ênfase nas características climáticas, pedológicas, hídricas e de vegetação, tomando por base o município de Lagoa Nova/RN, identificando os usos da terra e refletindo possibilidades de práticas sustentáveis para a conservação desta importante unidade da paisagem.

### Área de estudo

Localizado no platô da Serra de Santana (figura 1), na microrregião do Seridó, o município de Lagoa Nova possui 176,302 Km<sup>2</sup> de extensão territorial e uma população de cerca de 15.880 habitantes, com um PIB *per capita* de 19.902,35 R\$ e tendo como principais atividades econômicas a agropecuária, extrativismo e comércio (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2021).

**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudo com imagem do Rio Grande do Norte (altimetria), onde se observa a Serra de Santana, com altitude média de ~700 metros, e destaque para o município de Lagoa Nova



Inserido na bacia hidrográfica do Piancó-Piranhas-Açu, o município de Lagoa Nova tem sua hidrografia marcada pela presença de cursos d'água secundários e intermitentes, não existindo açudes com capacidade de acumulação igual ou superior a 100.000 m<sup>3</sup>. Seus principais cursos d'água são os riachos Macacos, Olho d' Água e Grota da Ferveadeira (Serviço Geológico do Brasil, 2005).

O abastecimento de água do município é feito pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte a CAERN e segundo dados da plataforma Municípios e Saneamento, disponibilizados no site do IAS - Instituto Água e Saneamento, 46,41% da população do município tem acesso aos serviços de abastecimento de água, o que está bem abaixo da média nacional, que é de 83,71% e do estado 83,75%. Do percentual da população atendida com os serviços de abastecimento de água, 90,97 encontra-se na zona urbana e apenas 9,03% na zona rural. Em relação ao saneamento básico apenas 34,4% da população tem acesso aos serviços de esgotamento sanitário e esse serviço não contempla a população das áreas rurais, que representam 51,36% da população total do município.

A vegetação dessa região é basicamente composta pela floresta Semidecidual ou Subcaducifolia, encontradas normalmente em regiões mais altas e frescas do semiárido e caracterizada pela perda parcial das folhas, em média 20% a 50% de queda das folhas, durante os meses de estiagem (IBGE, 2012). Seu estrato arbóreo tem aspecto pouco denso, pequeno porte e folhagem mais clara. Devido ao intenso desmatamento nessa região, tem se instalado uma vegetação secundária (capoeira) além das culturas e pastagens (Barros, 1998).

Os solos da serra apresentam, predominantemente, fertilidade natural baixa, textura média, e são fortemente drenados numa área que apresenta relevo plano. O uso da terra em Lagoa Nova ocorre através do processo de urbanização e através das atividades vinculadas ao meio rural, ambas modificando aspectos naturais e sendo potenciais produtoras de impactos na serra.

## Material e métodos

### *Coleta e análise de dados climáticos*

Os dados climáticos utilizados foram obtidos junto a EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE - EMPARN. Os dados são referentes aos valores anuais de chuvas (mm) e mensais de temperaturas máximas, médias e mínimas (°C). Para a série da precipitação foi considerado o período de 1982 a 2020. Para o preenchimento das falhas utilizou-se o método de ponderação regional proposto por Tucci (2002) visto que não foi possível obter os dados de precipitação referente ao ano de 2008. Em relação aos dados de temperatura do ar, a

EMPARN só tem registro até o ano de 2002, o que fez com que a análise das temperaturas se limitasse até esse ano. Assim, foram utilizados dados mensais e anuais de temperaturas para o período de 1985 a 2002, perfazendo um total de 18 anos. De posse dos dados climáticos, foram realizadas análises estatísticas descritivas, através de medidas de tendência central e de dispersão, e análise tendência (Galvani, 2005). Para análise de tendência, utilizou-se o modelo estimado da regressão linear e calculou-se o Coeficiente de determinação ( $R^2$ ), tanto para dados de precipitação quanto para os dados de temperatura (máxima, média e mínima).

### *Análise de perfil de solo*

Quatro perfis foram descritos e classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018). Amostras dos horizontes do solo foram secas ao ar, destorroadas e tamisadas em peneira de 2 mm. O pH do solo em água foi determinado em uma solução 1:2,5 (solo : água deionizada), acidez potencial ( $H + Al$ ) e cátion trocáveis ( $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) conforme métodos consolidados para solos tropicais (Donagema *et al.*, 2011). A partir desses resultados foram calculadas a soma de bases ( $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+$ ), a capacidade de troca catiônica efetiva ( $t = SB + Al^{3+}$ ), a capacidade de troca catiônica total ( $T = t + (H + Al)$ ) e a saturação por bases ( $V\% = SB / T$ ). O teor de areia, silte e argila foram determinados após agitação lenta com 0,1 M NaOH pelo método da peneira-pipeta. O teor de C orgânico do solo foi determinado por digestão ácida de acordo com o método Walkey-Black. O teor de N total foi determinado pelo método Kjeldahl.

Amostras indeformadas de solo foram coletadas da superfície do solo até um metro de profundidade, ou até a rocha fresca, de forma a representar os horizontes. Tais amostras foram utilizadas para determinação da densidade do solo e densidade de partículas pelo método do anel volumétrico e balão (Donagema *et al.*, 2011). A curva de retenção de água do solo foi mensurada nos potenciais -6 , -8, -10, -30, -60, -100, -300 e -1500 KPa através da mesa de tensão e aparelho de Richards (Donagema *et al.*, 2011). Porosidade total, capacidade de campo e ponto de marcha permanente foram calculados a partir dos dados obtidos.

### ***Interpretação de imagens de satélite***

Para identificar a Lagoa perene e mapear as nascentes de água, foram utilizadas imagens de Drone e do Google Earth em 2019. Foram também utilizados dados da cobertura e uso da terra correspondente a série histórica referente aos anos de 1985 a 2020 do município de Lagoa Nova-RN, disponibilizados no site no Mapbiomas - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas, 2021).

O Projeto MapBiomas - é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite\*. O projeto fez um mapeamento pioneiro, utilizando imagens de satélite, com 36 anos de série histórica com dados desde 1985 a até 2020. O processamento dessas imagens foi feito utilizando linguagem de programação, com algoritmos de inteligência artificial, para tornar o mapeamento mais automático possível. Além dos algoritmos foram utilizadas imagens para exemplificar as especificidades e as dinâmicas de cada bioma ou de cada região. Para compor toda essa série temporal para todo o território nacional foram utilizadas mais de 150 mil imagens e mais de 100 *terabytes* de dados.

Os dados utilizados foram divididos por classes, sendo elas: florestas, formação natural não florestal, agropecuário, área não vegetada e água. Estas por sua vez nos dados originais encontram-se subdivididas em outras classes. A classe florestas, por exemplo, para o município de Lagoa Nova, está subdividida em formação florestal e savânica; a classe formação natural não florestal esta subdividida em formações campestres e afloramentos rochosos; a série agropecuária em: agricultura, pastagem e mosaico de agricultura e pastagem; já a classe área não vegetada esta subdividida em área urbanizada e outra área não vegetada; por último a classe água está subdividida em rio, lago e oceano. Optamos, porém, por utilizar apenas os dados das classes principais afim de sintetizá-los, apenas para a classe florestal utilizamos os dados da subdivisão. A partir desses dados foi gerado um gráfico de linhas para observarmos a evolução da formação vegetal em Lagoa Nova e o uso e ocupação do solo de 1985 a 2020.



## Resultados e discussões

### *Características climáticas*

A altitude é um fator crucial quando se trata de clima. Estas características levam-nos a crer que a Serra de Santana e as demais zonas montanhosas da sua vizinhança podem apresentar características climáticas distintas da depressão envolvente, atuando como “oásis” no meio do árido sertão (Ab’ Saber, 2003; Medeiros, 2016). Considerando a precipitação orográfica como uma característica geográfica do clima, que é determinada a partir das condições do relevo, incluindo altitude, e orientação das encostas, isso faz com que o ar úmido suba e depois se condense, formando nuvens e chuva que beneficiam as serras com maior umidade, incluindo fenômenos como o orvalho e o nevoeiro orográfico (Estrela, Valiente, Correll e Millán, 2008; Łupikasza e Szypuła, 2019).

No período avaliado (1982-2020) observou-se uma média de precipitação pluvial anual  $P = 525,6$  mm, com desvio-padrão de 241,03 mm, que representa uma variabilidade de 43,3%, sendo os valores mínimo e máximo de chuva encontrados de 116,3 mm no ano de 2012 e de 1158,3 mm em 2008 (Tabela 1). Observou-se também que nos anos de 2008 e 2009 ocorreram chuvas acima da média histórica e que em 2012 as chuvas foram abaixo da média histórica no município de Lagoa Nova, como pode ser visto na Figura 2.

**Tabela 1:** Análises estatísticas das precipitações no município de Lagoa Nova (1982-2020).

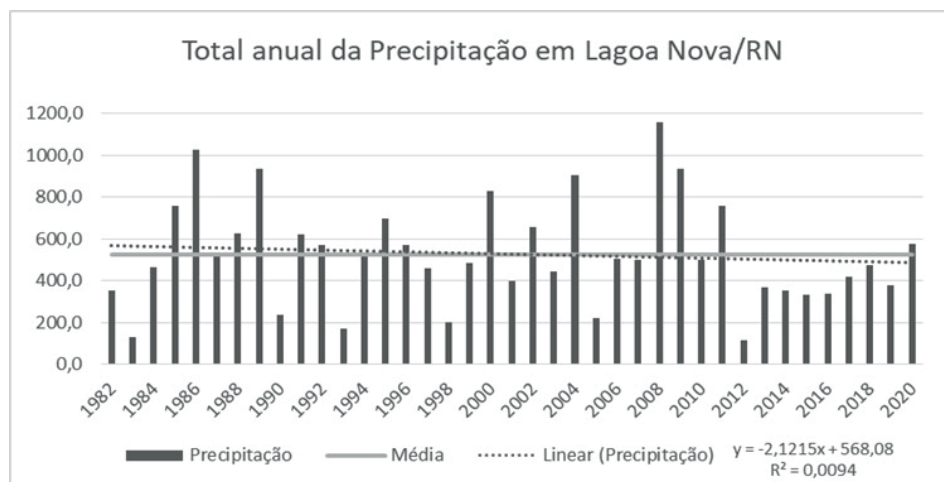
Estatística Descritiva	Precipitação (mm)
Média	525,7
V. Máx	1158,3
V. Mín	116,3
Amplitude	1042,0
D. Pad	246,3
CV	47%

**Nota:** V. Máx = valores máximos; V.mín = valores mínimos; D. Pad = desvio padrão e CV = Coeficiente de Variação

Fonte: dados da pesquisa

Na série estudada, observa-se que os valores de precipitação mínimos e máximos encontrados foram decorrentes de anomalias climáticas. No ano de 2012, ano de menor valor de precipitação da série histórica, observamos a ocorrência da *La Niña* com intensidade moderada (Rodrigues, Souza e Pereira, 2017), o que não explica o valor acumulado de chuva naquele ano. Porém no ano de 1998 foi observada a ocorrência do *El Niño* de intensidade muito forte, e isso pode explicar o baixo volume pluviométrico observado. Já no ano de 2008, onde o volume pluviométrico foi acima da média histórica, foi observada a ocorrência da *La Niña* de intensidade forte (2007 e 2008 ago-jun), ver figura 2.

**Figura 2:** Precipitação do município de Lagoa Nova (1982-2020), com análise de tendência.



Fonte: Dados da pesquisa

Para contornar os problemas ocasionados pelos anos consecutivos de baixo volume de chuvas é essencial a racionalização do uso dos recursos hídricos, pensando em práticas que possibilitem a redução do consumo a reutilização e a reciclagem (Lucena *et al.*, 2018). Além disso, é necessário investir em sistemas de captação e armazenamento de águas de chuvas e de precipitação oculta, além de práticas para aumentar a cobertura vegetal e técnicas que permitam a infiltração de água no solo. Tais ações podem contornar a situação de vulnerabilidade socioambiental que se dá a partir

da inconstância das chuvas que por sua vez possuem correlação com teleconexões, a exemplo do El Niño Oscilação Sul.

A série temporal de dados anuais de temperatura compreende os anos de 1985 a 2002, totalizando 18 anos de dados. Na Tabela 2 e Figura 3, pode-se verificar os dados climáticos registrados na estação meteorológica da EMPARN Lagoa Nova - RN na série temporal observada.

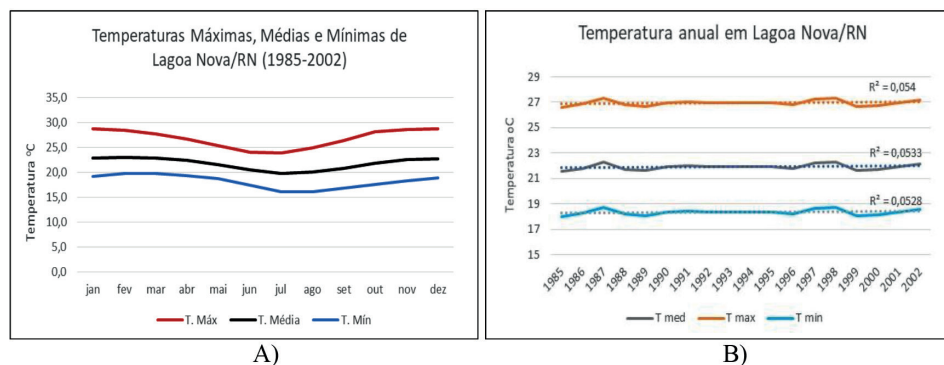
**Tabela 2:** Temperatura

	T. Méd	T. Máx	T. Mín
T. Méd	21,7	26,7	18,1
T. Máx	24,1	29,8	20,9
T. Mín	19,2	23,2	15,5
Amplit	5,0	6,7	5,4
Desv.Pad	1,2	1,8	1,3
CV	6%	7%	7%

**Nota:** T. Méd = temperatura média; T. Máx = temperatura máxima; T. Mín = temperatura mínima; Amplit = amplitude; D. Pad = desvio padrão; CV = coeficiente de variação

Fonte: dados da pesquisa

**Figura 3:** Distribuição anual de temperatura média, máxima e mínima (A), e valores médios anuais para a série histórica, com linha de tendência (B).



**Nota:** T. Máx = temperatura máxima; T. Média = temperatura média; T. Mín = temperatura mínima

Fonte: dados da pesquisa

As temperaturas registradas comprovam a amenidade climática da serra se comparada a região da depressão sertaneja do entorno. As temperaturas mínimas apresentam valores médios entre 15 e 20 °C, valores esses que são considerados baixos para a região e raramente encontrados na depressão sertaneja. Verificou-se também que para a série analisada não há detecção de tendência nas temperaturas médias, máximas e mínimas. O fato da interrupção da coleta de dados de temperatura ter-se dado em 2002, prejudicou uma melhor análise dos valores de temperatura para a análise de tendência e sua possível correlação com outras variáveis.

Ademais, algumas medidas podem ser adotadas para amenizar os efeitos do aumento da temperatura que vêm ocorrendo a nível global, como por exemplo a ampliação da cobertura vegetal, principalmente nos centros urbanos para atenuar o efeito das ilhas de calor e melhorar o conforto térmico (Junior e Lima, 2007). A construção de parques, praças e canteiros, implementação de espelhos d'água e telhados verdes são medidas que além de agregarem valor estético, diminuem a poluição, favorecem a biodiversidade e amenizam o microclima do ambiente (Silva, 2015).

### ***Características pedológicas***

Fragmentos de floresta semidecidual e floresta úmida abrigados em planaltos rompem a continuidade da Caatinga. Platôs isolados entre 650 e 700 m de altitude cobrem menos de 10% do estado do Rio Grande do Norte (Farr *et al.*, 2007). Tais planaltos apresentam topos planos com encostas íngremes e cornijas de dezenas de metros que indicam o recuo paralelo de suas encostas (Arai, 2000). Tradicionalmente, áreas elevadas no Nordeste do Brasil estão associadas a movimentos tectônicos positivos durante o Cenozóico (Lima e Nolasco, 2015; Maia e Nascimento, 2018). Apesar da história tectônica recente e atormentada do Nordeste do Brasil, não há evidências de curvatura e ruptura de montanhas (Angelim *et al.*, 2006; Corrêa *et al.*, 2010). Além disso, a coincidência altimétrica do planalto sugere que os planaltos são remanescentes de uma antiga superfície achatada (Ab' Saber, 2003), equivalente à superfície sul-americana no Sudeste do Brasil.

Os solos encontrados na Serra de Santana são classificados como Latossolos Amarelos Distróficos psamíticos, Neossolos Quartzarênicos Órticos latossólicos e Plintossolos Pétricos Litoplínticos típicos (Tabela 3).

**Tabela 3:** Propriedades químicas e físicas dos perfis amostrados

Horizonte	Profundidade	H <sub>2</sub> O pH	KCl pH	P <sub>M</sub>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
	cm			----- mg dm <sup>-3</sup> -----		
SP1 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico típico						
Af	0-15	5.07	4.15	6.1	60	12.7
ABf	15-25	4.66	3.74	2.6	29	4.7
BAf	25-55	4.52	3.72	2.3	31	14.7
Bf	55-65	4.46	3.70	2.0	21	22.7
F	65-220+					
SP2 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico psamítico						
Ap	0-10	5.93	5.02	2.9	129	0.58
AB	10-30	5.19	4.25	1.5	77	<0.1
Ab	30-45	5.16	3.89	2.1	69	0.58
Bw1	45-70	4.94	3.91	1.4	61	<0.1
Bw2	70-150	4.62	3.91	1.0	45	<0.1
Bw3	150-220+	4.40	3.95	0.8	29	<0.1
SP5 - Hyperdystric Regosols (Anoarenic, Ochric)/ NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico						
A	0-5	5.10	4.21	3.8	27	<0.1
C1	5-20	4.55	3.94	1.0	3	<0.1
C2	20-40	4.50	3.95	1.5	<0.1	<0.1
C3	40-150	4.69	3.97	1.2	<0.1	<0.1

Fonte: dados da pesquisa

**Tabela 3.1:** SP1 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico típico

Horizonte	Profundidade	cmole dm <sup>-3</sup>										Porosidade total	Água disponível	
		Ca <sup>2+</sup>	Á	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	ECEC	CEC	V	M	C			N
	<b>Cm</b>	----- % -----												
Af	0-15	2.16	0.71	0.18	4.1	3.08	3.26	7.18	43	6	1.68	0.11	0.45	0.21
ABf	15-25	0.61	0.29	0.83	3.8	0.99	1.82	4.79	21	46	1.22	0.09	0.43	0.23
BAf	25-55	0.49	0.25	0.92	4.2	0.88	1.80	5.08	17	51	1.15	0.08	0.40	0.21
Bf	55-65	0.23	0.12	1.57	4.6	0.50	2.07	5.10	24	76	1.15	0.08	0.38	0.19
F	65-220+													

Fonte: dados da pesquisa

**Tabela 3.2:** SP2 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico psamítico

Horizonte	Profundidade	cmole dm <sup>-3</sup>										Porosidade total	Água disponível	
		Ca <sup>2+</sup>	Á	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	ECEC	CEC	V	M	C			N
	<b>cm</b>	----- % -----												
Ap	0-10	2.00	0.46	<0.1	2.3	2.79	2.79	5.09	55	<1	1.24	0.07	0.63	0.42
AB	out/30	1.12	0.30	0.28	3.3	1.62	1.90	4.92	33	15	0.62	0.05	0.68	0.50
Ab	30-45	1.22	0.26	0.19	2.5	1.66	1.85	4.16	40	10	0.54	0.04	0.59	0.39
Bw1	45-70	0.77	0.16	0.28	2.5	1.09	1.37	3.59	30	20	0.31	0.03	0.59	0.38
Bw2	70-150	0.74	0.16	0.57	2.7	1.02	1.59	3.72	27	36	0.23	0.03	0.47	0.22
Bw3	150-220+	0.49	0.13	0.85	3.1	0.69	1.54	3.79	18	55	0.08	0.02		

Fonte: dados da pesquisa

**Tabela 3.3:** SP5 - Hyperdystric Regosols (Anoarenic, Ochric)/ NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico

Horizonte	Profundidade	Ca <sup>2+</sup>	Á	AP <sup>+</sup>	H+Al	SB	ECEC	CEC	V	----- % -----			Porosidade total	Água disponível
										M	C	N		
	<b>Cm</b>													
A	0-5	0.50	0.17	0.20	1.5	0.74	0.94	2.24	33.0	21.3	0.23	0.03	0.65	0.32
C1	5-20	0.17	0.04	0.39	1.5	0.22	0.61	1.72	12.8	63.9	0.15	0.03	0.67	0.31
C2	20-40	0.14	0.03	0.49	1.6	0.17	0.66	1.77	9.6	74.2	0.15	0.04	0.62	0.32
C3	40-150	0.18	0.03	0.99	2.8	0.21	1.20	3.01	7.0	82.5	0.15	0.03	0.55	0.33

Fonte: dados da pesquisa

Esses solos encontrados na Serra de Santana são mais profundos, melhor desenvolvidos, mais lixiviados, mais porosos e possuem até quatro vezes mais água disponível do que os solos típicos das depressões e vales do semiárido brasileiro que predominam no entorno as serra (Araújo, Rivero, Burgos e Marques, 2017). Devido a essas características, na área de estudo é muito comum a prática da fruticultura e também da produção de hortaliças, beneficiadas pelas propriedades físico-químicas presente nos solos.

### ***Hidrografia***

O processo de ocupação da Serra de Santana pelos brancos tem-se início em meados do século XVII, porém essa região já era habitada pelos indígenas, que utilizavam a chapada como residência temporária, muito provavelmente nos períodos mais chuvosos, visto que nessa região não existiam fontes de água permanente na qual eles pudessem se abastecer. Em vários pontos da chapada foram encontrados vestígios desses povos, cabanas construídas próximo a lagoa, utensílios domésticos feitos de barro, etc. (Coutinho, 2006).

A ausência de fontes de água permanentes foi também um dos motivos que dificultou o processo de ocupação da serra pelos brancos, que só vem a ser efetivado, com os primeiros habitantes permanentes, após a década de 60 com o fim da guerra do Paraguai. Antes da efetivação das primeiras residências na chapada, esse local era utilizado para o cultivo de mandioca, que abasteciam as fazendas da região. As primeiras casas construídas eram destinadas a produção de farinhas e em sua maioria localizadas no entorno da lagoa e próximas ao desfiladeiro, acompanhando a orla da serra, na parte leste e sul, onde ficavam as nascentes do rio Areia, São Bento, Totoró e Potengi (Coutinho, 2006). A lagoa natural que dá nome ao município (Figura 4), foi uma das únicas fontes de água perene na região da serra nos períodos de estiagem durante o processo de ocupação em meados do século XVII, visto que a maioria dos cursos de água eram de caráter intermitente. Ao lado da Lagoa natural existe uma ETE (Estação de Tratamento de Esgotos), como pode ser visto na figura 4.



**Figura 4:** Imagem aérea da lagoa natural



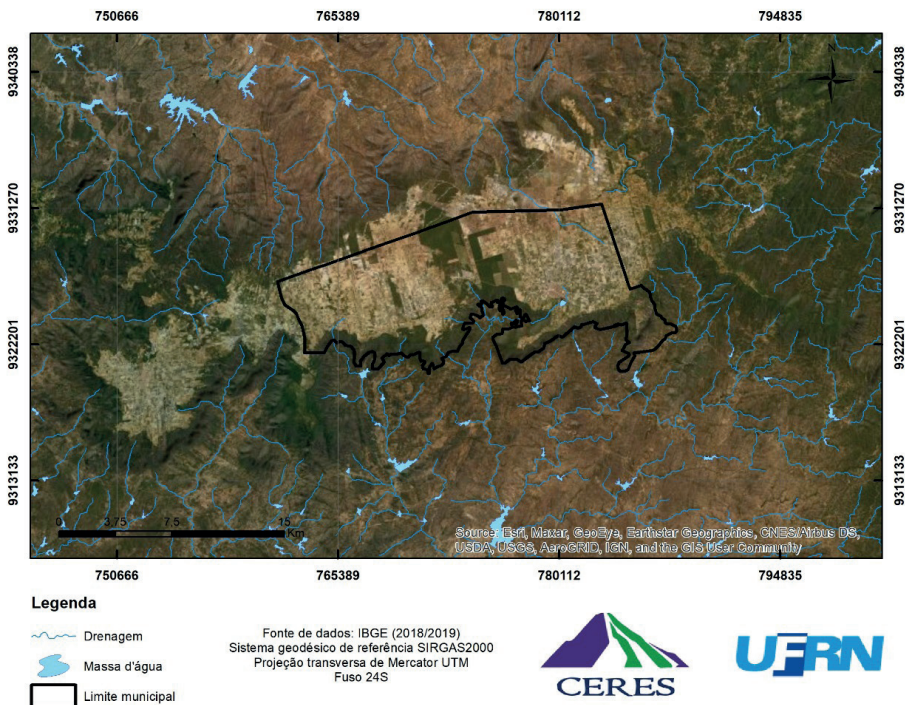
Fonte: Dados da pesquisa

Atualmente as fontes de água subterrânea reforçam o abastecimento do município. No levantamento presente no diagnóstico do Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea de 2005, foi registrado a existência de 47 pontos de água no município, sendo 03 poços escavados e 44 poços tubulares, sendo 11 desses pontos de água localizados em terrenos públicos e 36 em terrenos particulares. Dos poços públicos, 3 encontram-se inativos (não instalados ou paralisados), dos particulares 12 encontram-se inativos ([Serviço Geológico do Brasil, 2005](#)).

Nas proximidades do platô da Serra de Santana as principais bacias hidrográficas encontradas são as do Rio Potengi e do Rio Piancó-Piranhas-Açu. É também na serra que se encontra a nascente do rio Potengi,

importante rio do estado do Rio Grande do Norte. A Serra de Santana funciona como um divisor de águas das bacias hidrográficas do rio Potengi e Piranhas/Açu (Figura 5). Para os rios a partir da borda sul da serra o padrão identificado foi o dendrítico, como pode ser observado através da disposição dos rios que compõem a bacia hidrografia do Piancó-Piranhas-Açú. Já nos drenos situados a partir da borda norte foi identificado o padrão retilíneo a retangular (Barros, 1998).

**Figura 5:** Mapa de localização das nascentes e bacias hidrográficas encontradas nas proximidades da serra.



Fonte: Dados da pesquisa

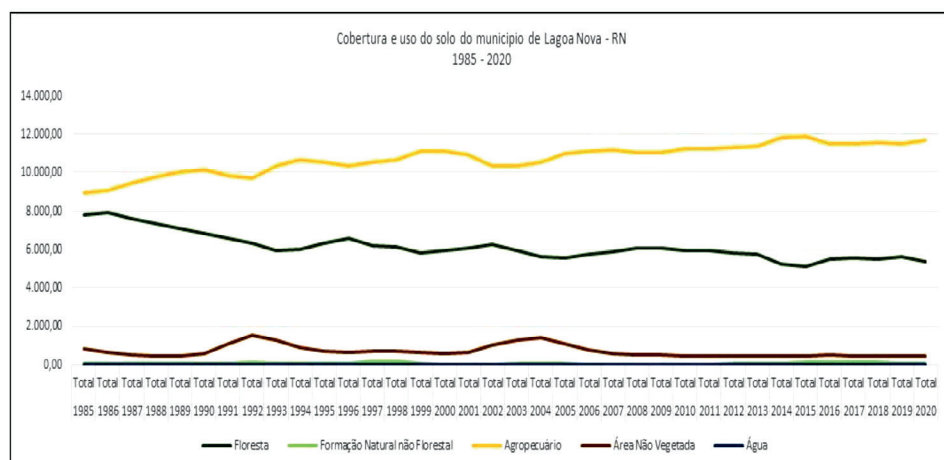
Tendo em vista a importância hídrica da Serra de Santana, medidas que visem a autodepuração da água da lagoa perene, através de métodos físico, químicos e biológicos (Pilon-Smits, 2005; Companhia Ambiental do estado de São Paulo - CETESB, 2013) devem ser levadas a cabo pelos gestores locais, uma vez que um corpo hídrico perene é de fundamental

importância em regiões semiáridas acometidas por estiagens e secas. Da mesma forma, a conservação da flora nas escarpas e matas ciliares, devem ser tomadas como prioridade para a proteção das nascentes de água e dos demais corpos hídricos existentes.

### ***Usos do solo e aspectos da vegetação***

O Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil – MapBiomas traz dados referentes a cobertura e uso do solo do município de Lagoa Nova (Figura 6). Através dos dados obtidos foi possível observar a supressão da vegetação nativa do município e o crescimento das áreas destinadas as atividades agropecuárias. Isso corrobora com os dados nacionais do projeto do Mapbiomas, que indicam que nas últimas três décadas a vegetação nativa no Brasil, tem perdido espaço para a agropecuária. De 1985 a 2019 o país perdeu 87,2 milhões de hectares de áreas de vegetação nativa, isso equivale a 10,25% do território nacional.

**Figura 6:** Gráfico da cobertura e uso do solo no município de Lagoa Nova - RN no período de 1985 a 2020.

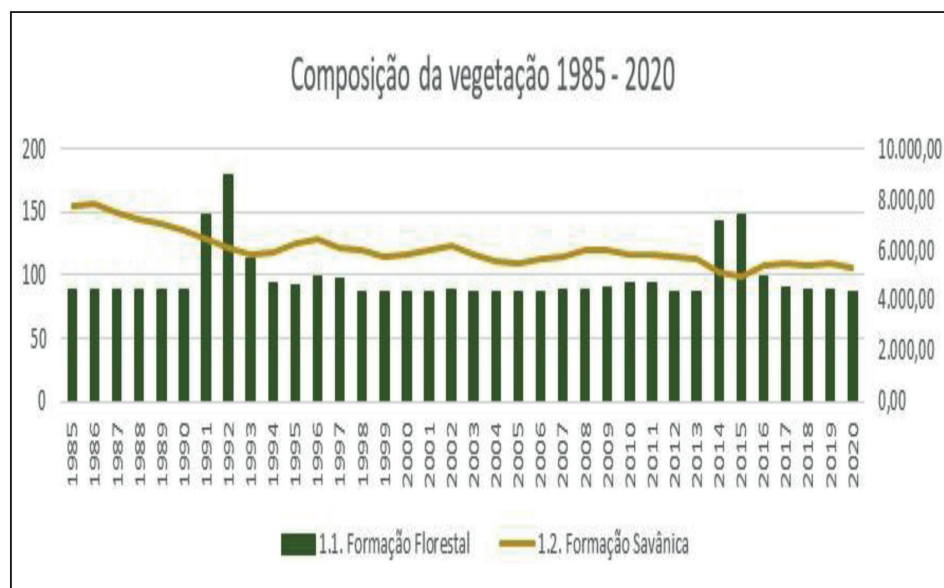


Fonte: Dados da pesquisa

O município de Lagoa Nova no período de 1985 a 2020 perdeu 2.407,78 hectares de áreas de vegetação nativa. Em 1985 o município possuía 7803,08 hectares e em 2020 esse valor cai para 5.395,30 hectares. Ao passo que houve um crescimento de 2.758,87 hectares de áreas ocupadas

pela agropecuária (figuras 6, 8 e 9). Em 1985 o município possuía 8931,78 hectares de áreas destinadas a agropecuária, em 2020 esse valor subiu para 11690,65, um aumento de 15% (Figura 8 e 9). Se observarmos as figuras 06 e 07 é possível perceber que os períodos de maiores perdas de vegetação coincidem com os períodos de maiores crescimentos das áreas destinadas a agropecuária.

**Figura 7:** Gráfico da composição da vegetação de 1985 – 2020.



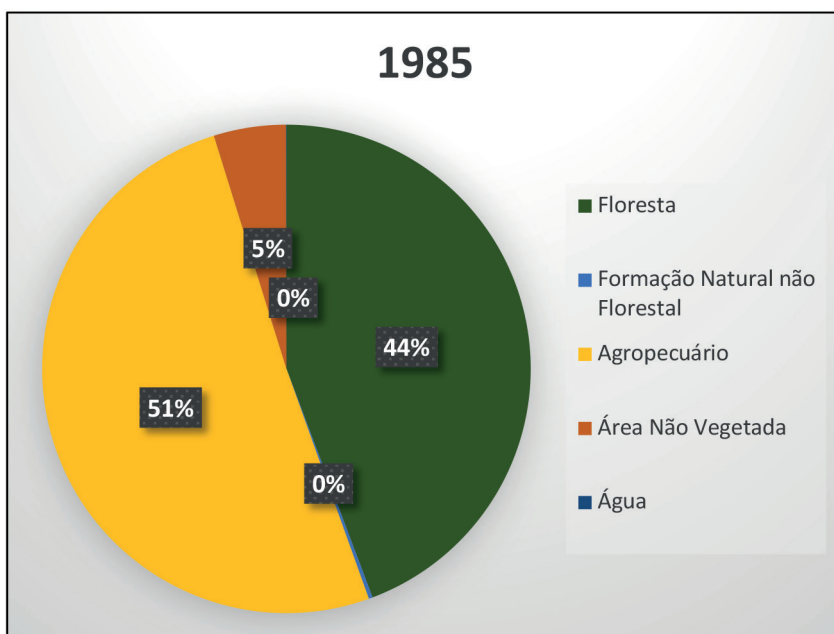
Fonte: Dados da pesquisa

A classe florestas identificada é composta por duas subclasses, como foi abordado anteriormente, formação florestal e formação savânica (Figura 7). Essa subdivisão diz respeito as formações vegetais encontradas na região. Analisando os dados dessas duas subclasses observamos que há uma maior supressão na vegetação do tipo savânica e uma tendência a estabilização da vegetação do tipo florestal, em alguns anos é inclusive possível observar o aumento desse tipo de formação vegetal na região, por exemplo nos anos de 1991 a 1993 e 2014 e 2015. Já a formação savânica observamos um constante decréscimo no total de áreas ocupadas, principalmente entre os anos de 1986 a 1993 e 2002 a 2005. Nos anos

seguintes tivemos uma oscilação entre, anos consecutivos de supressão da vegetação, seguidos por alguns períodos de uma pequena regeneração.

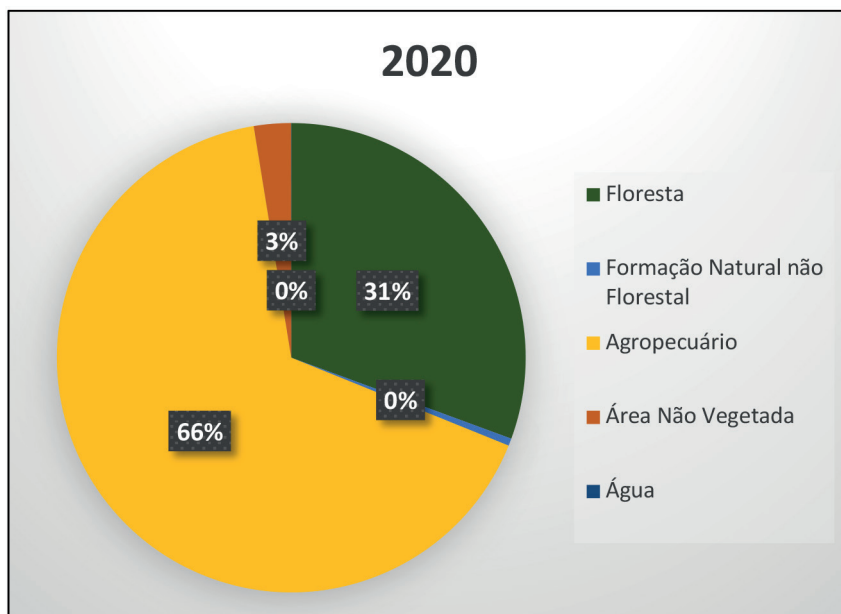
Produzir alimentos e energias renováveis sem gerar grandes impactos ao meio ambiente além de proporcionar qualidade de vida para as populações e redução da pobreza é um dos grandes desafios da atualidade. A resposta pra isso pode ser encontrada na própria natureza. Através, por exemplo, da utilização das soluções baseadas na natureza – SBN, que podem ser utilizadas na adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, na redução de risco de desastres, degradação dos ecossistemas e perda da biodiversidade garantir a segurança hídrica e segurança alimentar, saúde humana e o desenvolvimento social e econômico (International Union For Conservation Of Nature And Natural Resources - IUCN, 2020).

**Figura 8:** Percentual do uso da terra em 1985



Fonte: Dados da pesquisa

**Figura 9:** Percentual do uso da terra em 2020.



Fonte: Dados da pesquisa

Algumas ações podem ser adotadas na região, como por exemplo: o manejo a proteção e a restauração das áreas de florestas, a fim de mitigar os efeitos das atividades agropecuárias, a construção de zonas úmidas e da arborização nas áreas urbanas para reduzir os efeitos do aumento da temperatura; o gerenciamento das bacias hidrográficas na serra e seu entorno imediato e a recuperação das nascentes e corpos de água.

### Considerações finais

Através da presente pesquisa foi possível constatar que a Serra de Santana possui clima “ameno” em se tratando das condições térmicas, um tipo de solo desenvolvido e apto a infiltração e acúmulo de água e condições hidrográficas de vantagem, como uma lagoa perene, em detrimento da região semiárida onde ela se encontra.

As temperaturas detectadas, com média  $\sim 21^{\circ}\text{C}$  e temperaturas mínimas de até  $15^{\circ}\text{C}$ , confirmam a amenidade térmica provocada pelo gradiente vertical de temperatura. Tanto os dados de temperatura quanto os

de precipitação, para a série considerada, não apresentaram tendência de aumento ou diminuição dos seus valores. Porém, é importante destacar que a medição da temperatura se encerrou em 2002, o que compromete uma análise mais detalhada sobre os últimos anos.

Os solos encontrados na serra foram os Latossolos Amarelos Distróficos psamíticos, Neossolos Quartzarênicos Órticos latossólicos e Plintossolos Pétricos Litoplínticos típicos. Esses solos são mais profundos, melhor desenvolvidos, mais lixiviados, mais porosos e possuem até quatro vezes mais água disponível do que os solos típicos das depressões e vales do semiárido brasileiro.

Com relação à hidrografia, foram detectadas diversas nascentes a partir da Serra de Santana, a exemplo da importante nascente do rio Potengi, dentre outras. A quantidade de nascentes nos informa sobre a importância da serra para a região semiárida.

Apesar de possuir condições geográficas privilegiadas a nível de região semiárida, o processo de uso e ocupação do solo acarretou em perdas significativas da vegetação nativa. Essa perda de vegetação deixa os cursos de água desprotegidos, podendo resultar em problemas como o assoreamento, aumento da turbidez das águas, o desequilíbrio do regime das cheias, solos expostos susceptíveis a erosão e a própria perda da biodiversidade da serra. Além disso, a perda de vegetação ocasiona o aumento das temperaturas implicando na sensação térmica, principalmente nos centros urbanos, visto que a mesma influência na condição higrotérmica.

Os aspectos climáticos, pedológicos, hídricos e de vegetação estão intimamente relacionados entre si, bem como com as atividades humanas, de tal forma que interferindo em um desses elementos, há repercussões nos demais. Assim, por meio dos dados apresentados e discutidos com a literatura existente, revela-se a importância da gestão racional e sustentável do uso e ocupação do solo tanto nas áreas urbanas quanto rurais da Serra de Santana. Nesse sentido, este trabalho traz informações importantes que poderão ser trabalhadas na elaboração de um zoneamento ambiental e ecológico-econômico – ZEE, que são instrumentos obrigatoriamente seguidos na implementação de planos, obras e atividades públicas e privadas, com o objetivo de proporcionar o uso sustentável dos recursos naturais e o equilíbrio dos ecossistemas existentes, visto que o ZEE estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade

ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população.

## Referências

- Ab'sáber, A. N. (2003). Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial. *InterEspaço: Revista De Geografia E Interdisciplinaridade*, 4(13), 269–274. <https://doi.org/10.18764/2446-6549.v4n13p269-274>
- Angelim, L. A. de A. (2006). (Org.). Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM; FAPERN.
- Aprígio, T. R. M., Faria, R. M., Lucena, R. L., Souza, S. F. F., Cardozo, A. S. e Silva, A. D. G. (2019). Mapeamento da aridez no estado do Rio Grande do Norte. En: Lidriana de Souza Pinheiro; Adryane Gorayeb. (Org.). *Geografia física e as mudanças globais*. (pp. 1-12). Fortaleza: UFC.
- Arai, M.; Branco, P. de M. (2018). Sobre o uso dos termos geocronológicos e cronoestratigráficos. *Terrae Didactica*, Campinas, SP, v. 14, n. 3, p. 217–224. DOI: [10.20396/td.v14i3.8651816](https://doi.org/10.20396/td.v14i3.8651816).
- Araújo Filho, J. C., Ribeiro, M. R., Burgos, N., Marques, F. A. (2017). Solos da Caatinga. En: Curi, N., Ker, J.C., Novais, R.F., Vidal-Torrado, P., Schaeffe, C.E.G.R. (Eds.). *Pedologia - Solos Dos Biomas Brasileiros*. (pp. 227–260). Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Barros, S. D. S. (1998). *Aspectos morfo-tectônicos nos platôs de Portalegre, Martins e Santana/RN*. (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.
- Cavalcanti, I. (2009). (Org.). Tempo e clima no Brasil. Oficina de Textos. Companhia Ambiental do estado de São Paulo. (2013). *Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais*. Maria do Carmo Carvalho (Org). CETESB.



- Conti, J. B. (2008). O conceito de Desertificação. *CLIMEP - Climatologia e Estudos da Paisagem*, 3 (2), 39-52.
- Corrêa, A. C. B.; Tavares, B. A. C.; Monteiro, K. A.; Cavalcanti, L. C. S. e Lira, D. R. (2010). *Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema*. Revista do Instituto Geológico, 31, 35-52.
- Coutinho, J. (2006). *História de Lagoa Nova por Joaquim Coutinho*. Currais Novos: tipografia Padre Ausônio Ltda.
- Donagema, G. K. (2011). Manual de métodos de análise de solos / organizadores, Guilherme Kangussú Donagema... [et al.]. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos. 230 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 132).
- Donagema, G. K.; Campos, D. V. B. de; Calderano, S. B.; Teixeira, W. G.; Viana, J. H. M. (2011). (Org.). Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- Estrela, M. J. A. Valiente, A., Corell, D. e Millán, M. M. (2008). Fog collection in the western Mediterranean basin (Valencia region, Spain). *Atmospheric Research*, 87 (3) 324–337. Doi:[10.1016/j.atmosres.2007.11.013](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.11.013).
- Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, *Rev. Geophys.*, 45, RG2004, doi:[10.1029/2005RG000183](https://doi.org/10.1029/2005RG000183).
- Galvani, E. (2005). Métodos e técnicas de quantificação em Geografia. In: Venturi, L. A. B (Org). *Praticando Geografia: Técnicas de Campo e Laboratório*. 1a. ed. São Paulo: Oficina de Textos. v. 1. 239 p.
- Instituto Água e Saneamento. (2021). Municípios e Saneamento. <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/>. IAS.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). Cidades e Estados. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/lagoa-nova.html>. IBGE.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). *Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Série Manuais Técnicos em Geociências 1*, 2ª edição revista e ampliada. IBGE.
- Instituto Água e Saneamento. (2021). Municípios e Saneamento. <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/rn/lagoa-nova>. IAS.

- International Union For Conservation Of Nature And Natural Resources. (2020). *Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS*. IUCN.
- Junior, J. H. de A., e Lima, A. M. L. P. (2007). Uso de árvores e arbustos em cidades brasileiras. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*. 2 (4), 50-66.
- Lima, C. C. U.; Nolasco, M. C. (2015). Chapada Diamantina: A Remarkable Landscape Dominated by Mountains and Plateaus. In: *Landscapes and Landforms of Brazil*. Netherlands: Springer.
- Lima, R.C.C.; Cavalcante, A.M.B. e Marin, A.M.P. (2011). *Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro*. Instituto Nacional do Semiárido.
- Lucena, C. Y. S., Santos, D. J. R., Silva, P. L. S., Costa, E. D., Lucena, R. L. (2018). O reúso de águas residuárias como meio de combate à seca em uma cidade no semiárido do Nordeste brasileiro. *Revista de Geociências do Nordeste (REGNE)*, 4, 01-17.
- Lucena, R. L., Cabral Junior, J. B. e Steinke, E. T. (2018). Comportamento hidroclimatológico do estado do Rio Grande do Norte e do município de Caicó. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33, 485-496. <https://doi.org/10.1590/0102-7786333008>.
- Łupikasza, E. e Szypuła, B. (2019). Vertical climatic belts in the Tatra Mountains in the light of current climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, 136, 249–264.
- Maia, R. P., & Nascimento, M. A. L. do. (2018). Relevos graníticos do nordeste brasileiro. *Revista Brasileira De Geomorfologia*, 19(2). <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1295>
- MapBiomias. (2021). Projeto – Coleção 6.0 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. <https://mapbiomas.org/>
- Medeiros, J. F. de. (2016). Da Análise Geossistêmica à Serra dos Martins: Contribuição Teórico Metodológica aos Brejos de Altitude. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.
- Medeiros, J. F. e Cestaro, L. A. (2018). Os Brejos de Altitude no contexto das Áreas de Exceção do Nordeste brasileiro. *Revista de Geociências do Nordeste*. 4 (nº Especial), 127-246.

- Pilon-Smits, E. (2005), Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*. 56, 15-39.
- Porto, K. C., Cabral, J. J. P. e Tabarelli, M. (2004). *Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação Brasília*: Ministério do Meio Ambiente.
- Rodrigues, L. O., Souza, W. M., Costa, V. S. O. e Pereira, M. L. T. (2017). Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10 (6), 1995-2009.
- Sá, I. B. e Silva, P. C. G. da. (2010). Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. EMBRAPA Semiárido
- Santana, M. O. (2007). (Org). *Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. Brasília*. Ministério do Meio Ambiente.
- Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de; Lumberras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Araujo Filho, J. C. de; Oliveira, J. B. de; Cunha, T. J. F. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa. E-book: il. color. E-book, no formato ePub, convertido do livro impresso. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>
- Serviço Geológico do Brasil. (2005). *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Lagoa Nova, estado do Rio Grande do Norte / Organizado [por] João de Castro Mascarenhas et al. Recife*. CPRM/PRODEEM.
- Silva, C. S. G. (2015). Direito à arborização urbana. *Revista Jus Navigandi*. 20 (4211).
- Souza, M. J. N. e Oliveira, V. P. V. (2006). Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do Nordeste brasileiro. *Mercator*. 5 (9), 85-102.
- Tucci, C. E. M. (2002). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3ª ed. Porto Alegre: Ed. Da Universidade.
- Valadão, C. E. A., Oliveira, P. T., Schmidt, D. M., Silva, B. K. N., Barreto N. J.C., Correia Filho, W. L. F., Jesus E. S., Lopo, A.B., Santos A. S., Pinheiro, J. U. e Mattos, A. (2010). *Classificação climática da microrregião do Seridó/RN*. En: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia (Anais), Belém: CBMET.

Vaz, L. e Orlando, P. H. K. (2012). Importância das matas ciliares para manutenção da qualidade das águas de nascentes: diagnóstico do Ribeirão Vai-vem de Ipameri-GO. Revista LAGEA Recuperado de: [http://www.lagea.ig.ufu.br/xx1enga/anais\\_enga\\_2012/eixos/1035\\_1.pdf](http://www.lagea.ig.ufu.br/xx1enga/anais_enga_2012/eixos/1035_1.pdf)

## **Variación espacio temporal del *stock* de carbono orgánico y su relación con los cambios en el uso del suelo. Partido de Tandil, Región Pampeana Austral, Argentina**

Spatio-temporal variation of the organic carbon stock and its relationship with changes in land use. Tandil department, Austral Pampean Region, Argentina



Variação espaço-temporal do estoque de carbono orgânico e sua relação com mudanças no uso da terra. Distrito de Tandil, Região Austral Pampeana, Argentina

*Ailín Somoza*<sup>1</sup>

*Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.*

*Patricia Vazquez*<sup>2</sup>

*Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.*

- 
- 1 Licenciada en diagnóstico y Gestión Ambiental. Centro de Estudios Sociales de América Latina (CESAL). UNICEN (Tandil, Argentina). CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). Dirección de correo electrónico: [somoza.ailin@gmail.com](mailto:somoza.ailin@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-9176-3112>
  - 2 Doctora en Ciencias Agrarias. Centro de Estudios Sociales de América Latina (CESAL). UNICEN (Tandil, Argentina). CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). Dirección de correo electrónico: [patriciavazquez@conicet.gov.ar](mailto:patriciavazquez@conicet.gov.ar),  <https://orcid.org/0000-0002-4209-4901>.

## Resumen

Las transformaciones en el uso del suelo resultan propulsoras del cambio global e impactos ambientales asociados a la provisión de servicios ecosistémicos vinculados al recurso edáfico. El cambio de uso de la tierra afecta fuertemente el *stock* de carbono orgánico del suelo, fuerza fundamental para la calidad y los servicios del suelo. El objetivo del presente trabajo ha sido estimar la variación en el *stock* de carbono orgánico del suelo asociada a las tendencias del proceso de agriculturización en las Unidades Ambientales del partido de Tandil en los periodos 1989-2004 y 2004-2019. Se determinó en cada Unidad Ambiental el *stock* de carbono orgánico del suelo mediante el empleo el método del IPCC. Los datos resultantes junto con la variación de la superficie agrícola en los periodos analizados permitieron determinar el efecto de las transformaciones en el uso de la tierra en cada paisaje. Se evidenció que la agriculturización resulta un motor clave en el deterioro de la capacidad del suelo para mantener la provisión de servicios ecosistémicos asociados.

**Palabras claves:** agriculturización, pastizales y pasturas, servicios ecosistémicos, agricultura sustentable.

## Abstract

Transformations in land use are drivers of Global Change and environmental impacts associated with the provision of ecosystem services linked to the edaphic resource. The change in land use strongly affects the soil organic carbon stock, a fundamental force for soil quality and services. The objective of this work has been to estimate the variation in the soil organic carbon stock associated with the trends of the agriculturization process in the Environmental Units of the Tandil department in the period 1989 - 2004 - 2019. It was determined, in each Unit, the soil organic carbon stock using the IPCC method. The resulting data with the variation of the agricultural area in the analyzed period allowed to determine the effect of the transformations in the use of the land in each landscape. It is evidenced that agriculturization is a key driver in the deterioration of the soil's capacity to maintain the provision of associated ecosystem services.

**Keywords:** agriculturization, grasslands and pastures, ecosystem services, sustainable agriculture.

## Resumo

As mudanças no uso da terra são impulsionadoras das mudanças globais e dos impactos ambientais associados à prestação de serviços ecosistémicos ligados aos recursos do solo. A mudança no uso da terra afeta fortemente o estoque de carbono orgânico no solo, uma força fundamental para a qualidade e serviços do solo. O objetivo deste trabalho é estimar a variação do estoque de carbono orgânico do solo associado às tendências do processo de agricultura nas Unidades Ambientais do distrito de Tandil nos períodos 1989-2004 e 2004-2019. O estoque de carbono orgânico do solo foi determinado em cada Unidade Ambiental pelo método do IPCC. Os dados resultantes juntamente com a variação da superfície agrícola nos períodos analisados permitiram determinar o efeito das transformações no uso da terra em cada paisagem. É evidente que a agricultura é um fator chave na deterioração da capacidade do solo de manter a provisão de serviços ecosistémicos associados.

**Palavras-chave:** Agriculturização; Agricultura sustentável; Campos e pastagens; Serviços ecosistémicos.

## Introducción

La expansión de la superficie cultivada hasta mediados del siglo XX y el aumento de los rendimientos por unidad de superficie, que estuvieron basados en el uso de insumos externos, dieron lugar a notables incrementos de la producción global. Este contexto ha dado lugar a un escenario de cambios en los usos del suelo, a un campo con predominio de la agricultura desplazamiento de la ganadería y otros rubros agropecuarios (Maceira *et al.*, 2020) y a profundos impactos ambientales sin precedentes de índole ecológicos, económicos y sociales (Iermanó y Sarandón, 2016; Andrade *et al.*, 2017; Sarandón, 2020).

El sector agroindustrial argentino, particularmente el de la Región Pampeana, ha sido pionero en la adopción. innovación tecnológica y organizacional de los modelos derivados del agronegocio (Andrade *et al.*, 2017). Dada su extensión y productividad, dicha agroindustria es considerada una de las principales áreas agrícolas del mundo (Satorre y Slafer, 1999). En ella, los cambios en el uso del suelo y la consecuente alteración de la cobertura vegetal se encuentran asociados a características singulares de los modelos tecnológicos implementados que han respondido a procesos económicos y financieros que orientaron el sistema agropecuario argentino hacia un proceso de agriculturización (PA) (Pengue y Rodríguez, 2018). Dicho proceso significó, durante las últimas décadas, la conversión de tierras para cultivo junto con la intensificación gradual de la agricultura en tierras ya cultivadas que han determinado un incremento de la producción (Viglizzo *et al.*, 2011).

El aumento histórico y continuo de la producción agrícola en todo el mundo ha tenido un impacto profundo en los ciclos globales del carbono, el agua y los nutrientes (Johnson *et al.*, 2014). El suelo es un claro ejemplo de cómo las formas de producción actuales erosionan los recursos naturales y, por consiguiente, amenazan la oferta e interrelación de las funciones y servicios ecosistémicos (SE) relacionados con ellos (Pereira *et al.*, 2018). Si bien los océanos constituyen el reservorio principal del ciclo natural del C (carbono) (93%), los suelos le siguen en orden de importancia y son el principal reservorio terrestre (4%) Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2019). Mantener el carbono en los suelos significa sostener sus propiedades físicas y los SE relacionados como una mejor infiltración y capacidad de retención de agua, así como

un aumento potencial de la productividad agrícola y resiliencia ecológica (Zomer *et al.*, 2017). Este servicio resulta de interés puesto que es la base de temáticas asociadas con la seguridad alimentaria, la mitigación y la adaptación al cambio climático (Pries *et al.*, 2017; IPCC, 2021).

Uno de los mayores desafíos para la región es implementar un desarrollo agropecuario sostenible que permita el crecimiento económico del sector, mantenga las cualidades del ambiente y reduzca el riesgo asociado a las variaciones del clima (Papagno y Vitale, 2019). Debido a la importancia que tienen los suelos en el ciclo del C, representan tanto una amenaza como una oportunidad en lo que respecta al cambio climático (Powlson *et al.*, 2011). La amenaza se debe a su potencialidad para liberar grandes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, principalmente, por la conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo, los cuales representa hasta el 24% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), mientras que la oportunidad se debe a su capacidad de secuestrar CO<sub>2</sub> (Stockman *et al.*, 2013). A su vez, el *stock* de carbono orgánico del suelo (COS) es el principal componente que determina la calidad y la salud del suelo (Powlson *et al.*, 2011). Por lo tanto, conocer los contenidos de COS bajo distintos escenarios de uso del suelo es una necesidad fundamental para el desarrollo de estrategias que contribuyan a la mitigación del cambio climático y prácticas de manejo para un uso sustentable del suelo. Sin embargo, las técnicas disponibles para cuantificar el COS a escala regional aún se encuentran poco desarrolladas, tienen grandes niveles de incertidumbre y, cuando incluyen mediciones directas, son muy costosas (Stockmann *et al.*, 2013).

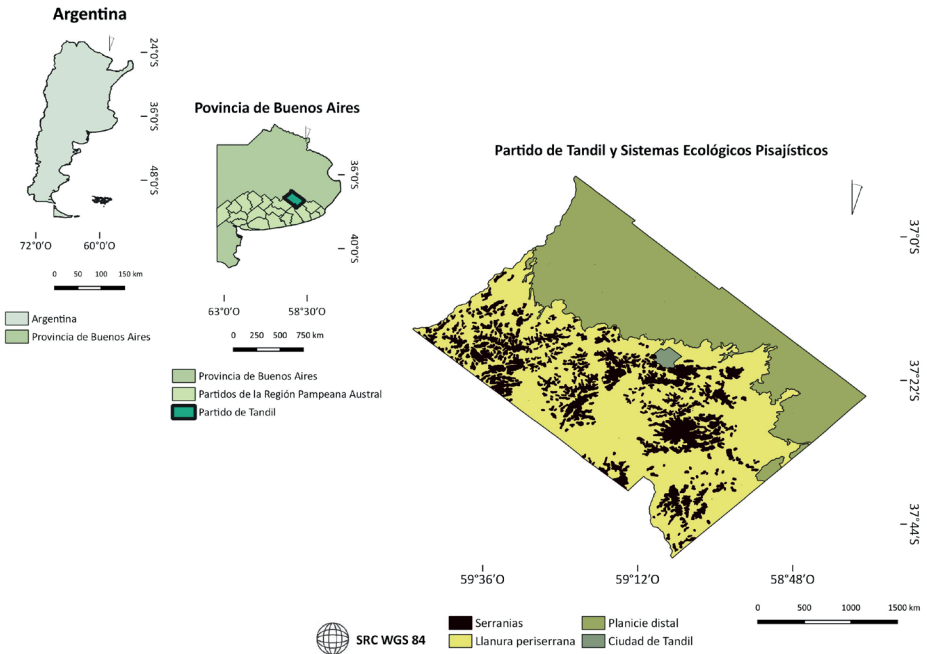
Existe una gran incertidumbre acerca de las proyecciones del futuro almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) asociadas a las variaciones en las prácticas agronómicas y el clima. La evaluación de la sustentabilidad en el medio rural adquiere un reconocimiento cada vez mayor como una herramienta importante con enfoque sistémico para avanzar hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Por ello, surge como objetivo del presente trabajo estimar la variación en el *stock* de COS en diferentes escenarios productivos de las Unidades ambientales (UA) del partido de Tandil, correspondiente a la Región Pampeana Austral (RPA), en los períodos 1989-2004 y 2004-2019.



### Área de estudio

El partido de Tandil (latitud: 37° 13' 25" Sur; longitud 59° 34' 33.2" Oeste), localizado en el sector sudeste de la provincia de Buenos Aires, ocupa una superficie de 4935 km<sup>2</sup>, se encuentra situado dentro de la mencionada Región Pampeana que puede ser dividida en cinco subregiones homogéneas si se considera la calidad de sus suelos y las precipitaciones: Pampa ondulada, Pampa central, Pampa austral, Pampa deprimida o inundable y Pampa mesopotámica. Particularmente, el área de estudio pertenece a la denominada RPA caracterizada como una pradera llana con suave declive hacia el mar que posee suelos fértiles y cordones serranos; a los sistemas de Tandilia y Ventania, que albergan una amplia diversidad de especies y ofrecen un fuerte potencial productivo, ambiental y turístico (ver Figura 1).

**Figura 1.** Localización del partido de Tandil en la Región Pampeana Austral.

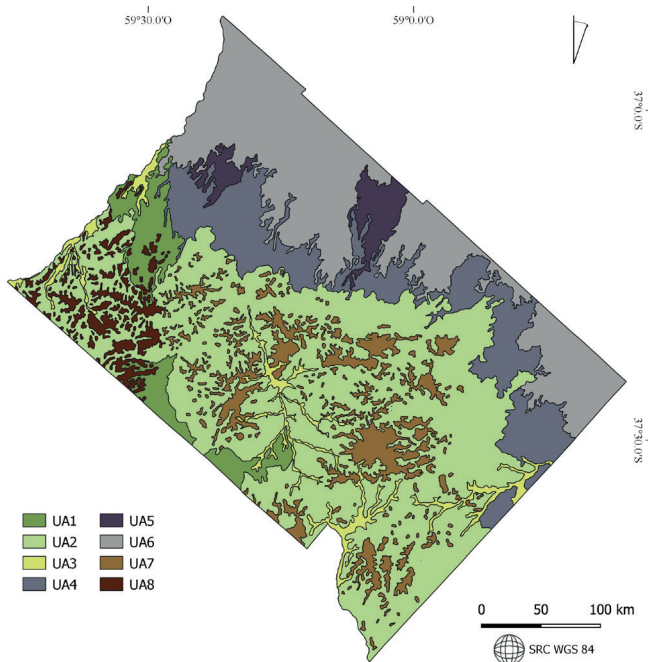


Fuente: Elaboración propia.

### Caracterización de las Unidades Ambientales del partido de Tandil

Al interior del Partido se identifican tres Sistemas Ecológico Paisajísticos (SEP) caracterizados por su estructura ecológica, sus aspectos ecodinámicos y sus características diferenciales: Serranías (S), Llanura periserrana (LLP) y Planicie distal (PD) (Sánchez y Zulaica, 2002) (ver Figura 1). A su vez, dentro de los SEP del partido de Tandil, fueron caracterizadas ocho UA que definen, a lo largo del tiempo, la relación sociedad-naturaleza evidenciada en cada una de ellas convirtiéndose entonces en pilares para el ordenamiento ambiental del territorio (ver Figura 2 y Tabla 1). Dichas unidades integran aspectos ecológicos que destacan: (a) en lo físico, el clima, suelo y geomorfología; (b) en lo biológico, las condiciones de la vegetación; en lo productivo, combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de las tierras; y aspectos asociados a la dinámica e intensidad de los procesos de transformaciones de usos del suelo imperantes en cada una.

**Figura 2.** Unidades Ambientales.



Fuente: Somoza y Vazquez, 2022.

**Tabla 1.** Principales características de las Unidades Ambientales.

S E P**	UAE*						UAG 1*	UAG 2*	UA*
	Geoforma del paisaje	Descripción morfoedáfica	Suelo dominante	IP*	CU*				
LLP1 LLP2 LLP3 LLP4 LLP5 LLP6	Paisajes de lomas extendidas	Llanura ligera a muy ligeramente ondulada conformando una matriz espacial en la que difunden pequeñas depresiones	<i>Argiudol petro-cálcico</i>	59,9	III	A	M	UA1 - Paisajes de lomas extendidas que presentan un PA de intensidad descendente	
		Llanura ligeramente ondulada conformando una matriz espacial con lomas sobrepuestas, que a veces presentan crestas rocosas		60,2		A			
	Paisaje serrano ondulado con pendientes suaves, medias y largas	Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomas sobrepuestas	<i>Argiudol típico</i>	68,2	III	A	M	UA2 - Paisaje serrano ondulado con pendientes suaves, medias y largas que presentan un PA de intensidad continua o descendente	
		Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomas sobrepuestas		65,1		M			
	Paisajes suavemente ondulados que asocian áreas deprimidas.	Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomas sobrepuestas que presentan formaciones superficiales profundas	Complejo de suelos	79,2	III	M	B	UA3 - Paisajes suavemente ondulados que asocian áreas deprimidas que presentan un PA continua	
				Llanuras aluviales. Asocia complejos de suelos indiferenciados		33,6			M

S E P*	UAE*						UAG 1*	UAG 2*	UA*
	U A E	Geoforma del paisaje	Descripción morfoedáfica	Suelo dominante	IP*	CU*			
SISTEMA ECOLOGICO PAISAJISTICO PLANICIES DISTALES	PD1a	Planicies muy suavemente inclinadas que conforman una matriz espacial asociada	a microdepressiones, a veces integradas a vías de escurrimiento	<i>Argiudol tipico</i>	74,3	III	M	A	UA4 - Planicies muy suavemente inclinadas que conforman una matriz espacial asociada que presentan un PA de intensidad ascendente
	PD1b		a vías de drenaje y lomas algo pronunciadas		83,7	II	M	A	
	PD2	Planicies de lomas planas		<i>Argiudol tipico</i>	81,3	II	B	M	UA5 - Planicies de lomas planas que presentan un PA de intensidad ascendente
	PD3a		Abundantes	<i>Argiudol tipico</i>	57,5	II	B	A	UA6 - Planicies que conforman una matriz espacial con lomas sobreimpuestas que presentan un PA intensidad ascendente
	PD3b	Planicies que conforman una matriz espacial con lomas sobreimpuestas	Ocasionales	<i>Natruodol tipico</i>	45,1	IV	B	MA	

S E P**	UAE*						UAG 1*	UAG 2*	UA*
	Geoforma del paisaje	Descripción morfoedáfica	Suelo dominante	IP*	CU*	UAG 2*			
UA E	Formaciones serranas	Abundantes afloramientos rocosos. Cuerpos edáficos poco evolucionados y de escasa profundización debido a la existencia de contactos líticos	<i>Hapludol lítico</i>	30,8	VI	A	MA	UA7 - Formaciones serranas con abundantes afloramientos rocosos que presentan un PA de intensidad ascendente	
S1		Lomas moderadamente onduladas, pronunciadas, escasos afloramientos rocosos. Cuerpos edáficos más o menos desarrollados, algunas veces profundos y más frecuentemente de escasa profundidad debido a la existencia de contactos líticos	<i>Argiudol petro-cálcico</i>	42,0	IV	MA	B	UA8 - Formaciones serranas con lomas moderadamente onduladas, pronunciadas, escasos afloramientos rocosos que presentan un PA de intensidad descendente	
S2									

\*Notas: SEP: Sistema ecológico – paisajístico; UAE: Unidad agroecológica; UAG1: Unidad de agricultura período 1989 – 2004; UAG2: Unidad de agricultura período 2004 – 2019; UA: Unidad ambiental; IP: índice de productividad; CU: capacidad de uso; PA: proceso de agricultura; B: PA nulo o bajo; M: PA medio; A: PA alto; MA: PA muy alto.

Fuente: Somoza y Vázquez, 2022.

### *Modificaciones en los usos del suelo: agriculturización*

Algunos estudios anteriores constatan cambios sustanciales en el uso del suelo en áreas correspondientes a la RPA (Vazquez *et al.*, 2012a, b; 2016; 2017; 2019a, b, c; 2020; Sequeira *et al.*, 2021; Somoza *et al.* 2020; 2021), como también a nivel de establecimiento rural (Somoza *et al.*, 2019), de los cuales ha sido la transformación más destacable el avance de las áreas agrícolas hacia superficies de pastizales naturales y pasturas artificiales asociadas a modificaciones en las técnicas productivas impulsadas, singularmente, por determinados cultivos como la soja y cebada.

En el Partido, las UA correspondientes a la Llanura periserrana han sido el escenario donde las mutaciones descritas fueron radicales. De hecho, más del 75% de su superficie total de este SEP ha sido convertido de áreas de uso ganadero a agrícola entre 1989 y 2019. Por otro lado, en las UA de las Planicies distales, la actividad ganadera, representada por áreas de pastizales naturales y pasturas artificiales aún persiste, no sólo intensivamente en sistemas de engorde a corral. No obstante, cabe mencionar que en muchos sectores dicha actividad ha sido confinada a zonas con mayores riesgos productivos y económicos debido a las limitaciones en las condiciones de drenaje. En las Serranías, las mayores presiones a la transformación productiva se encuentran en las áreas colindantes con la Llanura periserrana. Perduran allí, en los sectores más elevados de dicho sistema y de roquedales las áreas de pastizales naturales.

## **Marco teórico-conceptual**

### ***Cambio climático, agriculturización y rol del carbono orgánico del suelo***

En los últimos años, la agenda internacional ha sido testiga de un incremento en la cantidad y profundidad de los debates relativos a la relación entre agricultura y cambio climático, lo cual, también se observa en las agendas de investigación respectivas (Newell, 2012). En este sentido, diversos informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) afirman que los impactos negativos del cambio climático sobre la producción agropecuaria, superan a aquellos que podrían ser considerados como positivos (IPCC, 2014).

La conversión de tierras y la incorporación de tecnología (principalmente insumos) durante el último siglo han afectado decisivamente la estructura y la funcionalidad de los ecosistemas. Sus impactos han sido significativos sobre funciones ecológicas esenciales como el flujo de energía, la relación *stock*-flujo de carbono, el ciclado de nutrientes, el proceso hidrológico y el patrón ecotoxicológico regional (Modernel *et al.*, 2016). En consecuencia, clima, uso de la tierra y tecnología son tres factores directos de control que influyen sobre la relación economía-ecología y, por ende, sobre la oferta de SE.

El ciclo natural del carbono juega un rol esencial en la definición del clima futuro, ya sea determinando los niveles de CO<sub>2</sub> atmosféricos en respuesta a las emisiones antropogénicas o por su contribución en la limitación de emisiones, requerida para alcanzar la estabilización buscada de CO<sub>2</sub>. Además del SE de regulación climática, el COS es primordial en la definición de otros SE tales como la retención de agua, la regulación hídrica, la protección contra la erosión, la provisión de nutrientes para los vegetales y el procesamiento de sustancias tóxicas (Powlson *et al.*, 2011). En los sistemas agrícolas, el aumento de los niveles del COS genera situaciones de beneficios múltiples, debido a que al mismo tiempo que se reducen los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico se mejoran la fertilidad, la productividad, la resistencia y la resiliencia del recurso suelo (Lal, 2004). Es innegable que el almacenaje de C orgánico del suelo (COS) posiblemente será el aspecto más importante del ciclo global de C en las próximas décadas (Zomer *et al.*, 2017). Tanto la provisión de sus SE asociados como su captura dependen de las características y actividades de las sociedades y en particular, de sus actores sociales.

### Marco metodológico

Para el logro del objetivo previsto, se asumieron las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, el cual describe metodologías para estimar emisiones/secuestro de CO<sub>2</sub> para realizar los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2006; 2021). Puntualmente, en el Volumen 4: “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra”, describe un método de inventario de carbono para estimar los *stocks* y flujos del carbono orgánico del suelo en respuesta a los cambios de uso del suelo.

El IPCC describe tres aproximaciones o niveles para estimar los cambios en el COS y asume que cuanto mayor sea el nivel, mayor será la precisión de las estimaciones, así como también lo serán la complejidad y la necesidad de información. En el mencionado Volumen (“Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra”) (IPCC, 2006; 2021) se describe que en el caso del Nivel 1 se utilizan los valores por defecto propuestos por el IPCC y, en el Nivel 2, los valores son derivados a partir de información local. Por último, el Nivel 3 incluye modelos más complejos en que los sistemas de inventario son generados a partir de datos de alta resolución que capturan mejor la variabilidad de las condiciones locales.

En este estudio se llevó a cabo una metodología donde se combinan estrategias correspondientes a los Nivel 1 y 2. Se derivó del Nivel 1 el dato inicial del COS de referencia. Sin embargo, con la finalidad de mejorar las estimaciones, el Nivel 2, que emplea el mismo abordaje metodológico que en el Nivel 1, ha sido aplicado utilizando factores de cambio que se basan en datos específicos de la región y de cada UA, sobre todo, en lo referido a las categorías más importantes de uso de la tierra, utilizándose datos de resolución temporal y espacial y de actividad más desagregados.

La fórmula diseñada por el IPCC ha sido aplicada a las UA del partido de Tandil en dos períodos de análisis 1989–2004 y 2004–2019.

Se seleccionó el año 1989 como primer punto de análisis ante la necesidad de contar con un escenario perteneciente al contexto productivo previo a la eclosión de un importante proceso de cambio tecnológico y de una nueva lógica empresarial vinculada a la siembra directa. Hasta entonces, los sistemas “mixtos” permitieron que los campos pampeanos mantuvieran, incluso, aumentaran su calidad en nutrientes y materias orgánicas con ciclos de cultivos y pasturas que, manejados de manera extensiva prácticamente sin insumos externos, emulaban hasta las décadas del setenta y ochenta del siglo XX, aquellos recomendados en manejo por la producción orgánica (Pengue, 2014). Es a partir de esta fecha que el incipiente dinamismo de los mercados internacionales, más las reformas en la economía local, la reducción de los precios de los insumos y maquinarias agrícolas, producen las condiciones para que se lleve a cabo un abrupto proceso de capitalización caracterizado por modernización tecnológica y concentración productiva. Las reformas llevadas a cabo implicaron profundos cambios en el manejo, las formas de producción, la apropiación



de los recursos, el capital económico y financiero, los recursos humanos y de impactos ambientales; más allá de la escala creciente en la producción anual de los cultivos de exportación (Bisang, Anlló y Campi, 2008).

Precisamente, desde el año 2004, la tendencia en el cambio de los precios internacionales de las materias primas ha generado una presión de demanda de tierras para cultivos que motoriza un proceso de agricultura continua y “desganaderización” de la Región Pampeana en el cual es decisivo el papel de la soja (Leavy y Allen, 2015). Por otro lado, las consecuencias ambientales en relación a la estabilidad de la estructura de los suelos, pérdida de nutrientes, disponibilidad de materia orgánica (MO) y pérdida de riqueza biótica comienza a hacerse visible (Viglizzo *et al.*, 2011; Pengué, 2014).

Por último, la selección del año 2019 responde a la necesidad de una imagen actualizada y a la necesidad de constatar las tendencias observadas por diversos autores, como Modernel (2016) y Lara *et al* (2019), quienes han sugerido que para ese año un alto impacto sobre el funcionamiento ecosistémico acrecentado a medida que los planteos agrícolas y ganaderos se vuelven más intensivos. Principalmente, estos están asociados a cambios en el uso del suelo, la intensificación de las prácticas productivas y el riesgo de contaminación por nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) y por plaguicidas.

En estudios precedentes del área de estudio (Vazquez y Zulaica, 2011, 2012; Vazquez *et al.*, 2019c; Somoza *et al.*, 2020; Somoza *et al.*, 2021), a partir de la clasificación supervisada de imágenes satelitales, el uso del suelo ha sido categorizado en cuatro clases principales: áreas agrícolas, áreas de pastizales y pasturas (P y P), áreas urbanas y áreas con cuerpos de agua. Para determinar las modificaciones en el *stock* de carbono en el suelo, solo se emplearon los datos asociados a las primeras dos clases de usos del suelo.

Los factores asignados a las UA han sido iguales para aquellas unidades que conforman un mismo SEP, puesto que las formas de producir en cada sistema son homogéneas. Para estimar las existencias carbono asociadas a las actividades productivas se necesita información que represente a varias categorías de uso de la tierra estratificadas en base a prácticas de uso y a características biofísicas, como por ejemplo, la zona ecológica, el suelo, el tipo de vegetación, entre otras. Así se crean unidades espaciales

más homogéneas que se utilizan en la estimación y en la evaluación de los cambios en las existencias de carbono. Por ese motivo, es que se tiene en cuenta el uso de las UA como unidades territoriales de análisis.

Para las estimaciones, en primera instancia, se clasifica al total del área de estudio en función de su clima y suelo característicos y se asignan contenidos de COS de referencia (COS<sub>ref</sub>) que representan la condición nativa por defecto. Luego se corrigen dichos contenidos por factores de cambio (Fc) que dependen del uso del suelo y su gestión (IPCC, 2006; 2019; Villarino *et al.*, 2014). La fórmula para estimar el stock de carbono orgánico del suelo queda definido de la siguiente manera:

$$COS_{it} = COSI * FLU_i * FMG_i * FI_i * A_i$$

Dónde:

- *i* es la *i*-ésima UA con un determinado clima, suelo y combinación de uso del suelo,
- *t* es el año correspondiente al inicio del período inventariado,
- *COS<sub>it</sub>* es el carbono orgánico del suelo estimado (Mg C ha<sup>-1</sup>), corresponde al COS<sub>2</sub> o COS final del período 1989-2004 y 2004-2019. Para cada período mencionado se estimó: COS1: primer año de análisis y COS2: último año de análisis
- *COSI* es el contenido inicial de COS (Mg C ha<sup>-1</sup>), corresponde al COS-*ref* para el cálculo del COS inicial del año 1989 y al COS1 del período 1989 – 2004 y 2004 - 2019.
- *FLU* (Factor de uso del suelo) es el factor de cambio del *stock* debido a un uso del suelo particular (adimensional),
- *FMG* (Factor de manejo) es el factor de cambio del *stock* debido a un determinado régimen de manejo (por ejemplo, diferentes métodos de labranza en áreas cultivadas) (adimensional),
- *FI* es el factor de cambio del *stock* debido a un input de C en el suelo (adimensional),
- *A* es el área con el mismo clima, tipo de suelo, uso del suelo y manejo en un período de tiempo inventariado (ha).

Luego, se calculó la diferencia entre ambos para conocer el cambio en el período y se divide por la cantidad de años (Y) para calcular la tasa de cambio anual (Villarino *et al.*, 2014):

$$\Delta COSi = \frac{COSi2 - COSi1}{Y}$$

Para este análisis se realizó la combinación de áreas agrícolas “viejas” (que ya eran agrícolas en la fecha previa) y “nuevas” (que poseían un uso del suelo de PyP que se transformaron a agricultura) a partir de la proporción de superficie que ocupa cada una en el territorio.

Específicamente para este trabajo, es importante mencionar que el *stock* de referencia de COS (COS1 período 1989–2004) se obtuvo de la literatura local. Villarino *et al.* (2014) realizaron un promedio de valores obtenidos de diversos artículos en los que se evaluó el COS en condiciones prístinas o semiprístinas (Andriulo *et al.*, 2012).

A su vez, para determinar los valores de los factores de cambio empleados para el cálculo de COS se realizaron entrevistas a informantes calificados del área de estudio, las cuales permitieron conocer las producciones y métodos característicos de cada unidad así como derivar distintos supuestos. Por ejemplo, para ambos períodos de análisis se consideró que existieron modificaciones en los usos del suelo, así como también continuidades. De esta manera, los factores de cambio se determinaron para:

- Áreas de PyP que continúan siendo de PyP,
- Áreas que al inicio del período poseían un uso del suelo de PyP pero que se modificó por el uso del suelo agrícola al finalizar el período,
- Áreas agrícolas que continúan con dicha actividad.

Se consideró que los campos de la RPA en general se gestionaron como campos naturales hasta las últimas décadas del siglo XIX. Hasta 1990, por un lado, las zonas más deprimidas de la región representadas en el área de estudio por las Planicies distales estaban ocupadas por ganado vacuno que se alimentaba de praderas naturales o sembradas con pastos perennes o introducidos. Por otro lado, en las zonas de las Llanuras periserranas y sectores colindantes de las Serranías primaba un sistema extensivo o semiextensivo de producción agropecuaria basado en una rotación en

el mismo predio de cultivo de granos con la siembra de pasturas perennes para alimentar el ganado.

### ***Descripción de los Factores de Cambio empleados***

#### *Factor de uso del suelo*

Para determinar el factor de uso del suelo (FLU) se emplearon tres categorías planteadas por el IPCC (2006; 2019) que definen los usos característicos del área de estudio a lo largo del período de análisis:

- Ecosistemas nativos o manejados de manera nominal (ENAT): tierras bajo vegetación nativa, con mínima perturbación humana, sobre las que se basan las reservas de carbono de referencia. Se consideraron ENAT a las UA de las Serranías para conocer el *stock* de COS inicial del año 1989.
- Pastizales y Pasturas: representa tierras cubiertas de pastos continuos donde el uso principal de la tierra es pasto. Los factores de gestión se utilizan para expresar el grado de mejora o degradación de la gestión.
- Áreas cultivadas a largo plazo: representa el área que se ha gestionado de forma continua durante más de 20 años, hasta cultivos predominantemente anuales.

#### *Factor sistema de manejo*

Para tierras de cultivo, el factor de gestión representa el tipo de labranza (IPCC, 2006; 2019):

- Siembra directa: sin labranza primaria, con una mínima alteración del suelo en la zona de siembra. Los herbicidas se utilizan normalmente para el control de malezas.
- Labranza convencional: implica una alteración sustancial del suelo con inversión total, incluso, operaciones de labranza frecuentes (dentro de un año). En el momento de la siembra, poco de la superficie está cubierta por residuos (por ejemplo, menos del 30%).

Para el año 1989 se consideró que la labranza convencional representaba el sistema de manejo en la totalidad del partido de Tandil. No obstante, hacia los años 2004 y 2019, la siembra directa gana protagonismo,

se introdujo en 1990 y 1996 fue adoptada crecientemente por los productores (Villarino *et al.*, 2014). Por consiguiente, para cada año se multiplicó el FMG por el porcentaje de área bajo cada sistema de manejo, como se observa en la Tabla 2, la Tabla 3 y la Tabla 4. Según datos de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID) (2012), en 2006 el 70% de la superficie agrícola de Argentina se encontraba bajo un sistema de siembra directa. Específicamente, en el área de estudio el porcentaje de superficie agrícola que empleaba la sistema de siembra directa es mayor al promedio nacional, ya que Tandil es uno de los primeros partidos en implementar dicho sistema, en el cual, la apropiación se dio de forma temprana y extendida de acuerdo a Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA).

Para PyP el factor de gestión representa el nivel de mejor o degradación de la gestión (IPCC, 2006; 2019):

- Pastizales no degradados: representan pastizales no degradados y gestionados de forma sostenible, pero sin mejoras de gestión significativas.
- Pastizales mejorados: representan pastizales que se gestionan de forma sostenible con una presión de pastoreo moderada y que reciben al menos una mejora (por ejemplo, fertilización, mejora de especies, riego).

#### *Factor de input (FI)*

Los factores de entrada representan el efecto de cambiar el ingreso de carbono al suelo, en función del rendimiento de los residuos del cultivo, la frecuencia del barbecho desnudo, la intensidad del cultivo o la aplicación de enmiendas (IPCC, 2006; 2019):

- Bajo: el bajo retorno de residuos se debe a la eliminación de residuos (mediante recolección o quema), el frecuente barbecho desnudo o la producción de cultivos que producen pocos residuos (por ejemplo, hortalizas, tabaco, algodón).
- Medio: los sistemas de cultivo de insumos medios representan el cultivo anual de cereales en el que todos los residuos de cultivos se devuelven al campo. Si se eliminan los residuos, se agrega materia orgánica suplementaria (por ejemplo, estiércol). Esta categoría fue la utilizada para caracterizar la mayoría de las UA ya que el IPCC reconoce que la

misma es representativa para cultivos anuales con cereales donde todos los residuos del cultivo son devueltos al territorio.

- Alto: las rotaciones de insumos altos (sin estiércol) tienen insumos de residuos de cultivos significativamente mayores debido a la producción de cultivos con alto rendimiento de residuos, el uso de abonos verdes, cultivos de cobertura, barbechos con vegetación mejorada, uso frecuente de pastos perennes en las rotaciones anuales de cultivos, pero sin la aplicación de abono.

A continuación, se describen en la Tablas 2, la Tabla 3 y la Tabla 4, las categorías de Fc empleados específicamente en cada período y en cada unidad con sus respectivos valores:

**Tabla 2.** Factores de cambio empleados para el cálculo del COS inicial de 1989 asociado a áreas de Pastizales y Pasturas y áreas Agrícolas.

SEP	UA	Desde un sistema Nativo			A un sistema Pastizales y Pasturas -1989				A un sistema Agrícola- 1989			
		Uso del suelo (FLU)	Sistema de manejo (FMG)	In-puts (FI)	Uso del suelo (FLU)	Sistema de manejo (FMG)	Inputs (FI)	COS Ref (Mg C ha-1)	Uso del suelo (FLU)	Siste-ma de manejo (FMG)	Inputs (FI)	COS Ref (Mg C ha-1)
LLP	1	PyP	ND (1)	-	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Medio (1)	86,00	CLP (0,71)	LC (1)	Medio (1)	61,06
	2	PyP	ND (1)	-	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Medio (1)	86,00	CLP (0,71)	LC (1)	Medio (1)	61,06
	3	PyP	ND (1)	-	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Medio (1)	86,00	CLP (0,71)	LC (1)	Medio (1)	61,06
PD	4	PyP	ND (1)	-	PyP (1)	No degradado (1)	-	86,00	CLP (0,71)	LC (1)	Medio (1)	61,06
	5	PyP	ND (1)	-	PyP (1)	No degradado (1)	-	86,00	CLP (0,71)	LC (1)	Medio (1)	61,06
	6	PyP	ND (1)	-	PyP (1)	No degradado (1)	-	86,00	CLP (0,71)	LC (1)	Medio (1)	61,06
S	7	NE	-	-	PyP (1)	-	-	86,00	PyP (1)	-	-	86,00
	8	NE	-	-	PyP (1)	-	-	86,00	PyP (1)	-	-	86,00

Nota: PyP (pastizales y pasturas); NE (ecosistemas nativos); ND (no degradados); - (no aplica); CLP (cultivado a largo plazo); LC (labranza convencional).

Fuente: Elaboración personal

**Tabla 3.** Factores de cambio empleados para el cálculo del COS final (COS2) de 2004 a partir del COS inicial (COS1) de 1989 en sus respectivas modificaciones o continuidades en los usos del suelo.

1989 – 2004										
SEP	UA	Desde un sistema de PyP a PyP			Desde un sistema de PyP a Agrícola			Desde un sistema Agrícola a Agrícola		
		Uso del suelo (FLU)	Sistema de manejo (FMG)	Inputs (FI)	Uso del suelo (FLU)	Sistema de manejo (FMG)	Inputs (FI)	Uso del suelo (FLU)	Sistema de manejo (FMG)	Inputs (FI)
LLP	1	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (30%) (1)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (30%) (1)	Medio (1)
						SD (70%) (1,16)			SD (70%) (1,16)	
	2	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (30%) (1)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (30%) (1)	Medio (1)
						SD (70%) (1,16)			SD (70%) (1,16)	
	3	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (30%) (1)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (30%) (1)	Medio (1)
						SD (70%) (1,16)			SD (70%) (1,16)	
PD	4	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (40%) (1)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	LC (40%) (1)	Alto (1,11)
						SD (60%) (1,16)			SD (60%) (1,16)	
	5	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (40%) (1)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	LC (40%) (1)	Alto (1,11)
						SD (60%) (1,16)			SD (60%) (1,16)	
	6	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (40%) (1)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	LC (40%) (1)	Alto (1,11)
						SD (60%) (1,16)			SD (60%) (1,16)	
S	7	PyP (1)	ND (1)	-	CLP (0,71)	LC (30%) (1)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (30%) (1)	Medio (1)
						SD (70%) (1,16)			SD (70%) (1,16)	
8	PyP (1)	ND (1)	-	CLP (0,71)	LC (30%) (1)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (30%) (1)	Medio (1)	

Notas: PyP (pastizales y pasturas); ND (no degradados);- (no aplica); CLP (cultivado a largo plazo); LC (labranza convencional); SD (siembra directa).

Fuente: Elaboración personal

**Tabla 4.** Factores de cambio empleados para el cálculo del COS final (COS2) de 2019 a partir del COS inicial (COS1) de 2004 en sus respectivas modificaciones o continuidades en los usos del suelo.

2004 – 2019										
SEP	UA	Desde un sistema de PyP a PyP			Desde un sistema de PyP a Agrícola			Desde un sistema Agrícola a Agrícola		
		Uso del suelo (FLU)	Sistema de manejo (FMG)	Inputs (FI)	Uso del suelo (FLU)	Sistema de manejo (FMG)	Inputs (FI)	Uso del suelo (FLU)	Sistema de manejo (FMG)	Inputs (FI)
LLP	1	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	LC (5%) (1)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (5%) (1)	Medio (1)
						SD (95%) (1,16)				
	2	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	LC (5%) (1)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (5%) (1)	Medio (1)
	3	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	SD (95%) (1,16)	Medio (1)	CLP (0,71)	SD (95%) (1,16)	Medio (1)
PD	4	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	LC (10%) (1)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	LC (10%) (1)	Alto (1,11)
						SD (90%) (1,16)				
	5	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	LC (10%) (1)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	LC (10%) (1)	Alto (1,11)
	6	PyP (1)	Mejorado (1,14)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	SD (90%) (1,16)	Alto (1,11)	CLP (0,71)	SD (90%) (1,16)	Alto (1,11)
S	7	PyP (1)	ND (1)	-	CLP (0,71)	LC (5%) (1)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (5%) (1)	Medio (1)
						SD (95%) (1,16)				
	8	PyP (1)	ND (1)	-	CLP (0,71)	LC (5%) (1)	Medio (1)	CLP (0,71)	LC (5%) (1)	Medio (1)
						SD (95%) (1,16)			SD (95%) (1,16)	

Nota: PyP (pastizales y pasturas); ND (no degradados);- (no aplica); CLP (cultivado a largo plazo); LC (labranza convencional); SD (siembra directa).

Fuente: Elaboración personal.

## Resultados

### *Variaciones del stock de COS por hectárea*

En primera instancia, se han analizado las variaciones en el stock de COS por hectárea y tasa de cambio anual por hectárea por período en cada UA. Por un lado, se evidencia en de la Tabla 5 y en la Tabla 6 que la continuidad en el uso de suelo de PyP significa un aumento en el stock de C en el suelo de todas las UA. Por otro lado, aquella superficie destinada a la



agricultura al finalizar el período de análisis presenta una disminución en el *stock* de C. A su vez, si en dicha superficie previamente primaba la actividad ganadera (asociada a áreas de PyP), la modificación en el *stock* es de mayor magnitud que si en el territorio primaba ya la actividad agrícola. Se desprende entonces que la transformación en el uso del suelo representa una merma radical en el *stock* de COS por hectárea.

En las áreas de PyP, la continuidad de la actividad trae aparejado COS iniciales de valores más elevados que en aquellas áreas que evidencian una continuidad en la actividad agrícola o una transformación de la actividad ganadera a agrícola. Por consiguiente, la diferencia en el *stock* de COS resulta positiva y creciente en el tiempo (Tabla 5 y Tabla 6). Por este mismo motivo aquellas áreas que modificaron su uso del suelo de PyP para agricultura la diferencia es menor en el segundo período que en el primero ya que contaban con un *stock* de COS inicial más elevado.

La situación inversa se observa en las áreas de cultivo que se mantienen en el tiempo. En ellas, las diferencias en el *stock* y la tasa de cambio anual son mayores en el caso del primer período de análisis, 1989–2004. A medida que se perpetúa la agricultura en el tiempo, los *stocks* iniciales para el cálculo se reducen considerablemente.

**Tabla 5.** Modificaciones en el *stock* de COS durante el período 1989–2004 por hectárea en tres situaciones de cambios o continuación de usos del suelo.

1989- 2004												
UA	PyP a PyP				PyP a Agrícola				Agrícola a Agrícola			
	COS1 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	COS2 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Diferencia (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Cambio anual (Mg C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	COS1 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	COS2 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Diferencia (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Cambio anual (Mg C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	COS1 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	COS2 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Diferencia (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Cambio anual (Mg C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )
1	98,04	111,77	13,73	0,92	98,04	77,40	-20,64	-1,38	61,06	48,21	-12,85	-0,86
2	98,04	111,77	13,73	0,92	98,04	77,40	-20,64	-1,38	61,06	48,21	-12,85	-0,86
3	98,04	111,77	13,73	0,92	98,04	77,40	-20,64	-1,38	61,06	48,21	-12,85	-0,86
4	86	98,04	12,04	0,80	86,00	74,28	-11,72	-0,78	61,06	52,74	-8,32	-0,55
5	86	98,04	12,04	0,80	86,00	74,28	-11,72	-0,78	61,06	52,74	-8,32	-0,55
6	86	98,04	12,04	0,80	86,00	74,28	-11,72	-0,78	61,06	52,74	-8,32	-0,55
7	86	86,00	0,00	0,00	86,00	67,90	-18,10	-1,21	86,00	67,90	-18,10	-1,21
8	86	86,00	0,00	0,00	86,00	67,90	-18,10	-1,21	86,00	67,90	-18,10	-1,21

Fuente: Elaboración personal.

**Tabla 6.** Modificaciones en el *stock* de COS durante el período 2004–2019 por hectárea en tres situaciones de cambios o continuación de usos del suelo.

2004 – 2019												
UA	PyP a PyP				PyP a Agrícola				Agrícola a Agrícola			
	COS1 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	COS2 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Diferencia (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Cambio anual (Mg C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	COS1 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	COS2 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Diferencia (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Cambio anual (Mg C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	COS1 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	COS2 (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Dife- rencia (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Cambio anual (Mg C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )
1	111,77	141,43	29,66	1,98	111,77	101,03	-10,73	-0,72	48,21	39,43	-8,78	-0,59
2	111,77	141,43	29,66	1,98	111,77	101,03	-10,73	-0,72	48,21	39,43	-8,78	-0,59
3	111,77	141,43	29,66	1,98	111,77	101,03	-10,73	-0,72	48,21	39,43	-8,78	-0,59
4	98,04	124,06	26,02	1,73	98,04	87,63	-10,41	-0,69	47,51	38,59	-8,92	-0,59
5	98,04	124,06	26,02	1,73	98,04	87,63	-10,41	-0,69	47,51	38,59	-8,92	-0,59
6	98,04	124,06	26,02	1,73	98,04	87,63	-10,41	-0,69	47,51	38,59	-8,92	-0,59
7	86,00	98,04	12,04	0,80	86,00	77,74	-8,26	-0,55	67,90	55,54	-12,36	-0,82
8	86,00	98,04	12,04	0,80	86,00	77,74	-8,26	-0,55	67,90	55,54	-12,36	-0,82

Fuente: Elaboración personal.

Las UA correspondientes a las Llanuras periserranas exhiben los valores más elevados en los COS finales (COS2) para las situaciones de continuidad en PyP y transformación de PyP a uso agrícola. Dichas UA se asocian a los sectores con mejores combinaciones de factores ecológicos y productivos para la actividad mixta agrícola ganadera en el primer período que se transforma predominantemente en actividad agrícola en el segundo período. Es en estas mismas áreas en las cuales se han desarrollado los establecimientos de mayores dimensiones y con mayor capacidad de inversión.

### *Variaciones del stock de COS por Unidades Ambientales*

#### *Período 1989–2004*

La Tabla 7 expone, en relación a la continuidad de los usos del suelo de PyP, una merma en el *stock* de COS que no está dado por sus factores de cambio (se observa en la Tabla 6 que el *stock* de COS por hectárea aumenta) sino por la pérdida de superficie destinada a dicho uso.

**Tabla 7.** Modificaciones en el stock de COS durante el período 1989-2004 por UA para áreas de PyP y áreas agrícolas.

1989 – 2004							
A PASTIZALES Y PASTURAS							
UA	ÁREA 1 (ha)	ÁREA 2 (ha)	DIFERENCIA ÁREA (ha)	DIFERENCIA COS (Mg C ha <sup>-1</sup> )	CAMBIO ANUAL (Mg C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	CAMBIO EN COS POR SUPERFICIE AGRÍCOLA ADICIONAL	
						ANUAL (Mg C yr <sup>-1</sup> )	TOTAL PERÍODO (Mg C)
1	13497	7566	-5931	-477627,35	-31841,82	-5427,10	-81406,53
2	113194	78342	-34852	-2341599,12	-156106,61	-31890,97	-478364,61
3	8973	6057	-2916	-202748,68	-13516,58	-2668,26	-40023,85
4	33070	25943	-7127	-300568,28	-20037,89	-5720,61	-85809,08
5	5955	5856	-99	61992,24	4132,82	-79,46	-1191,96
6	60539	57294	-3245	410749,76	27383,32	-2604,65	-39069,80
7	34731	30000	-4731	-406866,00	-27124,40	-	-
8	10727	6610	-4117	-354062,00	-23604,13	-	-
A SISTEMAS DE CULTIVOS							
1	10295	16163	5868	-253399,28	-16893,29	-6133,13	-91996,97
2	95440	129617	34177	-1931844,26	-128789,62	-33958,84	-509382,58
3	8074	10979	2905	-163712,32	-10914,15	-2887,84	-43317,63
4	32613	39614	7001	-353335,91	-23555,73	-4163,01	-62445,21
5	7319	7412	93	-61976,14	-4131,74	-51,84	-777,63
6	43617	46504	2887	-396674,66	-26444,98	-1641,72	-24625,83
7	9104	13733	4629	-248584,88	-16572,33	-5586,06	-83790,83
8	4185	8301	4116	-150258,73	-10017,25	-4966,99	-74504,87

Fuente: Elaboración personal.

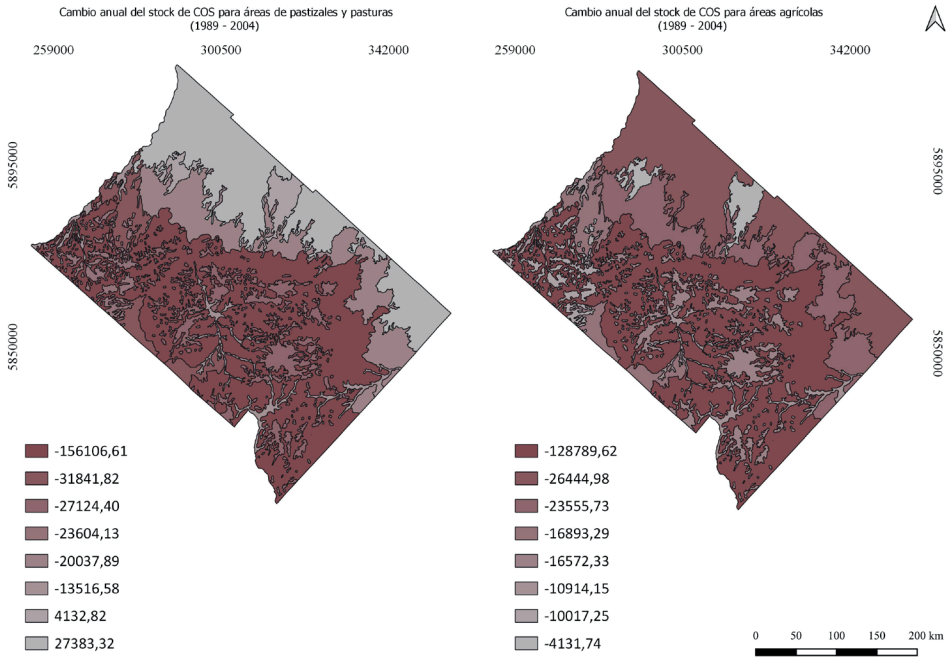
Se evidencia en la Tabla 7 - Figura 3 que las UA con continuidad en el uso del suelo de PyP que reportaron las mayores reducciones en el stock de COS han sido las UA2 y UA1 pertenecientes a las Llanuras periserranas (). Esto ocurre como resultado de la combinación de dos factores: una mayor pérdida de superficie de PyP en dicho SEP y de los valores más elevados de mejora en el *stock* dados por una mejor gestión de dicho territorio (mayores valores de FMG desde el año 1989 que se pierden por hectárea debido a dicha transformación). Por consiguiente, el cambio en la superficie de suelo en dichas UA trae aparejado una mayor pérdida del *stock* de COS.

Luego, las mayores pérdidas se localizan en las UA asociadas a las Serranías (UA7 y UA8) generadas exclusivamente por la disminución en la superficie dedicada a PyP ya que sus stocks de COS se mantienen constantes.

Con respecto al análisis de los resultados obtenidos para el cambio de usos de suelo de áreas de PyP a tierras de cultivo o que mantienen la actividad agrícola como preponderante se observa que la diferencia en el *stock* de COS es mayor en las UA2 (Llanura periserrana), UA6 y UA4 (Planicies distales) (datos evidenciados en Tabla 7 - Figura 3). No obstante, el cambio en el *stock* por superficie agrícola adicional es radical en las UA2 y UA1, de las Llanuras periserranas y las dos UA serranas (UA7 y UA8) ya que son los sistemas ecológicos con mayor diferencia en el COS por hectárea individual.

En las UA de la Planicie distal si bien la superficie de cambio en el uso del suelo es mayor que en las serranías, dichas UA tienen el valor del factor input alto (1,11). Este valor fue establecido a partir de la información brindada por productores del área de estudio en entrevistas semiestructuradas dado que el ingreso de residuos al área es significativamente mayor debido a que en ella conviven la producción de cultivos con alto rendimiento de residuos con el uso de cultivos de cobertura y uso frecuente de pastos perennes en las rotaciones anuales de cultivos, inputs asociados a la actividad ganadera.

**Figura 3.** Cambio anual del *stock* de COS (Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) durante el período 1989-2004 por UA para áreas de PyP y áreas agrícolas.



Fuente: Elaboración personal.

*Período 2004–2019*

Durante el período 2004–2019 las UA2, UA4 y UA6 exhiben los mayores valores de diferencia en el *stock* de COS y las mayores pérdidas de *stock* por superficie agrícola adicional, como se observa en la Tabla 8 y la Figura 4, ambos datos asociados a los avances más significativos del proceso de agriculturización en el partido. Esta situación se reproduce tanto en áreas que continúan siendo de PyP como en aquellas que a finales del período son tierras de cultivo.

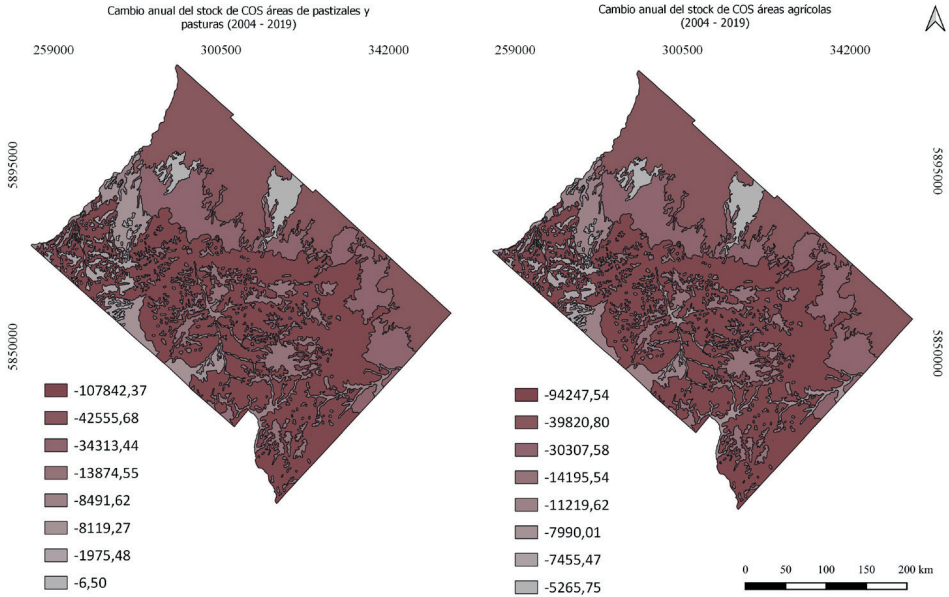
Cabe destacar, como se mencionó con anterioridad, las UA de Llanuras periserranas poseen las mejores condiciones agroecológicas para el desarrollo de la actividad agrícola y en ellas se sitúan las producciones de mayores capitales. Por eso mismo, si bien se reduce el valor del *stock* de COS, la agriculturización avanza notablemente y no encuentra obstáculo en la merma ya que, en general, se reemplaza por insumos externos.

**Tabla 8.** Modificaciones en el *stock* de COS durante el período 2004–2019 por UA para áreas de PyP y áreas agrícolas.

2004 - 2019							
A PASTIZAL Y PASTURAS							
UA	ÁREA 1 (ha)	ÁREA 2 (ha)	DIFERENCIA ÁREA (ha)	DIFERENCIA COS (Mg C ha <sup>-1</sup> )	CAMBIO ANUAL (Mg C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	CAMBIO EN COS POR SUPERFICIE AGRÍCOLA ADICIONAL	
						ANUAL (Mg C yr <sup>-1</sup> )	TOTAL PERÍODO (Mg C)
1	7566	5118	-2448	-121789,05	-8119,27	-4840,93	-72614,02
2	78342	50473	-27869	-1617635,59	-107842,37	-55111,12	-826666,73
3	6057	3886	-2171	-127374,29	-8491,62	-4293,17	-64397,48
4	25943	16353	-9590	-514701,55	-34313,44	-16635,34	-249530,04
5	5856	4627	-1229	-97,47	-6,50	-2131,89	-31978,35
6	57294	40132	-17162	-638335,22	-42555,68	-29770,14	-446552,08
7	30000	24193	-5807	-208118,28	-13874,55	-4661,09	-69916,28
8	6610	5496	-1114	-29632,16	-1975,48	-894,17	-13412,56
A SISTEMAS DE CULTIVOS							
1	10295	18625	8330	-168294,26	-11219,62	-5017,95	-75269,32
2	95440	155334	59894	-1413713,09	-94247,54	-36340,16	-545102,37
3	8074	13167	5093	-119850,20	-7990,01	-3090,54	-46358,10
4	32613	49332	16719	-454613,72	-30307,58	-10271,48	-154072,14
5	7319	8647	1328	-78986,26	-5265,75	-808,71	-12130,65
6	43617	64022	20405	-597312,03	-39820,80	-12691,63	-190374,43
7	9104	18959	9855	-212933,12	-14195,54	-7378,93	-110683,89
8	4185	9416	5231	-111832,02	-7455,47	-4141,84	-62127,58

Fuente: Elaboración personal.

**Figura 4.** Cambio anual del *stock* de COS (Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) durante el período 2004-2019 por UA para áreas de PyP y áreas agrícolas.



Fuente: Elaboración personal.

Por otra parte, la Tabla 9 expone la diferencia entre los valores de *stock* de COS potenciales que podrían obtenerse si continuará la tendencia del uso del suelo y las técnicas iniciales del período versus los valores obtenidos. Los valores se encuentran tanto en Mg C como en porcentajes. Se destaca principalmente, que las áreas que mantienen un uso de suelo dedicado a PyP en ambos períodos presentan diferencias positivas, es decir, el uso del suelo y los factores de cambio asociados favorecen el aumento del *stock* de COS.

En contraposición, aquellas áreas que se mantienen o se transforman hacia un uso del suelo agrícola muestran diferencias negativas en ambos períodos y en todas las UA. Las diferencias más notorias se observan, durante el primer período de análisis, en las UA de las Serranías (-26,66 % en UA7 y UA8). Durante el segundo período, estos valores corresponden a las UA1 y UA4 de la Llanura Periserrana (-23,61 % y -17,19 %, respectivamente) y a la UA 8 de las Serranía (-16,73 %).

**Tabla 9.** Stock de COS potencial y real durante los períodos 1989–2004 y 2004–2019 por clase de uso del suelo y por UA.

	a PyP			a Agrícola		
	1989 - 2004					
UA	Stock potencial (Mg C)	Diferencia (Mg C)	% de diferencia	Stock potencial (Mg C)	Diferencia (Mg C)	% de diferencia
1	741770,64	103847,89	12,28	986912,78	-36400,64	-3,83
2	7680649,68	1075290,96	12,28	7914414,02	-667978,80	-9,22
3	593828,28	83135,96	12,28	670377,74	-56285,42	-9,17
4	2231098,00	312353,72	12,28	2418830,84	-178730,97	-7,98
5	503616,00	70506,24	12,28	452576,72	-59656,72	-15,18
6	4927284,00	689819,76	12,28	2839534,24	-324672,88	-12,91
7	2580000,00	0,00	0,00	1181038,00	-248584,88	-26,66
8	568460,00	0,00	0,00	713886,00	-150258,73	-26,66
	2004 - 2019					
1	572016,34	151813,14	20,97	1095297,20	-209237,18	-23,61
2	5641145,13	1497159,92	20,97	8684183,15	-975032,15	-12,65
3	434321,12	115268,83	20,97	736474,50	-82504,94	-12,62
4	1603248,12	425502,05	20,97	2789635,14	-409258,74	-17,19
5	453631,08	120393,69	20,97	458388,99	-64118,76	-16,26
6	3934541,28	1044227,26	20,97	3462206,57	-132441,91	-3,98
7	2080598,00	291283,72	12,28	1287291,83	-118335,83	-10,12
8	472656,00	66171,84	12,28	639334,35	-91649,09	-16,73

Fuente: Elaboración personal.

### Discusión de Resultados

Los suelos son el mayor reservorio de carbono en los ecosistemas terrestres, aunque, como sostienen *Lefèvre et al. (2017)* los impactos antropogénicos pueden convertirlo en un sumidero neto o una fuente neta de GEI. Para que dicho balance resulte efectivo, como una forma de contrarrestar, al menos en parte, el aumento de las emisiones es pertinente considerar las formas de manejo de la superficie productiva de cada territorio. En este caso, a lo largo del período de análisis los sistemas productivos fueron virando desde un sistema mixto agrícola-ganadero hacia sistemas de agricultura continua y por tanto hacia formas productivas que reducen el COS donde el mencionado balance no se percibe.

Los resultados obtenidos muestran la misma tendencia que el proceso de agriculturización en el área de estudio. Durante el primer período, el territorio comprendido por las UA (2, 7 y 8) que exhibe mayor disminución en el *stock* de COS coincide con aquellas unidades en las cuales el



avance de la agricultura continua se ha dado con una intensidad alta (para UA2 y UA7) y muy alta (para UA8). Con respecto a la UA2, sus paisajes corresponden a lomas extendidas con índices de productividad moderados que no presentan obstáculos para el desarrollo de la actividad agrícola. No obstante, en las UA 7 y UA8, el paisaje serrano con abundantes afloramientos rocosos sí presenta abundantes limitaciones al avance de la agricultura vinculadas a cuerpos edáficos poco evolucionados y de escasa profundidad debido a la existencia de contactos líticos e índices de productividad bajos. Su nivel de agriculturización es resultado de la combinación de varios factores. Por un lado, un paisaje que no había sido intervenido hasta entonces por otra actividad agrícola (actividad minera y forestal dominante). Por otro lado, una distribución geográfica en parches sobre el territorio que genera que la matriz en la que se encuentra inserta la UAE la influya directamente (UAG de niveles altos) (Somoza y Vazquez, 2022).

Los datos evidenciados en las modificaciones del *stock* de C para el segundo período también concuerdan con la tendencia en las transformaciones en los usos del suelo. La actividad agrícola encuentra en las unidades serranas limitaciones físicas debidas a la pendiente y en las unidades periserranas limitaciones de extensión ya que éstas se encontraban cubiertas en su totalidad por cultivos anuales. Por este motivo, la agriculturización, y con ella, la merma en el *stock* de COS continúa avanzando en paisajes de las Planicies distales debido a insumos externos y el confinamiento de la actividad ganadera en producciones intensivas o en las planicies más deprimidas con bajo potencial de escurrimiento superficial situados al noroeste del partido (Somoza y Vazquez, 2022).

A su vez, se evidencia que las áreas de pastizales y pasturas se asocian a aumentos en el *stock* de COS por hectárea. Dichos valores se ven opacados por la reducción de la superficie total dedicada de esta actividad (se reporta, en la mayoría de las UA a excepción de las unidades serranas, un aumento de 12,28 % en el primer período y un 20,97 % en el segundo período).

Contrariamente, las áreas con sistemas de agricultura continua o, cuyo uso del suelo se transforma a agricultura, exhiben una merma en su *stock* de COS por hectárea que se traduce en una reducción del COS a escala de UA (desde un mínimo de -3,98 % a un máximo de -23,61 % en el último período) ocasionada por el avance de la agriculturización en el área de estudio (Somoza y Vazquez, 2022). En esta línea, Álvarez *et al* (2014)

plantean que áreas donde se ha eliminado la rotación agrícola-ganadera y se practica agricultura permanente las diferencias entre aportes de sistemas naturales y cultivados es mayor que en donde se mantiene dicha rotación.

Para revertir las externalidades de la producción agrícola asociadas al C del suelo se requiere la incorporación de labranzas conservacionistas, y/ de cultivos de cobertura. Estos manejos promueven una menor intervención sobre los suelos y permiten que los rastrojos de la cosecha cubran el suelo, aportando materia orgánica y protegiendo el suelo de la erosión eólica e hídrica. Por ejemplo, se han estimado aumentos de los aportes de carbono en suelos cultivados y balances de carbono menos negativos en la actualidad en relación con lo visto hace 30 o 50 años atrás como consecuencia de los mayores aportes de residuos al suelo asociados a incrementos de rendimientos, cultivos de cobertura, mulching, algunos tipos para prácticas agroforestales y pastoreo rotacional (Pabst *et al.*, 2016; Mukumbuta y Hatano, 2020). A su vez, la sinergia entre carbono y nitrógeno permite no solamente incrementar la fertilidad y la productividad de los suelos, sino también aumentar su diversidad biológica, reducir el escurrimiento de agua y la erosión, minimizar la contaminación y actuar como un filtro moderador de los efectos del cambio climático (Viglizzo, 2018)

La cuantificación de las emisiones es fundamental para una serie de propósitos como la planificación nacional para un desarrollo de bajas emisiones, la generación y comercio de bonos de carbono, la certificación de prácticas agrícolas sustentables, etc. (Zomer *et al.*, 2017). Sin embargo, existen aún demasiadas incertidumbres acerca de los métodos de estimación, la escala de análisis, los límites de los sistemas estudiados, además de la alta heterogeneidad espacial característica de las variables asociadas al suelo.

A pesar de ello, trabajos como el presente resultan herramientas útiles para fomentar y avanzar hacia investigaciones de COS mediante metodologías más robustas, por ejemplo derivadas de un Nivel 3 del IPCC. A su vez, resaltan la necesidad de adopción de la gestión de mejora del COS al considerar las diferencias ambientales (ecológicas y productivas) de cada paisaje. En tal sentido, el ordenamiento territorial, como política de gestión y uso del territorio, procura adecuar los usos de la tierra y la ocupación humana del espacio a las aptitudes y restricciones ecológicas y sociales de cada lugar. De este modo no solo se minimizan los conflictos derivados del uso del suelo predominantemente agrícola y los impactos ambientales

negativos, sino que pueden promoverse también nuevas oportunidades de desarrollo. En este sentido, el ordenamiento territorial representa uno de los desafíos contemporáneos en un mundo globalizado, que incluye interacciones complejas entre procesos climatológicos, ambientales, económicos, sociales, políticos e institucionales (Somoza y Vazquez, 2022).

## Conclusiones

La investigación evidenció tanto a escala de hectárea como de UA, en primera instancia, que la continuidad en el uso de suelo de PyP significa un aumento en el *stock* de C en el suelo de todas las UA. En segunda instancia, aquella superficie destinada a la agricultura al finalizar el período de análisis presenta una disminución en el *stock* de C. A su vez, si en dicha superficie primaba la actividad ganadera (asociada a áreas de PyP) la modificación en el *stock* es de mayor magnitud que si en el territorio primaba ya la actividad agrícola.

De esa manera, la intervención antrópica en los suelos va a afectar el capital natural y la provisión de los SE, lo que potencia la provisión de servicios de provisión y deteriorando la provisión de servicios de regulación y culturales. Así, el sector rural enfrenta el desafío de aumentar su producción además de minimizar la emisión de gases efecto invernadero.

El uso que se haga del suelo determinará en gran medida la magnitud de los impactos ambientales asociados. Por este motivo, el análisis de los cambios en el uso del suelo y la situación del COS es fundamental para la adopción de estrategias de gestión ambiental rural adaptadas a las particularidades del territorio.

En el partido de Tandil las UA que reportaron las mayores reducciones en el *stock* de COS por modificaciones en los usos del suelo durante el período 1989-2004 han sido las UA2 y UA 1, ambas pertenecientes a las Llanuras periserranas; y, en UA7 y UA8 del sistema serrano. No obstante, en las áreas en las cuales se observó una continuidad en la actividad ganadera asociada al predominio de PyP, se observó una ganancia en el *stock* de COS por hectárea. Por consiguiente, la disminución en el *stock* en ellas se produjo exclusivamente por la disminución en la superficie dedicada a PyP. Mientras tanto, durante el período 2004–2019 las UA2, UA4 y UA6 (las últimas dos correspondientes a las Planicies distales) exhiben los mayores valores de diferencia en el *stock* de COS.

Es factible el aprovechamiento de avances tecnológicos para mejorar la eficiencia en el uso de insumos en la actividad agrícola, muchos de ellos demandantes de energía fósil y, en última instancia, emisores de CO<sub>2</sub>: cultivos genéticamente mejorados para la obtención de mayores rendimientos y con mayor resistencia a enfermedades y sequía, maquinaria y sistemas de irrigación de bajo costo energético y la aplicación de fertilizantes y plaguicidas mediante agricultura de precisión. De otra manera, es relevante el fomento de la integración de las actividades productivas que se han desacoplado en planteos intensivos e individuales en las últimas tres décadas. Los incentivos para ello podrían partir de la integración de los valores de los ecosistemas y la biodiversidad en la planificación, los procesos de desarrollo y la contabilidad nacional y local.

Se reconoce que el presente trabajo representa los resultados de una ubicación particular y que la magnitud de las diferencias puede variar en distintas ubicaciones debido a las singularidades en el clima, las condiciones del suelo y otras prácticas de manejo y gestión de los paisajes. Sin embargo, se pretende ilustrar el diagnóstico de la situación del *stock* de COS en relación al avance de la agricultura y la intensificación productiva, así como el potencial de las áreas de pastizales y pasturas como una opción de manejo para maximizar el sumidero de carbono y otros SE vinculados.

## Referencias

- Álvarez, R., De Paepe, J. L., Steinbach, H. S., Fernández, P. L. y Álvarez, C. R. (2014). Capítulo 7. Cambios en los niveles de carbono y nitrógeno de los suelos pampeanos producidos por el uso. En: *Suelos, producción agropecuaria y cambio climático: avances en la Argentina*, 97-124x. Pascale Medina, C., Zubillaga, M. y Taboada, M. A. (editores). 1a ed. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- Andrade, F. H., Taboada, M. A., Lema, R. D., Maceira, N. O., Echeverría, H. E., Posse Beaulieu, G. y Mastrangelo, M. E. (2017). *Los desafíos de la agricultura argentina: satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental*. 1a ed. Ediciones INTA.
- Andriulo, A. E., Galantini, J. A., Studdert, G., Sasal, M. C., Wilson, M., Basanta, M., y Restovich, S. (2012). Existencias de carbono orgánico edáfico bajo diferentes usos y tipos de suelo. *XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo and XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata, Argentina.

- Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. (2012). Evolución de la superficie bajo Siembra Directa en Argentina (Campañas 77/78 – 10/11). <http://www.aapresid.org.ar/superficie/>.
- Bisang, R., Anlló, G., y Campi, M. (2008). Una revolución (no tan) silenciosa. Claves para repensar el agro en Argentina. *Desarrollo Económico*, (48), 190/191, 165-207.
- Iermanó, M. J. y Sarandón, S. (2016). Rol de la agrobiodiversidad en sistemas familiares mixtos de agricultura y ganadería pastoril en la Región Pampeana, Argentina. Su importancia para la sustentabilidad de los agroecosistemas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 11(2), 94-103.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis, Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. IGES.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *Agriculture, Forestry and Other Land Use*. (Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S ed.). Publications - IPCC-TFI.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2021). Cambio Climático: Bases Físicas. Informe técnico. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>
- Johnson, J. A., Runge, C. F., Senauer, B., Foley, J. y Polasky, S. (2014). Global agriculture and carbon trade-offs. *Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America*. 111(34), 12342–12347. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1412835111>
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on the global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.

- Lara, B. D., Gandini, M. L., Matteucci, S. D., y Scaramuzzino, R. L. (2019). Cambios en el funcionamiento de los ecosistemas de la región pampeana en los últimos 20 años: indicios del impacto del cambio global. Asociación Argentina de Ecología de Paisajes; *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*; 9; 1; 12-2019; 81-84. Recuperado de: <https://www.asadep.com.ar/l/cambios-en-el-funcionamiento-de-los-ecosistemas-de-l>
- Leavy, S., y Allen, B. (2015). Comercialización de soja en la últimas dos décadas: mercado disponible vs. mercado de futuros. *Ciencias Agronómicas / Universidad Nacional de Rosario* 28 (16) : 45-52. Recuperado de: <http://www.cienciasagronomicas.unr.edu.ar/journal/index.php/agronom/article/view/173/186>
- Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V., y Wiese, L. (2017). *Soil organic carbon: the hidden potential*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Maceira, N. O., Martiarena, D. A., Rizzalli, R. H., Jaimes, F., Castaño, J. A., Quiñones Martorello, A. y Thougnon-Islas, A. J. (2020). Unidad demostrativa agroecológica Balcarce (UDAB). *Fortaleciendo capacidades para una agricultura sostenible. En: Aportes para el ordenamiento territorial de Argentina: estudios de casos y experiencias en marcha*, 208-215. Giobellina, B., Murillo, N. y Celiz, Y. (Compiladoras). 1a ed. Ediciones INTA.
- Modernel, P., Rossing, W. A., Corbeels, M., Dogliotti, S., Picasso, V., y Tiftonell, P. (2016). Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. *Environmental Research Letters*, 11(11), 113002.
- Mukumbuta, I. y Hatano, R. (2020) Do tillage and conversion of grassland to cropland always deplete soil organic carbon? *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(1), 76-83, DOI: [10.1080/00380768.2019.1676135](https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1676135)
- Newell, P., Pattberg, P., y Schroeder, H. (2012). Multiactor governance and the environment. *Annual review of environment and resources*, 365–387. Vol. 37. Doi: [10.1146/annurev-environ-020911-094659](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020911-094659)
- Pabst, H., F. Gerschlauser, R. Kiese, y Y. Kuzyakov. (2016). Land Use and Precipitation Affect Organic and Microbial Carbon Stocks and the Specific Metabolic Quotient in Soils of Eleven Ecosystems of Mt.

- Kilimanjaro, Tanzania. *Land Degradation and Development*, 27 (3), 592–602. Doi: [10.1002/ldr.2406](https://doi.org/10.1002/ldr.2406).
- Papagno, S. G. y Vitale, J. (2019). IX. La dimensión de futuro en el desarrollo territorial rural frente a los desafíos de la Agenda 2030. En: Cuervo, L. M. y Délano, M del P (Eds.) *Planificación multiescalar: ordenamiento, prospectiva territorial y liderazgos públicos*, 169-182. Volumen III. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., y Brevik, E. C. (2018). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 7-13.
- Pengue, W. (2014). Cambios y escenarios en la agricultura argentina del Siglo XXI. Buenos Aires: GEPAMA, 49 p.
- Pengue, W. y Rodríguez, A. (2018). Las Transformaciones Urbano-Rurales en la Argentina: conflictos, consecuencias y alternativas en los albores del milenio. En: Pengue, W. y Rodríguez, A. (Editores) *Agroecología, Ambiente y Salud: Escudos Verdes Productivos y Pueblos Sustentables*, 13-31. Fundación Heinrich Böll, Oficina Regional para Cono Sur.
- Pries, C. E. H., Castanha, C., Porras, R. C., y Torn, M. S. (2017). The whole-soil carbon flux in response to warming. *Science*, 355(6332), 1420-1423.
- Powelson, D. S., Gregory, P. J., Whalley, W. R., Quinton, J. N., Hopkins, D. W., Whitmore, A. P. y Goulding, K. W. (2011). Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food policy*, 36 (1), S72-S87. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.11.025>
- Sánchez, R. y Zulaica, L. (2002). Ordenamiento morfoedáfico de los sistemas ecológico-paisajísticos del Partido de Tandil (Provincia de Buenos Aires). *Congreso Nacional de Geografía. 63 Semana de Geografía*, 63, 387-402. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=15427544>.
- Sarandón, S. J. (2020). Agrobiodiversidad, su rol en una agricultura sustentable. En: *Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable*, 13-36. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Doi: <https://doi.org/10.35537/10915/109141>.

- Satorre, E. H. y Slafer, G. A. (1999). *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. Food Products Press New York, USA: 503.
- Sequeira, N., Vazquez, P., Sacido, M. (2021). Efectos de la agriculturización sobre la extracción de nutrientes en la Región Pampeana Argentina. el caso del N y P en el partido de Benito Juárez. *Revista Geoambiente On-line*, 40, 1 -22.
- Somoza, A., Vazquez, P. S y Zulaica, L. (2019). Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas para la gestión ambiental rural. *Revista de Investigaciones Agropecuarias RIA*, 44(3), 398-423.
- Somoza, A., Vazquez, P. S, Zulaica, L. y Sacido, M. (2020). Dinámica espacio-temporal de usos del suelo en sistemas ecológicos de la región pampeana austral, Argentina. *Agriculturización en el partido de Tandil. M+ A, revista electrónica de medioambiente*, 21(1), 82-101.
- Somoza, A., Vazquez, P. S, Zulaica, L. y Sacido, M. (2021). Zonificación agroecológica del partido de Tandil (Argentina): aportes para gestión de servicios ecosistémicos. *Cadernos de Geografía*, (43), 107-126. Doi: [https://dx.doi.org/10.14195/0871-1623\\_43\\_8](https://dx.doi.org/10.14195/0871-1623_43_8)
- Somoza, A. y Vazquez, P. (2022). Adopción del agronegocio y estrategias para el ordenamiento ambiental territorial: Unidades de agriculturización y unidades ambientales en el partido de Tandil, Región Pampeana Argentina. *Revista Ciencias Agronómicas*, (39), e018-e018. DOI: <https://doi.org/10.35305/agro39.e018>.
- Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henkaarchi, N., Jenkins, M. y Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80-99.
- Vazquez, P. y Zulaica L. (2011). Cambios en el uso de la tierra del Partido de Tandil y principales impactos ambientales. *Revista Párrafos Geográficos*, 10, (2), 242-267.
- Vazquez, P. y Zulaica, L. (2012). Transformaciones agroproductivas e indicadores de sustentabilidad en el Partido de Tandil (Provincia de Buenos Aires) durante los periodos 1988-2002 y 2002-2010. *Revista CAMPO-TERRITÓRIO: revista de Geografía Agraria*, 7, (13), 5-39.
- Vazquez, P.; Sacido, M. y Zulaica, L. (2012a). Transformaciones agroproductivas e indicadores de sustentabilidad en la Cuenca del río Quequén Grande (Provincia de Buenos Aires, Argentina) durante los



- periodos 1988-1998 y 1998-2008. *Revista Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 50, 88-119.
- Vazquez, P.; Sacido, M. y Zulaica, L. (2012b). Técnicas de análisis para el ordenamiento territorial de cuencas agropecuarias: Aplicaciones en la Pampa Austral, Argentina. *Scripta Nova*, XVI, 1–19, <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-392.htm>.
- Vazquez, P., Zulaica, L. y Requesens, E. (2016). Análisis ambiental de los cambios en el uso de las tierras en el partido de Azul (Centro Bonaerense). *Revista Agriscientia*, 33, (1), 1-12. <http://www.agriscientia.unc.edu.ar/volumenes/>.
- Vazquez, P., Zulaica, L. y Sequeira, N. (2017). Tasas de cambio de uso del suelo y agriculturización en el partido de Lobería, Argentina. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNR*, 17, 39, 28-36.
- Vazquez, P., Zulaica, L.; Sequeira N. y Daga, D. (2019a). Expansión agrícola y potenciales implicancias sobre los servicios ecosistémicos en los paisajes del partido de Necochea, Buenos Aires, Argentina. *Acta Geográfica*, 13,(31), 171- 196.
- Vazquez P., Zulaica, L. y Somoza, A. (2019b). Agriculturización, impactos ambientales y zonificación ecológica en el partido de Tres arroyos (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Período 2002-2017. *Geografía e Ordenamento do Território*, 18, 209-232.
- Vazquez, P., Zulaica, L. y Somoza, A. (2019c). Tasas de cambio de uso del suelo y agriculturización en el partido de Tandil, Argentina. *Geoambiente on-line*. 34. 66-86
- Vazquez, P., Sacido, M. y Ruiz Gonzales, D. (2020). Riesgos Ambientales. Partido de Tres Arroyos. Región Pampeana Austral. Argentina. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, 1(4), 49-66.
- Viglizzo, E. F., Frank, F. C., Carreño, L.V., Jobbagys, E.G., Pereyra, E., Clatt, J., Pincen, D. y Ricard, F. (2011). Ecological and environmental footprints of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*, 17, 959-973.
- Viglizzo, E. F. (2018). Cambio climático y seguridad alimentaria global: Oportunidades y amenazas para el sector rural argentino. *Anales de la ANAV*, 69, 1-32.

- Villarino, S. H., Studdert, G. A., Laterra, P., y Cendoya, M. G. (2014). Agricultural impact on soil organic carbon content: Testing the IPCC carbon accounting method for evaluations at county scale. *Agriculture, ecosystems & environment*, 185, 118-132.
- Zomer, R. J., Bossio, D. A., Sommer, R. y Verchot, L. V. (2017). Global sequestration potential of increased organic carbon in cropland soils. *Scientific Reports*, 7(1), 1-8. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15794-8>

## NORMAS DE PUBLICACIÓN

### PUBLICATION GUIDELINES

#### DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

##### Admisión

Se admiten documentos originales e inéditos, relacionados con temáticas y problemas geográficos de índole teórico-metodológica o estudios de caso.

La persona autora debe remitir su artículo preferiblemente por la plataforma de OJS en el enlace <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica> debe ingresar al sistema si está registrado, sino debe registrarse; si tiene dificultades, también lo puede enviar a la dirección electrónica de la Revista Geográfica de América Central [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr), o a la MSc. Lilliam Quirós Arias ([lquiros@una.cr](mailto:lquiros@una.cr))

El autor o autora que no tenga código de investigador ORCID le recomendamos que se registre preferiblemente con el correo institucional en el enlace <https://orcid.org/>, antes de ingresar o subir el manuscrito al OJS, ya que al ingresar el artículo en la plataforma de OJS existe el espacio para situar dicho código. El código o identificador digital persistente a cada investigador, ORCID permite la atribución correcta e inequívoca de sus actividades de investigación, favoreciendo la visibilidad y el impacto de sus publicaciones. En el siguiente enlace encuentras una guía para registrarse <http://orcid.org/register>

Junto con el documento que será sometido a revisión, se debe entregar la **declaración Jurada** manifestando expresamente que el documento es inédito y original, y que no está en proceso de revisión en otra revista.

Después de su evaluación, y en caso de ser aceptado, el autor o autora deberá entregar el documento final con las correcciones pertinentes.

El tiempo transcurrido entre la recepción del artículo y la aceptación para la publicación del mismo es de aproximadamente seis meses.

La revista vela por el plagio y para ello utiliza la herramienta Turnitin que contribuye en la detección de plagio mediante la ubicación de similitudes. Una vez recibido el artículo se ingresa al programa Turnitin para detectar el porcentaje de similitud y si éste es mayor al 25% el mismo será enviado al autor/a para su verificación. Una vez recibido el descargo por parte del autor y de comprobarse el plagio el artículo será rechazado.

## NORMAS DE PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS

Los documentos deben ser enviados en español, inglés o portugués, con un resumen no mayor de 10 líneas, en el idioma vernáculo y en inglés, con un máximo de 5 palabras claves en ambos idiomas. Un tamaño máximo de 25 páginas, incluyendo las figuras y las referencias. Para los artículos en portugués se debe incluir el título, resumen y palabras claves en español e inglés.

El texto debe estar en formato Word, escrito con letra Times New Roman 12, a espacio y medio, con 2,5 cm en los márgenes superior e inferior, y 3 cm en los márgenes derecho e izquierdo, en hoja tamaño carta.

La estructura del manuscrito debe incluir los siguientes elementos: Introducción, Área de estudio, Características Generales, Marco teórico-conceptual, Marco metodológico, Resultados, Discusión de Resultados y Referencias Bibliográficas.

Las ilustraciones (mapas, gráficos, fotos, etc.), las tablas y los cuadros (estadísticos) deben ser enumerados según su orden de aparición en el texto (numeración arábiga); con formatos para una impresión de buena resolución. En el caso de los mapas, la impresión puede ser a color, en formato JPG o Tiff, wmf, bmp. Todas las ilustraciones deben ubicarse en el texto y adjuntarse en archivos separados.

Las referencias deben estar citadas en el texto, ordenarse alfabéticamente, y seguir el formato internacional de la American Psychology Association (APA séptima edición).

## ORDEN DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO

Título: breve, claro y que corresponda con el contenido. En letras mayúsculas, centrado y en negrita. En el idioma vernáculo, español y en inglés.

Nombre y apellidos del autor o los autores: justificados hacia la derecha.

Grado académico, lugar, dirección de trabajo y dirección electrónica: en una nota al pie de página y con letra Times New Roman 10.

Resumen en el idioma vernáculo, español y en inglés: máximo 10 líneas, enunciando los aspectos principales del texto. Con letra Times New Roman 10.

Palabras claves en el idioma vernáculo, español y en inglés: máximo 5 palabras. Con letra Times New Roman 10.

Texto: El texto inicia con la introducción, diferenciando la jerarquía de títulos y subtítulos utilizando tamaños de letra y uso de la negrita. Con letra Times New Roman y espaciado doble.

Referencias: debe estar citada en el texto y no en notas al pie de página.

## NOTAS Y CITAS

En lo posible deben reducirse a lo indispensable.

Las notas al pie de página deben tener un fin meramente aclaratorio o explicativo, o bien, aportar información sobre lecturas adicionales para el lector potencial del texto.

En el texto, las citas textuales llevarán entre paréntesis el apellido del autor, año y número de página.

Las citas textuales inferiores a 40 palabras deben ir incluidas en el texto entre comillas.

Las citas textuales superiores a 40 palabras deben ir en un bloque independiente, sin comillas y con sangría izquierda de 2,54 cm.

## REFERENCIAS

Dispuesta en orden alfabético, según el apellido del autor. Siguiendo las normas APA sexta edición traducida al español.

## Ejemplos

### **Libro:**

Gómez, D. M. & Barredo, C. J. I. (2004). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España: RAMA.

### **Capítulo de un libro:**

Santos, M. (2000). Por una geografía de las redes. En: S.A., Salazar (Ed.), *La Naturaleza del Espacio*. (pp. 221-234). Barcelona, España: Editorial Ariel.

### **Revista:**

Rivera-Solís, J.A (2021). Depósitos eólicos del trópico húmedo: caso de la franja marino-costera del este de la Península de Azuero, Panamá. *Revista Geográfica de América Central*, 66(1), 99-125.

### **Tesis:**

Romero, M. (2004). *Análisis de los cambios en la estructura del paisaje de l'alt Empordá, 1951-2001*. (Tesis doctoral). Escuela de Geografía, Universidad de Girona. España.

### **Página electrónica:**

Mascaraque, S. A. (2003). *Índices de causalidad y riesgo de incendios aplicados a espacios naturales protegidos de la comunidad de Madrid*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: [http://oa.upm.es/911/1/PFC\\_Riesgos\\_Incendios\\_Forestales.pdf](http://oa.upm.es/911/1/PFC_Riesgos_Incendios_Forestales.pdf).

### **Periódico:**

Loaiza, N. V. (24 de enero, 2008). Incendios forestales provocados arrasaron 32.000 hectáreas. *La Nación* (5A). San José, Costa Rica.

## TABLAS

Las tablas deben estar enunciados explícitamente en el documento y ubicados dentro del texto, con números arábigos.

## **FIGURAS (gráficos, diagramas, fotografías, etc.).**

Deben estar enunciadas explícitamente en el documento y ubicadas dentro del texto.

El tamaño de las figuras podrá ser de hasta 13 cm de ancho por 18 cm de largo, con el objeto de ajustarse al formato de la revista.

Todas deben llevar numeración, título, leyenda y fuente. Deben estar debidamente referidas en el texto.

## **MATERIAL CARTOGRÁFICOS: (mapas y planos)**

Todos deben llevar numeración, título y fuente. Deben estar debidamente referidos en el texto.

### **Indicaciones para diseño cartográfico**

Dado que el ámbito de la Revista Geográfica de América Central incluye el diseño cartográfico como una de las principales formas de representación de las Ciencias Geográficas, para someter los artículos a evaluación la cartografía debe incluir los siguientes aspectos:

#### *Aspectos de forma y contenido*

- Título
- Simbología
- Escala gráfica
- Coordenadas geográficas
- Diagrama de ubicación
- Flecha de norte
- Créditos y fechas

#### *Aspectos de calidad*

- Representación acorde a la temática estudiada
- Visualización y organización interna del mapa acorde a la forma y tamaño del área representada
- Resolución gráfica entre media a alta resolución

### *Formato de envío de la cartografía*

- Envío de la cartografía en formato JPEG, TIF, PNG Y GIF con menos de 1mb,
- El tamaño de la imagen no debe exceder de 650 pixeles de ancho y alto
- Envío de la cartografía incluida en el texto y también en archivos superados/individuales.
- La presentación cartográfica, tablas, figuras y otros elementos visuales deben referenciarse en el texto.

### **Referencia:**

Apellidos, Nombre (autor/es, iniciales o nombre/es completo de los diferentes autores separados por ;) o nombre de la entidad responsable. Año de publicación, Título (en *italica*) [Designación del tipo de material por ejemplo: plano]: subtítulo (opcional y en *cursiva*). Escala numérica. Edición. Lugar de publicación.

#### Ejemplo:

Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Costa Rica).(1981).*Istarú*. [Hoja topográfica]. Escala 1:50,000. San José, Edición 2.

### **Cita de un archivo vectorial:**

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) (2006). Áreas de conservación de Costa Rica.

### **Cita de un archivo raster:**

Programa Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (*REDD/CCAD-GIZ*) (2012). Imagen satelital RapidEye.

### **Cita de un servicio *Open Geospatial Consortium (OGC)*:**

Programa de Regularización del Catastro y Registro, Registro Nacional (2005). Mosaico de Ortofotos en escala 1:5000.



## DISTRIBUCIÓN

Una vez publicada la revista, los autores recibirán 1 ejemplar. Adicionalmente una vez que la Editorial de la Universidad Nacional aprueba la publicación ésta será dispuesta en formato digital en la página de la revista, en la cual los autores y otros usuarios pueden acceder a esta publicación.

### **Revista Geográfica de América Central**

Correo electrónico: [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr)

<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>

<http://www.revista.geo.una.ac.cr>

Versión preliminar

## PUBLICATION RULES

### GUIDELINES FOR AUTHORS

#### Checklist for submission preparation

As part of the submission process, authors are obliged to verify that their submission meet all the criteria disclosed below. Those submissions that do not comply with these guidelines will be returned to the authors.

- The document has not been previously published, nor has it been submitted to another journal (or an explanation has been provided in Comments to the editor).
- The file sent is in Open Office, Microsoft Word, RTF or Word-Perfect format.
- Web addresses have been properly referenced when required.
- The text is set to 1.5 line spacing; 12-point font size; italics are used instead of underlining (except URLs); and all illustrations, figures and tables are kept inside the text in the corresponding place and not at the end of the text.
- The text complies with the bibliographic and style requirements indicated in *Author Guidelines*, which can be found in the *About the Journal* section.
- If submitting to a peer-reviewed section of the journal, make sure the instructions disclosed in *Ensuring a Blind Review* have been followed.

#### Submittals

Original and unpublished works related to thematic and geographic issues of theoretical-methodological nature or case studies are accepted.

Article submission is preferably via the OJS platform accessed following the link <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>, author pre-registration is required. Alternatively, in case of difficulties, authors can submit their works via e-mail at REVISTA GEOGRAFICA

DE AMÉRICA CENTRAL's electronic mail [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr) or directly contacting MSc. Lilliam Quirós Arias ([lquiros@una.cr](mailto:lquiros@una.cr))

When uploading the manuscript to the OJS platform authors must enter their ORCID researcher code. Authors not having an ORCID researcher code are urged to register, preferably using their institutional e-mail, following the link <https://orcid.org/>. A registration how-to-guide is found at <http://poliscience.blogs.upv.es/como-se-obtiene-un-codigo-orcid/>. The ORCID code is a digital identifier that allows ORCID to correctly and unequivocally link each researcher with their research activities thus favoring the visibility and impact index of their publications. Besides the manuscript submitted for review, the author must also submit a **sworn statement** expressly stating that the document has never been published, is of original nature, and is not under review by another journal. After its evaluation and, in case it is accepted, the author must submit the final document including the required corrections.

The time elapsed between the reception of the manuscript and the acceptance for its publication is approximately six months.

The journal does not tolerate plagiarism and uses Turnitin software to screen and detect text similarities. Upon receiving the article, it is screened with Turnitin software to detect the percentage similarity and if greater than 25% it will be returned to the author for verification. Once the author has received the disclaimer and if plagiarism is confirmed the article will be rejected.

## Rules for submitting articles

The documents must be submitted in Spanish, English or Portuguese, with an abstract of no more than 10 lines, in its vernacular language and in English, indicating a maximum of 5 key words in both languages. A maximum document size of 25 pages, including figures and bibliographical references will be accepted. For articles in Portuguese the title, summary and keywords must be included in both Spanish and English.

The text must be in Word format, written in Times New Roman size 12 font, 1.5 spacing, 2.5 cm upper and lower margins and 3 cm right and left margins, in letter-sized pages.

Include the following elements: Introduction, Study Area, General Characteristics, Theoretical-conceptual Framework, Methodological Framework, Results, Discussion of Results and Bibliographic References.

The illustrations (maps, graphics, photos, etc.), tables (statistics) must be listed according to their order of appearance in the text (Arabic numerals); and adequate formats to provide good print resolution. In the case of maps, printing can be in color, in JPG or Tiff format, wmf or bmp. All illustrations must be placed within the text and also attached as separate files.

The bibliographical references must be cited in the text, ordered alphabetically, and must follow the international format of the American Psychology Association (APA sixth edition).

### **Order of presentation of the work**

Title: Brief, clear and corresponding with the documents content. In bold capital letters, centered. In the vernacular language, Spanish and English.

Name and surname of the author(s): justified to the right.

Academic degree, place, work address and electronic address: in a footnote and in Times New Roman 10 font.

Summary in the vernacular language, Spanish and English: maximum 10 lines, stating the main aspects of the text. In Times New Roman 10 font.

Keywords in the vernacular language, Spanish and English: maximum 5 words. In Times New Roman 10 font.

Text: The text begins with the Introduction (Introduction), differentiating the hierarchy of titles and subtitles using letter sizes and use bold highlighting. In Times New Roman font and double spacing.

Bibliographical references: must be cited in the text and not in footnotes.

### **Notes and citations**

Where possible, notes and citations should be reduced to what is indispensable. Footnotes should have a merely clarifying or explanatory

purpose or provide information on additional readings. Textual citations will include the author's surname, year and page number in parentheses.

Textual citations less than 40 words should be included in the text in quotation marks. Textual citations of more than 40 words should be in a separate block, without quotation marks and with a left indent of 2.54 cm.

## References

Arranged in alphabetical order, according to the author's surname, following rules outlined in the Spanish-translated sixth edition of APA.

### Examples

#### Book:

Gómez, D. M. and Barredo, C. J. I. (2004). *Sistemas de información geográfica y evaluación multi-criterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España: RAMA.

#### Chapter of a book:

Santos, M. (2000). "Por una geografía de las redes". *La Naturaleza del Espacio*. Barcelona, España: Editorial Ariel. (pp. 221-234)

#### Magazine:

Murai, S. (1999). *Libro de trabajo SIG. Volumen 1: Curso básico*. En: *Revista SELPER*, 15 (1), 8-66.

#### Thesis:

Romero, M. (2004). *Análisis de los cambios en la estructura del paisaje de l'alt Empordá, 1951-2001*. Tesis doctoral. Escuela de Geografía, Universidad de Girona. España. (pp.325)

#### Electronic page:

Mascaraque, S. A. (2003). *Índices de causalidad y riesgo de incendios aplicados a espacios naturales protegidos de la comunidad de Madrid*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado: [http://oa.upm.es/911/1/PFC\\_Riesgos\\_Incendios\\_Forestales.pdf](http://oa.upm.es/911/1/PFC_Riesgos_Incendios_Forestales.pdf).

### **Newspaper:**

Loaiza, N. V. (January 24, 2008). Incendios forestales provocados arrasaron 32.000 hectáreas. La Nación. San José, Costa Rica. (p.5)

### **Tables**

Tables must be explicitly stated in the document and located within the text using Arabic numerals.

### **Figures (graphics, diagrams, photographs, etc.).**

The size of figures can be up to 13 cm wide by 18 cm long, in order to adjust to the journal's format. All figures must have numbering, title, legend and source. They must be duly referenced in the text.

### **Cartographic material: (maps and plans)**

All maps and plans must be assigned a number, title and source. They must be duly referenced in the text.

### **Indications for cartographic designs**

Given that the scope of the REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL includes cartographic design as one of the main forms of representing geographical data, the cartography of submitted articles must include the following aspects:

#### *Aspects of form and content*

- Title
- Symbology
- Graphic scale
- Geographical coordinates
- Location diagram
- North arrow
- Credits and dates

### *Aspects of quality*

- Representation according to the studied-developed theme
- Visualization and internal organization of the map according to the shape and size of the represented area
- Graphic resolution must be medium-high

### *Submission format of the cartography*

- Submitted in JPEG, TIF, PNG or GIF format and file size less than 1MB
- The size of the image must not exceed 650 pixels wide and high
- The cartography must be included within the submitted document as well as in separate individual files.
- Cartographic presentations, tables, figures and all other visual elements must be referenced in the text.

### **Reference:**

Surname, Name (author(s), initials or full name(s) of the different authors separated by ;) or name of the responsible entity. Year of publication:, Title (in italics) [Designation of type of material, for example: map]: subtitle (optional and in italics). Numerical scale. Edition. Place of publication: year.

### Example:

Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Costa Rica). *Istarú*. [Hoja topográfica]. Escala 1:50,000. San José, Edición 2, 1981.

### **Distribution**

Once the journal has been published, the authors will receive 1 copy. Additionally, once the Editorial de la Universidad Nacional (EUNA) approves the publication, it will be available in digital format on the journal's page from which the authors and other users can access the publication.

**Revista Geográfica de América Central**

Correo electrónico: [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr)

<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>

<http://www.revista.geo.una.ac.cr>

Versión preliminar



## NORMAS DE PUBLICACIÓN

### ADMISSÃO

São admitidos documentos originais e inéditos relacionados com temas e problemas geográficos de natureza teórico-metodológica ou estudos de caso.

O autor deverá submeter seu artigo preferencialmente pela plataforma OJS no link <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/gegrafica>, devendo entrar no sistema se estiver cadastrado, caso contrário deverá se cadastrar; se você tiver dificuldades, você também poderá enviá-lo para o endereço eletrônico da Revista Geográfica de América Central [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr), ou para o MSc. Lilliam Quirós Arias ([lquiros@una.cr](mailto:lquiros@una.cr)).

Ao autor ou autor que não possui código de pesquisador ORCID, recomendamos que se registre preferencialmente no e-mail institucional no link <https://orcid.org/>, antes de entrar ou fazer o upload do manuscrito para o OJS, desde a entrada do artigo na plataforma OJS há espaço para colocar esse código. O código ou identificador digital persistente de cada investigador, ORCID, permite a atribuição correta e inequívoca das suas atividades de investigação, favorecendo a visibilidade e o impacto das suas publicações. No link a seguir você encontrará um guia para se registrar <http://orcid.org/register>

Juntamente com o documento que será submetido à revisão, deverá ser apresentada **declaração juramentada** declarando expressamente que o documento é inédito e original, e que não está em processo de revisão em outra revista. Após sua avaliação, e caso seja aceito, o autor deverá entregar o documento final com as devidas correções.

O tempo decorrido entre o recebimento do artigo e a aceitação para publicação é de aproximadamente seis meses.

A revista zela pelo plágio e para isso utiliza a ferramenta Turnitin que contribui para a detecção de plágio localizando semelhanças. Uma vez recebido o artigo, ele é inserido no programa Turnitin para detectar o percentual de similaridade e se for superior a 25%, será enviado ao autor para verificação. Uma vez recebido o aviso pelo autor e verificado o plágio, o artigo será rejeitado.

## REGRAS DE APRESENTAÇÃO DO ARTIGO

Os documentos devem ser apresentados em espanhol, inglês ou português, com um resumo de no máximo 10 linhas, no idioma vernacular e em inglês, com no máximo 5 palavras-chave em ambos os idiomas. Tamanho máximo de 25 páginas, incluindo figuras e referências. Para artigos em português, deve-se incluir título, resumo e palavras-chave em espanhol e inglês.

O texto deve estar em formato Word, escrito em fonte Times New Roman 12, espaçamento 1,5, com 2,5 cm nas margens superior e inferior e 3 cm nas margens direita e esquerda, em papel tamanho carta.

A estrutura do manuscrito deve incluir os seguintes elementos: Introdução, Área de Estudo, Características Gerais, Referencial Teórico-Conceitual, Referencial Metodológico, Resultados, Discussão de Resultados e Referências Bibliográficas.

Ilustrações (mapas, gráficos, fotos, etc.), tabelas e quadros (estatísticas) devem ser numerados de acordo com sua ordem de aparecimento no texto (algarismos arábicos); formatado para impressão de boa resolução. No caso de mapas, a impressão pode ser colorida, em formato JPG ou TIFF, WMF, BMP. Todas as ilustrações devem estar localizadas no texto e anexadas em arquivos separados.

As referências devem ser citadas no texto, estar em ordem alfabética e seguir o formato internacional da American Psychology Association (APA sexta edição).

## ORDEM DE APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Título: breve, claro e que corresponda ao conteúdo. Em maiúsculas, centralizado e em negrito. No vernáculo, espanhol e inglês.

Nome e sobrenome(s) do(s) autor(es): justificado à direita.

Grau acadêmico, local, endereço de trabalho e endereço eletrônico: em nota de rodapé e com fonte Times New Roman 10.

Resumo no vernáculo, espanhol e inglês: máximo de 10 linhas, informando os principais aspectos do texto. Com fonte Times New Roman 10.

Palavras-chave na língua vernácula, espanhol e inglês: máximo de 5 palavras. Com fonte Times New Roman 10.

**Texto:** O texto inicia-se com a introdução, diferenciando a hierarquia de títulos e subtítulos utilizando tamanhos de fonte e uso de negrito. Em fonte Times New Roman e espaçamento duplo.

**Referências:** devem ser citadas no texto e não em notas de rodapé.

## NOTAS E CITAÇÕES

Na medida do possível, devem ser reduzidos ao essencial.

As notas de rodapé devem ter finalidade meramente explicativa ou explicativa, ou fornecer informações sobre leitura adicional para o potencial leitor do texto.

No texto, as citações textuais incluirão o sobrenome do autor, ano e número da página entre parênteses.

Citações literais com menos de 40 palavras devem ser incluídas no texto entre aspas.

Citações literais com mais de 40 palavras devem ser em bloco separado, sem aspas e com recuo à esquerda de 2,54 cm.

## REFERÊNCIAS

Organizado em ordem alfabética, de acordo com o sobrenome do autor. Seguindo as normas da APA sexta edição traduzida para o espanhol.

### Exemplos

**Livro:**

**Capítulo de um livro:**

**Revista:**

**Tese:**

**Página eletrônica:**

**Jornal:**

## TABELAS

As tabelas devem ser indicadas explicitamente no documento e localizadas dentro do texto, com algarismos arábicos.

## FIGURAS (gráficos, diagramas, fotografias, etc.).

Eles devem ser explicitamente declarados no documento e localizados dentro do texto.

O tamanho das figuras pode ter até 13 cm de largura por 18 cm de comprimento, para se adequar ao formato da revista.

Todos devem ter numeração, título, legenda e fonte. Devem ser devidamente referenciados no texto.

## MATERIAL CARTOGRÁFICO: (mapas e plantas)

Todos devem ter numeração, título e fonte. Devem ser devidamente referenciados no texto.

## Indicações para o desenho cartográfico

Dado que o escopo da Revista Geográfica de América Central inclui o desenho cartográfico como uma das principais formas de representação das Ciências Geográficas, para submeter artigos para avaliação, a cartografia deve incluir os seguintes aspectos:

### *Aspectos de forma e conteúdo*

- Título
- Simbologia
- Escala gráfica
- Coordenadas geográficas
- Diagrama de localização
- Seta Norte
- Créditos e datas

### *Aspectos de qualidade*

- Representação de acordo com o assunto estudado
- Visualização e organização interna do mapa de acordo com a forma e tamanho da área representada
- Resolução gráfica de média a alta resolução

### *Formato de envio de cartografia*

- Envio da cartografia em formato JPEG, TIFF, PNG e GIF com menos de 1 MB.
- O tamanho da imagem não deve exceder 650 pixels de largura e altura.
- Envio da cartografia incluída no texto e também em arquivos ultrapassados/individuais.
- A apresentação cartográfica, tabelas, figuras e outros elementos visuais devem ser referenciados no texto.

### **Referência:**

Sobrenome, Nome (autor/es, iniciais ou nome(s) completo(s) dos diferentes autores separados por ;) ou nome da entidade responsável. Ano de publicação, Título (em itálico) [Designação do tipo de material, por exemplo, plano]: subtítulo (opcional e em itálico). Escala numérica. Edição. Local de publicação.

### Exemplo:

Instituto Geográfico Nacional, Ministério de Obras Públicas e Transportes (Costa Rica). (1981). Istaru. [Folha topográfica]. Escala 1:50.000. São José, edição 2.

### **Citação de um arquivo vetorial:**

Sistema Nacional de Áreas de Conservação (SINAC) do Ministério do Meio Ambiente e Energia (MINAE) (2006). Áreas de conservação da Costa Rica.

**Citação de um arquivo raster:**

Programa de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal na América Central e na República Dominicana (REDD/CCAD-GIZ) (2012). Imagem de satélite RapidEye.

**Citação de um serviço Open Geospatial Consortium (OGC):**

Programa de Regularização do Cadastro e Registro, Cadastro Nacional (2005). Mosaico ortofoto na escala 1:5000.

**Revista Geográfica de América Central**

Correo electrónico: [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr)

<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>

<http://www.revista.geo.una.ac.cr>

## SISTEMA DE ARBITRAJE

### PEER REVIEW PROCESS

#### Proceso de evaluación por pares

El proceso de evaluación por pares involucra las siguientes fases:

1. Una vez recibido el manuscrito éste será enviado a evaluación por pares externos a la revista, quienes emplean el **instrumento de valoración del artículo** establecido por la Revista, la cual incluye criterios de rigurosidad científica, originalidad, estructura, coherencia y calidad del texto y observaciones y recomendaciones finales. La dictaminación se realiza bajo la modalidad de doble ciego; es decir, las personas evaluadoras no conocerán el nombre del autor/a o autores/as del manuscrito, las personas autoras conocerán los nombres de los evaluadores/as. Quién evalúa cuenta con un plazo no mayor a 30 días naturales para evaluar y entregar el dictamen pertinente a la Revista.
2. Una vez recibidas las observaciones de la evaluación externa, estas serán remitidas al autor de correspondencia para que las mismas sean valoradas e incorporadas según consideración. Si quién evalúa el documento recomienda correcciones, el autor/res, será el responsable de hacerlas y entregar el documento final en formato digital en un plazo no mayor a 30 días naturales. En el caso de que el evaluador o evaluadora no estuviera de acuerdo con la publicación del documento, este será sometido a revisión por parte de una segunda persona que evalúa, cuyo dictamen servirá para tomar una decisión al respecto.
3. Una vez que el equipo editorial recibe nuevamente el manuscrito por parte del autor o autora de correspondencia, este valorará la publicación del artículo en la revista. La última decisión para la publicación o rechazo de un documento corresponde al Consejo Editorial de la Revista Geográfica de América Central.
4. Este proceso de dictaminación del manuscrito desde su recepción hasta la aprobación para su publicación conlleva un tiempo aproximado de tres meses.

Versión preliminar

## Processo de revisão por pares

O processo de revisão por pares envolve as seguintes fases:

1. Uma vez recebido o manuscrito, será enviado para avaliação por pares externos à revista, que utilizam o instrumento de avaliação de artigos estabelecido pela Revista, que inclui critérios de rigor científico, originalidade, estrutura, coerência e qualidade do texto e observações e recomendações finais. A decisão é realizada na modalidade duplo-cego; ou seja, os avaliadores não saberão o nome do autor ou autores do manuscrito, os autores saberão os nomes dos avaliadores. A pessoa que avalia tem um prazo não superior a 30 dias corridos para avaliar e entregar o parecer pertinente à Revista.
2. Recebidas as observações da avaliação externa, as mesmas serão enviadas ao autor correspondente para que sejam avaliadas e incorporadas de acordo com a consideração. Caso o avaliador do documento recomende correções, o(s) autor(es) será(ão) responsável(is) por realizá-las e entregar o documento final em formato digital em um prazo não superior a 30 dias corridos. Caso o avaliador não concorde com a publicação do documento, este ficará sujeito à revisão por uma segunda pessoa avaliadora, cujo parecer servirá para a tomada de decisão a respeito.
3. Ao receber novamente o manuscrito do autor correspondente, a equipe editorial avaliará a publicação do artigo na revista. A decisão final para a publicação ou rejeição de um documento cabe ao Conselho Editorial da Revista Geográfica da América Central.
4. Esse processo de revisão do manuscrito desde sua recepção até a aprovação para publicação leva aproximadamente três meses.



## PEER REVIEW PROCESS

### ARBITRATION SYSTEM

All document submissions are subject to the judgment of a team of external evaluators who use a guide for critically evaluating journal articles. Documents are judged against a set of standards for quality, relevance, and degree of contribution to the field of study. Evaluators will not know the name of the author submitting the document, nor will the author know the names of the evaluators. Evaluators have 30 days to review the document and determine its suitability for publication.

If a document is at first rejected for publication, a second review by different evaluators will be initiated. If the document is rejected again, the rejection is final. If, upon second review, the document is recommended for publication, the document will undergo a final review by a third set of evaluators.

If the evaluators recommend changes to the document, the author will be notified and will have up to 30 days to make the recommended revisions and resubmit the document.

The final decision for publication or rejection of a document is made by the Editorial Board of the Geographic Magazine of Central America. The final decision for publication or rejection of a document rests with the Editorial Board of the Geographic Magazine of Central America.

