







---

ISSN 1011-48X

# REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL

# 60

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





## CONTENIDO CONTENTS

	Pág.
<b>Presentación</b>	
Presentation	
<i>Lilliam Quirós-Arias</i>	
<i>Consuelo Alfaro-Chavarría</i> .....	9
<b>TEORÍA, EPISTEMOLOGIA Y METODOLOGIA</b>	
<b>THEORIY, EPISTEMOLOGY AND METHODOLOGY</b>	
<b>Las investigaciones sobre movimientos de laderas en Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua: enseñanzas desde la academia, las agencias de cooperación y las instituciones públicas</b>	
Research on hillslope processes in Costa Rica, Honduras, Mexico and Nicaragua: teachings from the academy, cooperation agencies and public institutions	
<i>Adolfo Quesada-Román</i>	
<i>Rigoberto Moncada-López</i>	
<i>Jorge Antonio Paz-Tenorio</i>	
<i>Eveling Espinoza-Jaime</i>	
<i>Carmen Gutiérrez-Gutiérrez</i>	
<i>Alex Castellón-Meyrat</i>	
<i>Norwin Acosta-Galeano</i> .....	17
<b>Repercusiones producto del desconocimiento del sistema de referencia en la información geoespacial de Costa Rica: utilidad de los metadatos</b>	
Impacts resulting from lack of knowledge about the reference system in geospatial information of Costa Rica: utility of metadata	
<i>Betsy Cedeño-Montoya</i>	
<i>Jorge Moya-Zamora</i> .....	61

**Geopolítica y petróleo en el Mar Caribe: la tensión entre Colombia y Nicaragua**

Geopolitics of offshore oil exploration in the Caribbean Sea: border area between Colombia and Nicaragua

*Ginneth Pulido-Gómez*

*Wagner Costa-Ribeiro* ..... 87

**Metodología para la valoración y evaluación de geomorfositos en Costa Rica**

Methodology for evaluating and assessing geomorphosites in Costa Rica

*Dennis Pérez-Umaña*

*Adolfo Quesada-Román* ..... 117

**ESTUDIOS DE CASO**

**CASE STUDIES**

**Usos del territorio, acumulación por desposesión y derecho a la salud en la Argentina: el caso del cultivo de Tabaco Burley en la provincia de Misiones**

Uses of territory, accumulation by dispossession and the right to health in Argentina: the case of the cultivation of Burley Tobacco in the province of *Misiones*

*Sebastián Gómez-Lende* ..... 139

**Distribución geográfica de los sismos contenidos en el catálogo de la Red Sismológica Nacional de Costa Rica**

Geographic distribution of the earthquakes included in the catalog of National Seismological Network of Costa Rica

*Kevin Godínez-Rodríguez*

*Mario Arroyo-Solórzano*

*Lepolt Linkimer-Abarca* ..... 161

**Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México.**

Functional zones and physical-geographic landscape units in the micro-basin *Potrero de la Palmita, Nayarit, Mexico*

*Alejandro César Valdés-Carrera*

*Juan Alfredo Hernández-Guerrero* .....189

**Riesgos de desastres en áreas periurbanas en la gran área metropolitana, consideraciones pasadas y recientes: orientaciones y alcances reales de la gestión del riesgo y el ordenamiento territorial, cantones de Aserri, Alajuelita, Desamparados, Escazú, Santa Ana y Mora**

Disaster risks in peri-urban areas of the great metropolitan area -past and recent considerations: guidelines and real scopes of risk management and land-use planning , *Aserri, Alajuelita, Desamparados, Escazú, Santa Ana* and *Mora* cantons

*Luis Nelson Arroyo-González* .....231

**Morfometría de la subcuenca del río Toyogres, Cartago, Costa Rica**

Morphometry of *Toyogres* river sub-basin, Cartago, Costa Rica

*Pablo Ramírez-Granados*

*Kevin Alfaro-Jiménez* .....255

**Análisis espacial del índice hídrico: avances en la adopción de decisiones sostenibles en territorios agrícolas de Carabobo, Venezuela**

Spatial analysis of the water index: advances in sustainable decision-making in Carabobo agricultural territories, Venezuela

*Barlin Orlando Olivares*

*Rafael Hernández*

*Richard Coelho*

*Juan Carlos Molina*

*Yessica Pereira* .....277

**Avaliação preliminar dos conhecimentos etnoclimático e  
etnogeomorfológico de pescadores do litoral do Município de Goiana  
– estado de Pernambuco / Brasil**

Preliminary evaluation of the ethnoclimatic and ethnogeomorphologic  
knowledge of fishermen of the coast of the Municipality of Goiana - state  
of Pernambuco / Brazil

*Roberta Kelly Fernandes-da Silva*

*Vanessa Martins-Lopes*

*Oswaldo Girão*.....301

**Geoprocessamento aplicado a análise geoambiental no Município De  
Vitória da Conquista-Bahia**

Geoprocessing applied to geo-environmental analysis in the Municipality  
Of Vitória da Conquista-Bahia

*Débora Paula de Andrade-Oliveira*

*Juliete Barros-Santos*

*Meirilane Rodrigues-Maia*

*Edvaldo Oliveira*

*Espedito Maia-Lima*.....329

**NOTAS Y DOCUMENTOS**

**NOTES AND DOCUMENTS**

**Normas de Publicación**

Publication Guidelines .....351

**Sistema de Arbitraje**

Peer Review Process .....361

## PRESENTACIÓN PRESENTATION

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 de Costa Rica, publicada periódicamente por la Editorial de la Universidad Nacional (EUNA) desde 1974.

La revista está destinada 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 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 tienen esta finalidad.

En esta oportunidad, corresponde a la publicación No. 60 de la Revista Geográfica de América Central del I semestre de 2018 (enero a junio). Incluye 12 artículos ubicados en las diferentes secciones de la revista: teoría, epistemología y metodología, estudios de caso y notas, y documentos. Disponible en versión impresa y digital, esta última se puede encontrar en el siguiente link <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>.

El primer artículo, especifica la gama de productos a partir de los cuales especialistas de Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua desarrollan cartografía sobre movimientos de laderas, aspecto que puede ilustrar la accesibilidad a ciertos datos, así como la escasez o falta de información específica en la región. Trabajos realizados desde Instituciones

gubernamentales, Agencias de Cooperación y la Academia, procuran sumar esfuerzos con las autoridades nacionales de cada lugar en el estudio de este fenómeno. Se respeta la terminología utilizada en cada proyecto, por lo que se considera equivalente el término Movimientos de Laderas. Esta cartografía tiene como fin ser un insumo de línea base para estudios de Gestión del Riesgo de Desastres y el Ordenamiento Territorial de ciudades, cuencas y municipios a lo largo de América Latina.

El segundo artículo, tiene como objetivo es mostrar a los usuarios de los SIG, las posibles repercusiones por un inadecuado proceso de conversión y transformación de coordenadas. Dado que el aprovechamiento máximo de la información geoespacial depende, entre otros aspectos, del conocimiento de su referencia geodésica, la cual es indispensable para poder convertirla y transformarla a otras referencias en caso de que sea necesario. Las facilidades que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) propietarios o en versiones libres, constituyen una excelente herramienta no solo por la rapidez en los distintos procesos de la información, sino que, además, y quizás lo más importante, les brindan a los usuarios una enorme cantidad de resultados producto de sus múltiples capacidades de análisis espacial. Sin embargo, es indispensable que los SIG estén adecuadamente configurados, de manera que se pueda extraer la mayor cantidad de datos posibles con la certeza de que la información de partida está correctamente georreferenciada, o de que el proceso previo de georreferenciación es posible y correcto, para esto es fundamental el conocimiento de los metadatos para conocer el origen de la información.

El tercer artículo, tiene por objeto discutir la vigencia de la exploración para la búsqueda de petróleo y su creciente interés en áreas offshore o fuera de costa, así como el análisis de las relaciones globales que se derivan. Teniendo en cuenta que la frontera entre Colombia y Nicaragua se presenta como un escenario dinámico caracterizado por una tensión entre ambos países. Esta área se coloca en el panorama geopolítico global; primero su cercanía al canal de Panamá y al posible canal de Nicaragua, rutas estratégicas del comercio mundial, y segundo por el interés que ambos países demuestran en abrir concesiones de exploración/explotación de petróleo en el mar; en el marco de la crisis actual por la obtención de crudo, que se traduce en cambios del uso de las reservas de petróleo conocidas, las oscilaciones de los

precios y los impactos socio-ambientales locales y globales generados por todas las etapas de aprovechamiento de este recurso.

El cuarto artículo tiene como objetivo evaluar los geomorfositos existentes dentro de esta área silvestre protegida Parque Nacional Volcán Poás, mediante una metodología de evaluación de geomorfositos. Dicha metodología consiste en la comparación de las características científicas, culturales o añadidas y de uso y gestión presentes en el geomorfosito. Se determina que el Parque Nacional Volcán Poás tiene diversas formaciones que pueden ser consideradas como geomorfositos, además que hay diversos valores agregados que denotan la importancia que tiene el volcán para la población costarricense. La metodología utilizada en este trabajo puede ser utilizada en otros territorios, con miras a que su implementación pueda colaborar al Ordenamiento Territorial de Costa Rica.

El quinto artículo se procura demostrar que el cultivo de tabaco Burley en la provincia de Misiones opera, bajo la égida de la agricultura contractual, como un modelo que inequívocamente contribuye a la desposesión del derecho a la salud del campesinado local. Se analizan los principales rasgos del modelo tabacalero misionero, las diversas formas de despojo implementadas por las empresas transnacionales en perjuicio de las familias agricultoras, las implicancias socio-sanitarias derivadas del uso intensivo de agrotóxicos y el papel desempeñado por el Estado. Mostrando como en la los usos modernos del territorio suelen ser irracionales para la mayor parte de la sociedad, convirtiéndose en formas de acumulación por desposesión que a menudo representan una amenaza directa para la salud pública.

El sexto artículo, analiza la distribución espacio-temporal de la sismicidad en Costa Rica, contenida en el catálogo sísmico de la Red Sismológica Nacional para el periodo 1975-2014. Los cúmulos de sismicidad revelan zonas de alta deformación cortical ubicadas sobre la proyección hacia el continente de montes submarinos y de la Zona de Fractura de Panamá. Estos cúmulos no concuerdan exactamente con las zonas de mayor liberación de energía sísmica. Se detecta, además, un “vacío de sismos” que corresponde con parte de la Cordillera de Talamanca. La inspección de la sismicidad con base en la división político administrativa muestra que el cantón con mayor cantidad de sismos es Pérez Zeledón, mientras que los cantones con la densidad más alta de sismos son: Parrita, El Guarco,

Tarrazú, León Cortés y Desamparados. La distribución geográfica de la sismicidad resalta las principales estructuras tectónicas activas del país.

El sétimo artículo, tiene como objetivo la delimitación de zonas funcionales y la clasificación de unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México, para describir, diagnosticar y contribuir en la planificación y gestión de acciones con el uso de los recursos naturales. Se utilizó el método de delimitación de zonas funcionales a nivel nacional (México) y el método para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje físico-geográfico adaptada a escala local (1:10,000). Las zonas funcionales y las unidades de paisaje de una microcuenca permiten analizar de manera sistémica los procesos presentes y futuros en los subsistemas y la dinámica histórico-evolutiva de sus componentes (ambientales, sociales y económicos), a la vez que permiten trabajar con diferentes escalas de análisis. El resultado fue la delimitación de tres zonas funcionales; captación (alta), transición (media) y descarga (baja). Además, se identificaron 39 unidades de paisaje para las tres zonas; 17 corresponden a la zona alta, 18 a la zona media y 4 a la zona baja.

En el octavo artículo, se analiza la situación que se presenta en el sector sur de la ciudad de San José, en los cantones de Aserrí, Desamparados, Alajuelita, Escazú, Santa Ana y Mora. Este sector tiene entre sus particularidades, el pertenecer a formaciones geológicas que por su grado de antigüedad presentan procesos de alta meteorización, con relieves caracterizados por pendientes fuertes y laderas abruptas. Debido a su cercanía histórica geográfica con la sección central del país, este territorio, desde inicios de la década del 90, se ha convertido en una prolongación de la ciudad capital, por lo que representa un sector de alto poblamiento y de construcción de infraestructura diversa. El hacinamiento, la ocupación irrestricta y diversa de estas tierras, ha propiciado desde el pasado la activación de procesos de equilibrio en laderas, tales como deslizamientos -los cuales, intrínsecamente, relacionados a la dinámica física propia de relieves de alta pendiente- aceleran y multiplican presencia gracias a la actividad antrópica.

El noveno artículo se presenta un estudio de caso en el cual a partir de sistemas de información geográfica y modelado de datos en Microsoft Excel, se realizó la morfometría de la subcuenca del río Toyogres en Cartago. El objetivo del estudio fue desarrollar los principales parámetros

geomorfométricos y morfométricos. Los resultados mostraron como la forma de la subcuenca puede ser analizada a partir del estudio de los aspectos geométricos derivados de los índices morfométricos, los cuales a su vez relacionan los aspectos litológicos y geomorfológicos que condicionan la forma alargada que esta tiene. A su vez, esta forma condiciona la relación de sus drenajes y las categorías en las cuales se encuentran además de su respuesta hidrológica.

El décimo artículo analiza espacialmente el índice hídrico ( $I_m$ ), permitiendo agrupar el clima de acuerdo al grado de humedad. Se utilizó la metodología del Balance Hídrico Climático (BHC) para 25 estaciones pluviométricas en Carabobo, Venezuela, para un período de registro común (1969-1999). Lo resultados muestran que se encontraron cuatro regiones donde la humedad se comporta de modo diferente, los mayores excesos son al sur del estado y se constató que las estaciones climatológicas ubicadas al norte de Carabobo presentan un mayor déficit anual. Las zonas agrícolas más relevantes están representadas por un índice hídrico de (-2,16 a -18,96); lo que determina un clima Subhúmedo seco con precipitaciones anuales que oscilan entre los 921 mm y los 1063 mm. Este estudio generó información vital en aquellas áreas agrícolas requieren riego adicional o de controles con obras estructurales de drenaje que eviten que determinados cultivos sensibles al exceso de agua se perjudiquen.

En décimo primero busca identificar de manera preliminar, los saberes etnoclimáticos y etnogeomorfológicos detrás de las comunidades de pescadores localizados en el municipio de Goiana, estado de Pernambuco. Como objetivo se planteó identificar los saberes relativos a zonificación climática y las formas y funciones de los relieves costeros, así como clasificar los ambientes físico – natural en que viven los pescadores. Se realizaron levantamientos bibliográficos y visitas a las comunidades investigadas y se realizaron entrevistas cualitativas. Este estudio puede contribuir de forma eficaz en acciones de desenvolvimiento para el poder público a partir de la participación de los habitantes locales con sus conocimientos, experiencias y prácticas.

En décimo segundo y último artículo tiene como objetivo analizar las características goambientales del municipio de Vitoria da Conquista por medio de geoprocésamiento especialmente con el empleo de sensoriamiento remot y del SIG, con el fin de presentar las posibilidades de

subsidio al planeamiento ambiental. Se realizó una discusión teórica, y una concepción y elaboración del proyecto cartográfico y análisis empírico. Los datos geográficos utilizados fueron las bases vectoriales en formato shapefile y los datos rasters, con imágenes de satélite Landsar 8 e de radar SRTM, procesados en un software libre de Sistema de Información Geográfica QGIS. Los ambientes presentan potencialidades y fragilidades específicas, que requieren ser consideradas en el proceso de uso y ocupación del suelo, y que requieren de un planeamiento municipal más efectivo y coherente con la realidad social.

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 todos los números desde su creación. Aprovechamos también para contarles que la Revista Geográfica de América Central cuenta con el identificador DOI, desde el número 53 y a partir del número 56 se publicará en formato PDF y HTML.

Adicionalmente se publicará un número especial con los trabajos que se presenten en la 35th Conference of Latin American Geographers (CLAG) a realizarse del 20 al 22 de mayo del 2018 bajo el lema “La investigación Geográfica de América Latina en el Siglo XXI”.

Esperando que este número sea de gran utilidad para todos los interesados en los estudios geográficos.

Saludos cordiales,

MSc. Lilliam Quirós Arias  
Mag. Consuelo Alfaro Chavarría



# **TEORÍA, EPISTEMOLOGÍA Y METODOLOGÍA**

**THEORY, EPISTEMOLOGY  
AND METHODOLOGY**



## **Las investigaciones sobre movimientos de laderas en Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua: enseñanzas desde la academia, las agencias de cooperación y las instituciones públicas**

Research on hillslope processes in Costa Rica, Honduras, Mexico and Nicaragua: teachings from the academy, cooperation agencies and public institutions

*Adolfo Quesada-Román*<sup>1</sup>

*University of Geneva, Suiza*

*Rigoberto Moncada-López*<sup>2</sup>

*Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras*

*Jorge Antonio Paz-Tenorio*<sup>3</sup>

*Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México*

*Eveling Espinoza-Jaime*<sup>4</sup>

*Carmen Gutiérrez-Gutiérrez*<sup>5</sup>

*Alex Castellón-Meyrat*<sup>6</sup>

*Norwin Acosta-Galeano*<sup>7</sup>

*Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Nicaragua*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.1>

- 
- 1 Adolfo Quesada Román, University of Geneva. Correo electrónico: [adolfo.quesada@gmail.com](mailto:adolfo.quesada@gmail.com)
  - 2 Rigoberto Moncada López, Universidad Tecnológica Centroamericana. Correo electrónico: [rigoberto.moncada@unitec.edu](mailto:rigoberto.moncada@unitec.edu)
  - 3 Jorge Antonio Paz Tenorio, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Correo electrónico: [jorge.paz@unicach.mx](mailto:jorge.paz@unicach.mx)
  - 4 Eveling Espinoza Jaime, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Correo electrónico: [evelingespinoza@hotmail.com](mailto:evelingespinoza@hotmail.com)
  - 5 Carmen Gutiérrez Gutiérrez, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Correo electrónico: [carmen.gutierrez@gf.ineter.gob.ni](mailto:carmen.gutierrez@gf.ineter.gob.ni)
  - 6 Alex Castellón Meyrat, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Correo electrónico: [casteyrat@hotmail.com](mailto:casteyrat@hotmail.com)
  - 7 Norwin Acosta Galeano, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Correo electrónico: [norwinacosta@hotmail.com](mailto:norwinacosta@hotmail.com)

Fecha de recepción: 15 de marzo de 2017  
Fecha de aceptación: 28 de septiembre de 2017

*Adolfo Quesada-Román, Rigoberto Moncada-López, Jorge Antonio Paz-Tenorio, Eveling Espinoza-Jaime, Carmen Gutiérrez-Gutiérrez, Alex Castellón-Meyrat, Norwin Acosta-Galeano.* Research on hillslope processes in Costa Rica, Honduras, Mexico and Nicaragua: teachings from the academy, cooperation agencies and public institutions

## RESUMEN

En este trabajo se especifica la gama de productos a partir de los cuales especialistas de Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua desarrollan cartografía sobre movimientos de laderas, aspecto que puede ilustrar la accesibilidad a ciertos datos, así como la escasez o falta de información específica en la región. Trabajos realizados desde Instituciones gubernamentales, Agencias de Cooperación y la Academia, procuran sumar esfuerzos con las autoridades nacionales de cada lugar en el estudio de este fenómeno. Se respeta la terminología utilizada en cada proyecto, por lo que se considera equivalente el término Movimientos de Laderas. Esta cartografía tiene como fin ser un insumo de línea base para estudios de Gestión del Riesgo de Desastres y el Ordenamiento Territorial de ciudades, cuencas y municipios a lo largo de América Latina.

**Palabras clave:** Movimientos de Ladera; Geomorfología; Mapeo de Deslizamientos; Procesos de Ladera; Susceptibilidad de Deslizamientos.

## ABSTRACT

This paper specifies the range of products from which specialists from Costa Rica, Honduras, Mexico and Nicaragua develop cartography on hillslope movements, an aspect that can illustrate the accessibility to certain data, as well as the scarcity or lack of specific information in the region. Works carried out from Government Institutions, Cooperation Agencies and the Academy try to join forces with national authorities at each place in the study of this phenomenon. The terminology used in each project is respected, and the term hillside movements is considered equivalent. This mapping is intended to be a baseline input for studies on Disaster Risk Management and Land Use Planning in cities, basins and municipalities throughout Latin America.

**Keywords:** Slope movements; Geomorphology; Landslide Mapping; Slope Processes; Landslide Susceptibility.

## Introducción

Los procesos de ladera se presentan en todas las latitudes y altitudes del globo, tienen una vasta variedad de condiciones, así como factores que los detonan, entre ellos, las fuertes lluvias, los sismos y la actividad del ser humano (Anderson et al., 2011; Sterlacchini et al., 2011). A pesar de presentarse sin distinción geográfica, estos fenómenos se dan con mayor dominancia en ambientes fríos (precipitaciones y temperaturas anuales menores a 1.000 mm y 0 °C, respectivamente) y en zonas templadas a tropicales (precipitaciones y temperaturas anuales mayores a 1.700 mm y 0 °C) (Selby, 1985). En términos de desastres, los movimientos en masa varían de magnitudes bajas a altas, ocurren con una relativa frecuencia, son de poca duración, y su extensión areal, por lo general, es limitada (Gares et al., 1994). Las causas que generan los procesos de ladera se podrían dividir en naturales y humanas, donde las primeras incluyen al agua, la actividad sísmica y la actividad volcánica, cada uno como un elemento

individual o en combinación; las causas humanas o antrópicas van desde la deforestación, la urbanización, la ganadería y la agricultura, que modifican el ángulo de reposo de las laderas y propician su inestabilidad (Highland y Bobrowsky, 2008).

Los términos para nombrar a los procesos que se dan en las laderas y, que están regidos por la gravedad, derivan del inglés, la traducción al español a veces genera confusión, por lo que reconoce varias formas: procesos de ladera (*slope processes*), procesos gravitacionales (*gravitational processes*), procesos de remoción en masa (*mass movement processes*) o deslizamientos (*landslides*); todos ellos correctos (Alcántara-Ayala, 2000). Los diferentes procesos de ladera se ordenan según las siguientes clases (UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI 1990); Cruden y Varnes, 1996): Deslizamientos, Caídas o Desprendimientos, Volteos, Flujos, Expansión lateral, Movimientos complejos. Los materiales que componen los tipos de procesos de remoción en masa se dividen según el tipo de material en: roca, detritos (partículas mayores a 2 mm) y suelos (partículas menores a 2 mm).

El objetivo de este trabajo es conocer las metodologías aplicadas en cuatro países de América Latina (Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua) y cómo dichos procedimientos pueden generar mapas de susceptibilidad de movimientos de ladera, los cuales sirven para gestionar los riesgos y ordenar el territorio de distintas ciudades, cuencas o unidades político-administrativas a partir de los esfuerzos de la academia, agencias de cooperación o las instituciones públicas. Por tanto, se parte de la caracterización de cada una de las zonas de estudio, posteriormente, se hace una explicación por caso de estudio para entender las distintas metodologías utilizadas en la cartografía de movimientos de ladera en cuatro casos de Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua; se presentan sus resultados, se hace una discusión de las fortalezas y debilidades de cada una de estas metodologías, así como los estudios de movimientos de ladera en cada uno de estos países y el alcance que tienen en la gestión del riesgo de desastres.

### **Caso de Costa Rica: la cuenca alta del río General**

En países tropicales como Costa Rica, la incidencia de procesos de ladera es asociada a la meteorización, el tipo de sustrato, la sismicidad, la morfología y la inclinación del terreno. La recurrencia y magnitud de

estos procesos afectan en términos de pérdidas económicas y muertes en las comunidades de la cuenca alta del río General en el centro-sur del país. En el pasado, eventos como el sismo de Buenavista (1983), los huracanes Joan (1988), César (1996) y la tormenta tropical Alma (2008) causaron pérdidas humanas y graves daños económicos en líneas vitales (vías de comunicación, cableado eléctrico y acueductos), así como en el sector agropecuario (Quesada-Román, 2017).

La cuenca alta del río General se localiza entre los  $9^{\circ} 12' 46'' - 9^{\circ} 35' 03''$  de latitud N y los  $83^{\circ} 28' 47'' - 83^{\circ} 49' 07''$  de longitud W. El relieve de este territorio es resultado de una dinámica tectónica compleja, que tiene relación con los movimientos regionales del fondo oceánico y del continente. En esta geodinámica se vinculan varias placas tectónicas en un proceso de subducción entre Cocos y Caribe, la colisión de la Cordillera submarina de Cocos (Cocos Ridge), la junta triple entre Placas Cocos, Caribe y Nazca, y fallas activas (transcurrentes) asociadas a la Placa Panamá (Bird, 2003; Denyer et al., 2003). Otras de las variables que hacen particular este territorio son la precipitación, la vegetación y los usos de la tierra. La cuenca alta del río General posee vínculo directo entre las zonas de mayor precipitación (entre 4.000 y 5.500 mm anuales) con amplias regiones de laderas que son modeladas por la actividad gravitacional, así como las vertientes afectadas por la reptación y la arroyada. Los usos de la tierra en el área de estudio corresponden a zonas agrícolas de café, pastos, uso forestal y vegetación de páramo (Quesada-Román, 2016).

### **Metodología**

Para poder desarrollar una cartografía precisa en la zonificación de peligros geomorfológicos, como los procesos de ladera, es importante desarrollar análisis del relieve basados en la morfometría y la morfogénesis (geomorfología). La morfometría es la parte de la geomorfología que estudia las características cuantitativas de las formas de relieve a partir de parámetros cartográficos; cálculo de áreas, volumen, inclinación del terreno, densidad de alguna forma terrestre sobre una superficie determinada, para establecer una relación entre los procesos de modelado y la litología (Lugo-Hubp, 2011). Se reconoce que la morfometría es un importante componente en el estudio del terreno, sobre todo, cuando se habla del modelado de la superficie terrestre (Huggett, 2007). Los productos que resultan de

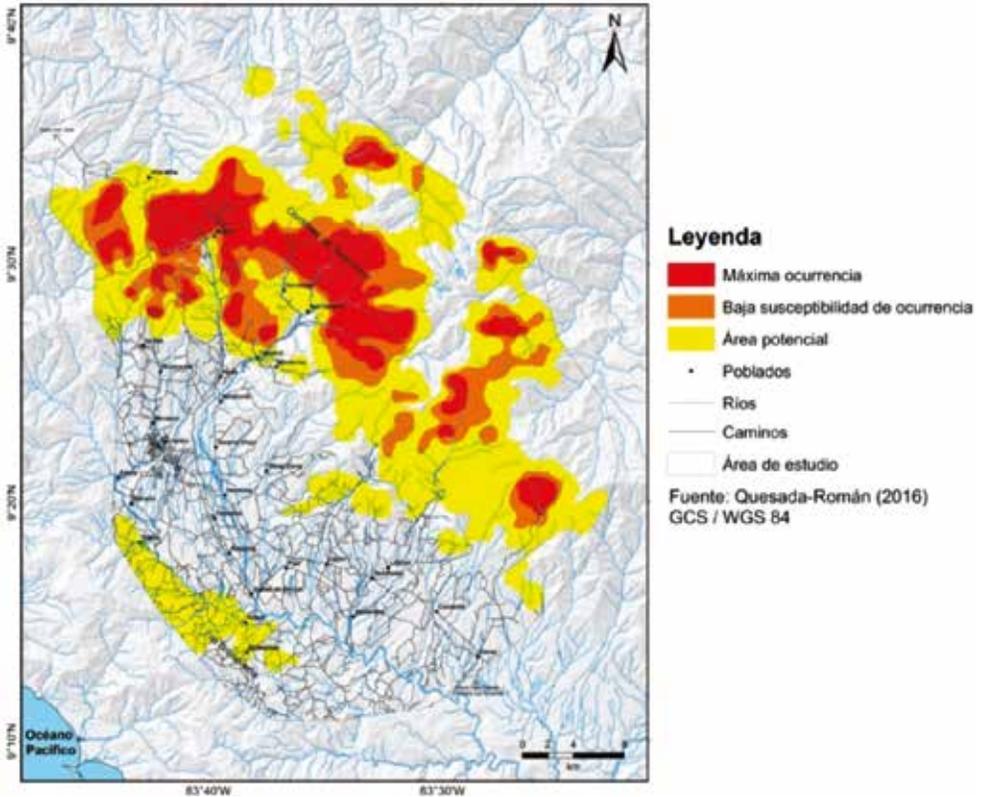
este tipo de análisis son mapas, cada uno de ellos refleja la espacialidad de la medición realizada en las formas de relieve analizadas y son necesarios para detectar terrenos susceptibles a presentar dinámicas que pueden ser de peligro (Peña-Monné, 1997).

La geomorfología, por su parte, es la ciencia que estudia el relieve y en ello toma en cuenta génesis, morfología, dinámica, evolución y edad. La cartografía geomorfológica es parte de este análisis y tiene como objetivo representar, con límites precisos, a partir de una simbología gráfica propia de las ciencias de la tierra, la arquitectura de la superficie terrestre, por tanto, el mapa geomorfológico a través de un lenguaje gráfico muestra la génesis del relieve, su litología, el arreglo estructural, la cronología y la morfología de cualquier territorio (Quesada-Román, 2016). El mapa de peligros geomorfológicos resume el análisis morfométrico y morfogenético en una clasificación de las zonas con distintos niveles de susceptibilidad a procesos de ladera e inundaciones, terrenos diferenciados en su explicación debido a que tienen agentes disparadores, extensiones espaciales y dinámicas distintas a partir de sus características geomorfológicas.

## **Resultados**

De acuerdo a Quesada-Román (2016), se describen las condiciones que favorecen la existencia de terrenos susceptibles a presentar diferentes grados de afectación real por procesos de remoción en masa. Se establecieron tres categorías cuya representación espacial se identifica con el color rojo las zonas de máxima ocurrencia, con el color naranja de baja ocurrencia y el color amarillo representa áreas potenciales (Figura 1).

**Figura 1.** Mapa de peligros a procesos de ladera de la cuenca alta del río General



Los sitios de máxima ocurrencia a procesos de ladera se localizan en las cabeceras de los ríos Chirripó y Telire al NE, y los ríos Savegre (hacia el NW), Buenavista y Chirripó Pacífico (al N), así como el Peñas Blancas, San Pedro y Volcán (hacia el SE), terrenos que suman un total de 130 km<sup>2</sup>, equivalente al 8% de la superficie de estudio. Tienen inclinaciones superiores a 25°, donde los afloramientos geológicos típicos son de rocas volcánicas y plutónicas del Mioceno en morfologías de laderas cóncavas y rectas. Los terrenos de máxima ocurrencia a procesos de ladera son activados por las lluvias estacionales (> 2500 mm anuales) y ciclónicas (entre agosto y noviembre), además por la influencia sismo-tectónica (terremotos interplaca e intraplaca). De acuerdo al análisis geomorfológico en estas regiones se cartografiaron 21 deslizamientos, 307 desprendimientos, 12

flujos de rocas y 9 flujos de lodo. De acuerdo a los registros de desastres DesInventar (LA RED, 2015), entre 1980 y 2010 el 16,4% de los procesos de ladera reportados coinciden con estos sitios.

Los terrenos susceptibles a procesos de ladera de baja ocurrencia se definen como extensas áreas que encapsulan las regiones de máxima ocurrencia, donde su localización se da en las cabeceras de las cuencas de los ríos Chirripó y Telire (vertiente Caribe) y los ríos Savegre, Buenavista, Chirripó Pacífico, San Pedro y Volcán (vertiente Pacífica), equivalente a un 9,35% del territorio. Estos terrenos se desarrollan en laderas de montaña donde predominan las morfologías cóncavas y rectas con inclinaciones entre 16° y 63°, situados en sustratos de rocas granitoides del Mioceno con edades entre 11 y 6 Ma (Denyer y Alvarado, 2007). Se podrían producir deslizamientos, flujos de roca, flujos de lodo, caídas de rocas y desprendimientos; procesos que son detonados por la pluviosidad estacional superior a 2500 mm anuales, así como las lluvias ciclónicas presentes entre agosto y octubre, además de episodios sísmicos debido a varias fallas activas locales y la cercanía con la Trinchera Mesoamericana. En estas zonas fueron identificados mediante el mapa geomorfológico 44 deslizamientos, 275 desprendimientos, 18 flujos de rocas y 9 flujos de lodo.

Las Áreas potenciales a procesos de ladera se localizan cerca de poblados como División, San Juan Norte, San Gerardo de Rivas, Esperanzas y Mollejones; tienen una extensión territorial de 403 km<sup>2</sup>, lo que equivale a un 25,8% del área de estudio. Se ubican en laderas de montaña rectas y cóncavas con pendientes que son menores a 25°, sobre sustratos volcánicos, plutónicos y sedimentarios del Mioceno con edades entre 29 y 2 Ma (Denyer y Alvarado, 2007). En estas regiones se cartografiaron 73 deslizamientos, 333 desprendimientos, 47 flujos de rocas y 14 flujos de lodo, y según la base de datos de desastres DesInventar (LA RED, 2015) entre 1980 y 2010, un 37,7% del total (61 registros) se ubica dentro de estas superficies. Estos terrenos han evolucionado en el tiempo dadas la intensa precipitación (mayor a 2500 mm anuales), la actividad tectónica y el fallamiento activo, además en la actualidad se presenta una modificación antrópica de bosques hacia usos agropecuarios que favorecen el incremento de dichas superficies. Por último, los terrenos con estabilidad aparente a procesos de ladera suman un 64% (1002 km<sup>2</sup>) del área de estudio, donde la incidencia de procesos de ladera es mínima o nula debido en buena medida a la estabilidad de los materiales, donde las pendientes por lo general se mantienen en los rangos medios o bajos (menores a 25°).

## **Los estudios de movimientos de ladera en Costa Rica**

Para realizar un análisis de los procesos de ladera que se han dado en algún territorio de Costa Rica es necesario hacer uso, como primer insumo y acercamiento al historial, de la base de datos DesInventar. La información de base para generar estudios de movimientos en masa en Costa Rica son los insumos que tiene el Instituto Geográfico Nacional con las curvas de nivel a escala 1:50.000 que se obtienen de las 136 hojas topográficas que conforman el país. En ciertos sectores se cuenta también con curvas de nivel escala 1:25.000, 1:10.000 o incluso mejores. Además, se cuenta con fotografías aéreas desde la década de 1940 hasta la actualidad a diversas escalas disponibles, esta información está en venta o se puede facilitar bajo convenio con ciertas instituciones públicas y académicas tanto desde el país como del exterior. Durante el 2005, se realizó un levantamiento a escala nacional de imágenes 1:25.000 y en algunos sectores urbanos a 1:5.000 por medios del proyecto CARTA, el cual fue integrado por las cuatro universidades estatales (UCR, UNA, UNED, ITCR), el Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT), la Fundación Costa Rica Estados Unidos para la Cooperación, el Instituto Costarricense de Electricidad y el proyecto BID-CATASTRO. En la actualidad estas fotografías aéreas y otros insumos satelitales están a disposición del PRIAS (Programa de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos) del CeNAT para su venta al público en general y la información puede ser solicitada de manera gratuita bajo convenio entre ciertas instancias y objetivos de investigación. En este momento el Catastro Nacional está realizando una actualización de su información para todo el país, la cual podría ser utilizada para fines varios, como la actualización registral, los cambios en el uso del suelo o incluso el desarrollo de mapas de vegetación, geomorfológicos y otras aplicaciones, dadas las nuevas tendencias en la precisión de los insumos fotogramétricos.

Los encargados oficiales de generar y avalar la cartografía de procesos de ladera, desde su fundación en 1969 ha sido la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), quien ha hecho uso del conocimiento de diversos expertos en Geología, Geografía, Ingeniería Civil, Geomorfología y otras ciencias afines que trabajan directamente para esta institución, o del apoyo o estudios de otras instituciones públicas como el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Acueductos y Alcantarillados (AyA), y diversos

ministerios como el Ministerio de Ambiente (MINAE), el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), entre otros. Además, de mucha valía ha sido el apoyo de la academia desde distintas escuelas y centros de investigación de la Universidad de Costa Rica (Escuela Centroamericana de Geología, Escuela de Geografía, Escuela de Ingeniería Civil y otras; Red Sismológica Nacional UCR-ICE; LANAMME-UCR), Universidad Nacional de Costa Rica (Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica-UNA, Escuela de Ciencias Geográficas, y otros), Instituto Tecnológico de Costa Rica y la Universidad Estatal a Distancia, así como de consultores nacionales e internacionales para levantar los mapas de movimientos en masa a diversas escalas dependiendo del objetivo de cada estudio.

Los mapas que están avalados por la CNE deben ser mejorados más allá de la escala 1:50.000 que actualmente gozan todos los cantones del país y generar mejores estudios, a escalas detalladas (1:25.000, 1:10.000 o superiores) de los procesos de ladera que afectan el territorio nacional. Estos estudios deben ser avalados por la CNE y ser generados del vínculo con las universidades públicas y expertos en la temática. Dentro de esta misma línea, se debe procurar generar más estudios sobre multiamenazas ligados con análisis probabilísticos de acuerdo a las características particulares de las cuencas que integran el país, ya que los movimientos en masa normalmente no ocurren como procesos aislados y su estudio debe abordarse desde la Gestión del Riesgo y el Ordenamiento Territorial.

### **Caso de Honduras: Mapa de Inventario de Deslizamientos de Tierra en Base a Interpretación de Fotografías Aéreas**

El área de estudio en mención es la ciudad capital de Honduras en la zona metropolitana de Tegucigalpa, Comayagüela y alrededores dentro del municipio del Distrito Central, departamento de Francisco Morazán. En los últimos 20 años, Honduras ha tenido el mayor índice de riesgo climático y es considerado el país más afectado por catástrofes naturales junto a Myanmar y Haití (Kreft et al., 2016). Factores comunes en Latinoamérica, como el crecimiento acelerado y sin orden en los centros de población, inciden directamente en la ocurrencia de desastres como inundaciones y deslizamientos de tierra. Ocasionalmente, también ha habido repercusiones por fenómenos sísmicos. Desde el punto de vista de los deslizamientos, algunos de los fenómenos naturales que han generado

mayor cantidad de movimientos de ladera han sido el Huracán Fifi en 1974, el Huracán Gilbert en 1988, el Huracán Mitch en 1998 (Harp et al. 2002), la tormenta tropical 16 en 2008 y el terremoto de magnitud 7.3 del 28 de marzo de 2009 (PNUD, 2010). La mayor parte de los deslizamientos han sido atribuidos a la detonación por precipitaciones intensas, este ha sido el enfoque principal para los análisis de amenaza y susceptibilidad hacia los movimientos superficiales de ladera, acompañados por unos pocos deslizamientos a gran escala de impacto considerable (Harp et al. 2002) (JICA, 2002). En este contexto se ha identificado la importancia de variables geológicas y topográficas en la generación de estos movimientos (PNUD, 2010), aunadas a un crecimiento poblacional acelerado que afecta la cobertura y topografía de los terrenos, causando un aumento en la vulnerabilidad de los habitantes (Ebert & Kerle, 2008).

El lugar de estudio combina la topografía, tipo valle de la cuenca alta del Río Choluteca, y donde solía estar localizada la mayor parte de la ciudad desde 1578 hasta su crecimiento durante el siglo XX, con una topografía montañosa accidentada en su periferia, sus elevaciones van desde 900 hasta, aproximadamente, 1300 msnm (PNUD, 2010). El área completa de la ciudad se encuentra entre dos subcuencas de la cuenca principal del Río Choluteca: Choluteca Alta y Guacerique-Río Grande. El Río Choluteca tiene su nacimiento cerca de Tegucigalpa y desemboca en el océano Pacífico. Es justo dentro de la zona urbana de Tegucigalpa, que numerosos de sus afluentes se combinan para formar el río principal, y la ciudad es atravesada de norte a sur casi por completo por su cauce (IHCIT, 2014). Casi la totalidad de los bordes del Río, ubicados dentro de la zona urbana, están ocupados por asentamientos.

La precipitación tiene un valor promedio anual entre 1075-1175 mm (IHCIT, 2012), aunque en el caso del Huracán Mitch se alcanzaron valores de 281 mm en cerca de una semana (Harp et al., 2009). Históricamente, los meses de mayo, junio, septiembre y octubre son aquellos con las máximas precipitaciones, alcanzando valores máximos diarios cercanos a los 130 mm. La correlación entre ocurrencia de movimientos de ladera y precipitación ha sido demostrada para diferentes estaciones meteorológicas en la zona (IHCIT, 2011).

Geológicamente, los principales grupos o formaciones son de origen volcánico y sedimentario. El Grupo Padre Miguel, el cual cubre el mayor

porcentaje del sitio de estudio, consta de tobas riolíticas, dacíticas y andesíticas, lahares, ignimbritas y otros sedimentos piroclásticos del Terciario (IHCIT, 2014). Otras unidades volcánicas en la zona son la formación Matagalpa, que se compone de coladas máficas de basalto y andesitas, de posición estratigráfica pre-ignimbrítica y también del Terciario; y coladas basálticas oscuras del Cuaternario (Rogers, 1993). Por otro lado, el Grupo Valle de Ángeles, el cual aflora en la zona centro, este y sureste de la ciudad, se presenta con sus formaciones Villanueva (conglomerados) y Río Chiquito (lutitas y areniscas) (PNUD, 2010). Y en terrazas en zonas bajas o fluviales y pies de ladera se encuentran depósitos de aluviones del Cuaternario (IGN, 1987).

### **Metodología**

Dentro del marco de proyecto “Hazard Geology Focusing on Landslides in Tegucigalpa”, desarrollado por investigadores de la Agencia Internacional de Cooperación del Japón (JICA) con fondos de Sociedad Japonesa para la Promoción de las Ciencias (JSPS), entre 2012 y 2014, se propuso desarrollar un mapa actualizado del inventario de deslizamientos de tierra o movimientos de ladera (Yamagishi et al., 2014).

En esencia, se determinaron sus ubicaciones, perímetros y áreas y se estableció una clasificación general en función de la fotointerpretación para identificar dichos deslizamientos. El área de trabajo fue la zona metropolitana de Tegucigalpa, Comayagüela y alrededores, usando como información de base fotografías aéreas tomadas en febrero de 2013 y donadas también por JICA. El estudio cubrió extensiones de aproximadamente 300 km<sup>2</sup> para el análisis realizado por los expertos (Yamagishi, 2014; Sato, 2015) y de 400 km<sup>2</sup> para aquel desarrollado por un grupo de estudiantes universitarios capacitados con la misma metodología y asesorados por los expertos (TLMG, 2014).

La herramienta principal de trabajo fue la aplicación de la foto-geología e interpretación de imágenes aéreas apoyadas en el uso de la estereoscopia. Las imágenes utilizadas fueron capturadas en una escala de 1:9.000 y junto con estereoscopios de espejo, equipados con lentes de aumento, fue posible visualizar de forma tridimensional y con la claridad suficiente la topografía de sitios con la geomorfología y característica de movimientos de ladera. La clasificación propuesta por Varnes (1978) y

su actualización desarrollada por Hungr et al. (2013) se emplearon como guías para facilitar la identificación de formas en el terreno que revelasen indicios de deslizamientos ocurridos en el pasado en la zona de estudio.

En varios casos, estos sitios identificados en las fotografías, también fueron corroborados y caracterizados mediante visitas de campo, aunque dicha labor no se ha realizado hasta el momento de forma completa para toda la zona de estudio. Debido a la considerable cantidad de sitios identificados, cerca de 3000 objetos entre todas las capas de información, (Yamagishi, 2014) fue muy conveniente el uso de tecnologías de sistemas de información geográfica (SIG). Se desarrolló un mapa digital de inventario, en donde se incluyeron diferentes signos de movimientos de ladera, tales como: cuerpos de deslizamientos, escarpes, grietas o fisuras, reptación en roca y derrumbes.

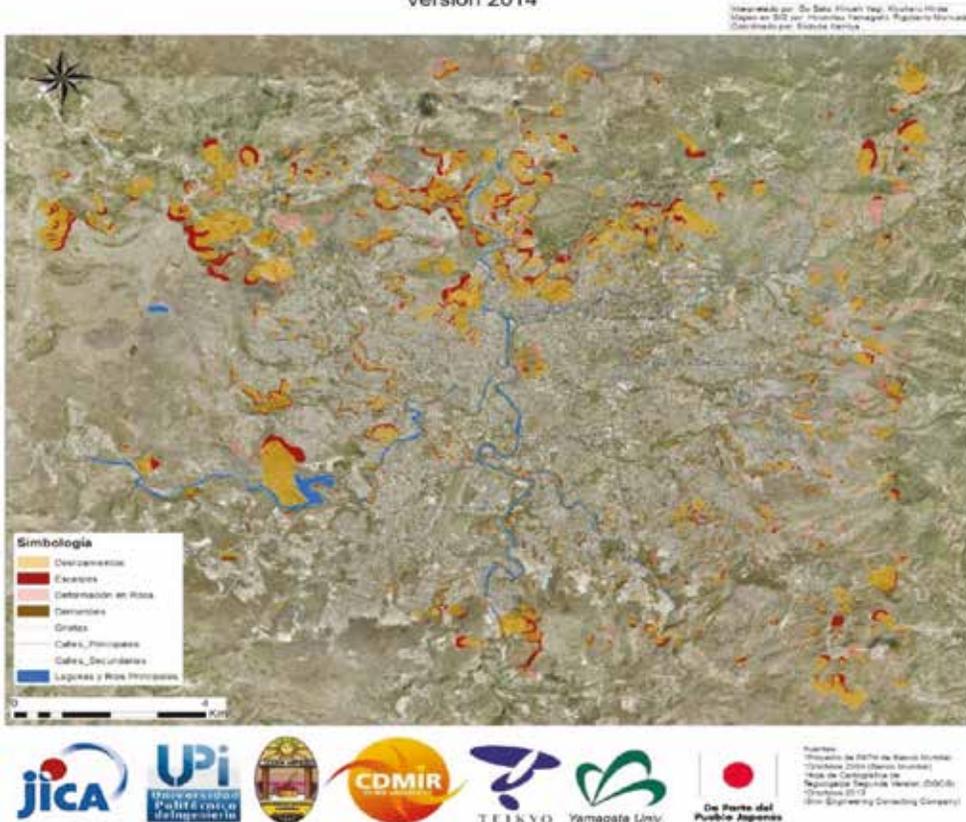
Otra información y herramientas de importancia para el desarrollo del mapa incluyeron las hojas cartográficas de Tegucigalpa en escala 1:12.000, los mapas geológicos de Tegucigalpa, Lepaterique y San Buenaventura en escala 1:50.000 (IGN, 1987) y la revisión de perfiles y modelos de terreno tridimensional de Google Earth, los cuales pueden revelar detalles adicionales de deslizamientos (Yamagishi & Moncada, 2017).

## **Resultados**

La Figura 2, muestra el mapa completo desarrollado por el equipo de expertos; el grupo de estudiantes también desarrolló su propio mapa por separado. Ambos mapas fueron entregados de forma física (mapas y manual impreso) y digital (formato shape) a autoridades correspondientes en el tema de desastres y planificación urbana. Actualmente, esta información está disponible al público mediante el siguiente portal web: [amdc.giscloud.com](http://amdc.giscloud.com) (AMDC, 2017).

Adolfo Quesada-Román, Rigoberto Moncada-López, Jorge Antonio Paz-Tenorio, Eveling Espinoza-Jaime, Carmen Gutiérrez-Gutiérrez, Alex Castellón-Meyrat, Norwin Acosta-Galeano. Las investigaciones sobre movimientos de laderas en Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua: enseñanzas desde la academia, las agencias de cooperación y las instituciones públicas

## Figura 2. Inventario de Movimientos de Ladera de Tegucigalpa MAPA DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA DE TEGUCIGALPA Versión 2014



Fuente: Yamagishi et al. (2014)

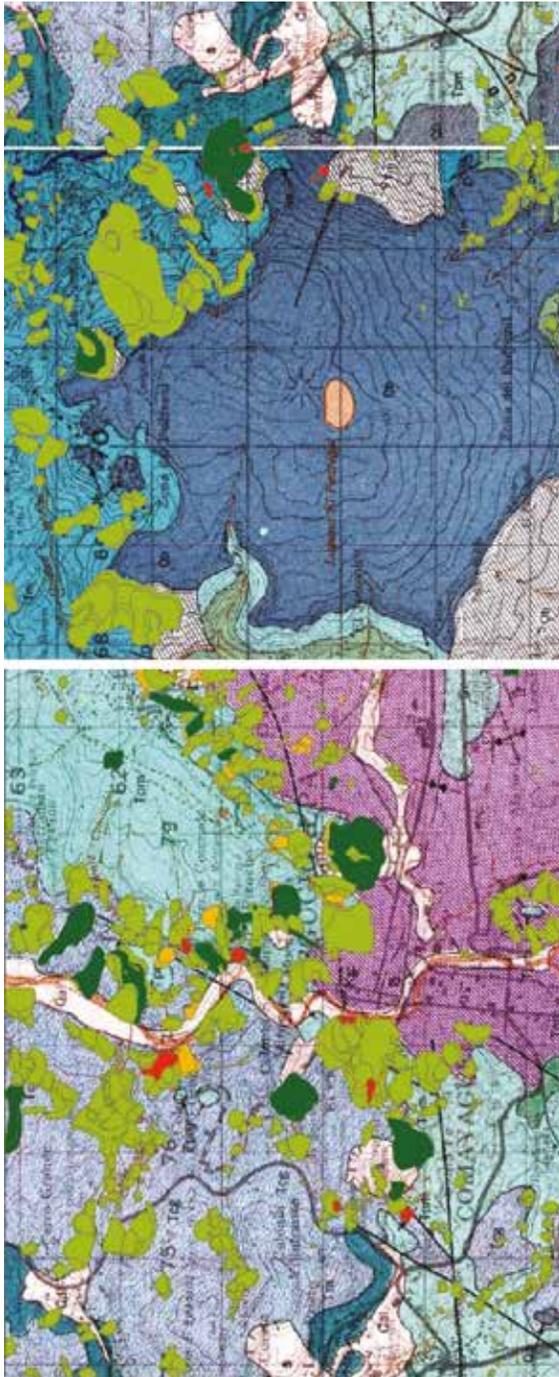
Al poder trabajar con una escala de 1:9.000 fue posible hacer un inventario que tuvo como resultado la identificación de movimientos de ladera con áreas tan grandes como 0.94 km<sup>2</sup> y tan reducidas como 0,000086 km<sup>2</sup> (86 m<sup>2</sup>), de manera que se pudieron localizar no solamente bloques principales, sino también sub-bloques y derrumbes menores. Para el área de estudio de expertos (300 km<sup>2</sup>), un 8.43% (25.28 km<sup>2</sup>) estaba ocupada por fenómenos de movimientos de ladera. Es importante mencionar que la resolución de la imagen y la percepción de profundidad del estereoscopio pueden ayudar a una caracterización general del deslizamiento, pero se requieren de estudios de campo para clasificar correctamente el tipo movimiento de ladera y su nivel de amenaza.

En base a los resultados, se determinó que la mayor parte de los deslizamientos se encuentran al norte del área metropolitana, en especial al noroeste. Este hecho se relaciona con la topografía de la ciudad, donde la zona norte presenta mayor cantidad de montañas y pendientes pronunciadas. Si se compara con el mapa multi-amenaza de PNUD/GOAL (CI AMBIENTAL, 2013) que emplea una clasificación por pendientes como uno de sus parámetros, se encuentra un resultado muy similar. De acuerdo a Carías et al. (2015), los mayores valores de disección vertical también se presentan en la mitad norte de Tegucigalpa y muchos de ellos coinciden con la localización de deslizamientos. Asimismo, estas condiciones se combinan con la cercanía al Río Choluteca, donde las zonas con pendiente más pronunciadas resultan en la aglomeración de deslizamientos a lo largo del cauce del río.

Otro factor relevante que puede explicar esta mayor densidad de deslizamientos en el lado norte es la presencia de contactos litológicos como en la frontera entre las rocas volcánicas del Grupo Padre Miguel y las rocas sedimentarias subyacentes del Grupo Valle de Ángeles, en zonas de deslizamientos relevantes, tales como El Berrinche, El Reparto, Col. Viera, Col. Canaán, entre otras. Otro ejemplo de los efectos de estos contactos, se presenta en el Cerro El Pedregal, donde se han identificado y desarrollado numerosos movimientos de ladera en los límites entre un domo de basalto del Cuaternario e ignimbritas y coladas ríolíticas del Grupo Padre Miguel y de la Formación Matagalpa (Hirota&Kamiya, 2014). En la Figura 3, se muestran ejemplos de estos contactos o fronteras.

Por otro lado, en la zona sur de la ciudad, al tener una topografía predominantemente llana, se encontró menor prevalencia de topografías de deslizamientos. Lo mismo puede atribuirse a la menor cantidad de contactos litológicos, en comparación a la zona norte. Aun así, también se presentaron numerosos movimientos de ladera en ciertas zonas.

**Figura 3.** Ubicación de contactos litológicos y deslizamientos identificados



**Fuente:** Elaboración propia.

## **Los estudios de movimientos de ladera en Honduras**

Dentro de Honduras, una cantidad considerable de los estudios detallados en el tema de deslizamientos se ha realizado en la ciudad capital, ya que su vulnerabilidad ha resultado en constantes pérdidas humanas y materiales por los movimientos de ladera. Desde este punto de vista, las investigaciones que sirven como punto de partida son los estudios desarrollados por la USGS como Harp et al. (2002), entre otros, y el Plan Maestro de JICA (2002), generados en los años posteriores al desastre del Huracán Mitch. Seguidamente, otros proyectos como DIPECHO por parte de PNUD (2010) y DesInventar (Rosales, 1998) han aportado al conocimiento de la ubicación y susceptibilidad de los deslizamientos.

Una comparación y validación interesante de estas investigaciones anteriores con el inventario desarrollado por JICA, es aquella con el Mapa de Amenaza por Remoción en Masa Ajustado por el Método Heurístico desarrollado por PNUD/GOAL/CI AMBIENTAL, con actualización en 2013. Un porcentaje considerable de los deslizamientos (aprox. 98%) identificados en el mapa de inventario de 2014 coincide con las zonas de alta amenaza, determinadas por el mapa con el método heurístico para las zonas en común analizadas entre ambos estudios.

Aun así, es importante recalcar que se identificaron signos de deslizamientos en zonas que no se clasificaron como amenaza alta, sino media (Ver Figura 4). La razón de estas diferencias es la tendencia a generarse movimientos de ladera en lugares de pendientes bajas y moderadas (menores a 20 grados) debido a la presencia de suelos residuales de deslizamientos anteriores. Otro factor relacionado puede ser la erosión ocasionada por ríos al pie de las laderas. Asimismo, por diferencias en resolución de los datos, hubo algunas fallas en laderas de unas pocas decenas de metros cuadrados que el mapa de multi-amenaza no identificó. Por esta razón, el mapa de inventario se puede considerar un aporte relevante para mejorar la exactitud en determinar lugares sensibles a deslizamientos y, sobre todo, en definir la forma de los escarpes, cuerpos, etc.

Aun con un mapa de inventario que identifica cientos de objetos específicos, la información actual es insuficiente. Es indispensable una caracterización in situ, objeto por objeto, de todos los deslizamientos identificados. El proyecto “Assistancefor Strengthening and Capacity-building of Professional Techniques for the Control and Mitigation of Landslide in

Tegucigalpa Metropolitan Area”, desarrollado entre 2015-2016 por la Universidad Autónoma de Honduras con apoyo de JICA, ha realizado trabajos de este tipo y se espera continúen en el futuro cercano analizando en campo la mayor cantidad de lugares posibles (Kuwano et al., 2016). También es necesario pasar a fases posteriores del mapeo de deslizamiento, con mapas de susceptibilidad, amenazas y riesgo con objetos de alta resolución. Finalmente, es vital que este mapeo sea acompañado por cambios en la gestión de la planificación urbana, legislación territorial y de permisos de construcción. Por ejemplo, materiales como el manual para la evaluación del riesgo de la infraestructura, desarrollado por la Cooperación Suiza y PNUD (Suarez, 2013), permiten la evaluación del riesgo de un emplazamiento de una manera objetiva, en la medida de lo posible.

**Figura 4.** Topografías de deslizamiento en Tegucigalpa



**Fuente:** CI AMBIENTAL (2013). La imagen muestra de Topografías de deslizamiento (dorado) que no coinciden con zonas de amenaza alta a movimientos de ladera (rosado)

### **Caso de México: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas**

Chiapas es el estado más meridional de la República Mexicana. Presenta una gran amplitud en su composición geológica, diferencias altitudinales, climas y asociaciones vegetales. Los componentes sociales y económicos no son la excepción, siendo Centroamérica un territorio con el que mantiene gran afinidad tanto en los aspectos mencionados como en sus relaciones cotidianas. Tuxtla Gutiérrez, capital de la entidad chiapaneca, forma parte de uno de los 118 municipios que integran el estado. El municipio tiene una extensión de 334.61 km<sup>2</sup>, es decir, el 0.45% del territorio estatal (Gobierno de Chiapas, 2012).

Tuxtla Gutiérrez, como varios núcleos urbanos, históricamente, ha crecido de manera rápida y desordenada, siendo la infraestructura y su población las que resienten los efectos. Se localiza al sur de la República Mexicana, en las coordenadas 16°54'11'' de latitud norte y 93°06'56'' de longitud oeste, su altitud varía en las partes elevadas habitadas de 830 msnm a 550 en la plaza central. La mesa kárstica de Copoya ocupa poco más de un tercio de la superficie del municipio, se localiza al sur de la ciudad, y es precisamente el crecimiento urbano hacia sus flancos, lo que ha desatado la problemática de movimientos de ladera a partir del año 1995, cuando se documentan los primeros daños (Paz-Tenorio, 2017).

La mesa de Copoya está constituida por rocas calizas-areniscas del Eoceno que corresponden a la formación Lomut (INEGI 2006a; SGM 2006). Otros autores (Ferrusquía-Villafranca, et al. 2000; Membrillo-Ortega, 2006) la clasifican en el Eoceno medio como formación San Juan. Se formó en ambientes marinos someros de acuerdo a los estudios paleontológicos (Mullerried, 1957; Ferrusquía-Villafranca et al. 2000; Avendaño-Gil, 2005). Estas calizas-areniscas yacen sobre limolitas y areniscas del Eoceno inferior de la formación El Bosque (SGM 2006) que a su vez se sobreponen a lutitas y areniscas del Paleoceno correspondientes a la formación Soyalo (Ferrusquía-Villafranca et al. 2000).

Estas últimas unidades litológicas se encuentran ocultas en su mayor parte en los alrededores de la mesa por depósitos recientes conformados por grandes bloques de caliza desprendidos (Colegio de Ingenieros Geólogos de México, 2000) debido al intenso fracturamiento marginal, además de roca muy alterada, por lo que la ladera es inestable de origen. Esta geoforma presenta condiciones favorables para los desprendimientos, ya que el fracturamiento

marginal es abundante, y la naturaleza kárstica, sumada a la acción del agua, genera intensos procesos de disolución, lo que se manifiesta en la abundancia de cuevas, simas y abrigos rocosos (Grupo Espeleológico Vaxakmen, 2009). Los desprendimientos generan largos escarpes que Lugo-Hubp, et al. (2005) clasifican como circos, efecto de erosión remontante. Ante estos elementos condicionantes, actúan los elementos detonadores como las lluvias abundantes entre los meses de mayo a octubre, la intensa y frecuente sismicidad por encontrarse bajo la influencia de la zona de subducción de las placas tectónicas de Cocos y Norteamérica, además de la placa del Caribe; y finalmente, la constante y mal ejecutada actividad humana con la apertura de conjuntos habitacionales, deforestación y alteraciones a la geometría original de la pendiente.

Fisiográficamente, se ubica dentro de la Depresión Central (Mulle-ried, 1957), que se encuentra delimitada por la sierra Madre de Chiapas al sur y el Altiplano central al norte. La mesa de Copoya tiene una elevación que oscila de los 800 a los 900 msnm, encontrando al extremo noroeste el cerro Mactumatzá (cerro de las once estrellas en lengua zoque) que alcanza los 1.140 msnm. Rodeada de valles fluviales, hacia el norte se define el correspondiente al río Sabinal, en donde se registran altitudes promedio de 550 msnm, hacia el este se encuentra el río Grijalva, siendo esta la parte más baja, cuya altitud oscila entre los 400 y 410 msnm. Hacia el sur y oeste, el valle del río Suchiapa se encuentra a 450 msnm. De estos datos se observan desniveles que oscilan entre los 300 a 400 m, situación que induce a energías de relieve considerables (Lugo-Hubp, 1988).

### **Metodología**

La aplicación de la heurística como método de aproximación resultó adecuada al contar con un vasto conocimiento documental y de campo de la zona, y compensar las limitantes de escala de la información cartográfica disponible. Esto representa un sólido sustento para la elaboración del mapa de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa para Tuxtla Gutiérrez, Chiapas escala 1:85.000 (Paz-Tenorio et al., 2012). Por lo anterior, el método heurístico con base en mapas cualitativos propuesto, fue sin duda el adecuado. En 2015, se revisa el mapa y se decide mejorarlo, aplicando además el análisis multicriterio, combinación también empleada por Muñoz-Jáuregui y Hernández-Madrigal (2012) en su mapa de susceptibilidad a Remoción en Masa en Puerto Vallarta, Jalisco, México.

Al momento de jerarquizar las variables empleadas, se estableció que, bajo condiciones de pendiente, drenaje y vegetación semejantes entre las laderas norte y sur, debían ser determinantes las diferencias litológicas, en primer lugar, y edáficas en segundo término. Esto, debido a que la ladera que se encuentra al norte de la ciudad no presenta hasta el momento problemas de inestabilidad. Por lo tanto, las variables involucradas fueron: geología, edafología, desniveles, densidad de drenaje y uso del suelo y vegetación.

### **Resultados**

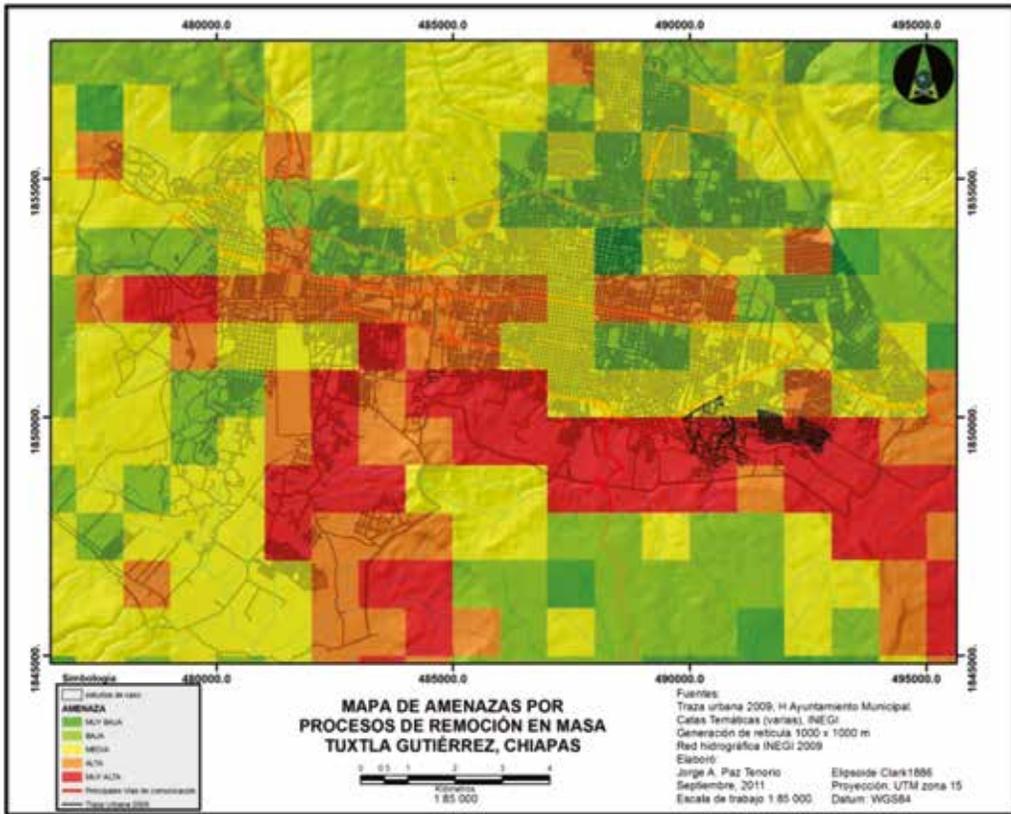
Previamente al Mapa de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa de Tuxtla Gutiérrez (Paz-Tenorio et al. 2011) (Figura 5), se obtuvo el mapa de Geoformas (2012, mejorado en 2015) (Figura 6), que caracteriza el relieve de acuerdo a la taxonomía propuesta por Priego et al. (2008), en donde se refieren a los depósitos de talud como “rampas de piedemonte”. A este mapa se le adicionó la información disponible en el inventario de eventos, que suma 31 eventos.

Limitante importante fueron las escalas de las fuentes cartográficas, ya que la cartografía temática se encuentra a escala de 1:250.000; la topográfica disponible a escala 1:50.000 con el apoyo de la topográfica escala 1:20.000 (de reciente edición) permitió identificar deslizamientos antiguos en los flancos de la mesa kárstica de Copoya. Se compensó la diferencia de detalle entre las escalas de la cartografía temática y topográfica, esto a partir de la definición de la unidad mínima cartografiable (UMC), que depende de la metodología propuesta para cada mapa. Para el caso de la cartografía 1:250.000, un área de 4 mm por lado en el mapa, equivale a 1 km por lado en el terreno (INEGI, 2006b).

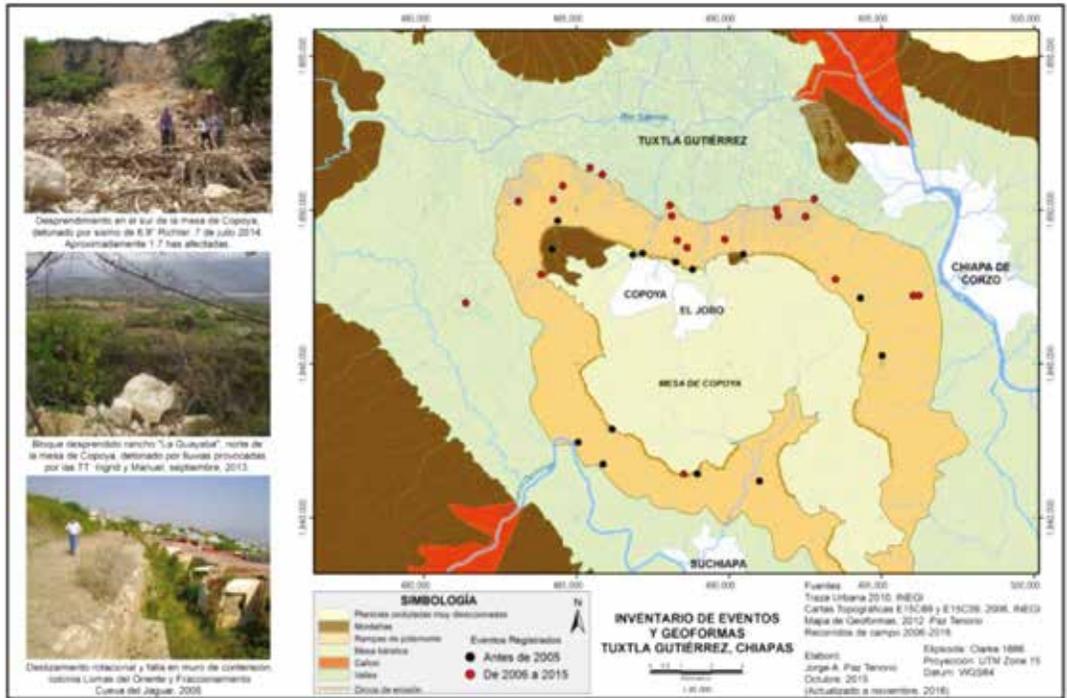
Sin embargo, considerando las celdas de 1 km por lado, en ocasiones había conflictos en su interpretación. A pesar de ello, este mapa fue retomado para el Atlas de Riesgos de Tuxtla Gutiérrez (H. Ayuntamiento Municipal, 2012). Al respecto, Lugo-Hubp (1988), menciona que este tipo de mapas elaborados a partir de figuras geométricas puede mantener este formato para su representación final, o afinarse a través de métodos de interpolación para el trazo de isolíneas.

Adolfo Quesada-Román, Rigoberto Moncada-López, Jorge Antonio Paz-Tenorio, Eveling Espinoza-Jaime, Carmen Gutiérrez-Gutiérrez, Alex Castellón-Meyrat, Norwin Acosta-Galeano. Las investigaciones sobre movimientos de laderas en Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua: enseñanzas desde la academia, las agencias de cooperación y las instituciones públicas

**Figura 5.** Mapa de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa para Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México (2012)



**Figura 6.** Inventario de Eventos y Geoformas para Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México (Paz-Tenorio, 2012)



Fuente: Paz-Tenorio et al. (2017)

Para el mapa mejorado (Paz-Tenorio et al., 2017), a cada cuadro de la retícula se le generó un centroide para aplicar el proceso de interpolación y generar las isolíneas. Para las variables numéricas como densidad de drenaje y desniveles, se utilizaron los rangos definidos (número de intervalos iguales) por el software ArcMap (versión 9.3). Para las variables no cuantitativas como son geología, edafología y uso del suelo y vegetación, se utilizó el mismo método AHP, obteniendo valores numéricos para la representación cartográfica.

A través de métodos de interpolación, aplicando el método Kriging de la extensión Spatial Analyst, se logró perfeccionar el Mapa (Figura 7).

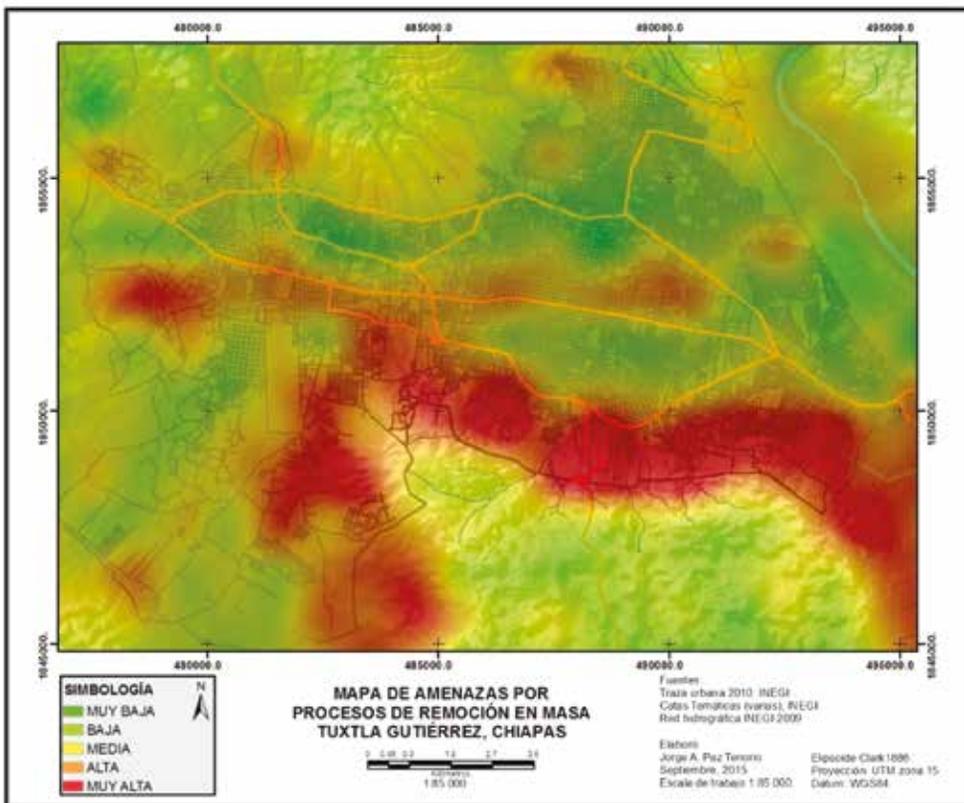
La jerarquización de las variables quedó como se muestra, apoyándose en el Proceso de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process AHP) (Saaty, 1988):

*Adolfo Quesada-Román, Rigoberto Moncada-López, Jorge Antonio Paz-Tenorio, Eveling Espinoza-Jaime, Carmen Gutiérrez-Gutiérrez, Alex Castellón-Meyrat, Norwin Acosta-Galeano. Las investigaciones sobre movimientos de laderas en Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua: enseñanzas desde la academia, las agencias de cooperación y las instituciones públicas*

1. Geología
2. Desniveles
3. Densidad de drenaje
4. Edafología
5. Uso del suelo y vegetación

Esta jerarquización de criterios se sustenta a partir de las investigaciones realizadas en la zona por especialistas, entre ellos, se han mencionado los trabajos de: Muciño-Porras, Domínguez-Salazar y Villalvazo-Báez (2005), Membrillo-Ortega (2006), Mora et al. (2007), Gobierno de Chiapas (2011); Espíritu (2012), y Secretaría de Gobierno (2015).

**Figura 7.** Mapa de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa para Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México (2015)



**Fuente:** Paz-Tenorio et al. (2015)

En las variables no cuantitativas se obtuvieron los valores normalizados y un Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) (este último de acuerdo a la dimensión de la matriz), inferiores al 10% (Saaty, 1988), por lo que las ponderaciones son correctas. Este método también es empleado por Aceves et al. (2006); Borja-Baeza (2012); Celmín (2014) Hernández et al. (2013); Muñiz-Jáuregui y Hernández-Murillo (2012) y Murillo-García (2013), esta última, lo menciona como uno de los métodos aplicables.

Una vez refinado el método, se procedió a estimar los elementos expuestos. Para el caso de estudio de la ladera sur en Tuxtla Gutiérrez, se presentaron cinco niveles de amenaza en la zona, abarcando los siguientes porcentajes: Muy baja 5%, Baja 27.1%, Media 39.3%, Alta 15.3% y Muy Alta 13.3%, siendo esta última la que se distribuye en su mayor parte en los depósitos de talud, alrededor de la mesa de Copoya, lo que confirma su situación de máximo peligro ante movimientos de ladera. Se calcula una población expuesta de aproximadamente 76.975 habitantes (14 % del total) (537.102 habitantes en el área urbana) que residen tanto en la parte sur de la ciudad como en 30 localidades rurales asentadas en los flancos de la mesa de Copoya; se estiman poco más de 23.968 viviendas expuestas agrupadas en 1.041 manzanas.

### **Los estudios de procesos de ladera en México**

Paz-Tenorio et al. (2011) realizan una revisión de casos ocurridos en Chiapas entre 2006 y 2011, en este documento, se registran eventos tanto en zonas rurales como urbanas e, inclusive, zonas de cultivo de café. Algunas instituciones como el Servicio Geológico Mexicano (SGM) (2016), han elaborado cartografía de peligros y/o riesgos a nivel estatal y municipal. El SGM reporta: atlas de peligros de Tamaulipas, Hidalgo, Querétaro, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Tabasco y Chiapas, entre otros.

La Secretaría de Gobernación, a través del CENAPRED, en su portal de internet, al 31 de mayo de 2013, publicó un resumen de los Atlas Municipales de Peligros y Riesgos disponibles en el país para ese año (actualmente ya no está disponible esta información); en total eran 21 municipios de 14 estados los que disponen de esta importante herramienta en la gestión del riesgo. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2011 reporta la existencia de 2.456 municipios en el país, por lo que,

con base al dato arriba mencionado, solamente al 0.8% del total nacional han publicado este documento. El estado de Veracruz destacaba a nivel nacional al tener la mayor cantidad de publicaciones referentes a Atlas de Riesgos para 5 municipios. Continúan: Quintana Roo con 3, Baja California Sur, Colima y Campeche con 2; finalmente, Baja California, Chihuahua, Sinaloa, Tamaulipas, Morelos, Guerrero, Oaxaca y Yucatán con 1. Todos disponibles en ese año a través de un sitio web.

En cuanto a bases de datos existentes, La RED, a través del Sistema de inventario de efectos de desastres DesInventar, permite el libre acceso a una base de registros de sucesos ocurridos en países de América Latina (excepto Brasil), Asia y África (<http://www.desinventar.org/es/>). Sin embargo, solo 4 casos relacionados con deslizamientos son reportados para Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, cuando en el mapa de inventario elaborado por Paz-Tenorio (2017), se disponen de 31 para el mismo municipio.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía publica un mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa en la zona del Macizo Chiapaneco (INEGI, 2015), escala 1:500.000. En él se identifican 6.305 eventos, principalmente, a partir de la interpretación de ortofotografías e imágenes recientes obtenidas del software libre Google Earth. No se especifica cuántos ni cuáles fueron verificados durante recorridos de campo. Cabe destacar que el área analizada representa el 30% del territorio chiapaneco, y no abarca zonas en donde históricamente se han registrado diferentes y recurrentes PG, como en el caso de las montañas del norte y la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado.

### **Caso de Nicaragua: Análisis y evaluación de la susceptibilidad por deslizamientos en San Juan del Río Coco**

En Nicaragua, los movimientos de laderas representan uno de los procesos geológicos de alta recurrencia, principalmente, en la estación lluviosa con precipitación máxima en los meses de junio y septiembre, que corresponde al 20% de los totales anuales. Estos eventos constituyen una amenaza en las vidas humanas, cultivos e infraestructura. La ocurrencia de terrenos inestables en Nicaragua obedece, exclusivamente, a factores condicionantes como la geología, el grado de pendiente y aspectos determinantes de la edad, naturaleza y calidad de las rocas y suelos de determinada área o territorio. Al respecto, es importante conocer las propiedades físico-mecánicas de los

materiales, la estructura tectónica regional y local, aspectos como el patrón climático y de precipitación en los procesos de erosión - sedimentación, estabilidad de taludes, así como la actividad sísmica regional, semi-regional y local. En este sentido, este estudio propone una zonificación cartográfica de la susceptibilidad por inestabilidad de laderas, se centra principalmente en conocer y caracterizar la distribución espacial de los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en el desarrollo de deslizamientos en el municipio y alrededores de San Juan del Río Coco.

San Juan del Río Coco se localiza en las coordenadas 13.5448°N y 86.1663°W, en el departamento de Madriz, en el norte-centro de Nicaragua, su población es de 21.000 habitantes (INEC, 2000); se distingue por su relieve montañoso y escarpado, con elevaciones de fuertes pendientes de 1.492 msnm (Cerro del Malacate), entre otras elevaciones que promedian un poco menos que 1.000 msnm. Este relieve es coherente con su geología, conformada por un dominio de rocas metamórficas (filitas y esquistos) y, localmente, por rocas graníticas acidas (Volcán Cerro El Malacate) e intrusivos básicos menores; además de lavas volcánicas al sur. Todas estas rocas son cortadas por lineamientos y fallas geológicas con direcciones noreste y este-oeste, que contribuyen con el relieve abrupto del terreno generando las condiciones para que se produzcan diferentes tipos de inestabilidades.

De las rocas volcánicas se han derivado principalmente Alfisoles, suelos arcillosos de color rojizo, ricos en óxidos de hierro y aluminio y pH ácidos aptos para el cultivo de café bajo sombra; el uso de suelo dominante en el paisaje. La meteorización de rocas graníticas y metamórficas en climas secos, en combinación con fuertes pendientes, ha dado origen a Entisoles e Inceptisoles, suelos poco desarrollados, susceptibles a erosión y no aptos para la agricultura, donde predominan bosques de pino o ciprés. La principal fuente hidrográfica del municipio corresponde al Río Coco que recorre el territorio en dirección oeste - este, los ríos de la zona, como el San Juan que cuenta con una longitud de 17.96 km con área de cuenca de 6,314 km<sup>2</sup>, es alimentado de nacientes y quebradas que bajan de los cerros, como La Alcantarilla, La Palma, El Bálsamo, San Antonio y Samarcanda, dando lugar a un patrón de drenaje dendrítico. Estos cursos de agua se descargan al Río Coco, el drenaje más importante que sirve de límite con el Municipio San Sebastián de Yalí.

## **Metodología**

A raíz del desastre por el paso del Huracán Mitch (1998), se inició de manera sistemática el estudio de movimientos de laderas y se hizo evidente la necesidad de contar con una herramienta base en la prevención y mitigación del riesgo. Se desarrolló una base de datos desde el año 2004, que incluye sitios potenciales a movimientos de laderas en asentamientos, poblados y zonas potenciales expuestas a esta amenaza. Los sitios críticos representan un conjunto de entornos (peligros naturales, vulnerabilidad de las condiciones en infraestructuras, condiciones socio-económicas, jurídicas, entre otras), donde es necesario y urgente la aplicación de medidas inmediatas de mitigación para evitar las posibles pérdidas de vidas humanas y daños a la propiedad e infraestructura. Para actualizar anualmente esta base de datos, se realizan levantamientos de información de campo, tomando en cuenta la guía técnica para la elaboración de mapas de amenaza por inestabilidad de laderas (MET-ALARN-COSUDE, 2005), el monitoreo continuo de acumulados de lluvia en tiempo real y vigilancia sísmica por ocurrencia de lahares en las zonas volcánicas, son herramientas claves para el monitoreo y alerta oportuna a la población.

A nivel municipal se han logrado elaborar mapas de susceptibilidad (escala 1:10.000, 1:25.000 y 1:30.000) ante fenómenos de inestabilidad de laderas como herramientas de apoyo para definir líneas de acción en la planificación territorial. Estos mapas se basan en el análisis de los factores condicionantes y desencadenantes que tienen influencia en el área de estudio y tratan de representar el comportamiento futuro de las laderas de acuerdo a evidencias intrínsecas del terreno.

En el análisis enfocado al proyecto de San Juan del Río Coco se utilizó el Método de Superposición de Mapas con Índices Multiclases, incluido en las herramientas del Análisis Espacial de ArcGIS (Versión 10.2). A partir de la combinación de factores condicionantes, tales como pendiente y geología, se logró identificar las laderas más propensas a la ocurrencia de deslizamientos. La información de pendientes se derivó de las curvas de nivel del terreno con intervalo vertical de 20 metros, obtenidas de los mapas topográficos de INETER, año 1988, escala 1:50.000; y la geología procede de los mapas geológicos elaborados por Catastro e Inventario de los Recursos Naturales, año 1972, escala 1:50.000. La información fue incorporada a una base de datos geográfica utilizando el programa ArcGIS

(Versión 10.2). Para cada factor condicionante se generó un mapa preliminar, agrupando la información por categorías y asignando pesos relativos de susceptibilidad a inestabilidad de laderas. Los mapas se elaboran en formato raster con un tamaño de celda de 20 metros. El mapa resultante muestra cuatro zonas o rangos de susceptibilidad (baja, media, alta y muy alta). Esto permitió caracterizar la distribución espacial de los factores condicionantes, así como mostrar las áreas relativamente seguras ante deslizamientos y zonas críticas propensas a deslizarse.

## **Resultados**

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Nicaragua, escala 1:750.000 (Ineter-BGR, año 2003) muestra que la mayoría de sitios de inestabilidad de laderas se concentran en el relieve de montaña de las regiones del centro, norte y la cadena volcánica del Pacífico. El área de estudio se ubica la cordillera de Dipilto de relieve montañoso, caracterizada por zonas de altas pendientes. La ocurrencia de procesos de inestabilidad de laderas en San Juan del Río Coco se debe, fundamentalmente, a factores condicionantes como litología, pendiente, topografía, estructura y forma del terreno y erosión hídrica.

El cambio e intensivo uso del suelo, precipitaciones de larga duración, sismicidad local y variabilidad climática, a largo plazo constituyen los principales elementos para la detonación de movimientos de laderas. En la cartografía realizada a escala 1:25.000, se identificaron en su mayoría deslizamientos de tipo superficial, rotacional y traslacional en suelos lateríticos y rocas filitas y esquistos con alto grado de meteorización y en zonas de pendientes abruptas mayores de 30°.

Sitios de derrumbes puntuales se concentran en cortes verticales de roca fracturada y en la mayoría de los casos meteorizada y zonas de pendientes abruptas, considerados como sitios peligrosos de amenaza alta, debido a que han causado daños especialmente a los tramos de carretera y caminos de acceso. Así mismo se identificaron zonas de derrumbe en sitios canteras, donde se da mucha remoción de material, de la capa vegetal, lo que facilita la erosión directa de la roca causando un peligro de inestabilidad de las laderas.

Reptación o movimiento lento del suelo son bastante comunes en terrenos metamórficos que se evidencia por el desarrollo de caminos de

vaca, cárcavas y aparición de pequeños, pero continuos escarpes en forma de graderíos. Las condiciones favorables son lomas desforestadas usadas como potreros, pendientes mayores de  $60^\circ$ , roca meteorizada e inclinación de la foliación siguiendo la pendiente, lo que las hace muy susceptibles a movimientos de laderas. En el Mapa de inventario por inestabilidad de laderas, estas áreas tienen un grado de amenaza de medio a bajo.

Se establecieron cuatro zonas de susceptibilidad (Cuadro 1 y Figura 7) en el municipio San Juan de Río Coco; las zonas de susceptibilidad alta a muy alta es donde se producen con mayor frecuencia y magnitud procesos de inestabilidades, están identificadas con colores rojo claro y oscuro en el mapa (Figura 8). Esta zona corresponde al 44,796% del área y cubre zonas de laderas escarpadas con pendientes mayores de  $20^\circ$ , en rocas metamórficas altamente intemperizadas y fracturadas. La ocurrencia de deslizamientos es no menor del 50%, en condiciones de lluvia intensa y posiblemente sismos importantes en pendiente mayores de  $30^\circ$ .

Zona de susceptibilidad media: representa el 39,77% del área, está identificada en color naranja. Cubre las laderas con pendientes de  $10^\circ$  a  $20^\circ$ . Es una zona de inicio de deslizamientos por la remoción de bloques, escarpes, acelerados por la lluvia o sismos.

En color amarillo están las zonas de susceptibilidad baja, presenta condiciones menos favorables para la ocurrencia de inestabilidades, predomina un relieve plano con pendientes bajas normalmente menor que  $10^\circ$ , corresponde a las zonas relacionadas con los valles de los ríos, sujetas a inundación y flujos torrenciales durante la lluvia. Por su ubicación entre zonas de alta y media susceptibilidad son propensas a los impactos de inestabilidades generadas sobre ellas. Es común encontrar acumulación de depósitos coluviales en la base de las laderas como evidencias de derrumbes o deslizamientos ocurridos. Por ello, debe ser considerada como zona de impacto y tener un tipo de regulación especial.

La zona de baja susceptibilidad comprende el 15,47% del área. Representa zonas viables para emplazamiento de sitios urbanos e infraestructura de servicios públicos como escuelas, centros de salud y centros de albergues, siempre y cuando se realicen medidas correctivas, y se consideren sectores aledaños con susceptibilidad media a muy alta.

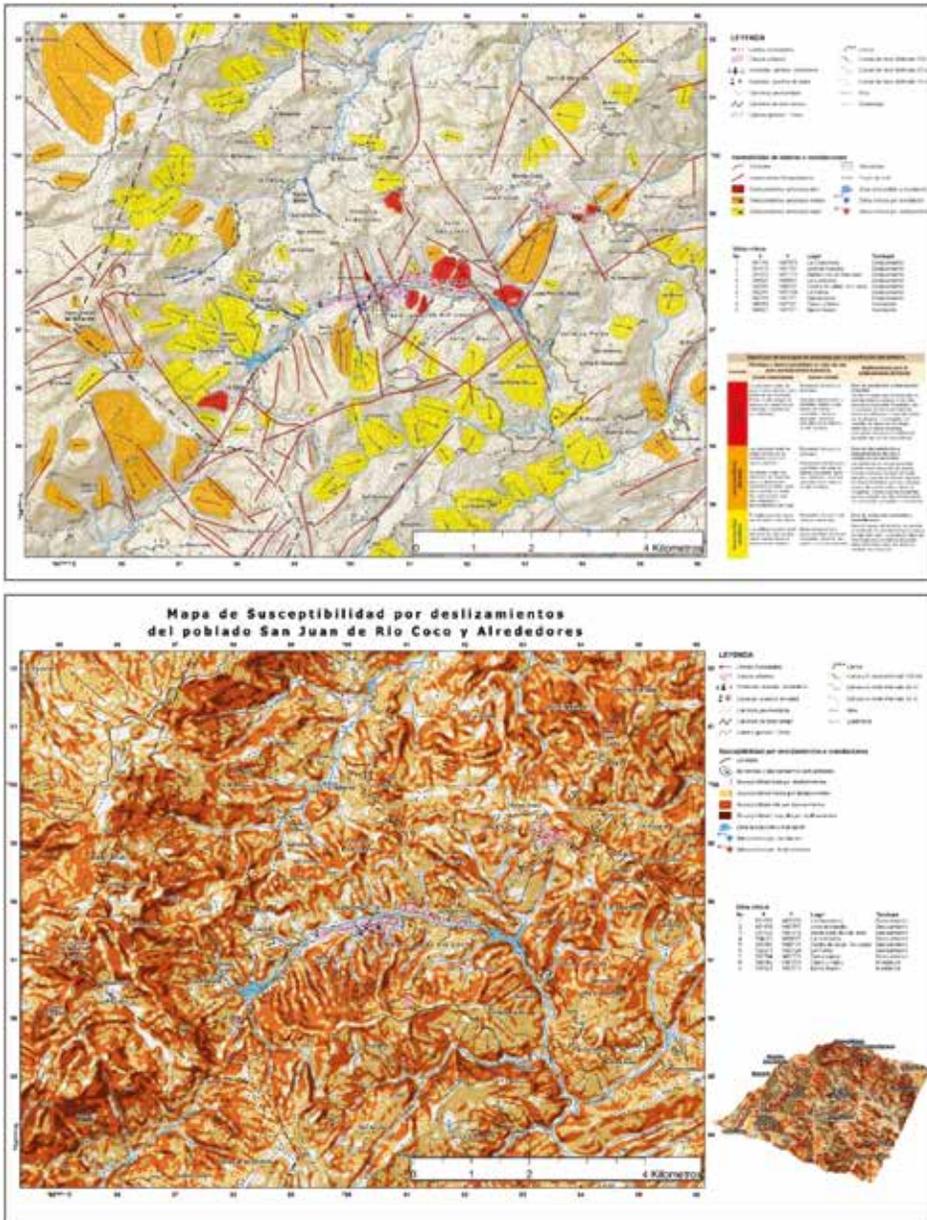
*Adolfo Quesada-Román, Rigoberto Moncada-López, Jorge Antonio Paz-Tenorio, Eveling Espinoza-Jaime, Carmen Gutiérrez-Gutiérrez, Alex Castellón-Meyrat, Norwin Acosta-Galeano.* Research on hillslope processes in Costa Rica, Honduras, Mexico and Nicaragua: teachings from the academy, cooperation agencies and public institutions

**Cuadro 1.** Características y clase de susceptibilidad a inestabilidad de laderas

<b>Factor condicionante</b>	<b>Agrupación</b>	<b>Susceptibilidad</b>	<b>Peso relativo</b>
Pendiente (en grados)	0 10	Baja	1
	10 – 20	Media	2
	20 30	Alta	3
	> 30	Muy Alta	4
Geología	PTif (Plioceno Terciario Intrusivo félsico)	Baja	1
	PTim (Plioceno Terciario Intrusivo máfico)	Baja	1
	PTii (Plioceno Terciario Intrusivo intermedio)	Baja	1
	PTm (Paleozoico Terciario Metamórfico)	Alta	3
	Tomm (Terciario Oligoceno Mioceno Matagalpa)	Alta	3

Adolfo Quesada-Román, Rigoberto Moncada-López, Jorge Antonio Paz-Tenorio, Eveling Espinoza-Jaime, Carmen Gutiérrez-Gutiérrez, Alex Castellón-Meyrat, Norwin Acosta-Galeano. Las investigaciones sobre movimientos de laderas en Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua: enseñanzas desde la academia, las agencias de cooperación y las instituciones públicas

**Figura 8 y 9:** Mapa de Inventario y susceptibilidad por deslizamientos del poblado de San Juan de Río Coco y alrededores



Fuente: Ineter-BGR, 2003

## **Monitoreo y control de deslizamientos en Nicaragua**

Por sus características geográficas y geológicas, Nicaragua presenta una alta susceptibilidad a los movimientos de laderas. A finales del año 1998, después del paso del Huracán Mitch y la ocurrencia del deslave del volcán Casita al occidente del país, con más de 2.000 víctimas, se inician de manera sistemática estudios de deslizamientos en Nicaragua, a nivel nacional para identificar y evaluar las áreas inestables. En las regiones Centro, Norte y la cordillera volcánica existen registros históricos de grandes deslizamientos que han cobrado vidas humanas y materiales, relacionados con lluvias fuertes y otros eventos meteorológicos y geológicos que determinan y provocan una gran variedad de acontecimientos peligrosos como deslizamientos, lahares, caída de rocas, flujos detritos y lodos, entre otros. De cara a la eventualidad de estos fenómenos se ha desarrollado un análisis y obtención de mapas pronósticos de procesos de deslizamientos en todo el país, que sirva como una herramienta base en la óptica de prevención y reducción del riesgo a desastre por movimientos de laderas, y que contribuya en la toma de decisiones de la planificación y el ordenamiento territorial.

Es muy importante señalar que la escala a la que se han realizado estos estudios, debe de ampliarse con la finalidad de definir mejores zonas potenciales y su posible reactivación, así como monitoreo continuo de estos procesos, con la finalidad de tener información detallada para tomar medidas de prevención y planificación del uso del terreno en el municipio. Existe una base de datos creada en 1999 a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG). La información de la base de datos se recopiló, mediante proyectos de mapeo realizados en el tema de susceptibilidad de laderas y el reconocimiento geológico en sitios donde han ocurrido deslizamientos, principalmente en el norte, centro y a lo largo de la cadena de volcanes activos del país. Un total de 2.003 sitios de deslizamientos se habían registrados al año 2005.

Para actualizar anualmente la base de datos nacional de los sitios por deslizamientos, principalmente, en áreas, asentamientos y poblados expuestos a esta amenaza, se realiza levantamiento de información en campo, haciendo uso de mapas topográficos (escala 1:50.000, 1988) y fotografías aéreas (escalas: 1:40.000/1:30.000; 2004, 1970), obtenida de la Dirección de Geodesia y Cartografía del Instituto Nicaragüense de Estudios

Territoriales (INETER). En época lluviosa (meses de mayo a octubre), se realiza un monitoreo de los acumulados de lluvias en tiempo real de estos sitios susceptibles a deslizamientos, a través de imágenes satelitales, en las diferentes regiones del país, y con apoyo en los dos últimos años de ICDF y Universidad de Taiwán quienes proporcionan imágenes satelitales para el análisis de sitios inestables. Así mismo, se utilizan datos de lluvia actualizados cada 30 minutos con satelitales de la NOAA/NESDIS. El uso de herramientas web como la Plataforma integrada de Advertencia contra Todo Riesgo, Análisis y Evaluación de Riesgos (Pacific Disaster Center, 2011) y el monitoreo de la vigilancia sísmica son bases claves en el monitoreo oportuno de movimientos de laderas. Una limitante es la carencia de cartografía a detalle (50.000 o mayor).

### **Discusión de resultados y conclusiones**

A partir de los estudios de caso por país y la disponibilidad de información para cada uno de ellos, se realizó un cuadro comparativo (Cuadro 2), en el cual se plasman los casos, áreas estudiadas, los insumos y herramientas, así como los productos obtenidos en términos de movimientos de ladera.

**Cuadro 2:** Comparación de los estudios de caso: insumos, herramientas y productos

CASO	AREA/ UNIDAD	INSUMOS Y HERRAMIENTAS	PRODUCTO
COSTA RICA	Cuenca Alta Río General 9.584° y 9.211° Lat N -83.818° y -83.479° Lon W 1.5 Km <sup>2</sup>	Base de Datos Desinventar Mapas Topográficos 1:50 000, 1:25.000. Fotografías Aéreas 1:25 000 (2005)	Mapa de Peligros a Procesos de Ladera de la Cuenca Alta del Río General 1:25 000
HONDURAS	Zona Metropolitana Tegucigalpa-Comayagüela 14.160 y 13.974° Lat N -87.300° y -87.120° Lon W 380 Km <sup>2</sup>	Fotografías Aéreas 1:9.000 Mapa topográfico :12 000 Mapa Geológico 1:50 000 Google Earth SIG y recorridos de campo	Mapa de Deslizamientos De Tierra de Tegucigalpa 1:40 000
MÉXICO	Zona Urbana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 16.784° y 16.702° Lat N -93.192° y -93.023° Lon W 185 Km <sup>2</sup>	Base de Datos 2006 a la actualidad Mapa Topográfico 1.50 000 y 1:20.000 Mapas Geológicos, Edafológicos y Vegetación 1:250.000 SIG y recorridos de campo	Mapa de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 1:85 000
NICARAGUA	San Juan del Río Coco 13.587° y 13.504° Lat N -86.220° y -86.111° Lon W 120 Km <sup>2</sup>	Base de Datos 2004 a la Actualidad Mapas Topográficos y Geológicos 1:50.000 Guía Técnica	Mapa de Inventario y Susceptibilidad por Deslizamientos 1:25000

Este estudio logra unir experiencias desde la Academia, Organizaciones No Gubernamentales y las Instituciones Públicas encargadas de la producción de cartografía y estudios para la gestión del riesgo de movimientos de ladera en Costa Rica, Honduras, México y Nicaragua. Es la primera vez que se hace un esfuerzo de este tipo entre dichos países, el cual nace a partir del Segundo Congreso Centroamericano de Movimientos de Ladera realizado en Julio de 2016 en Tegucigalpa.

Este trabajo refleja el estado actual de los estudios de los movimientos en masa, que junto con las inundaciones, es uno de los riesgos naturales que más afecta la región mesoamericana debido a sus características tectónicas, geológicas, climatológicas, y modificaciones antrópicas acaecidas, especialmente, en el último siglo, sobre todo con en el cambio del uso del suelo y el favorecimiento de procesos erosivos que llevan con el desarrollo de procesos de remoción en masa cada vez más frecuentes y peligrosos para la población.

El estudio da una visión general y regional de los alcances que tienen dichos estudios, muchas veces centrados en zonas de recurrente afectación por estos procesos, lo que sirve para mitigar el impacto de estos en el futuro, pero además da las pautas para desarrollar estas mismas metodologías en otras regiones de América Latina, dependiendo de los insumos con los que se cuenta, donde los movimientos de ladera también son una problemática ligada con los impactos antrópicos, y las variaciones de la geodinámica tanto interna como externa.

### Referencias

- Aceves-Quesada, F., López-Lanco, J., Martín del Pozzo, A.L. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(2), 113-124.
- Alcaldía Municipal del Distrito Central-AMDC. (2017) *Portal de Mapas AMDC*. [online] amdc.giscloud.com. Recuperado de <http://amdc.giscloud.com/> [Fecha de acceso: 1 Feb. 2017].
- Alcántara-Ayala, I. (2000). Landslides: deslizamientos o movimiento del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas: Boletín del Instituto de Geografía-UNAM*, 41, 7-25.
- Alcántara-Ayala, I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries, *Geomorphology*, 47: 107-124.
- Anderson, M.G., Holcombe, E., Blake, J.R., Ghesquire, F.G., Holm-Nielsen, N., Fisseha, T. (2011). Reducing Landslide Risk in Communities: Evidence from the Eastern Caribbean. *Applied Geography*, 31(2): 590-599. DOI: 10.1016/j.apgeog.2010.11.001.

- Avendaño-Gil, M. J. (2005). Importancia paleontológica de la Mesa de Copoya. En: *VI Aniversario Grupo Espeleológico Vaxakmen*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(3): 1-52.
- Caballero, E. (2010). Planificación del Territorio Urbano en Honduras: Entre la Acción Pública y de Mercado. *Revista Postgrados UNAH*, 4(1), 68-79.
- Cariás, A., García, D., Orbera, L. & Cabrera, M. (2015). Correlación entre las Anomalías Morfométricas y los Deslizamientos en la Ciudad de Tegucigalpa. *Revista Milímetro / Universidad Politécnica de Ingeniería*, 1, 83-87.
- CI AMBIENTAL S.A.S. (2013). *Producto No.2 Actualización del Mapa de Amenazas por deslizamientos de la Ciudad de Tegucigalpa*. (Informe Final y Mapa. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD y GOAL). Proyecto Honduras.
- Borja-Baeza, R.C. (2012). *Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México*. (Tesis doctoral).
- Celemín, J.P. (2014). El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: un análisis comparativo. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, 6, 47-63.
- Colegio de Ingenieros Geólogos de México, A. C. (2000). *Estudio geológico ambiental del área donde se ubica el Zoológico regional "Miguel Álvarez del Toro" (ZOOMAT), de Tuxtla Gutiérrez, Estado de Chiapas, México*. (Informe técnico).
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996). Landslides Types and Processes. En *Landslides: Investigation and Mitigation*, edit. Por Keith A. Turner y Robert L. Schuster, 36-75. Washington: National Academy Press.
- Denyer, P., Montero, W. y Alvarado, G.E. (2003). *Atlas tectónico de Costa Rica*. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 79 pp.
- Denyer, P. y Alvarado G.E. (2007). *Mapa geológico de Costa Rica. Escala 1:400 000*. San José, Costa Rica: Librería Francesa.
- Devoli, G., Morales, A., & Høeg, K. (2007). Historical landslides in Nicaragua-collection and analysis of data. *Landslides*, 4(1), 5-18.

- Ebert, A. and Kerle, N. (2008). Urban Social Vulnerability Assessment Using Object-Oriented Analysis of Remote Sensing and GIS Data. A Case Study for Tegucigalpa, Honduras. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Sciences* 37(B7): 1306-[http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/7\\_pdf/7\\_WG-VII-7/02.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/7_pdf/7_WG-VII-7/02.pdf)
- Espinoza-Jaime, E., Dávila-Lorente, I., Acosta-Galeano, N., Castellón-Meyrat, A. y Gutiérrez-Gutiérrez, C. (2014). *Actualización del Mapa de sitios críticos por deslizamientos en Nicaragua*. INETER.
- Espíritu Tlatelpa, G. (2012). Movimientos de masas y sus implicaciones en el ordenamiento urbano. En: *El Sudcaliforniano; Ciencia, Innovación y Tecnología para el desarrollo de México*. 4,102. La Paz BCS. México. 22 de abril.
- Ferrusquía-Villafranca, I., Applegate, S.P. & Espinosa-Arrubarrena, L. (2000). First Paleogenesis elachifauna of the middle American-Caribbean Antillean region, La Mesa de Copoya, west-central Chiapas, Mexico-Geologic setting. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 17(1), 1-23.
- Gares, P. A., Shermamy, D. & Nordstrom, K. F. (1994). Geomorphology and Natural Hazards, *Geomorphology*, 10, 1-18. DOI: 10.1016/0169-555X(94)90004-3.
- Gobierno de Chiapas. (2012). *Carta Geográfica del Estado de Chiapas. Escala 1:500 000*.
- Gobierno de Chiapas. (2011). Dictamen de Identificación de Riesgos (Colonia Lomas del Oriente). Instituto de Protección Civil para el Manejo Integral de Riesgo de Desastres Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 18 de enero. pp 26.
- Grupo Espeleológico Vaxakmen. (2009). Proyecto Copoya, Chiapas. *Memorias del IXI Congreso Nacional Mexicano de Espeleología. Puebla, Puebla, México*. Febrero. 67-70 pp.
- Grupo de Mapeo de Deslizamientos de Tierra de Tegucigalpa (TLMG). (2014). *Manual Para Elaboración de Inventario de Deslizamientos de Tierra. Caso de aplicación: Ciudad de Tegucigalpa. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)*. Tegucigalpa. ISBN: 978-99926-701-1-8

- Harp, E., Reid, M., McKenna, J. & Michael, J. (2009). Mapping of hazard from rainfall-triggered landslides in developing countries: Examples from Honduras and Micronesia. *Engineering Geology*, 104, 295-311.
- Harp, E.L., Held, M.D., Castañeda, M.R., McKenna, J.P. & Jibson, R.W. (2002). Landslide hazard map of Tegucigalpa, Honduras. *U.S. Geological Survey Open-File Report 02-219*. 9 pp.
- Hernández-Moreno, G., Borja-Baeza, R.C., Garnica-Peña, R.J. y Alcántara-Ayala, I. (2013). Susceptibilidad a Procesos de Remoción en Masa. En: *Atlas de Factores de Riesgo de la Cuenca de Motozintla, Chiapas*.
- Highland, L.M. & Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides*. Circular 1325. Virginia: Reston, Geological Survey.
- Hirota, K. & Kamiya, S. (2014). Re-evaluation of Landslide Caused by Hurricane Mitch 1998, Tegucigalpa Honduras. In: *Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Volume 3: Targeted Landslides. Proceedings of World Landslide Forum 3, 2-6 June 2014, Beijing*, 393-400 pp.
- Huggett, R. (2007). *Fundamentals of Geomorphology*. Routledge. New York, Estados Unidos.
- Hungr, O., Leroueil, S. & Picarelli, L. (2013). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167-194.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). (2009). *Estudio sismológico y geológico Asociado a la actividad sísmica marzo de 2009, Municipio San Juan de Río Coco, Departamento de Madriz*. 40 pp.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). (2001). *Amenazas Naturales de Nicaragua*. Managua. 288 páginas.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). (2008). *Monitoreo satelital de acumulados de lluvia*. Recuperado de: <http://deslizamientos.ineter.gob.ni/>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (1987). *Mapa Geológico de Tegucigalpa, Lepaterique y San Buenaventura*. Tegucigalpa, Honduras. 1:50,000.

- Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT). (2014). Estudio Hidrogeoquímico de la parte alta de la cuenca del Río Choluteca. Subproducto 2.4, Actualización del inventario de recursos de aguas subterráneas. Universidad Autónoma de Honduras. Proyecto Fondo de Adaptación. 159 pp.
- Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT). (2012). *Atlas Climático y de Gestión de Riesgo de Honduras*. Universidad Nacional Autónoma De Honduras. 161 pp.
- Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT). (2011). *Cálculo de Umbrales para la Ciudad de Tegucigalpa*. Universidad Nacional Autónoma De Honduras. Convenio SERNA/UNAH. Proyecto Fondo de Adaptación. 40 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).. (1984). *Carta Topográfica E15C69 Tuxtla Gutiérrez. Escala 1:50 000*. Proyección UTM zona 15. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2006a). *Carta Geológica E1511. Escala 1:250 000*. Proyección UTM zona 15. México, archivo digital.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2006b). *Metodología para la actualización de la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación*, Serie V. Mimeog. Aguascalientes, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).. (2011). *Censo General de Población y Vivienda 2010*. Tabulados Básicos. Consulta en línea. [www3.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=27302&s=est](http://www3.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=27302&s=est).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).. (2015). *Mapa de Susceptibilidad del Fenómeno de Movimiento en Masa del Macizo de Chiapas*. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825209384>
- Japanese International Cooperation Agency (JICA). (2002). *The study on flood control and landslide prevention in the Tegucigalpa metropolitan area of the Republic of Honduras*. Prepared by Pacific Consultants International and Nikken Consultants, Inc., Tegucigalpa, Honduras.
- Kreft, S., Eckstein, D. & Melchior, I. (2016). *Global Climate Risk Index 2017. Who Suffers Most From Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2015 and 1996 to 2015*. Germanwatch. Briefing Paper.

- Kuwano, T., Hara, T., Tsukamoto, S., Inaoka, M. & Suzuki, H. (2016). JICA Project for strengthening and capacity building of landslide control and mitigation in Honduras. *Proceedings of Second Central American and Caribbean Landslide Congress*, 18-20 July 2016, Tegucigalpa, Honduras. 7-12 pp.
- LA RED (Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina) – Corporación OSSO. (2015). *DesInventar: Sistema de inventario de efectos de desastres de Costa Rica entre 1970 y 2013*. Ciudad de Panamá, Panamá.
- Lugo-Hubp, J. (1988). *Elementos de Geomorfología aplicada (Métodos cartográficos)*. IG/UNAM. México D.F.
- Lugo-Hubp, J., Zamorano-Orozco, J. J., Capra, L., Inbar, M. y Alcántara-Ayala, I. (2005). Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: Causas y efectos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(2), 212-228.
- Lugo-Hubp, J. (2011). *Diccionario Geomorfológico*. Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad de México, México. 479 pp.
- Membrillo-Ortega, H. (2006). *Geología de la meseta de Copoya*. Mimeog. Tuxtla Gutiérrez. 16 pp.
- MET-ALARN INETER-COSUDE. (2005). *Recomendaciones Técnicas para la Elaboración de Mapas de Amenazas por Inestabilidad de Laderas*. Managua, Nicaragua. 88 páginas.
- Mora-Chaparro, J.C., Carrera, M., García-Diego, A.M., Escobedo, S., Figueroa, H.N., Hernández, V.M. y Sol, L.L. (2007). Reporte de observaciones geológicas en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Informe técnico. Instituto de Protección Civil para el Manejo Integral de Riesgos de Desastre. pp 26.
- Muciño-Porras, J. J., Domínguez -Salazar, F.F. y Villalvazo- Báez, M. (2005). Informe técnico del problema de deslizamiento en las colonias Lomas del Oriente y la Cueva del Jaguar. Informe. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. pp 11.
- Murillo-García, F. G. (2013). *Análisis y Cartografía de Riesgo de Desastre por Procesos de Remoción en Masa en el Municipio de Pahuatlán, Puebla*. Tesis de Maestría, 2013. UNAM. 198 pp.
- Mullerried, F.K.G. (1957). *Geología de Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez. Gobierno de Chiapas.

- Muñiz-Jáuregui, J.A. y Hernández-Madrigal, V.M. (2012). Zonificación de procesos de remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco, mediante combinación de análisis multicriterio y método heurístico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29(1), 103-114.
- Pacific Disaster Center. (2011). Plataforma Integrada de Advertencia contra Todo Riesgo, Análisis y Evaluación de Riesgos. Recuperado de <http://emops.pdc.org/>
- Paz-Tenorio, J. A., Gómez-Ramírez, M., González-Herrera, R. y Domínguez-Salazar, F.F. (2011). Los procesos de remoción en masa; génesis, efectos y limitaciones en el crecimiento urbano de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista Geográfica de América Central*, Número Especial EGAL 2011, 1-18
- Paz-Tenorio, J. A. (2012). *La inestabilidad de laderas y la construcción social del riesgo; tres casos en el sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. (Tesis de Maestría) Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Noviembre, 2012. 160 pp.
- Paz-Tenorio, J.A., González-Herrera, R., Gómez-Ramírez, M. y Velasco-Herrera J.A. (2017). Metodología para elaborar Mapas de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía/UNAM* 92: 1-16. DOI: [dx.doi.org/10.14350/rig.52822](https://doi.org/10.14350/rig.52822)
- Paz-Tenorio, J. A. (2017). *Procesos Gravitacionales y la Construcción Social del Riesgo en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México*. (Tesis Doctoral). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México. 153 pp.
- Peña-Monné, J. L. (1997). Cartografía Geomorfológica: Básica y Aplicada. Geoforma Ediciones. Logroño, España.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD. (2010). *Informe de Línea Base: Proyecto DIPECHO VII UNDP. 14 Barrios Vulnerables a Deslizamientos y Sismos en la Ciudad de Tegucigalpa*.
- Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M. y Garrido, A. (2001). *Especificaciones técnicas que deberán contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelos*. NOM-023-REC-NAT-2001, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales D.O.F. 10/dic/01

- Quesada-Román, A. (2015). *Implicaciones en la gestión del riesgo de desastres y ambiente en el Valle Central en los últimos treinta años (1985-2015)*. Informe Final. Vigésimoprimero Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (2014).
- Quesada-Román, A. (2016). *Peligros geomorfológicos: inundaciones y procesos de ladera en la cuenca alta del río General (Pérez Zeledón), Costa Rica*. Maestría en Geografía con énfasis en Geografía Ambiental. Posgrado en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Quesada-Román, A. (2017). Geomorfología Fluvial e Inundaciones en la Cuenca Alta del Río General, Costa Rica. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ* 40(2): 278-288. DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_2\\_278\\_288](http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_278_288)
- Rogers, R.D. & O’Conner, E.A. (1993). *Mapa Geológico de Honduras: Hoja de Tegucigalpa (segunda edición)*. Instituto Geográfico Nacional, Tegucigalpa, Honduras. 1:50.000.
- Rosales, C. (1998). *Asistencia técnica para la evaluación de los efectos del huracán Mitch en Honduras, 17nov - 8dic, 1998*. Reporte. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina - LA RED/ Comité Permanente de Contingencias - COPECO
- Saaty, T. L. (1988). *The Analytic Hierarchy Process; Planning, Priority Setting Resource Allocation*. New York, McGraw-Hill. 287 pp.
- Sato, G. (2015). Investigation and Mitigation of Landslide in Republic of Honduras as Japan’s International Cooperation Program. *Journal of the Japanese Landslide Society*, 52(4), 1-7.
- Secretaría de Gobernación. (SEGOB). (2013). *Estados y municipios que a mayo de 2013 disponen de Atlas de Peligros y Riesgos, elaborados con apoyo de Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPRE-DEN) coordinado por SEGOB y del programa HABITAT de SEDESOL*. México. Recuperado de [www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=120&Itemid=213](http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=120&Itemid=213).
- Secretaría de Gobierno (SEGOB) (2015). Visita técnica de seguimiento al proceso de inestabilidad de laderas que afecta a las Colinas Lomas del Oriente y Cueva del Jaguar, municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, nota técnica. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres, México. pp 26.

- Selby, M.J. (1985). *Earth's Changing Surface*. Oxford: Oxford University Press.
- Servicio Geológico Mexicano. (2006). *Carta Geológico Minera E15-11*. Escala 1:250 000. Proyección UTM zona 15 México D.F.
- Servicio Geológico Mexicano. (2016). *Cartografía Ambiental*. Recuperado de: [http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=32&Itemid=39](http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=32&Itemid=39)
- Sterlacchini, S., Ballabio, C., Blahut, J., Masetti, M. & Sorichetta, A. (2011). Spatial agreement of predicted patterns in landslide susceptibility maps. *Geomorphology*, 125(1): 51-61. DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.09.004.
- Suarez, G. (2013). *Manual para la Evaluación de Riesgo del Emplazamiento y del Medio Construido para Edificios, Viviendas y Lotificaciones*. COSUDE.COPECO.PNUD. ISBN: 978-99926-821-4-2
- Varnes, D. J. (1978). Slope Movement Types and Processes. In Schuster, R. L. and Krizek, R. J. (eds) *Landslides-Analyses and Control Special Report 176*. National Academy of Sciences. Washington, D.C., 11-34.
- Yamagishi, H. & Moncada, R. (2017). Landslide Recognition and Mapping using Aerial Photographs and Google Earth. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools (LITT)* (en proceso de publicación).
- Yamagishi, H. (2014). Integrated Disaster Prevention Maps and Landslide Hazard Maps using GIS –Examples of Shikoku and Central America Honduras-. *Journal of the Japanese Landslide Society*, 51(2), 24-29.
- Yamagishi, H., Yagi, H. & Sato, G. (2014). Landslide Hazard Mapping of Tegucigalpa, Honduras-Capacity Building by JICA-JSPS Project of 2012-2014. *Proceedings of World Landslide Forum 3*, 2-6 June 2014, Beijing, pp. 712-715.
- WP/WLI (International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory). (1990). A suggested method for reporting a landslide, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 41, 5-12. DOI: 10.1007/BF02590201.



## **Repercusiones producto del desconocimiento del sistema de referencia en la información geoespacial de Costa Rica: utilidad de los metadatos**

Impacts resulting from lack of knowledge about the reference system in geospatial information of Costa Rica: utility of metadata

*Bepsy Cedeño-Montoya*<sup>1</sup>

*Jorge Moya-Zamora*<sup>2</sup>

*Universidad Nacional, Costa Rica*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.2>

### **RESUMEN**

El aprovechamiento máximo de la información geoespacial depende, entre otros aspectos, del conocimiento de su referencia geodésica, la cual es indispensable para poder convertirla y transformarla a otras referencias en caso de que sea necesario. En el caso particular de Costa Rica, existe una importante cantidad de información que está vinculada al datum convencional de Ocotepaque con sus respectivas proyecciones Lambert Costa Rica Norte (LCRN) y Lambert Costa Rica Sur (LCRS), y en la última década, la información nacional que se ha generado está referenciada al datum nacional oficial CR05 y su respectiva proyección cartográfica CRTM05 (Moya y Cedeño, 2016b). Las facilidades que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) propietarios o en versiones libres, constituyen una excelente herramienta no solo por la rapidez en los distintos procesos de la información, sino que, además, y quizás lo más importante, les brindan a los usuarios una enorme cantidad de resultados producto de sus múltiples capacidades de análisis espacial.

1 Máster, Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: [bepsy.cedeno.montoya@una.cr](mailto:bepsy.cedeno.montoya@una.cr)

2 Dr.-Ing., Centro Nacional de Procesamiento de Datos GNSS. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: [jorge.moya.zamora@una.cr](mailto:jorge.moya.zamora@una.cr)

Recibido: 21 de noviembre de 2016

Aprobado: 24 de julio de 2017

Sin embargo, es indispensable que los SIG estén adecuadamente configurados, de manera que se pueda extraer la mayor cantidad de datos posibles con la certeza de que la información de partida está correctamente georreferenciada, o de que el proceso previo de georreferenciación es posible y correcto. Para esta tarea, es fundamental el conocimiento de los metadatos de manera de conocer el origen de la información. El objetivo principal de este trabajo es mostrarle a una gran cantidad de usuarios de los SIG, las posibles repercusiones que se tendrán por un inadecuado proceso de conversión y transformación de coordenadas.

**Palabras clave:** SIG, metadatos, sistema de referencia en Costa Rica, proyección, datum

#### **ABSTRACT**

The maximum use of geospatial information depends on knowing the geodetic reference, which is essential to transform it into other references -if needed. In the specific case of Costa Rica, there is a significant amount of information that is linked to conventional datum Ocotepaque with their corresponding projections Lambert Costa Rica Norte (LCRN) and Lambert Costa Rica Sur (LCRS). And, in the last decade, the national information that has been generated is referenced to the official national datum CR05 and its corresponding map projection CRTM05 (Moya y Cedeño, 2016). The facilities offered by the Geographic Information Systems (GIS) –proprietary or free versions, are an excellent tool not only due to the speed in the different information processes, but also, and perhaps most importantly, because they give users a huge amount of results due to their multiple spatial analysis capabilities. However, it is essential that GIS are properly configured so that it is possible to extract as much information as possible and knowing that the initial information is properly georeferenced or that the prior georeference process is possible and correct. For this task, knowing the metadata is essential in order to know the origin of the information. The main purpose of this work is to show a lot of GIS users, the possible impacts resulting from the incorrect conversion process and coordinate transformation.

**Keywords:** SIG; metadata; reference systems in Costa Rica, projection, datum

### **Introducción**

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el procesamiento y análisis de datos geoespaciales se ha convertido prácticamente en la norma a nivel mundial. La facilidad que ofrecen los diferentes sistemas SIG para la visualización y posterior tratamiento de la información, ha generado que cada vez más usuarios empleen estas herramientas en sus proyectos particulares. Sin embargo, es lógico pensar que la información geoespacial debe estar adecuadamente referida para poder, si es el caso, transformarla de un sistema a otro sin incurrir en errores, que, dependiendo de la finalidad, pueden ser considerables. Se presentan a continuación los resultados de una serie de conversiones y posteriores transformaciones usando el software ArcGIS, versión 10.3 de la casa comercial ESRI y licencia de la Universidad Nacional de Costa Rica, aplicadas sobre un conjunto de datos geodésicos oficiales de Costa Rica y las

discrepancias que se obtuvieron al considerar diferentes variantes de una común aplicación por parte de un gran sector de los usuarios. El objetivo principal de este estudio es reafirmar la importancia que tienen los metadatos para poder hacer un adecuado proceso de transformación, sobre todo en un país como Costa Rica, donde se ha generado información referida a muchos datum y proyecciones cartográficas (Dörries y Roldán, 2004) y (Moya y Cedeño, 2016b).

## **Metodología**

### **1. Información de partida**

Se consideraron dos conjuntos de datos oficiales, conformados principalmente por coordenadas geodésicas: el primero, referido al antiguo datum Ocotepaque, elipsoide de Clarke 1866 y conformado por las cabeceras de los distritos de Costa Rica (Costa Rica, 2001) y las esquinas noroeste de las hojas del mapa básico escala 1:50000. El segundo grupo, referido al actual datum nacional CR05, elipsoide WGS84 consistió de los vértices de la red geodésica de primer y segundo orden de Costa Rica.

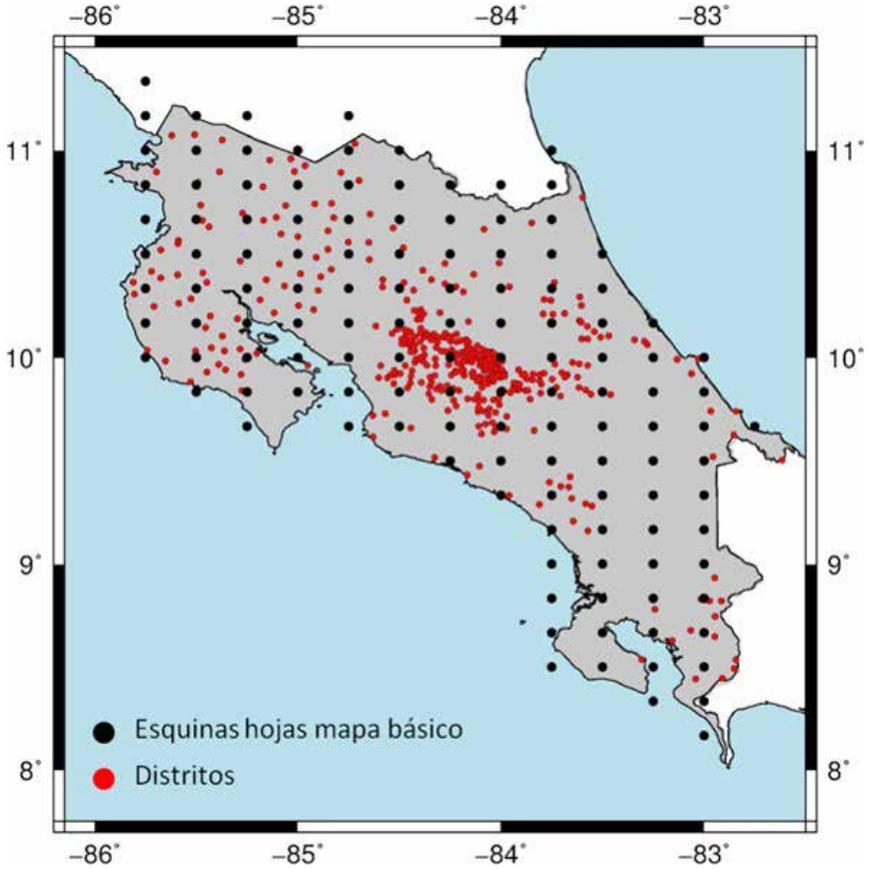
Adicionalmente, se tomaron las respectivas coordenadas cartográficas de estos datos en las proyecciones Lambert Costa Rica Norte (LCRN) y en Costa Rica Transversa Mercator (CRTM05) respectivamente. En el cuadro 1, se resumen el tipo y cantidad de datos utilizados en las distintas variantes de transformación y en las figuras 1 y 2 se presentan la distribución espacial de cada grupo.

**Cuadro 1.** Tipo y fuente de los datos utilizados

<b>Fuente</b>	<b>Datum</b>	<b>Elipsoide</b>	<b>Proyección</b>	<b>Cantidad</b>
Coordenadas geodésicas (□, □) y cartográficas (N, E) de las ciudades cabecera de los distritos de Costa Rica	Ocotepaque	Clarke 1866	LCRN y LCRS	426
Coordenadas geodésicas (□, □) y cartográficas (N, E) de las esquinas noroeste de las hojas del mapa básico de Costa Rica, escala 1:50000	Ocotepaque	Clarke 1866	LCRN y LCRS	128
Coordenadas geodésicas (□, □) y cartográficas (N, E) de los puntos de la red de primer orden y segundo orden de Costa Rica	CR05	WGS84	CRTM05	86

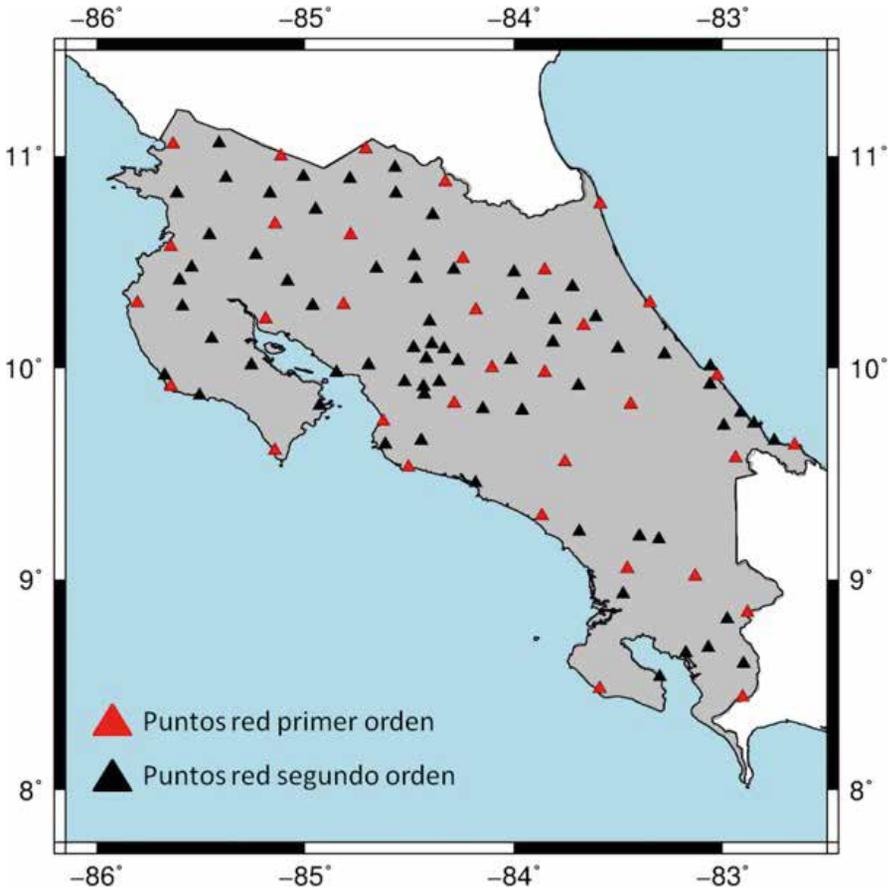
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 1.** Ubicación de las cabeceras de los distritos y de las esquinas de las hojas del mapa básico de Costa Rica



Fuente: Elaboración propia

**Figura 2.** Ubicación de los puntos de la red geodésica de primer y segundo orden de Costa Rica



Fuente: Elaboración propia

## 2. Procesos de conersión y transformación

Los diferentes procesos efectuados se denominaron internamente como: caso A, caso B, caso C y caso D, en los que se realizaron diferentes conversiones y transformaciones entre sistemas de coordenadas y planos utilizando el programa ArcGIS 10.3. Estos procesos se efectuaron aplicando herramientas de *Projections and Transformations* del *Data Management Tools* contenido en el *ArcToolBox* de ArcGIS.

**A. Coordenadas geodésicas (□, □) de las ciudades cabecera de los distritos de Costa Rica y de las esquinas noroeste de las hojas del mapa básico de Costa Rica, escala 1:50000 referidas al datum Ocotepeque, elipsoide Clarke 1866.**

1. Se partió de un archivo en formato Excel en el que se tienen las coordenadas geodésicas de esta serie de objetos, indicados en grados decimales. Comúnmente las coordenadas expresadas en estas unidades son asumidas, por una gran mayoría de usuarios SIG, como coordenadas geográficas correspondientes al elipsoide WGS84. Para mostrar las diferencias producto de este supuesto erróneo, se consideraron inicialmente las coordenadas geodésicas como referidas a WGS84. El proceso que se siguió fue el siguiente:
  - 1.1. Se agregó al ArcMap la tabla externa y con la herramienta *Display XY Data* se generó un tema que muestra, en forma de puntos, la ubicación espacial de los datos.
  - 1.2. Utilizando la opción *Define Projection* de las herramientas de proyecciones se definió el tema como WGS84. Debe aclararse que WGS84 es un elipsoide y no datum.
  - 1.3. Posteriormente, se transformaron los datos definidos como WGS84 hacia el sistema CRTM05, aplicando la herramienta *Project* y la variable de transformación *CR05\_to\_WGS84\_1* que el programa coloca por defecto. Se agregaron a la tabla de atributos del tema los valores de coordenadas cartográficas de cada punto. En el cuadro 2, se presentan los valores extremos y el promedio, así como la resultante y su error.

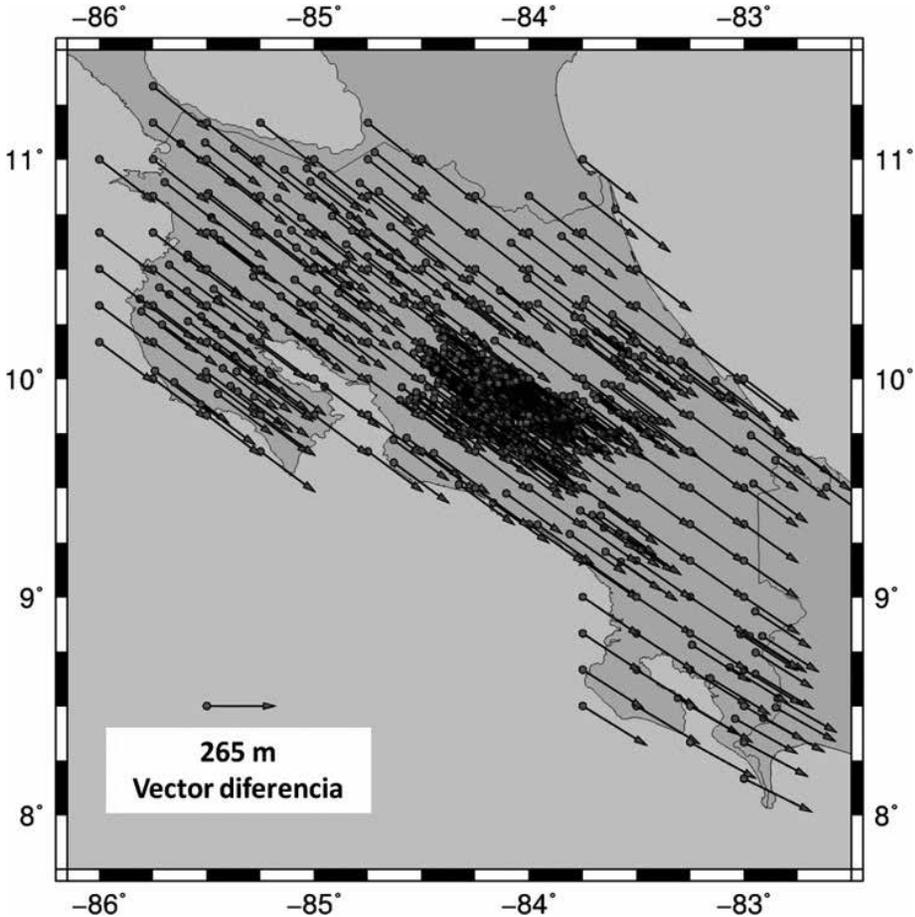
**Cuadro 2.** Valores extremos de las diferencias en coordenadas cartográficas CRTM05, considerando como superficie de partida WGS84 en lugar de Clarke 1866

Coordenadas de partida: geodésicas (□, □) Datum: Ocotepeque, Elipsoide: Clarke 1866						
Coordenada CRTM05	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Promedio [mm]	Error [mm]	Resultante [mm]	Error [mm]
Norte	127784,2	167067,4	157047,6	242,4	265028,2	225,0
Este	-262196,3	-206722,1	-213485,4	215,0		

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se muestra la dirección del vector diferencia entre ambos conjuntos de coordenadas. Se aprecia predominantemente que las discrepancias van en la dirección sureste con un promedio de 265 m.

**Figura 3.** Comportamiento de los vectores diferencia para coordenadas cartográficas CRTM05 asignando como superficie de referencia el elipsoide WGS84



Fuente: Elaboración propia

2. Al archivo en CRTM05 se le realizó nuevamente otra transformación de los puntos hacia el sistema LCRN, seleccionando la variable de transformación *CR05\_to\_Ocotepeque\_1935\_MB*, y se calcularon las

coordenadas cartográficas para cada registro de la tabla de atributos. En el cuadro 3, se presentan los valores extremos y el promedio, así como la resultante al comparar con las coordenadas cartográficas oficiales.

**Cuadro 3.** Valores extremos de las diferencias en coordenadas cartográficas LCRN, considerando como superficie de partida WGS84 en lugar de Clarke 1866, usando la variable CR05\_to\_Ocotepeque\_1935\_MB

Coordenadas de partida: geodésicas (□,□) Datum: Ocotepeque Elipsoide: Clarke 1866						
Coordenada LCRN	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Promedio [mm]	Error [mm]	Resultante [mm]	Error [mm]
Norte	140494,7	169031,8	156886,3	191,3	264536,3	113,9
Este	-214049,7	-212078,9	-212993,2	12,8		

Los resultados de los cuadros 2 y 3 evidencian diferencias promedio de 265 m, confirmando los resultados dados por Dörries y Roldán (2004), como valor promedio entre el datum convencional de Ocotepeque y el datum CR98. El proceso indicado anteriormente, arrastra un error desde el inicio, ya que es incorrecto asumir que las coordenadas geodésicas corresponden al elipsoide WGS84. Se debe revisar cuidadosamente la fuente de los datos, ya que las ciudades cabecera de los distritos de Costa Rica, así como las esquinas noroeste de las hojas del mapa básico de Costa Rica, están referidas al datum Ocotepeque, elipsoide Clarke 1866.

Por ejemplo, se puede tener coordenadas cartográficas referidas al datum Ocotepeque y elipsoide Clarke 1866, pero proyectadas a otro plano cartográfico diferente al plano conforme Lambert. Es decir, directamente en el SIG, un usuario podría sin mayor complicación generar un sistema de coordenadas planas basado en una proyección Lambert, pero usando como datum CR05 y elipsoide WGS84. Lo anterior no implica que los datos deban manipularse antojadizamente, ya que, si se está trabajando con información geoespacial, deben respetarse los parámetros de cada una de las proyecciones nacionales (Moya y Cedeño, 2016).

3. Considerando lo anterior, se realizó nuevamente el ejercicio de transformación de coordenadas de manera correcta, el cual contempló los siguientes pasos:

- 3.1. Se definió la vista de ArcMap (en el menú View: *Data Frame Properties: Coordinate Systems*) seleccionando a Ocotepaque 1935 como sistema de referencia, tal como se muestra en la figura 4.

**Figura 4.** Captura de pantalla de la opción Data Frame Properties, menú View de ArcMap



**Fuente:** Elaboración propia

- 3.2. Se añadió la tabla externa a ArcMap y con la herramienta *Display XY Data* se generó el tema que muestra la posición geográfica de los datos. Al estar definida la vista los datos asumen automáticamente el mismo sistema, es decir, Ocotepaque 1935.
- 3.3. Se realizó la transformación de coordenadas geodésicas a coordenada planas en LCRN, utilizando la herramienta *Project*, y como ambos sistemas tienen en común el datum Ocotepaque 1935 el programa no solicita variable de transformación

alguna. Se agregaron a la tabla de atributos del tema los valores de coordenadas cartográficas de cada punto.

En el cuadro 4 se muestran los resultados de este proceso al compararlos con las coordenadas cartográficas oficiales. Tomando adecuadamente el datum y la superficie de origen de los datos en el proceso dentro del SIG, se aprecia como los valores promedio de las diferencias en las coordenadas norte y este, así como la resultante son prácticamente nulos, como es de esperarse.

**Cuadro 4.** Valores extremos de las diferencias en coordenadas cartográficas LCRN, considerando como superficie de partida WGS84 en lugar de Clarke 1866

Coordenadas de partida: geodésicas (□, □)						
Datum: Ocotepeque						
Elipsoide: Clarke 1866						
Coordenada LCRN	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Promedio [mm]	Error [mm]	Resultante [mm]	Error [mm]
Norte	-48,2	7,1	-0,7	0,2	1,5	0,1
Este	-3,9	16,2	1,3	0,1		

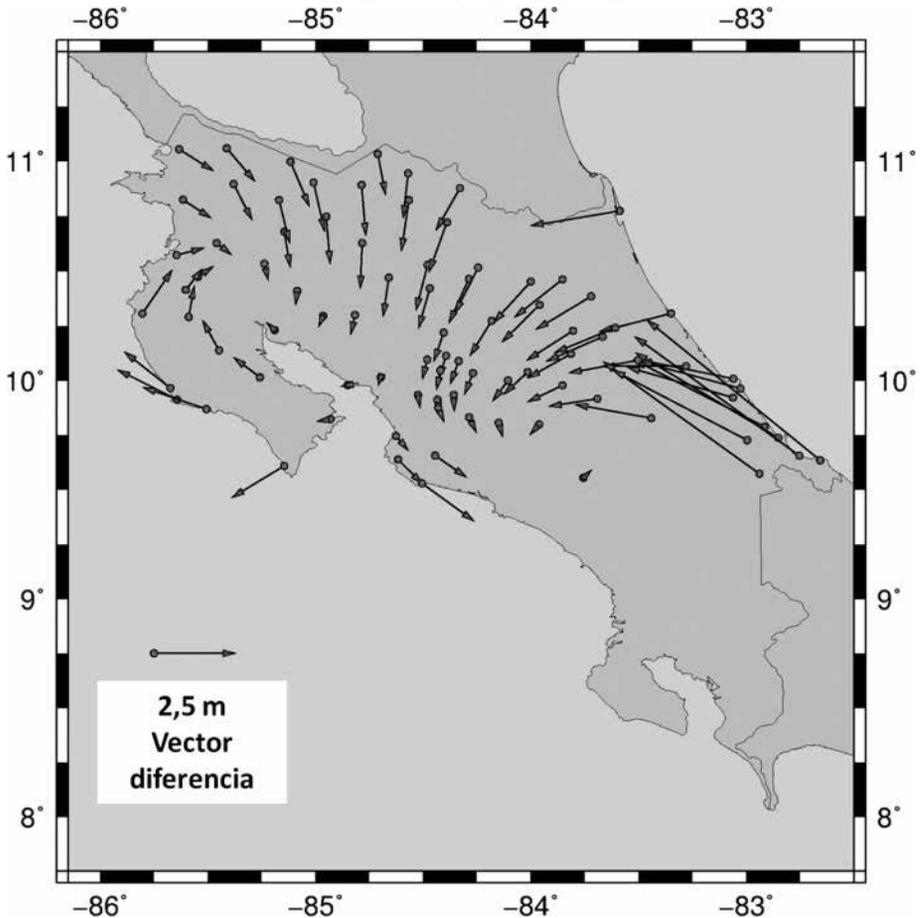
Fuente: Elaboración propia

**B. Coordenadas geodésicas (□, □) y cartográficas (N, E) de los puntos de la red de primer orden y segundo orden de Costa Rica, datum CR05, elipsoide WGS84.**

1. Los datos de partida para este segundo caso son las coordenadas geodésicas oficiales de los puntos de la red de primer y segundo orden de Costa Rica, indicadas en grados decimales, y como se mencionó en el inicio del caso A, comúnmente las coordenadas así expresadas son asumidas por parte de muchos usuarios de SIG, como coordenadas geodésicas correspondientes al elipsoide WGS84. Los pasos realizados fueron los siguientes:

- 1.1. Se agregó al ArcMap la tabla externa y con la herramienta *Display XY Data* se generó un tema que muestra, en forma de puntos, la ubicación espacial de los datos.
- 1.2. Utilizando la opción *Define Projection* de las herramientas de proyecciones se definió el tema como WGS84.
- 1.3. Luego se transformaron los datos con coordenadas geográficas definidas como WGS84 hacia el sistema CRTM05, aplicando la herramienta *Project* y la variable de transformación *CR05\_to\_WGS84\_1*. Se agregaron a la tabla de atributos del tema los valores de coordenadas cartográficas de cada punto. Como es de esperarse, las diferencias luego de comparar las coordenadas cartográficas de este proceso con los valores oficiales son nulas, ya que se está partiendo de un conjunto de coordenadas geodésicas vinculadas al datum CR05, elipsoide WGS84.
- 1.4. Al archivo en CRTM05 resultante, se le realizó otra transformación hacia el sistema LCRN, con la variable de transformación *CR05\_to\_Ocotepeque\_1935\_MB*, y se calcularon las coordenadas cartográficas para cada registro. Como producto de la comparación con los valores oficiales se obtuvieron diferencias para la coordenada norte que van desde los -1,3 m a los 2,7 m y para la coordenada este entre los -4,7 m y 1,1 m. Para esta comparación se excluyeron los puntos que se localizan en la zona definida para la cartográfica LCRS. En la figura 5 se representan estas diferencias por medio de los correspondientes vectores diferencia.

**Figura 5.** Comportamiento de los vectores diferencias para coordenadas cartográficas LCRN para algunos de los puntos de la red geodésica de primer orden y segundo, usando la variable CR05\_to\_Ocotepeque\_1935\_MB



Fuente: Elaboración propia

**C. Coordenadas cartográficas (N, E) de los puntos de la red de primer orden y segundo orden de Costa Rica, datum CR05, elipsoide WGS84.**

1. Como en los casos anteriores, se parte de un archivo en formato de Excel con las coordenadas en sistema CRTM05 de los puntos de la

red de primer orden y segundo orden del país. A este archivo se le aplicaron los siguientes pasos:

- 1.1. Agregar la tabla a ArcMap, y a las coordenadas que se despliegan como puntos se les define el sistema de proyección cartográfica CRTM05.
- 1.2. Se re proyectaron los datos de CRTM05 a LCRN con la variable *CR05\_to\_Ocotepeque\_1935\_MB*.

A los mismos datos se les aplicó el mismo proceso, pero utilizando la variable de transformación inversa, es decir, la *Ocotepeque\_1935\_to\_CR05*. Para ambos archivos resultantes se agregaron a la tabla de atributos los valores de coordenadas cartográficas de cada punto. Los resultados de estos procesos se presentan en el cuadro 5, donde se han tomado los valores máximos, mínimos y promedio de las diferencias usando la variable de transformación en sentido directo para las filas 3 y 4, y en sentido inverso en las filas 6 y 7.

**Cuadro 5.** Valores extremos de las diferencias en coordenadas cartográficas LCRN, considerando como superficie de partida WGS84 en lugar de Clarke 1866

Coordenadas de partida: geodésicas (□, □)						
Datum: CR05						
Elipsoide: WGS84						
Coordenada LCRN	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Promedio [mm]	Error [mm]	Resultante [mm]	Error [mm]
Norte	-1318,4	2791,9	-99,2	113,9	696,8	140,1
Este	-4725,7	1134,4	-689,7	140,6		
Coordenada LCRN	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Promedio [mm]	Error [mm]	Resultante [mm]	Error [mm]
Norte	-1547,6	4264,8	-275,4	125,8	823,2	155,0
Este	-5302,0	1601,0	-775,7	158,3		

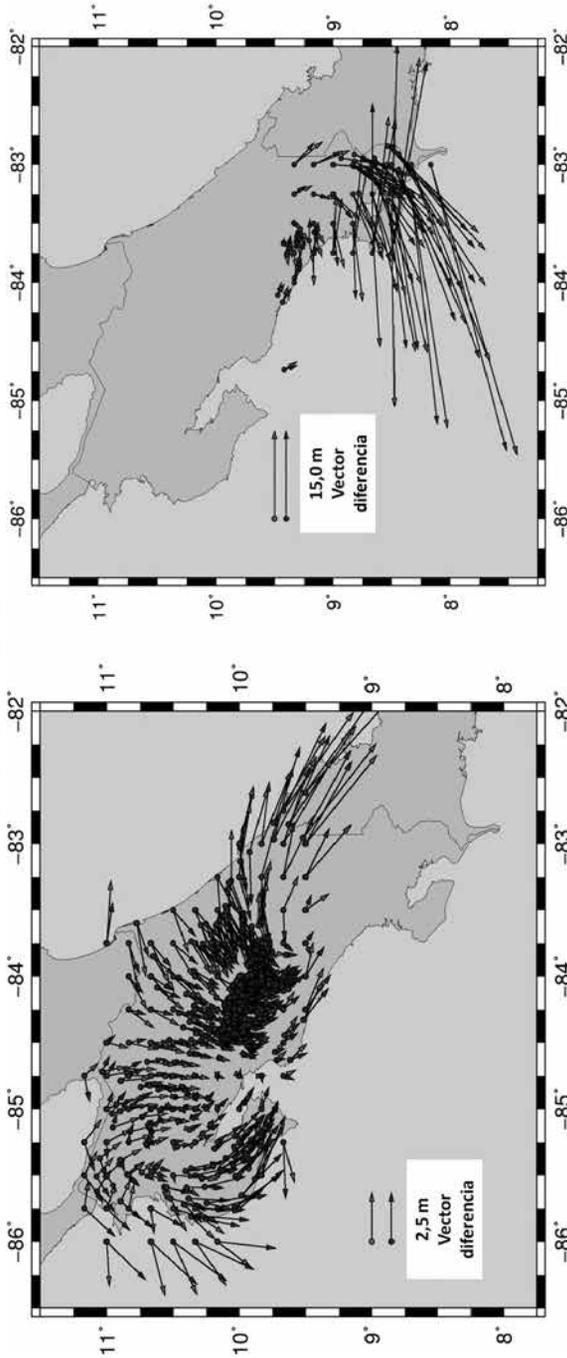
Fuente: Elaboración propia

**D. Coordenadas cartográficas (N, E) de los puntos de la red de primer orden y segundo orden de Costa Rica, datum CR05, elipsoide WGS84.**

1. Partiendo de coordenadas cartográficas oficiales en LCRN de los puntos de la red de primer orden y segundo orden del país, se aplicaron los siguientes pasos para obtener coordenadas CRTM05:
  - 1.1. Agregar la tabla a ArcMap, las coordenadas se despliegan como puntos y se le define el sistema LCRN.
  - 1.2. Se re proyectaron los datos de LCRN a CRTM05, utilizando la variable *Ocotepeque\_1935\_to\_CR05*.

Los resultados que se obtuvieron de este proceso se compararon de varias formas. En primer lugar, la comparación directa entre las coordenadas LCRN oficiales y las obtenidas del SIG presentaron diferencias entre -16,0 m y 5,0 m para la coordenada norte y entre -49,0 m y 6,5 m para la coordenada este. En segundo lugar, las coordenadas obtenidas del proceso SIG se compararon con coordenadas oficiales en CRTM98, donde se obtuvo como resultado diferencias entre -3,5 m y los 1,5 m para la coordenada norte y entre -1,4 m y 5,0 m en la coordenada este. Finalmente, la comparación de las coordenadas oficiales con las obtenidas del SIG aplicando la variable de transformación en sentido inverso dio como resultado diferencias entre -14,0 m y 6,0 m en la coordenada norte y entre -48,5 m y 6,0 m para la coordenada este. En la figura 6 se muestran los vectores diferencia producto de los resultados al aplicar la variable de transformación en sentido directo e inverso.

**Figura 6.** Comparación de los vectores diferencias para coordenadas cartográficas CRTM05. En la parte superior puntos ubicados en el norte del país y en la parte inferior los puntos ubicados al sur. Resultados al aplicar la variable `Ocotepeque_1935_to_CR05` directa e inversamente



Fuente: Elaboración propia

### **3. Metadatos: su importancia para el trabajo con proyecciones cartográficas: ¿Con qué se cuenta y a dónde se puede ir?**

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) se encuentra impulsando el desarrollo e implementación de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) para Costa Rica, trabajo que oficialmente da inicio con el decreto ejecutivo 33773 JP-H-MINAE-MICIT del 7 de mayo del 2013, publicado en La Gaceta N°134 del 12 de julio de 2013, con el que se crea el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) y se busca el establecimiento y consolidación de esa IDE.

El 9 de marzo de 2016, el mismo IGN anuncia, en la página del SNIT ([www.snit.go.cr](http://www.snit.go.cr)), la oficialización de una serie de Normas Técnicas de Información Geográfica (NTIG) para el país. Se trata de seis documentos titulados:

- NTIG\_CR01\_01.2016: Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica
- NTIG\_CR02\_01.2016: Catálogo de Objetos Geográficos para Datos Fundamentales de Costa Rica
- NTIG\_CR03\_01.2016: Modelo de Datos Geográficos de Costa Rica, escalas 1:1000, 1:5000 y 1:25000
- NTIG\_CR04\_01.2016: Perfil Oficial de Metadatos Geográficos de Costa Rica.
- NTIG\_CR05\_01.2016: Estándares para la Publicación Web de la Información Geográfica de Costa Rica
- NTIG\_CR06\_01.2016: Especificaciones cartográficas para el Mapa Topográfico escala 1:25000 de Costa Rica.

Como indica el IGN (2016) en el anuncio de oficialización publicado en el SNIT, todos estos documentos son:

[...] la primera versión de una iniciativa que facilitará y adecuará el intercambio de información en el ámbito del sector público, sector privado, personas físicas y público en general, además de promover una manera precisa y ordenada sobre la difusión y uso de los datos geográficos.

Entre todas estas normas publicada y vigentes, el Perfil Oficial de Metadatos Geográficos de Costa Rica resulta fundamental para el trabajo con proyecciones cartográficas, pues los metadatos serán los que permitan la trazabilidad de los datos geoespaciales al dar respuesta a dos preguntas básicas en el tema de las transformaciones entre proyecciones cartográficas: ¿con qué se cuenta? y ¿a dónde se puede ir?.

Los metadatos son “datos acerca de los Datos” (Olaya, 2014: 767), y su misión es-“mostrar la información de una manera estructurada sobre esos datos”. Es decir, ayudan al usuario a elegir y acceder a los datos de una manera más precisa y pronta, por medio de la búsqueda de catálogos, facilitando la calidad de la información que necesitamos. Los metadatos son un documento adicional que acompañan a los datos, y que permiten una mejor gestión y una utilización más precisa de ellos-

Los metadatos son descriptores en lo que se indica información básica que permiten: conocer (título, palabras clave, resumen, objetivos, propósito, formato, temática, entre otros), quién y cómo se distribuye, como fue generado el dato (metodología), su (representación espacial, sistema de referencia, calidad) y extensión geográfica.

Según se indica en la norma NTIG\_CR04\_01.2016, los metadatos se generan por medio de plantillas diseñadas en lenguaje XML, las cuales están personalizadas para Costa Rica, basadas en el Perfil Latinoamericano de Metadatos (LAMP), bajo la norma ISO 19115:2003, estas pueden completarse utilizando el programa GeoNetwork o directamente ser accedidas dentro de la plataforma del SNIT. En total son cuatro plantillas, dos-en formato vectorial y dos en formato ráster, con y sin el Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF) que se denominan:

- PLANTILLA\_RASTER\_ITRF\_CRI
- PLANTILLA\_RASTER\_CRI
- PLANTILLA\_VECTOR\_ITRF\_CRI
- PLANTILLA\_VECTOR\_CRI

El Perfil Oficial de Metadatos Geográficos de Costa Rica, y por lo tanto las plantillas, contiene una sección denominada Sistema de Referencia, en la que se describe el sistema de referencia espacial y temporal usado en el conjunto de datos (IGN, 2014). En esta sección se debe indicar de forma obligatoria

el título o nombre del sistema de la proyección de referencia de los datos, el código EPSG correspondiente, la fecha cuando se genera el elemento y el tipo de fecha (de creación o de levantamiento de los datos), y opcionalmente otros aspectos importantes de mencionar como datum, elipsoide de referencia y la época, que es la fecha vinculada directamente con la realización más actual del ITRF (este último sugerido solo para datos con escalas mayores a 1:1000).

La diferencia entre las plantillas de cada modelo de datos radica en que las que incluyen la palabra ITRF en su nombre solicitan mayor especificidad respecto al sistema de referencia espacial que las otras. Es decir, PLANTILLA\_RASTER\_ITRF\_CRI y PLANTILLA\_VECTOR\_ITRF\_CRI ofrecen la posibilidad de que en la sección de referencia espacial se complete el apartado “Otros aspectos importantes de mencionar” con la información sobre datum, elipsoide de referencia, ITRF y época; mientras que las otras dos plantillas esta información no se contempla.

**Figura 7.** Visualización, en ArcCatalogo 10.3, de la sección de referencia de las plantillas de metadatos, según la norma NTIG\_CR04\_01.2016. Arriba la plantilla PLANTILLA\_VECTOR\_CRI y abajo PLANTILLA\_VECTOR\_ITRF\_CRI

---

#### Reference System Information

REFERENCE SYSTEM IDENTIFIER

VALUE (obligatorio) Se refiere al código EPSG o código de la proyección de referencia según European Petroleum Survey Group (EPSG).

---

---

#### Reference System Information

REFERENCE SYSTEM IDENTIFIER

VALUE (obligatorio) Se refiere al código EPSG o código de la proyección de referencia según European Petroleum Survey Group (EPSG).

AUTHORITY THAT DEFINES THE VALUE

TITLE (obligatorio) Se refiere al nombre del sistema, o sea la proyección de referencia del dato.

CREATION DATE 2005-10-12

OTHER CITATION DETAILS (opcional) Este apartado debe de completarse tomando en cuenta los siguientes cuatro aspectos: 1. Datum: Se refiere a la materialización del elipsoide de referencia en un territorio, 2. Elipsoide de referencia: Es nombre del elipsoide de referencia, 3. ITRF: Es un conjunto de puntos con sus coordenadas cartesianas en 3 dimensiones distribuidos en todo el mundo y que sirven como un sistema de referencia ideal y 4. Época: Se refiere a la época en la cual se realiza una medición que tiene vínculo directo con la realización más actual del ITRF.

---

**Fuente:** Elaboración propia

Esta diferenciación de la sección de referencia espacial de las plantillas es “una personalización del perfil para Costa Rica” (IGN, 2016: 22), creada con la finalidad de ofrecer a los usuarios la posibilidad de completar información que puede ser de suma importancia para cierto tipo de datos y trabajos.

Esta sección de referencia de los metadatos es importante para el trabajo con proyecciones cartográficas, pues permite saber en qué sistema de proyección se encuentran los datos al momento de la consulta, y con esto se logra responder a una primera pregunta básica ¿con qué se cuenta?, lo que será fundamental para analizar ¿a dónde se puede ir?, y así identificar como proyectar los datos al plano correcto o realizar transformaciones de manera adecuada.

A pesar de que desde el año 2007, el CRTM05 es el sistema de proyección oficial de Costa Rica (Decreto ejecutivo 33797-MJ-MOPT), aún es posible encontrar gran cantidad de información geoespacial en otras proyecciones cartográficas, ante lo que los usuarios se ven en la necesidad de realizar transformaciones buscando la representación en el plano oficial. Lamentablemente para muchos de los datos se desconoce el sistema de proyección en el que fueron originados, por lo que la definición y posterior reproyección (entendida como el cambio de entre coordenadas cartográficas) se realiza de forma poco certera. Los procesos correctos de transformación, dependiendo de la fuente original de los datos, se pueden consultar en Moya y Cedeño (2016).

Usualmente, las proyecciones de datos al plano y posteriores reproyecciones suelen realizarse utilizando programas especializados en el manejo de información geográfica, por lo que los usuarios realizan los procedimientos sin cuestionar los resultados; asumiendo que la precisión de los datos de entrada es igual a la de los datos resultantes. Y aunque los parámetros de cada sistema de proyección hayan sido incluidos correctamente en el software, no necesariamente las transformaciones se realizan adecuadamente, por lo que es importante conocer con claridad y certeza cuál es el plano original en el que se crearon los datos y seguir el camino correcto para su transformación hacia otros sistemas proyectivos.

### **Conclusiones**

Las diferencias entre sistemas de proyección como CRTM90, CRTM98 rondan en promedio uno 7,5 m (Dörries y Roldán, 2004), producto de la falta de vínculo al ITRF en el caso del datum costarricense CR90. Las diferencias entre coordenadas CRTM98 y CRTM05, haciendo la adecuación respectiva del factor de escala del meridiano central, puede llegar a valores de 50 cm en algunos casos, dependiendo de la ubicación dentro del territorio nacional. Lo

anterior, no permite visualizar un efecto directo en el producto cartográfico de escalas superiores a 1:1000, pero que si suma error a trabajos de escalas mayores realizados con herramientas de alta precisión. Adicionalmente, transformaciones de datum como las que se debe realizar al trasladar datos entre los sistemas de proyección LCRN o LCRS, y CRTM05, pueden generar diferencias hasta de metros (ver cuadro 2 y 3), si no son realizadas correctamente.

El trabajo con SIG y los Sistemas Satelitales de Navegación Global (GNSS) se ha extendido a una gran cantidad de usuarios con o sin formación profesional en geociencias. Además, en Costa Rica existe información referida a muchos datum y proyecciones cartográficas, lo que obliga a los usuarios a “reproyectar” los datos de un sistema de coordenadas a otro (Moya y Cedeño, 2016).

El programa ArcGIS, versión 10.3, integra en las herramientas de proyecciones y transformaciones una serie de parámetros que permiten la conversión y transformación de los datos espaciales a otras referencias en caso necesario, pero los resultados de su aplicación dependen del conocimiento que tenga el usuario. Se ha notado que, para una gran mayoría de los usuarios SIG hay confusión conceptual entre algunos términos, por ejemplo: elipsoide, datum, sistema de coordenadas, proyección, reproyección y transformación entre otros, la cual se incrementa con la nomenclatura usada directamente por la herramienta SIG. Una base conceptual general sobre términos relacionados con geodesia y proyecciones cartográficas, se puede tener consultando a Moya y Cedeño (2016a).

Se han tomado como datos de partida coordenadas geodésicas referidas a los dos principales datum de Costa Rica, el convencional Ocotepaque, elipsoide Clarke 1866, y el actual y oficial datum CR05, elipsoide WGS84. Además, se consideraron coordenadas cartográficas basadas en las proyecciones Lambert Costa Rica Norte (LCRN) y CRTM05. Los resultados de este estudio contemplaron los siguientes aspectos:

Como resultado principal del caso A, se comprueban los 265 m de diferencia promedio entre el datum convencional Ocotepaque y el datum CR98, tal como lo expusieron Dörries y Roldán (2004). Los parámetros de transformación determinados como producto del estudio realizado por estos autores condujeron a un conjunto de parámetros de transformación, que son los mismos que están integrados dentro de las herramientas de georreferenciación del ArcGIS versión 10.3, como se muestra en la figura 8:

**Figura 8.** Parámetros de las variables de transformación geográfica aplicables a los sistemas de coordenadas más utilizado en Costa Rica e incluidos en ArcGIS 10.3

Geographic (datum) Transformation Name	WKID	Method	dx	dy	dz
CR05_To_WGS_1984_1	5376	Geocentric_Translation	0	0	0

Copyright © 2012 Esri

Geographic (datum) Transformation Name	WKID	Method	dx	dy	dz
Ocoateque_1955_To_CR05	108200	Geocentric_Translation	213.11	9.37	-74.95
Ocoateque_1955_To_WGS_1984_3PAR	108284	Geocentric_Translation	205	96	-98
Old_Hawaiian_Intl_1924_To_WGS_1984_HAWAII	108331	Geocentric_Translation	-229	-222	-248
Old_Hawaiian_Intl_1924_To_WGS_1984_Kaui	108332	Geocentric_Translation	185	-233	-337
Old_Hawaiian_Intl_1924_To_WGS_1984_Maui	108333	Geocentric_Translation	205	-233	-355
Old_Hawaiian_Intl_1924_To_WGS_1984_Mean	108330	Geocentric_Translation	201	-228	-346
Old_Hawaiian_Intl_1924_To_WGS_1984_Oahu	108334	Geocentric_Translation	61	-226	-347
Old_Hawaiian_To_WGS_1984_1	15824	Geocentric_Translation	61	-285	-181
Old_Hawaiian_To_WGS_1984_2	15825	Geocentric_Translation	89	-279	-183
Old_Hawaiian_To_WGS_1984_3	15826	Geocentric_Translation	45	-290	-172
Old_Hawaiian_To_WGS_1984_4	15827	Geocentric_Translation	65	-290	-190
Old_Hawaiian_To_WGS_1984_5	15828	Geocentric_Translation	58	-283	-182
OSGB_1936_To_WGS_1984_1	1195	Geocentric_Translation	375	-111	431

Copyright © 2012 Esri

Table 6: Geographic (datum) transformations: Molodensky-Badekas method

Name	WKID	dx	dy	dz	rx	ry	rz	sx	sy	sz	
CR05_To_Ocoateque_1935_MB	108013	-213.116	-9.358	74.946	2.3514188	-0.0614669	6.394209	5.22	617749.7118	-6250547.7336	1102063.6099
Kananga_1955_To_RGRD0C_20_05_2	4067	-102.283	-10.277	-257.396	-3.976	-0.002	-6.203	12.315	5380868.818	28.26402.46	-1243557.996
Kananga_1955_To_WGS_1984_2	4068	-102.283	-10.277	-257.396	-3.976	-0.002	-6.203	12.315	5380868.818	28.26402.46	-1243557.996

70

Copyright © 2012 Esri

Name	WKID	dx	dy	dz	rx	ry	rz	sx	sy	sz	
WGS_1984_To_Ocoateque_1_935_MB	108014	-213.116	-9.358	74.946	2.3514188	-0.0614669	6.394209	5.22	617749.7118	-6250547.7336	1102063.6099

Fuente: Elaboración propia

Se demuestra, como al realizar el ejercicio de considerar como elipsoide de partida WGS84 en lugar de Clarke 1866 y su respectivo datum, se encuentran diferencias como las citadas anteriormente (ver cuadro 2 y cuadro 3). Estas diferencias a nivel nacional se presentan en la figura 3, donde se tiene un desplazamiento en sentido sureste. Por otro lado, una buena lectura de la información de partida en el caso A, produce resultados nulos al calcular coordenadas cartográficas LCRN a partir de coordenadas geodésicas, datum Ocotepaque, elipsoide Clarke 1866 (ver cuadro 4).

El caso B tomó como insumo coordenadas geodésicas referidas al datum nacional CR05, elipsoide WGS84 y se calcularon coordenadas cartográficas CRTM05. Evidentemente, al comparar con los valores oficiales de coordenadas cartográficas se obtuvieron diferencias nulas.

Los cálculos realizados bajo el apartado C demostraron que existen diferencias, según se use la variable de transformación *CR05\_to\_Ocotepaque\_1935\_MB* en un sentido o en otro. Del cuadro 5 se evidencia un rango de diferencia aproximada de 4,1 m en la coordenada norte y de 5,8 m en la coordenada este usando la variable en sentido directo. La aplicación de la variable en sentido inverso refleja rangos de diferencias en las coordenadas de 5,7 m en el norte y de 6,9 m en la coordenada este. Se debe recalcar que, aunque el promedio de las diferencias sea de  $70 \text{ cm} \pm 14 \text{ cm}$  y de  $82 \text{ cm} \pm 15 \text{ cm}$  para el uso de las variables en sentido directo e inverso, el rango de diferencias dependerá de la zona de trabajo.

Los resultados del apartado D demostraron que existen diferencias en el proceso al usar la variable de transformación *Ocotepaque\_1935\_to\_CR05* de forma directa e inversa. Los resultados llaman la atención en dos aspectos principales: por un lado, se puede decir que las dos variables de transformación en el SIG brindan resultados prácticamente iguales para los valores extremos, sin embargo, debe considerarse que los resultados dependerán de la zona de trabajo. Por ejemplo, los resultados producto de la aplicación directa de esta variable produjeron diferencia con un rango de 21,0 m para la coordenada norte y para la coordenada este de 55,5 m. Usando la misma variable en sentido inverso, el rango de diferencias fue de 20,0 m en la coordenada norte y de 54,5 m en la coordenada este. En la figura 9 se presenta la comparación de los vectores diferencia para las zonas de puntos correspondientes a LCRN (parte superior) y LCRS (parte inferior). El color rojo de los vectores corresponde a los resultados al aplicar

la variable, mientras que el color azul representa la aplicación al aplicar la variable de manera inversa. En segundo lugar, la comparación de los resultados dados por el SIG con las coordenadas oficiales referidas a CRTM98, presentaron promedio de diferencias prácticamente iguales de  $43 \text{ cm} \pm 4 \text{ cm}$  para las coordenadas norte y de  $49 \text{ cm} \pm 5 \text{ cm}$ . Estos datos reflejan un vector diferencia de unos  $65 \text{ cm} \pm 4,4 \text{ cm}$  producto de esta comparación.

La creación de los metadatos es indispensable y debe de ir ligada a la información geoespacial, por lo tanto, todos los generadores de información deben preocuparse por completar adecuadamente las diferentes secciones que conforman las plantillas de metadatos. En el caso de la norma NTIG\_CR04\_01\_2016 Perfil oficial de metadatos Geográficos de Costa Rica, las plantillas solicitan que se indique el Título y Código EPSG, requerimientos mínimos necesarios para un adecuado tratamiento de los datos. No obstante, las plantillas también contienen campos para indicar otros aspectos igualmente importantes como el datum, elipsoide de referencia y la época, elementos que tendrán mayor relevancia dependiendo de la escala final del producto.

Los objetivos de cada uno de los proyectos son los que condicionan el tratamiento que se le da a la información, sin embargo, aunque para muchos productos cartográficos las diferencias encontradas pueden suprimirse, no es adecuado omitir el proceso correcto de vinculación de la información de partida. En muchos casos, la escala cartográfica de los productos no permite distinguir visualmente las posibles diferencias que existan por un inadecuado manejo de la información, pero lo anterior no exime a los usuarios de hacer un proceso correcto tanto desde el punto de vista matemático como del cartográfico.

Los programas SIG son herramientas sumamente poderosas y con un altísimo potencial de trabajo. Los resultados han demostrado una vez más que los sistemas informáticos responderán dependiendo de la información de partida, la cual es responsabilidad de los generadores de datos y posteriormente de los usuarios de los sistemas, quienes se encargan de generar los diferentes productos.

### **Recomendaciones**

Es necesario que el usuario conozca y maneje los conceptos geodésicos y cartográficos básicos para lograr entender el funcionamiento de los Sistemas de Información Geográfica, y, por consiguiente, hacer una

adecuada y correcta configuración de la herramienta. Por ejemplo, no se debe asumir que los valores de coordenadas geodésicas están necesariamente referidos al elipsoide WGS84, ni que en caso de contar con coordenadas cartográficas, éstas sean basadas en cartografía Lambert, ya que en Costa Rica se han manejado dos sistemas de esta proyección. De igual forma, valores de coordenadas cartográficas asumidos en CRTM05 pueden ser también valores dados en las proyecciones CRTM98 o CRTM90.

El programa contiene herramientas informáticas poderosas desde el punto de vista del manejo de grandes volúmenes de datos, sin embargo, es altamente recomendable que el usuario pueda corroborar los resultados que se dan como producto final.

Se recomienda ampliamente a los usuarios que tengan dudas respecto a la configuración del SIG hacer la revisión respectiva, o paralelamente hacer la conversión de coordenadas por medio de una programación dentro del propio SIG, o en caso contrario, hacer fuera del ambiente del SIG las conversiones y transformaciones necesarias de manera que pueda asegurarse que los datos geoespaciales están adecuadamente georreferenciados.

En general, ante la ausencia de los metadatos en gran parte de la información actual que existe en el país, y particularmente, cuando la fuente de la información desconoce o tiene ciertas dudas sobre el sistema de referencia de los datos, es imperativo conocer la fuente de la información geoespacial, ya que de ella dependerán los procesos posteriores de conversión y transformación de coordenadas adecuados para la generación de productos cartográficos de calidad.

Desde inicios del año 2016, el IGN ha puesto a disposición de los usuarios las plantillas para la creación de los metadatos, las cuales deben ser de uso diario para los generadores de datos geoespaciales. Contar con los elementos mínimos del sistema de referencia (título y código EPSG) es fundamental para los procesos de conversión y transformación de los datos espaciales. En trabajos de alta precisión es recomendable utilizar las plantillas ráster o vector con ITRF para ofrecer la información adicional y útil referente al datum, al elipsoide de referencia y época.

## Referencias

- Decreto ejecutivo 33797-MJ-MOPT*. Ministerio de Justicia y Gracia. Costa Rica. Diario Oficial La Gaceta. San José, Costa Rica. 12 de julio de 2013
- Dörries, E. y Roldán, J. (2004). El Datum Geodésico de Ocotepaque y el Datum Satelitario del Sistema WGS84. *Revista UNICIENCIA*, 21(1 y 2), 117-125.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2012). *ArcGIS 10.1 Geographic and Vertical Transformation Tables*. California, EEUU. Disponible en la documentación de instalación del programa ArcGIS, en la ruta: C:\Program Files (x86)\ArcGIS\Desktop10.3\Documentation\geographic\_transformations.pdf
- Instituto Geográfico Nacional. (2001). *División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica*. Instituto Geográfico Nacional. Departamento de División Territorial y Nomenclatura, (4° ed). San José. ISBN 9977-58-215-7
- Instituto Geográfico Nacional. (2016). *NTIG\_CR04\_01.2016: Perfil Oficial de Metadatos Geográficos de Costa Rica*. San José: Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional, Registro Nacional. Recuperado de [http://www.sniter.go.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=59:normativa](http://www.sniter.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=59:normativa)
- Moya, J. y Cedeño, B. (2016a). Conceptos Básicos en Geodesia como Insumo para un Tratamiento Adecuado de la Información Geoespacial. *Revista Geográfica de América Central*, 58(1), 71-100. Doi: <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.58-1.3>
- Moya, J. y Cedeño, B. (2016b). Los diferentes datum y proyecciones cartográficas de Costa Rica: generalidades y relaciones. *Revista Geográfica de América Central*, 59(3). Doi: <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.3-59.2>
- Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica*. Versión revisada el 16 de octubre de 2014. Recuperado de <http://volaya.github.io/libro-sig/>



## Geopolítica y petróleo en el Mar Caribe: la tensión entre Colombia y Nicaragua

Geopolitics of offshore oil exploration in the Caribbean Sea:  
border area between Colombia and Nicaragua

*Ginneth Pulido Gómez<sup>1</sup>*

*Wagner Costa Ribeiro<sup>2</sup>*

*Universidad de São Paulo, Brasil*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.3>

### RESUMEN

La frontera entre Colombia y Nicaragua se presenta como un escenario dinámico, caracterizado por una tensión entre ambos países, a causa de su delimitación, comprende el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y el área adyacente en el mar Caribe occidental. Para resolver dicha controversia la Corte Internacional de Justicia en 2012 determinó que Colombia ejercía soberanía sobre el Archipiélago y delimitó nuevas fronteras en el mar, lo que modificó las áreas de usufructo de ambos países. Esta área se coloca en el panorama geopolítico global por dos motivos principales; primero su cercanía al canal de Panamá y al posible canal de Nicaragua, rutas estratégicas del comercio mundial, y segundo por el interés que ambos países demuestran en abrir concesiones de exploración/explotación de petróleo en el mar; en el marco de la crisis actual por la obtención de crudo, que se traduce en cambios del uso de las reservas de petróleo conocidas, las oscilaciones de los precios y los impactos socio-ambientales locales y globales generados por todas las etapas de aprovechamiento de este recurso. El presente artículo tiene por objeto discutir la vigencia de la exploración para la búsqueda de petróleo y su creciente interés en áreas *offshore* o fuera de costa, así como el análisis de las relaciones globales que se derivan.

- 1 Geógrafa e Ingeniera Ambiental, actualmente es estudiante de maestría del programa de Ciencia Ambiental de la Universidad de São Paulo, Brasil. Contacto: [gpgomez@usp.br](mailto:gpgomez@usp.br)
- 2 Geógrafo y doctor en Geografía Humana, actualmente es profesor de los programas de posgrado en Geografía Humana y Ciencia Ambiental de la Universidad de São Paulo, Brasil. Contacto: [wribeiro@usp.br](mailto:wribeiro@usp.br)

Recibido: 12 de mayo de 2017  
Aprobado: 23 de noviembre de 2017

**Palabras clave:** Frontera, petróleo, Colombia-Nicaragua, geopolítica, Caribe.

#### **ABSTRACT**

The border between Colombia and Nicaragua appears as a dynamic scenario characterized by a tension between the two countries due to their delimitation, comprising the archipelago of San Andrés, Providencia and Santa Catalina and the adjacent area in the western Caribbean Sea. To resolve this controversy, in 2012 the International Court of Justice determined that Colombia exercised sovereignty over the Archipelago and delimited new boundaries at sea, which modified the areas of usufruct of both countries. This region is important to the global geopolitical panorama for two main reasons. First, its proximity to the Panama Canal and to Nicaragua's future Canal, strategic routes of world trade. And second, the interest shown by two countries in opening up oil exploration concessions at sea, within the framework of the current crisis regarding crude oil production, which translates into lower oil reserves, price fluctuations, and local and global socio-environmental impacts generated by all stages of the use of this resource. The purpose of this article is to discuss the validity of oil exploration and its growing interest in offshore areas, as well as the analysis of the resulting global relationships.

**Keywords:** Boundary, oil, Colombia-Nicaragua, geopolitics, and Caribbean.

### **Introducción**

El mundo contemporáneo se caracteriza por mantener y expandir patrones de consumo en concordancia con la consigna de lo que significa el mundo globalizado. El petróleo no queda fuera de tal panorama. Sin embargo, su uso agudo y constante ha llevado a que las fuentes conocidas se agoten paulatinamente, esto ha traído consigo subsecuentes crisis, que se han reflejado tanto en el aumento de los precios en el mercado como en la expansión de las fronteras de exploración. Cabe mencionar que la colocación de los precios en el ámbito del mercado global casi nunca depende de las voluntades de los territorios de donde el crudo ha sido extraído; a pesar de que la Organización de Países Productores de Petróleo (OPEP) nace como respuesta a la hegemonía occidental tradicional sobre el control de este recurso. La dependencia que gran parte de la sociedad contemporánea tiene del petróleo es tal, que diversos conflictos se fundamentan en los intentos de controlar las fuentes de extracción y sistemas de distribución y comercio, para garantizar la provisión y mantener los stocks que favorezcan a ciertos países, que dentro del panorama internacional se han mantenido como grandes potencias desde el siglo XX, como EUA y los países de Europa Occidental. Junto a ellos, crecen recientemente en consumo del hidrocarburo China y Canadá.

La compleja crisis del petróleo coloca en pauta diversos aspectos: los impactos en la economía global y local, la evidencia de agudos problemas

socio-ambientales, la contundencia de reconocer su condición finita y la falta de un aparentemente sustituto tan versátil fisicoquímicamente, a pesar de que esto favorezca a las grandes corporaciones. Se reconocen, como resultados de su uso constante y creciente, fuertes impactos de índole socio-ambiental que merecen una amplia discusión, no pueden dejar de mencionarse el cambio climático, la generación de residuos tóxicos y la destrucción de ecosistemas como hechos de injerencia global que continúan incrementándose gracias a los devastadores procesos de explotación de recursos naturales, actualmente, vigentes para mantener el modo de producción capitalista.

Frente a estas crisis, el mercado sólo puede dirigirse a la solución que le cabe: buscar recursos en nuevas regiones que le permitan mantener, al menos temporalmente, las provisiones de petróleo, para evitar desestabilizar el mercado y las demandas crecientes, como la población que basa su estilo de vida en los derivados del mismo. Junto a esto se desarrollan técnicas y tecnologías que permiten que las extracciones se lleven a cabo en lugares poco explorados, como los lechos del fondo marino, cuya importancia para la exploración ha crecido ante la inminente disminución de otras fuentes y yacimientos.

Es en este panorama que la cuenca occidental del Caribe se presenta como una región de importancia para la posible explotación de hidrocarburos, puesto que además de la posibilidad de encontrarlos dadas las condiciones geomorfológicas del área, su situación geográfica es estratégica en relación a los flujos de comercio globales. Sumado a esto, y teniendo en cuenta que es un área relativamente pequeña presionada por las tensiones de los diferentes países o territorios que se encuentran en ella, el Caribe está en constante reconfiguración fronteriza, lo que incide directamente en la incursión de determinados actores (estatales y/o corporativos).

El presente artículo tiene por objeto discutir la exploración en búsqueda de petróleo desde la perspectiva geopolítica, limitado al área de disputa fronteriza marítimo territorial entre Colombia y Nicaragua. Para esto, fueron estudiados los procesos de configuración de los límites entre ambos países a partir de documentos históricos de la época de independencia de las Américas y la consolidación de ambos como Estados nacionales, así como otra bibliografía relacionada, también se estudiaron los acuerdos posteriores que pretendieron resolver las áreas de disputa por soberanía,

que incluyen líneas de litoral marítimo y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, así como el mar adyacente, para realizar una reconstrucción de los eventos más representativos en torno a la configuración de la región de estudio. Dado que Nicaragua a inicios de la década de 2000 entra con una demanda ante la Corte internacional de Justicia, son estudiados los documentos derivados del tal proceso bajo la perspectiva de las relaciones internacionales. Para el análisis de la geopolítica del petróleo, se recopilan datos de diversas entidades, como la BP, OPEP y la CIA, que permiten tener una mirada general del proceso de extracción, refinería, distribución y consumo, lo cual, y con el apoyo de teorías de la geografía política y de la justicia ambiental, permite entender la dinámica global y hacer el análisis en la escala local del fenómeno *offshore* en el Caribe.

Los resultados de la investigación se presentan dentro del artículo en dos partes principales, en la primera de ellas, se aborda la controversia entre Colombia y Nicaragua a partir de la compilación y explicación de los más relevantes procesos históricos de configuración de los límites marítimo-territoriales entre ambos. La segunda parte, comprende un análisis sobre la geopolítica global del petróleo para luego llegar a la escala regional en el Caribe occidental, teniendo en consideración fragilidades gubernamentales y el progresivo interés de entes corporativos que llegan a la región. Finalmente, se presentan las consideraciones alcanzadas por el estudio.

### **La Controversia entre Colombia y Nicaragua y la exploración del petróleo**

La frontera entre Colombia y Nicaragua, área de este estudio de caso, corresponde a una frontera binacional, territorial y marítima que comprende el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, y las áreas marítimas adyacentes cuya delimitación conlleva a diversos conflictos, dado que el mar Caribe tiene un área relativamente pequeña si se le compara con el número de fronteras nacionales que se trazan sobre él, que incluyen países de América del Sur, América Central y las Antillas, así como territorios, donde Estados Unidos, Francia y los Países Bajos ejercen soberanía. Esta razón hace que sea un escenario de diversos tratados internacionales, de áreas de tensión fronteriza y de algunas áreas de administración conjunta. Concomitantemente, el canal de Panamá y el posible canal de Nicaragua, que al establecerse como importantes vías del

comercio internacional marítimo, ubicadas en la zona, imprimen al área un amplio interés geopolítico.

La llegada de empresas transnacionales que pretenden hacer extracción, uso y aprovechamiento de diferentes recursos del mar, interfiere no sólo en los Estados involucrados en la disputa, sino que lo hace también con las dinámicas locales de todos los vecinos. Con la pretensión de abrir concesiones para exploración de petróleo, Colombia y Nicaragua involucran a la región entera y atraen el interés de otros países y empresas que tengan u ofrezcan infraestructura de explotación y refinería, de esta forma se reconfigura el territorio en función de las características de la economía contemporánea, donde se presentan confluencias de índole social, ambiental y política, reflejadas en flujos de capital, bienes, servicios, recursos naturales y seres humanos, así como en la distribución desigual de ganancias y consecuencias derivadas del aprovechamiento de petróleo.

En relación a las contradicciones sobre los ejercicios soberanos en áreas en las que se entrecruzan intereses económicos es importante considerar, que en el mundo globalizado contemporáneo puede distorsionarse la percepción de la escala local, y no porque no existan informaciones suficientes sobre esta, sino más bien por la generalización de varios fenómenos que se naturalizan en el ámbito cotidiano. Del mismo modo, las dinámicas de vida singular de las sociedades contemporáneas parecen ya no pertenecer a una realidad particular, y aun perteneciendo no existe una clara noción sobre la relación existente entre estas y voluntades mayores, haciendo que el ejercicio ciudadano se encuentre supeditado a los deseos o conveniencias de entes de poder superiores a los sujetos y a veces, al propio Estado. Esto se refleja en procesos inherentes a la manutención del modo de vida actual, como la apropiación de recursos naturales y humanos para sostener dinámicas que son propias del modo de producción capitalista y que, además, han sobrepasado fronteras, es decir, es común observar entidades internacionales, transnacionales o globales, operando en diversos lugares del mundo. Y cabe suponer que existen acuerdos o contratos suscritos entre dichas entidades y los gobiernos locales, cuyos términos obligarían a un intercambio coherente entre las partes. El petróleo -y todas las actividades que se derivan de su extracción y aprovechamiento- se enmarca dentro de esta lógica.

Es importante comenzar por entender el proceso coyuntural que remarca la frontera entre los países de interés. Teniendo en cuenta que frontera es una línea imaginaria trazada entre dos territorios, política y administrativamente constituidos, en este caso autónomos, cuyo trazado obedece a diversos procesos, principalmente de índole económico y político. Colombia y Nicaragua son Estados nacidos de procesos poscoloniales, y como muchos otros de origen semejante, han presentado dilemas en cuanto a la delimitación de sus fronteras, la mayoría de las veces las líneas de separación entre unos y otros obedecen a las mismas demarcaciones coloniales, lo que no significa que permanezcan estáticas. Las fronteras van cambiando a partir de variados procesos, como conflictos militares, o intereses de separación locales o incluso intervenciones por parte de otros Estados.

El archipiélago de San Andrés, situado en el mar Caribe colombiano, fue objeto de disputa por parte de Nicaragua, que por varias décadas ha considerado que pertenece a su plataforma continental. Existen, por tanto, varios elementos colocados en la dinámica fronteriza entre Colombia y Nicaragua. A continuación, se elabora un recuento del proceso de delimitación de la frontera marítima y territorial.

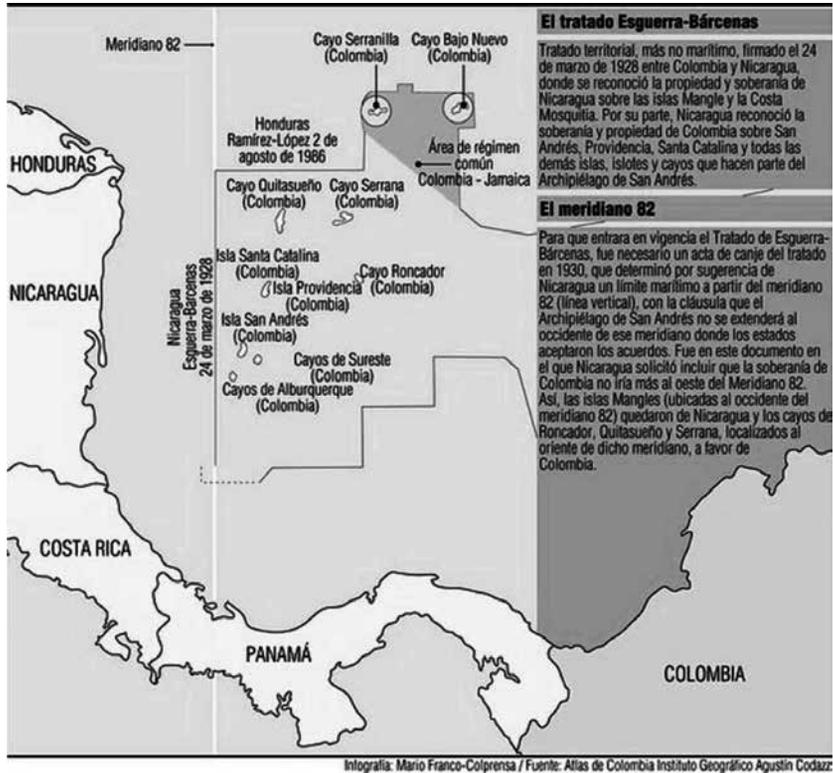
### ***Constitución de la Frontera Marítimo-Territorial***

El Archipiélago aparece mencionado en la Real Orden del 20 de noviembre de 1803, firmada por el Virrey Joseph Antonio Caballero, en el documento se estipula que tanto el Archipiélago como la costa de Mosquitos –Lo que en la actualidad corresponde a toda la costa Caribe de Nicaragua- quedarían separadas de la Capitanía de Guatemala para ser administrados por el Virreinato de Santa Fé. El área insular era intencionalmente preservada para prevenir ataques británicos en el Caribe (Caballero, 1803)

A comienzos del Siglo XIX, como resultado de diversos movimientos independentistas, las colonias en América definían también los trazados fronterizos, para ello las nacientes repúblicas se basaban en el principio del derecho internacional de *Uti Possidetis Juris* para ratificar la coincidencia de los límites territoriales y las delimitaciones coloniales. En la constitución de Cúcuta, firmada el 30 de agosto de 1821, se ratificó la configuración de la Gran Colombia, en la cual implícitamente se asegura la soberanía sobre las islas. A pesar de esto, las repúblicas de América

Central, discordaron, afianzando su presencia en la costa de Mosquitos y manifestándose contra la Gran Colombia por su presencia en el Archipiélago (Constitución de Cúcuta, 1821)

**Mapa 3.** Delimitación entre Colombia y Nicaragua según el tratado de 1928



Disponible en: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/nacional/colombia-defendiera-su-soberania-pesar-del-fallo-de-la-cij-99008>, 21 de noviembre de 2012. Recuperado en septiembre de 2013.

Como consecuencia de la disolución de las Repúblicas Unidas de América Central se conformaron otros Estados, entre ellos la República de Nicaragua (1838), lo que permitió que se firmara un acuerdo con Colombia en relación a la costa de Mosquitos y al Archipiélago, dado que ya se presentaba una tensión en relación a la soberanía sobre el área y las islas. La tensión limítrofe en la región fue aparentemente resuelta en 1928, cuando los países firmaron un acuerdo que delimitaba las áreas marítima, costera e insular para cada uno. Posteriormente, el acto fue ratificado en Managua

el 5 de mayo de 1930 (Ver mapa 3). El tratado llamado Bárcenas-Esguerra, reconoce la soberanía y dominio de Colombia sobre las islas del archipiélago, así como la soberanía sobre la costa de Mosquitos para Nicaragua. En el acta de ratificación se especifica que el límite del archipiélago es el meridiano 82°W, lo que significa que al occidente de dicha línea ninguna isla pertenecerá a Colombia. Esto fue interpretado por este país como el límite marítimo en el Caribe y dio inicio a la controversia manifestada por Nicaragua desde 1980 (Bárcenas Menezes & Esguerra, 1928) (Esguerra & Irias, 1930).

Posteriormente, EUA y Colombia firmaron el acuerdo Vásquez-Saccio en 1972 que concede la soberanía de los cayos Roncador, Quitasueño y Serrana, considerados parte del archipiélago, a Colombia, aunque los equipos de navegación construidos en ellos y los derechos de pesca de áreas adyacentes continuarían en manos de EUA hasta 1981, cuando este país renunció a cualquier pretensión sobre los cayos mencionados. Un año antes Nicaragua había manifestado ya su inconformidad y desacuerdo frente a lo estipulado en el acuerdo de 1928, afirmando que en la época se encontraba bajo control de los EUA y por tanto, no era una nación con la autonomía necesaria para suscribir cualquier tipo de tratado internacional que involucrase fronteras (Vázquez & Saccio, 1972) (Araiza, 2014).

Por esta razón en 2001 el país centroamericano presentó ante la CIJ una petición para aclarar asuntos relativos a la soberanía del archipiélago, reclamando todas las islas, cayos y bancos –inclusive los definidos en el acuerdo con EUA– así como el área marítima en torno, con base en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar –CONVEMAR. El propósito era pedir el establecimiento de la frontera marítima y territorial que considerase las islas como parte de la plataforma marina nicaragüense, y una modificación en la ZEE, que no debería corresponder a la interpretación colombiana del acuerdo, según la cual los límites marítimos se extendían hasta el meridiano 82°W (mapa 3). A su vez Colombia pretendía que la demanda no tuviese implicaciones dado que consideraba el Tratado y la Ratificación, documentos vigentes en el marco de las Relaciones Internacionales de ambos países, argumentando además, en los documentos entregados al proceso, la falta de jurisdicción de la CIJ en una controversia resuelta bilateralmente en 1928, antes de la creación del Pacto de Bogotá (1948), por lo que no era posible aplicar lo estipulado en

el artículo XXXI del capítulo 4<sup>3</sup> de dicho documento. Como consecuencia la CIJ debería declarar la controversia terminada como se estipula en el artículo XXXIV<sup>4</sup> (OEA, 1948) (International Court of Justice, 2012).

Como ya fue mencionado, el área de controversia se encuentra en una zona estratégica localizada en el mar Caribe, sobre la cual recaen intereses crecientes por parte de empresas petroleras. Cabe suponer que exista una tensión supranacional sobre la zona que involucra el proceso, puesto que aparecen también en el panorama, tensiones en relación a la definición sobre a cuál de los dos países correspondería la posibilidad de aumentar las divisas a partir de la exportación de petróleo, en caso de que sea exitosa la búsqueda del mismo. El interés por ampliar o mantener un área marítima determinada se relaciona también con la posibilidad real de usufructuar recursos provenientes del mar, en la Zona Económica Exclusiva (ZEE), ligada al archipiélago (Araiza, 2014).

Al cabo de 11 años de proceso y de documentos de parte y parte que justificaban las pretensiones estatales, la CIJ en la sentencia única e inapelable de 19 de noviembre de 2012 resuelve que la República de Colombia tiene soberanía sobre las islas de Albuquerque, Bajo Nuevo, Quitasueño, Roncador, Serrana y Serranilla, como parte del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Define también una delimitación marítima dividiendo la plataforma continental, con base en el marco jurídico y geográfico, a partir de lo cual se ratifica la delimitación de una nueva frontera entre Colombia y Nicaragua, además determina otra parte de la frontera marítima única alrededor de Quitasueño y Serrana. En la sentencia son indicadas con precisión las coordenadas que determinan la nueva frontera, en el mapa 4 puede verse la delimitación de esta última sentencia (International Court of Justice, 2012) (Cancillería Colombia, 2016).

La sentencia reconoció el ejercicio de la soberanía política, jurídica y administrativa de Colombia en el archipiélago, que incluye islas, islotes, cayos y bancos, cuyo ejercicio soberano, según la CIJ, ha sido ejercido de forma ininterrumpida desde la colonia, durante el Virreinato de Santa Fé y hasta el momento de la sentencia. Sin embargo, realizó una delimitación sobre el mar,

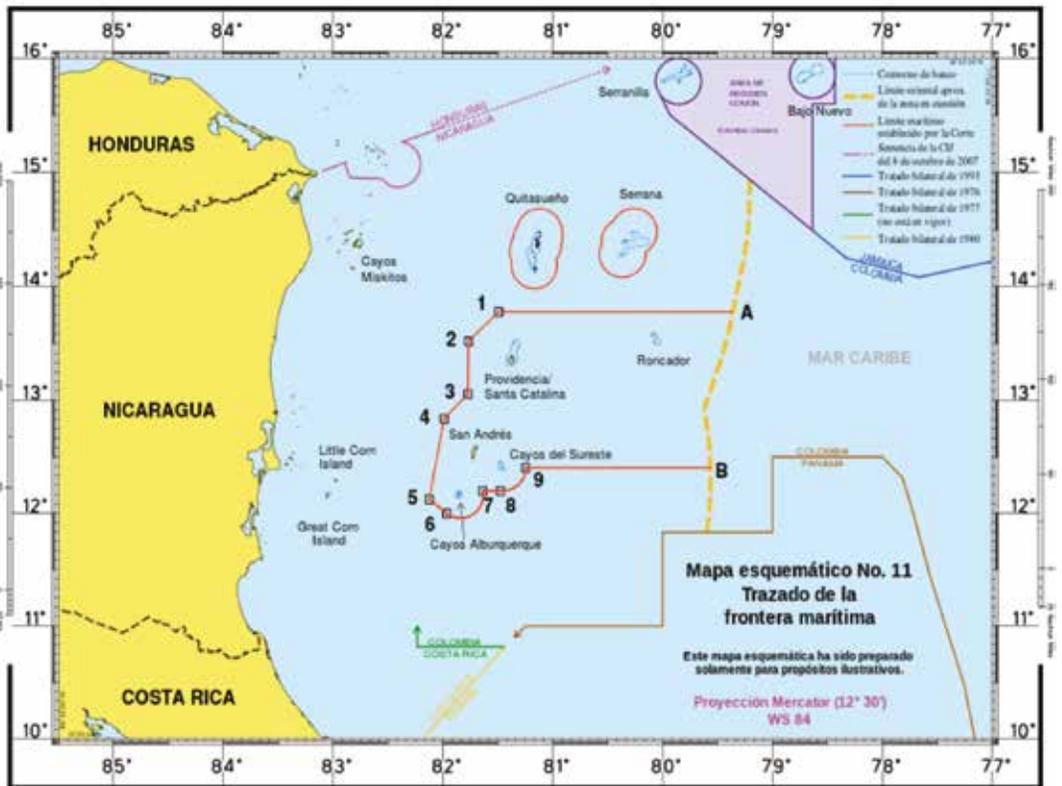
---

3 Reconocimiento *ipso facto*, por parte de los Estados firmantes del Pacto de Bogotá, de la Jurisdicción de la Corte Internacional de Justicia sobre todas las Controversias de orden jurídico que surjan entre ellos. Este reconocimiento se encuentra en el Artículo 36, numeral 2 del estatuto de la Corte Internacional de Justicia.

4 Si la CIJ se declarara como incompetente para reconocer la controversia, la misma debe declararse como terminada (ibidem).

trazando una nueva línea de frontera en el mar, que modificó el imaginario colombiano en relación al área de usufructo en el Caribe, al determinar que 75.000 km<sup>2</sup> son área marítima de Nicaragua, modificando la ZEE de ambos países, lo que amplía las posibilidades de abrir concesiones de exploración petrolera (Mapa 4). Como resultado de esta sentencia, el cuerpo diplomático y gubernamental de Colombia asegura haber perdido una porción del mar, en cuanto Nicaragua gana fronteras con Jamaica y Panamá, por lo que nace una nueva situación de determinación fronteriza para este país (Internacional Court of Justice, 2012) (Cancillería Colombia, 2016).

**Mapa 4.** Fronteras marítimas en el mar Caribe entre Colombia y Nicaragua determinadas por la CIJ en sentencia del 19 de noviembre de 2012



**Fuente:** Territorial and Maritime dispute (Nicaragua v. Colombia). Press Release Unofficial. International Court of Justice. The Hague, Netherlands, 19 November 2012. Disponible en: <http://www.icj-cij.org/homepage/index.php?lang=en>

Además de la tensión por la inminente exploración de hidrocarburos, se presenta también el avance del proyecto del canal interoceánico en Nicaragua, que será construido y operado por la empresa china Hong Kong Nicaragua Development (HKND), cuyo objetivo es fortalecer el tránsito comercial entre Asia y varios países de América que se presentan como abastecedores de las demandas de recursos naturales de China (HKND, 2012). Sin embargo, la construcción del canal y las condiciones puestas por las partes, especialmente por China y aceptadas por Nicaragua, a la luz de las relaciones internacionales, se presentan como una intervención directa en las lógicas del Estado nicaragüense, dado que pueden vulnerarse los derechos de los habitantes de la región propuesta (a través del lago, por el río San Juan) (La Prensa, 2013) (La Voz del Sandinismo, 2013), y los impactos socio-ambientales en la zona pueden ser de graves consecuencias.

Todos los elementos identificados contribuyen a agudizar la tensión entre los países involucrados, los países subyacentes y las empresas. O sea, hay un claro interés de orden transnacional sobre los recursos de la zona. Eso puede generar cambios en el Orden Ambiental Internacional (Ribeiro, 2010), ya que podrá alterar el flujo y posterior distribución del petróleo.

### **Panorama geopolítico global del petróleo y offshore en el Caribe**

En la actualidad el petróleo ocupa un lugar privilegiado en el panorama energético global, a pesar de las consecuencias socio-ambientales derivadas de su uso y explotación. A continuación serán analizadas las condiciones que podrían dar origen a una posible explotación en la cuenca occidental del Mar Caribe, especialmente en la región que comprende la nueva frontera entre Colombia y Nicaragua. En primer lugar, serán relatados aspectos que explican el panorama geopolítico en torno al petróleo y los intereses de control territorial propios de su aprovechamiento, los cuales han derivado en conflictos y distribución de las relaciones de poder que modifican el Orden Mundial. Después, se presentan los intereses de exploración del petróleo en el Caribe.

El mercado global sigue exigiendo y dependiendo del petróleo como eje principal, y en caso de presentarse actividades extractivas en el área de estudio, estas determinarían cambios sustanciales en la región, junto con las modificaciones que suceden tras el fallo de la CIJ frente al litigio fronterizo y la inminente construcción del Canal de Nicaragua. Se sabe que

la localización de los yacimientos de petróleo alrededor del mundo es el resultado de procesos biogeográficos y geológicos particulares, que al ser descubiertos se convierten en zonas estratégicas sobre las cuales recaen los ojos de varios actores. Pero la distribución del consumo de crudo y sus derivados, así como la concentración de los lucros obtenidos a partir de este proceso de mercantilización, obedecen a otros fenómenos.

Posteriormente, y de cara a sucesivas crisis del capital, que afectaron distintos sectores inclusive el petrolero, las miradas de las empresas, de la industria y de los Estados, se volcaron sobre el mar. El hallazgo de petróleo costa afuera condujo a pensar que el océano conformaría una nueva zona susceptible de explotación y aprovechamiento, a partir de lo cual, no han sido pocas las investigaciones y estudios alrededor de la explotación offshore, las ventajas que tiene y la esperanza de mantener vivo, por algunas décadas más, el mercado de hidrocarburos, que amenaza con llegar a su fin dadas las condiciones de explotación y uso actuales.

El Caribe es un mar donde convergen varios territorios insulares y continentales de América (y algunos territorios de ultramar europeos), se presenta como un escenario complejo en donde confluyen diversos intereses políticos. En sus aguas se trazan fronteras marítimas condicionadas por las naciones que lo circundan, estas fronteras –tanto en tierra como en el agua– son dinámicas y se han transformado a lo largo del tiempo. Para contribuir con la complejidad de la zona, se abre una nueva perspectiva frente a la exploración/explotación offshore en sus aguas. De cierto modo podría pensarse que el Caribe alberga una de las últimas fronteras de *commodities* en el mundo, y que dados los intereses geopolíticos de la región, sumado a las características geológicas, la exploración sobre el potencial de hidrocarburos existentes en el área, se había retrasado, de forma que se presenta un interés reciente y quizás apresurado, por parte de los gobiernos de los países de la región y de las empresas globales consolidadas en la exploración de estos recursos<sup>5</sup> (Toro Pérez, 2015).

---

5 Es importante mencionar que se utilizará el término economicista “recurso” haciendo referencia a elementos propios de la naturaleza cuya extracción/aprovechamiento/explotación a gran escala supone una mercantilización del mismo (*commodity* en las bolsas de valores), el término “recurso” reduce a la naturaleza a una simple mercancía y deja establecida su importancia en el panorama de las transacciones comerciales, razón por la cual existe unificación de precios, sin importarse por el origen o los impactos generados de su extracción/producción.

Siendo el petróleo un recurso del cual dependen muchas de las actividades más importantes del planeta (desde la producción de energía hasta la de insumos para la industria agroalimentaria), su extracción se convierte en un fenómeno de interés global, por tanto reconocer la distribución espacial de fuentes, yacimientos y reservas, así como su estado y las fuerzas políticas que confluyen en torno a las zonas en donde se encuentra, es esencial para la comprensión de las dinámicas del mercado contemporáneo. De allí, la importancia de evaluar las implicaciones socio-ambientales de una explotación efectiva de hidrocarburos en la región, a pesar de ser este un momento reconocido como el ocaso de la era petrolera.

Al hacer una reconstrucción histórica de la geopolítica petrolera global, pueden reconocerse varias regiones en el planeta en donde han confluído intereses de índole supranacional ejercidos por otros Estados, empresas globales o una conjunción de ambos; lo que redundará en controles militares intensificados, tensiones políticas, crisis humanitarias e incluso conflictos bélicos. Existen algunas características comunes a muchas de estas regiones en donde suceden los procesos de producción<sup>6</sup> de petróleo, al fin de cuentas, las consecuencias derivadas del avance del modo de producción capitalista contemporáneo, que depende de la extracción masiva de recursos naturales en detrimento de ecosistemas y poblaciones, deja como resultado nefastas huellas socio-ambientales, especialmente en regiones tradicionalmente pobres, en donde la justicia ambiental resalta por su ausencia.

### ***El petróleo en el mundo***

Para hacer el análisis local en el Caribe, hace falta encadenar las dinámicas locales a las globales, teniendo en cuenta que existen múltiples variables en torno al petróleo: de índole geográfica, ambiental, económica, política y social. Según David Harvey (2011), la compleja geografía de todo, de lo local a lo global es ignorada o se reproduce en una versión simplificada del determinismo geográfico físico, muy usual en algunos estudios economicistas. Para el autor, este tipo de abordajes son peligrosos, puesto que en vías de autosatisfacer respuestas, reviven teorías darwinianas que describen la lucha entre los Estados por la dominación geopolítica.

---

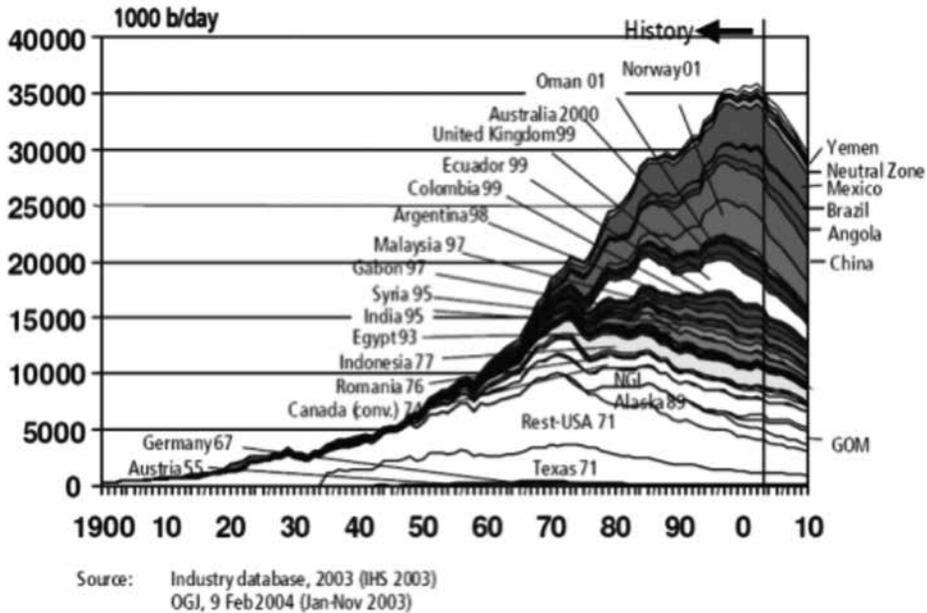
6 Producción de petróleo para efectos de este documento hace referencia a la extracción de yacimientos, así como otros subprocesos *in situ* para transformarlo en energía controlada y disponible, dado que, para que el petróleo sea de hecho utilizable, suceden un conjunto de pasos: exploración, extracción, transporte, refinación, entre otros

Tampoco es posible evaluar cuán dependiente es la reproducción del capitalismo sobre las formas aparentemente caóticas del desarrollo geográfico desigual (Harvey, 2011).

La explotación de petróleo, así como la de otros recursos naturales y su mercantilización, generan modificaciones espaciales derivadas de la intervención en la naturaleza. Se crean espacios de conexión que resultan de los flujos de capital y de materia prima –en este caso el crudo- y también modificaciones e intervenciones conectadas al interés particular –empresarial, estatal o mixto- de mantener el control de reservas, flujos, aprovechamientos, refinerías, entre otros. Dado que los sistemas de aprovechamiento de hidrocarburos son extensivos, y el consumo del mismo ha crecido de forma acelerada gracias a las condiciones de vida y las demandas de energía de la mayoría de la población global o de las prácticas industriales –que en últimas satisfacen hábitos de consumo de una porción de la población- la búsqueda de nuevas fuentes para extracción es constante, por esto existe un interés creciente en explorar áreas nuevas, como es el caso de mares y océanos.

Existen evidencias de que el petróleo no es renovable en el corto plazo, el agotamiento de las fuentes de extracción es perceptible. Existen varios estudios provenientes tanto de iniciativas estatales como privadas, principalmente apoyados en la teoría de Hubbert que pretenden explicar el proceso de disminución del petróleo, así como su consecuente agotamiento, que traerá consigo efectos de índole económica y socio-ambiental (Ver Gráfica 1). Esta teoría estima el momento aproximado del colapso de las fuentes de petróleo, considerando que las condiciones de uso y explotación continúen como hasta ahora. Y como las estimativas demuestran que los yacimientos están agotados, las empresas y los Estados necesitan de nuevas estrategias geopolíticas y económicas decisivas para mantener el control de las reservas que quedan alrededor del mundo.

**Gráfica 1: Pico de Petróleo**

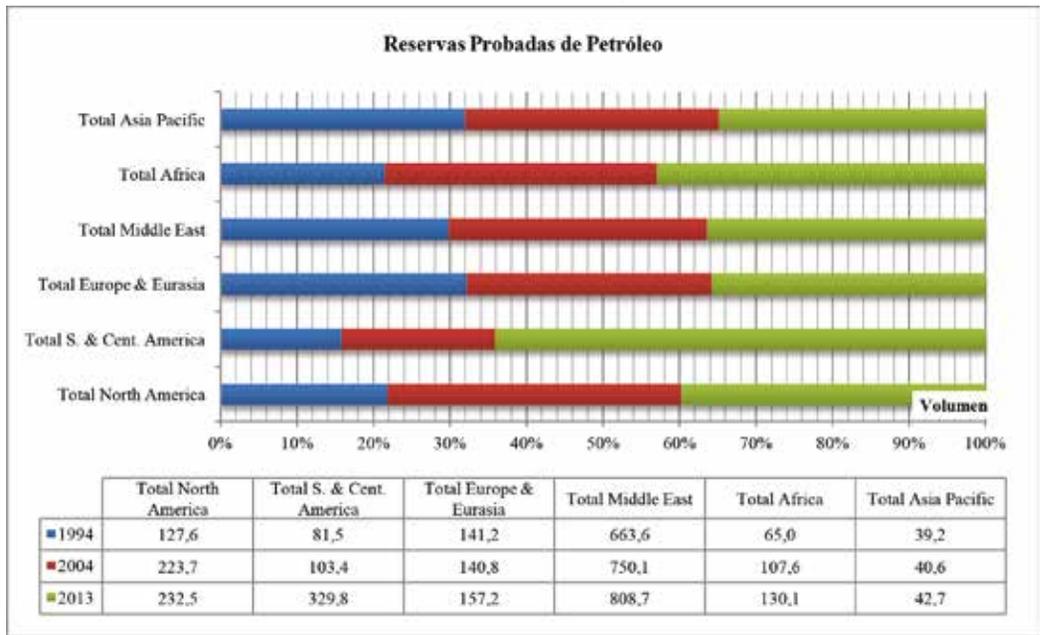


**Fuente:** Peak Oil (2003) Disponible en: <http://peakoil.com/what-is-peak-oil>

Para comprender lo que sucede en la escala regional, específicamente, en el área de la frontera entre Colombia y Nicaragua, es relevante considerar que en la zona confluyen tres particularidades que se relacionan con la búsqueda de nuevos yacimientos en el mundo: primero, la posibilidad de hacer exploración offshore en aguas profundas; segundo, el hecho de que el Caribe es una cuenca que ha sido poco explorada en la búsqueda de hidrocarburos y finalmente, la posición geoestratégica del Caribe, el cual alberga además el canal de tránsito transoceánico más importante del continente: El canal de Panamá.

A continuación, se presentan las gráficas 2 a 5 que muestran las estadísticas de reservas, producción, consumo y precios globales. Esto sirve para entender el panorama global del mercado de petróleo y pensar que existen intereses sobrepuestos de índole militar en áreas donde se concentran altas reservas del recurso.

**Gráfica 2:** Comparación de las Reservas Probadas de Petróleo por año en el mundo (en MMB por año)



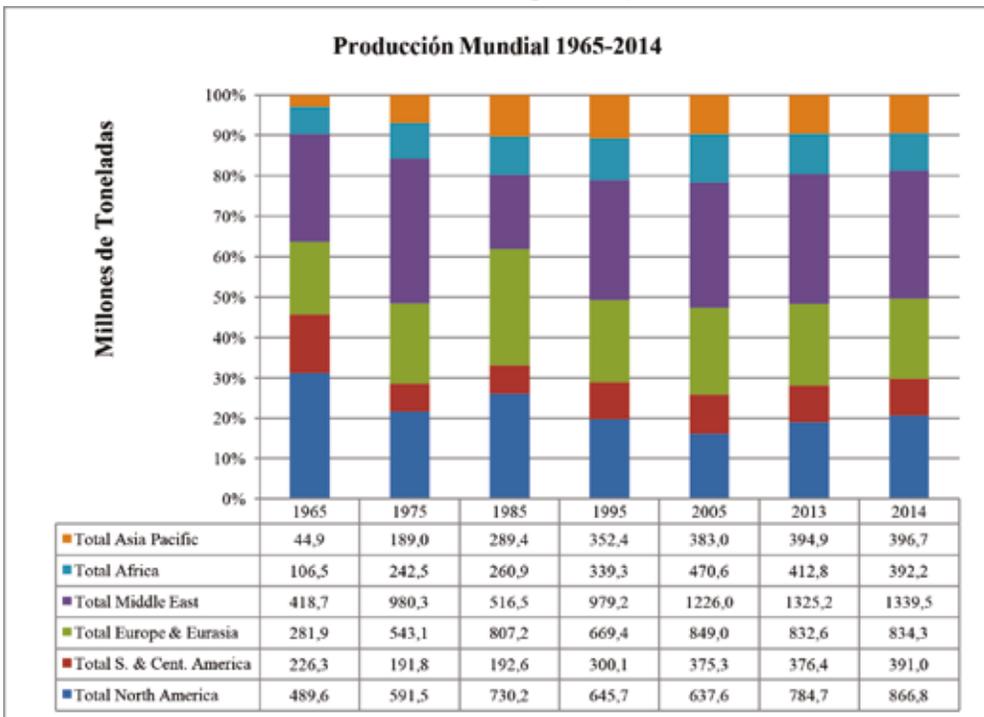
**Fuente:** Exploração de petróleo na Área da nova fronteira Colômbia-Nicarágua: Aproximação Geopolítica (Pulido Gómez, 2017).

Medio Oriente, por ejemplo, posee casi dos tercios de las reservas mundiales de petróleo y un tercio de las reservas de gas natural. En concordancia con lo expuesto anteriormente, Mehmet Ozkam (2011) afirma que la razón principal por la cual existe un interés permanente del mundo occidental sobre la región es esencialmente el petróleo, dado que este es explotado en su mayoría por Países de Europa Occidental, Japón y EUA. Existen procesos de rivalidad militar entre superpotencias dependientes de crudo en esta región, considerada estratégica en torno al control territorial –como sucedió durante en el caso de las guerras mundiales- suscitando la configuración de una región compuesta por países cuyo ejercicio democrático es cuestionable, al respecto, el autor asegura:

Medio Oriente es la región menos democrática del mundo. Excluyendo Turquía, Israel y, tal vez, Líbano y Palestina, ningún Estado del Medio Oriente posee un sistema democrático que siga un modelo pluralista y liberal. Excepto el Líbano y Palestina, ningún jefe de Estado árabe ha instaurado medios

democráticos durante la última generación. Este carácter antidemocrático ha sido victimizado con fines estratégicos para intervenir en la región. Ya sea con el lema de llevar la democracia o por razones sistémicas necesarias para proteger el *statu quo*, las grandes potencias se han involucrado en los asuntos domésticos del Medio Oriente, a lo largo de la historia moderna (Ozkam, 2011, p. 108)

**Gráfica 3:** Producción de petróleo: Mundo de 1965 a 2014. (En millones de Toneladas por año)

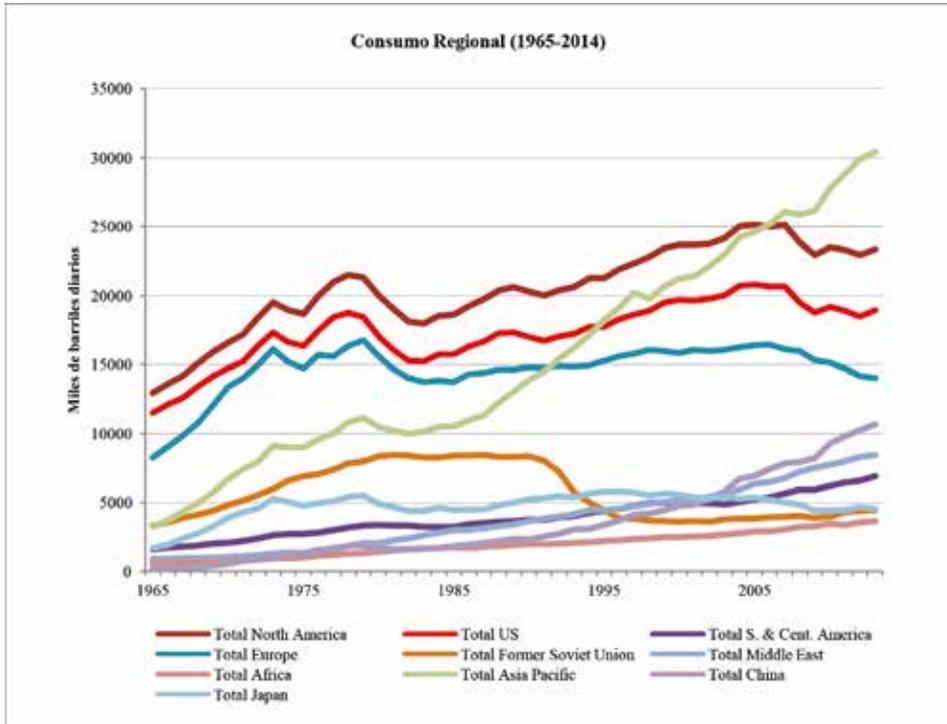


**Fuente:** Exploração de petróleo na Área da nova fronteira Colômbia-Nicarágua: Aproximação Geopolítica (Pulido Gómez, 2017).

La situación descrita por Ozkam define la relación asimétrica entre varios Estados, unos se especializan en proveer recursos y otros en consumirlos, espacialmente esto es mostrado en los mapas 3 y 4, donde se muestra con más detalle las naciones que más consumen y demandan petróleo en comparación con aquellas áreas donde es producido a partir de una serie de flujos de crudo. Se verá entonces la coincidencia de esta información con la información de los países que más intervienen en pro

de salvaguardar las democracias (ej. EUA) sobre aquellos, cuyos sistemas democráticos han sido fragilizados (ej. Medio Oriente, Venezuela).

**Gráfica 4.** Consumo de petróleo regional de 1965 a 2014 (En miles de barriles diarios)

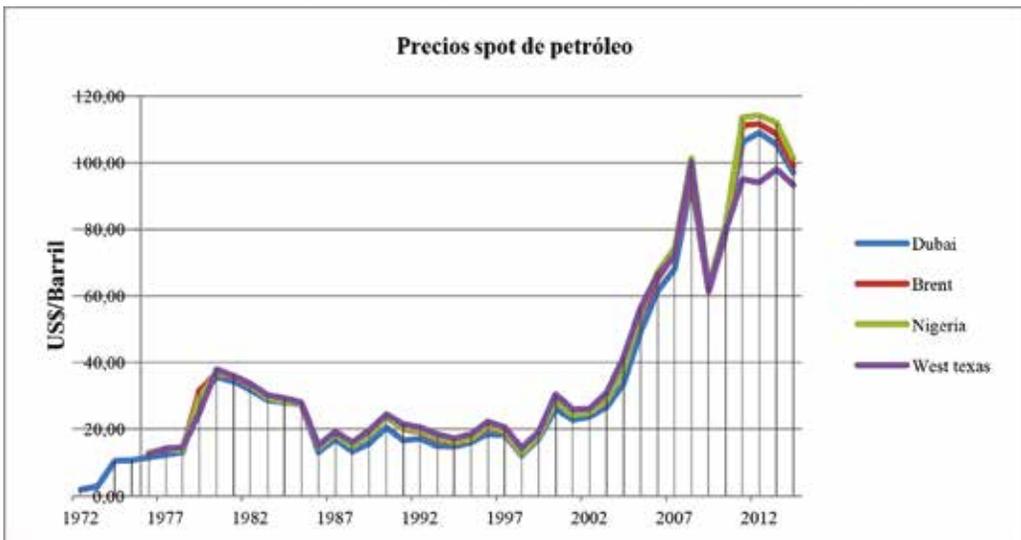


**Fuente:** Exploração de petróleo na Área da nova fronteira Colômbia-Nicarágua: Aproximação Geopolítica (Pulido Gómez, 2017).

Los mayores consumidores, por tanto, en función del control territorial para la obtención de crudo, se presentan como actores hegemónicos, poseedores de información estratégica que facilita la intervención constante o conveniente. Esto demuestra también la siguiente afirmación que define aspectos claves de la geopolítica petrolera: los territorios nacionales se transforman en un espacio de la economía internacional y los sistemas de ingeniería más modernos, creados en cada país, son mejor utilizados por firmas transnacionales que por la propia sociedad nacional. En tales condiciones, la noción de territorialidad es puesta en jaque e incluso puede hablarse de *desterritorialización* (Santos, 2014).

Esta transformación del espacio geográfico en los territorios nacionales en función de la economía global, se da también en función del desarrollo económico desigual, cada vez más agudo, donde las diferencias entre pequeños grupos locales y arraigados a un territorio, y las corporaciones de naturaleza transnacional, carentes de lugar propiamente dicho y cuyos tentáculos se extienden a conveniencia, favorecen la idea de un “capitalismo sin fronteras”, el cual es posible únicamente a partir del control y la manipulación de comunidades y ecosistemas (Santos, 2014).

**Gráfica 5.** Precio de petróleo regional de 1965 a 2014 (en Dólares por barril)

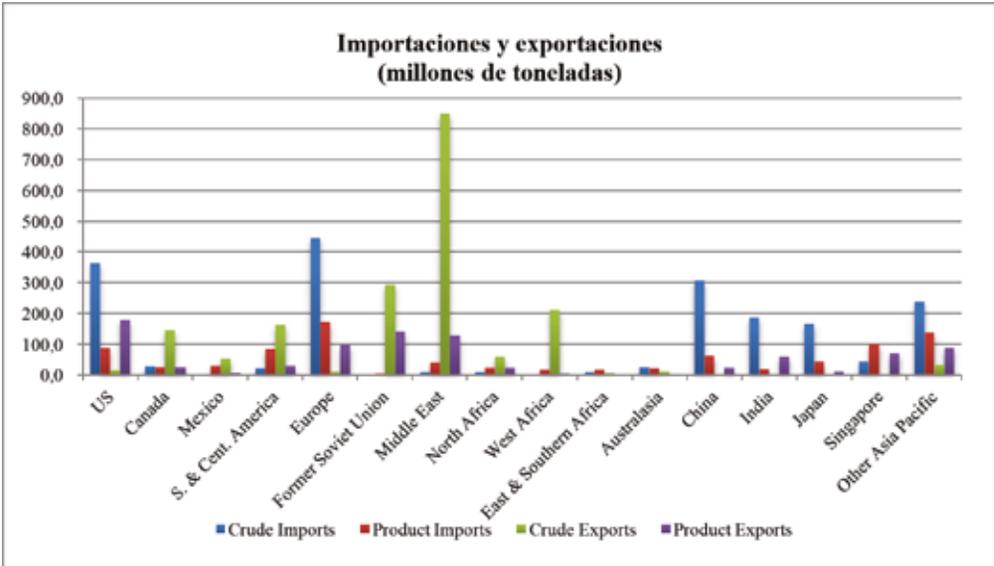


**Fuente:** Exploração de petróleo na Área da nova fronteira Colômbia-Nicarágua: Aproximação Geopolítica (Pulido Gómez, 2017).

Las consecuencias socio-ambientales de estas dinámicas propias del estilo de vida y consumo contemporáneo de gran parte de la población mundial, conllevan no sólo a los conflictos territoriales y militares, cargados de alta violencia y violación de derechos humanos, y los ataques sobre la soberanía ya descritos, sino que también van de la mano con el agotamiento de los sistemas naturales, la generación de residuos contaminantes –que la industria que los genera desconoce cómo tratar-, y otros fenómenos sociales como la agudización de la pobreza, el hambre y las pandemias. Todo esto enmarca los procesos de transformación de la naturaleza y la evolución humana reciente,

es decir, el *Antropoceno*, que corresponde al periodo histórico, donde se han presentado los mayores cambios en el planeta que alteran los sistemas fundamentales para el sostenimiento de la vida, debido a las actividades antrópicas, el Cambio Climático es sin duda, una expresión clara de esta era (Martínez Alier, 2014) (Chaparro Mendivelso & Meneses Arias, 2015).

**Gráfica 6:** Importación y exportación de crudo y productos derivados



**Fuente:** Exploração de petróleo na Área da nova fronteira Colômbia-Nicarágua: Aproximação Geopolítica (Pulido Gómez, 2017).

Se puede concluir entonces, que para entender la geopolítica petrolera es necesario conocer como la mercantilización de este hidrocarburo ha traído consecuencias en diversos aspectos del mundo contemporáneo, impactando el sistema global, pasando por aspectos políticos, económicos, sociales, ambientales. En la gráfica 6, pueden verse las importaciones de petróleo crudo y productos de petróleo desde diferentes países/regiones del mundo, según la clasificación regional hecha por la BP en su informe anual. La cantidad de petróleo crudo que sale de Medio Oriente es visiblemente mayor en comparación a la que sale del resto de los países en la gráfica. En contraposición a esto, Europa importa la mayor cantidad de crudo, seguido de EUA y China. Las otras regiones con importantes valores en la exportación de crudo son la

antigua Unión Soviética (entre estos sabemos que Rusia y Kazajistán reportan las mayores cantidades) el Oeste de África, Centro y Suramérica (por las exportaciones venezolanas) y Canadá.

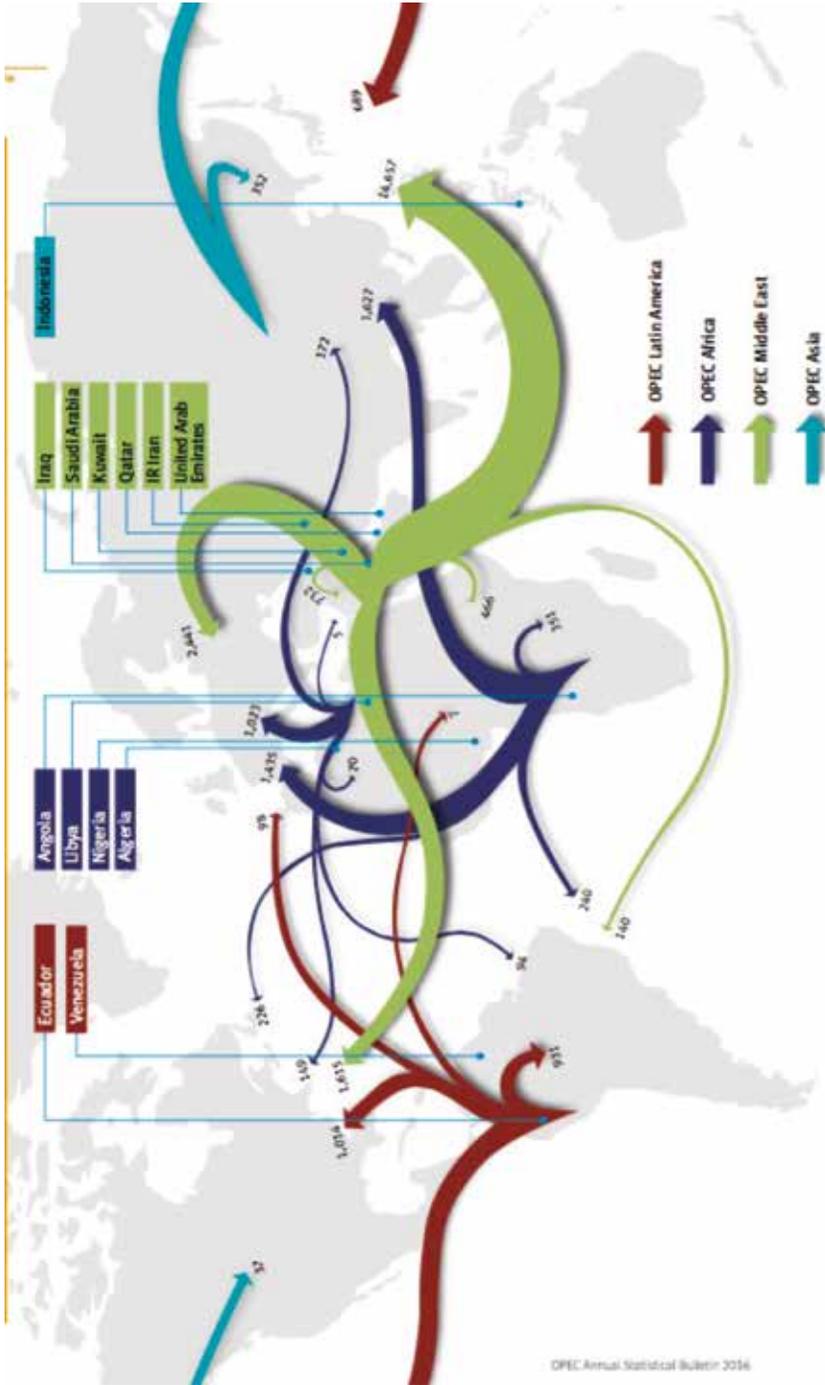
La búsqueda intensa de nuevos yacimientos o reservas se hace urgente para evitar mayores crisis del mercado. Sin embargo, con la llegada del pico las crisis comienzan a ser definitivas, esto impacta directamente precios y procesos de explotación, puesto que el afán por atenuar los problemas derivados de la escasez llevan a la implementación de procesos más agresivos con la naturaleza, de esta forma es que las explotaciones offshore de hidrocarburos se hacen más comunes, por tanto la búsqueda de ellos en el mar, y en muchos casos no se contempla el mar como una fuente de recursos alimenticios de poblaciones costeras pequeñas, ni los ecosistemas que deben ser preservados<sup>7</sup>. Esta crisis no sólo es de petróleo, el gas, aunque con un poco más de tiempo dentro de las predicciones, está siguiéndolo muy de cerca (Marzo Carpio, 2006) (García, 2006).

Como se ha observado hasta aquí, la información presentada se relaciona a países, sin embargo, se sabe que el amplio proceso de producción, que como ya fue citado, comprende varios pasos entre los cuales están la exploración, la extracción, el transporte y la refinería, es llevado a cabo por empresas de índole privada, pública o mixta. A continuación, se relacionan las grandes empresas petroleras identificadas como las Siete Hermanas, que han mudado desde la segunda mitad del siglo XX hasta la actualidad. Estas son relevantes puesto que concentran flujos y control sobre espacios determinados, Estas informaciones pueden constatarse tanto en las gráficas 2 a 6, como en los mapas 1 y 2.

Dado el aumento de precio mostrado en la gráfica 6, las empresas que prevalecen como las más poderosas dentro del mercado han aumentado también su capital, agudizando de este modo la concentración del mismo. Estas se consolidan como entidades poderosas dentro del panorama del comercio internacional, a partir de su actividad extractora, las actuales empresas emergieron de las “Siete Hermanas” originales, principalmente de ExxonMobil, BP y Royal Dutch Shell, una estadounidense y dos europeas. Se considera que las compañías petroleras más poderosas, actualmente son: Saudí Aramco, Gasprom de Rusia, CNPC de China, NIOC de Irán, PDVSA de Venezuela, Petrobras de Brasil y Petronas de Malasia (Hoyos, 2007) (Jaimes, 2012).

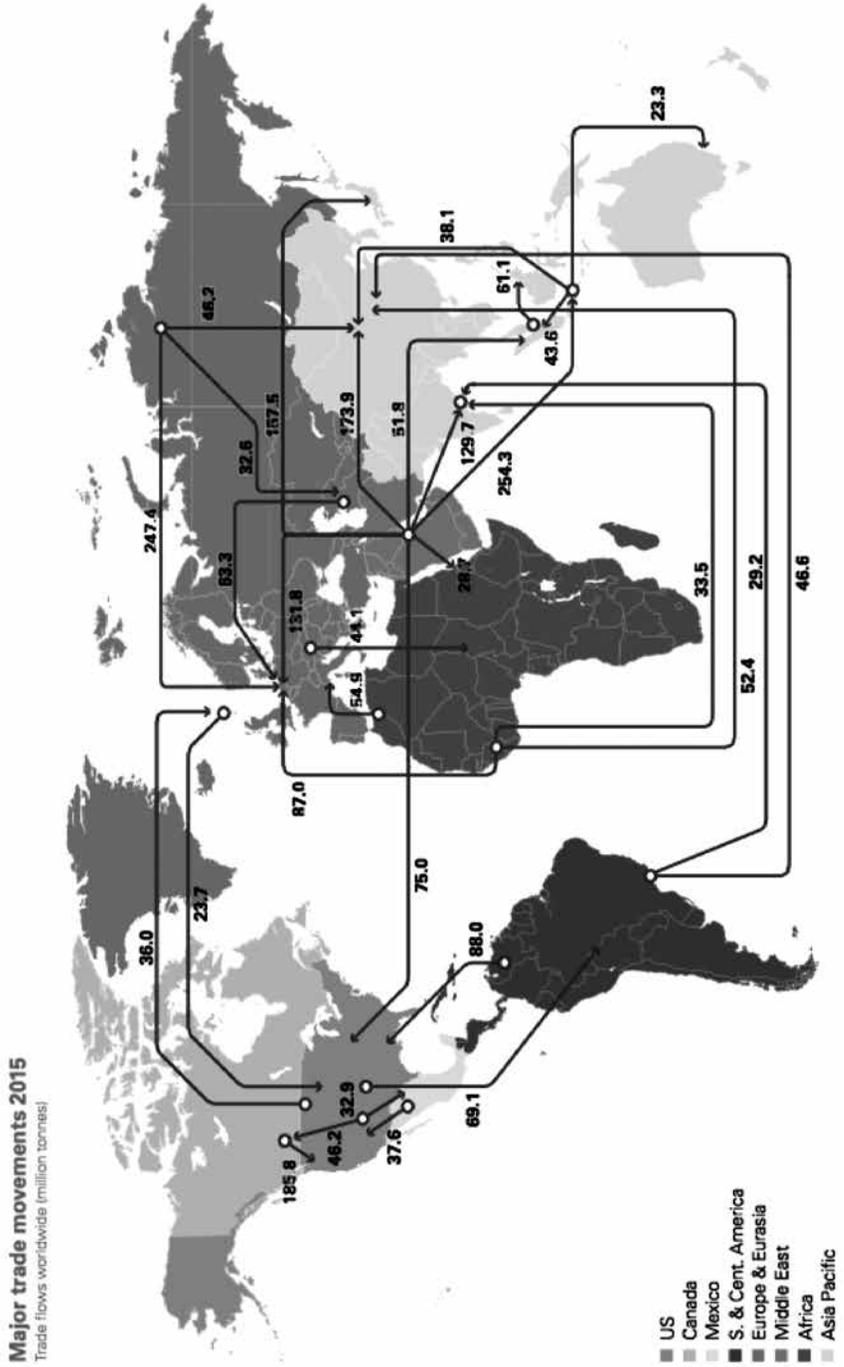
7 Tal es el caso de la Reserva de la Biósfera Seaflower, en el área de investigación.

Mapa 1: flujos de petróleo crudo y refinado de los países OPEP



Fuente: OPEC. (OPEC por sus siglas en inglés) Annual Statistical Bulletin, (2016)

Mapa 2: principales movimientos comerciales de petróleo



Fuente: Full Report of Statistical Review of World Energy June 2016 (BP Global, 2016)

En los mapas 1 y 2 se ilustran los flujos de petróleo global. El primero de ellos indica a través del grosor de las flechas la cantidad de flujo de petróleo que sale de países de la OPEP, se constata que las líneas más gruesas salen de Medio Oriente y de África, y se dirigen a Europa occidental, Norteamérica y Asia, con mayor incidencia. El segundo mapa enseña los flujos comerciales de petróleo sin distinción entre países OPEP, en este, además de lo encontrado en el anterior mapa, puede observarse que existen flujos representativos hacia China, provenientes principalmente de Brasil y Rusia. Llamam también la atención las cantidades de petróleo que llegan a Norteamérica, lo que ratifica a la región (y de paso a los EUA) como la que presenta mayor consumo total y per cápita (Pulido Gómez, 2017)

A comienzo de la década de 1970, varios países, inclusive Estados del Caribe, apoyaron la implementación de delimitaciones marítimas, como la definición de la ZEE, cuya delimitación es compleja en una región como el Caribe, dado su tamaño y la cantidad de Estados independientes que lo rodean, esta situación favorece el surgimiento de disputas entre vecinos, de diferentes niveles (Morris, 1986). Complica aún más la situación regional el proceso de militarización que se ha agudizado en varios países latinoamericanos, con ello, las disputas territoriales se agudizan y complican el orden regional. Las dinámicas que inciden en el orden mundial se basan entonces, en una sumatoria de políticas estatales o privadas que pretenden concentrar la extracción, aprovechamiento y flujo de recursos, con los consecuentes lucros que genera y las alianzas militares sucedidas no por casualidad de estos intentos de control. Con la llegada de empresas petroleras a la cuenca del Caribe, la construcción del canal de Nicaragua en manos de China y las tensiones políticas actuales, nuevos actores se encuentran en el área de litigio, para evitar intervención o para iniciarla, con el fin de mantener las relaciones de poder colocadas en la actualidad contemporánea.

### ***Los acuerdos de exploración***

Los acuerdos que se encuentran en vigor o en proceso al término de este documento son: El acuerdo 186 de 2006, trata de la firma de un acuerdo entre Nicaragua y la empresa Infinity Energy Resources. El 3 de abril de 2006, Nicaragua delegó al procurador general de la república para suscribir un contrato de exploración y explotación petrolera con la Empresa MKJ Exploraciones Internacionales S.A., en el acuerdo 111 de 2006,

en la cuenca cercana a la Costa de Mosquitos, en un área de 4.000 Km<sup>2</sup>. Mediante el acuerdo presidencial N° 16 de 2008, se suscribe otro contrato entre la república de Nicaragua y MKJ Exploraciones Internacionales S.A. En el 2008, se aprueba el contrato de explotación de Hidrocarburos con la empresa Infinity Energy Resources, en el área conocida como banco Tyra, en lo que Nicaragua denomina Atlántico Sur. El 10 de julio de 2013, Nicaragua firma un tratado de exploración con Repsol, aprobado en una resolución de septiembre de 2012. Finalmente, Ecopetrol, de Colombia, resalta el hallazgo de petróleo en aguas profundas, en un área más cercana a La Guajira. A pesar de no existir contratos accesibles en las zonas de exploración probable, por parte de Colombia, la división de bloques de concesión es una evidencia del interés por aprovechar la situación de la crisis global y abrir las puertas al offshore.

Ambos países muestran una inclinación evidente a la exploración, se muestran favorables a la incursión a pesar de que el mundo actual denota un decrecimiento sostenible, como lo llama Joan Martínez Alier (2014), frente al descenso de las fuentes de petróleo, las consecuencias en las áreas locales, teniendo en cuenta que para el caso en partículas el área de la reserva Seaflower se vería inevitablemente afectada, puesto que no habría como protegerla en una eventual explotación. Los intereses económicos hegemónicos, y la lógica de las burguesías nacionales en ambos casos, han llevado a una carrera a favor de las concesiones que puede terminar en mayores tensiones de las que ya existen en la región. Nicaragua contribuye a agudizar estas tensiones en vistas de la construcción del canal, que la dejará en situación de desventaja en lo que tiene que ver con las ganancias y el control del territorio, a pesar de presentarse esta opción, según el presidente Ortega como una oportunidad para enfrentar el imperialismo norteamericano, a la vez que firma contratos con empresas estadounidenses, lo que conlleva a una clara contradicción.

Aunque aparentemente Colombia y Nicaragua poseen los mismos propósitos en torno a preservación y justicia, lo que se encuentra por detrás de los intereses y las negociaciones de ambos en La Haya, no va de la mano con una política clara de preservación del área protegida del archipiélago ni de los derechos sociales de sus habitantes. Puesto que se evidencia el interés por abrir posibilidades de extracción de recursos, concediendo a otros dicho beneficio. Cabe recordar que posterior a la decisión

del tribunal internacional, Colombia reaccionó desfavorablemente asegurando que no acataría el fallo, lo que demuestra que la tensión continua en vigencia y que la disputa por el usufructo del mar no ha sido resuelta, por ello, si las exploraciones son exitosas en el hallazgo de hidrocarburos, ciertamente el conflicto continuará vivo.

### **Consideraciones finales**

Cabe mencionar que la tensión fronteriza aparentemente resuelta en el papel por la determinación de la CIJ, se mantiene dada la negación de Colombia y el aumento de la tensión entre ambos, puesto que no existe una evidente voluntad de negociación, además de la carrera de ambas naciones por conceder contratos de exploración. Hay que considerar en conjunto, una vez más, el desarrollo capitalista, sus impactos ambientales, sociales y su lógica distributiva desigual, la importancia que conlleva el hallazgo de fuentes de petróleo por cualquiera de los países denota una ganancia, a pesar de injusta, para el país en cuyo territorio se den los hallazgos, la tensión por el área susceptible de explotación se agudiza frente a la evidencia de petróleo. No es importante –ni siquiera es comentado en los medios- la situación de la crisis de petróleo, las crisis de precios se abordan porque no son fáciles de ocultar, toda vez que un aumento en los precios de los hidrocarburos redundaría en el aumento del costo de vida, casi de manera general.

En este sentido es de interés geopolítico entender cómo es que la crisis del petróleo en el panorama global llegó a una región con un conflicto particular, las razones por las que se generan esos desplazamientos geográficos de la crisis de capital y de recursos naturales. El desarrollo geográfico desigual, producto del capitalismo, explica en parte que para la manutención del modo de producción, las crisis –o la búsqueda de soluciones a ellas- se desplazan hacia las zonas de donde pueden extraerse recursos para intentar mantener el supuesto equilibrio de la producción que no se contabiliza y que en realidad son efectos socio-ambientales crecientes, de diferentes matices, que se distribuyen de manera desigual, afectando por lo general poblaciones más vulnerables y pobres históricamente, perpetuando y agudizando dicha situación.

Como la acumulación de capital es un proceso que no existe fuera de los determinados contextos geográficos, vale recordar que áreas de tensión política son un nido perfecto para la generación de capital, a partir de la

extracción de recursos. Es más simple alterar las configuraciones de los Estados, como asegura Harvey, para conseguir los objetivos de acumulación, se reconfiguran los espacios, las fronteras e intervienen en la determinación de los gobiernos y los pueblos de un territorio, a través de ofensivas militares –que generalmente traen consigo el discurso de la restauración de la democracia- que alteran el orden mundial vigente, nunca estático.

Para el caso de la Cuenca del Caribe, vale la pena recordar que se ha avanzado en la exploración de los océanos en la búsqueda de alimentos, combustibles y además ha sido receptor de residuos, algunos de ellos tóxicos. Los cambios ambientales en el planeta han sido contundentes y por lo pronto algunos son irreversibles, el agotamiento de muchos recursos es evidente y la búsqueda de fuentes nuevas de ellos es constante y agresiva, puesto que se consideran las urgencias que presentan las demandas de petróleo, para el caso, sobre cualquier efecto negativo resultado de su extracción, uso, combustión y disposición final.

Se evidencia, que desde antes que la Corte de Internacional de Justicia definiera los nuevos límites fronterizos, el panorama del mercado estaba puesto sobre los dos países, los intereses de la exploración en el área nacen quizás de evidencias geológicas, al menos actualmente, se trabaja en la búsqueda de condiciones que favorezcan el aprovechamiento de los hidrocarburos, lo que colocaría a Nicaragua en el panorama del petróleo global, dependiendo de lo que finalmente suceda con la frontera cuya definición aún se encuentra bajo procesos de tensión por parte de ambos países.

## Referencias

- Araiza, R. (2014). *Conflicto Colombo-Nicaragüense desde la perspectiva de la Jurisprudencia de la Corte Internacional de La Haya*. Memorias del foro internacional Fronteras en el Caribe.
- Bárceñas Menezes, J. & Esguerra, J. M. (1928). *Tratado sobre cuestiones territoriales entre Colombia y Nicaragua*. Recuperado el 12 de 03 de 2013, de Fundación Enrique Bolaños: <http://sajurin.enriquebolanos.org/vega/docs/1928%20TRATADO%20SOBRE%20CUESTIONES%20TERRITORIALES%20ENTRE%20COLOMBIA%20Y%20NICARAGUA.pdf>
- Caballero, J. A. (20 de Noviembre de 1803). *Real Orden de 1803*. Recuperado el 20 de Mayo de 2015, de Pasaporte Colombiano:

- <https://pasaportecolombiano.wordpress.com/2007/12/16/documento-real-orden-de-1803/>
- Cancillería Colombia. (2016). *Controversia Territorial y Marítima (Nicaragua c. Colombia) 2001-2012*. Recuperado el 25 Febrero de 2016, de [http://www.cancilleria.gov.co/casos\\_corte/nicaragua\\_colombia](http://www.cancilleria.gov.co/casos_corte/nicaragua_colombia)
- Carpio, M. (Marzo-Junio, 2006). El hombre del hidrocarburo y el ocaso de la era del petróleo. *Mientras Tanto*, 98, 105-121.
- Chaparro Mendivelso, J. & Meneses Arias, I. (Diciembre de 2015). El Antropoceno: Aportes para la comprensión del Cambio Global. (U. d. Barcelona, Ed.) *Aracne - Geocrítica*(203).
- Constitución de Cúcuta*. (06 de Octubre de 1821). Recuperado el 13 de Mayo de 2015, de [https://es.wikisource.org/wiki/Constituci%C3%B3n\\_de\\_C%C3%BAcuta](https://es.wikisource.org/wiki/Constituci%C3%B3n_de_C%C3%BAcuta)
- Corte Internacional de Justicia. (10 de Marzo de 2015). *Estatuto da Corte Internacional de Justiça*. Obtenido de <http://www.icj-cij.org/homepage/sp/icjstatute.php>
- Esguerra, M., & Irias, J. (05 de Mayo de 1930). *Pasaporte Colombiano*. Obtenido de Acta de canje de Ratificaciones, Protocolo de 1930: <https://pasaportecolombiano.wordpress.com/2007/12/13/documento-protocolo-de-1930/>
- García, E. (Marzo-Junio de 2006). Del Pico del petróleo a las visiones de una sociedad pos-fosilista. *Mientras tanto*, 98, 25-47.
- Harvey, D. (2011). *O enigma do Capital: as crises do capitalismo* (Primeira Edição ed.). (B. Tempo, Ed., & P. JOÃO ALEXANDRE, Trad.) São Paulo, Brasil.
- HKND. (2012). *HKND Group: Hong Kong Nicaragua Canal Development*. Obtenido de <http://hknd-group.com>
- Hoyos, C. (17 de Marzo de 2007). *The New Seven Sisters: oil and gas giants and western rivals*. Recuperado el 22 de Abril de 2016, de <http://www.ft.com/content/471ae1b8d002-22db-94cb-000b5df10621>
- International Court of Justice. (19 de November de 2012). *Territorial an Maritime dispute (Nicaragua v. Colombia)*. Recuperado el 28 de Marzo de 2013, de Press Release Unofficial: <http://www.icj-cij.org/homepage/index.php?lang=en>
- International Court of Justice. (19 de 11 de 2012). *Reports of Judgments, Advisory, Opinions and Orders. Territorial and Maritime Dispute*

- (*Nicaragua v. Colombia*). Recuperado el 2013, de <http://www.icj-cij.org/docket/files/124/17164.pdf>
- Jaimés, M. (Julio-Diciembre de 2012). Petróleo: Historia y perspectivas geopolíticas. *Aldea Mundo*, 17, 65-70.
- La Prensa. (13 de Junio de 2013). *Orteguismo aprueba construcción del Canal*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2015, de Diario de los Nicaragüenses: <http://www.laprensa.com.ni/2013/06/13/politica/150676-orteguismo-aprueba-construccion-del-canal>
- La Voz del Sandinismo. (2013). *Gran Canal Interoceánico de Nicaragua*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de <http://www.lavozdelsandinismo.com/gran-canal-interoceanico-de-nicaragua/>
- Martínez Alier, J. (2014). *O Ecologismo dos pobres*. (M. WALDMAN, Trad.) São Paulo: Editora Contexto.
- Morris, M. (Enero de 1986). Maritim Geopolitics in Latin América. *Political Geography Quarterly*, 1, 43-55.
- OEA. (Abril de 1948). *Pacto de Bogotá*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de Organización de los Estados Americanos: <http://www.oas.org/juridico/spanish/tratados/a-42.html>
- Ozkam, M. (Enero-Junio de 2011). El Oriente Medio en la política mundial: Un enfoque sistémico. *Estudios Políticos*, 99-120.
- Pulido Gómez, G. (2017). Exploração de petróleo na área da nova fronteira Colombia-Nicaragua: Aproximação Geopolítica. (I. d. Ambiente, Ed.) São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo.
- Ribeiro, W. C. (2010). Geografía política e a questão internacional dos recursos naturais. *Estudos Avançados*, 69-80.
- Santos, M. (2014). *A Natureza do Espaço* (4a Edição, 8a reimpressão ed.). São Paulo: Edusp.
- Toro Pérez, C. (10 de Septiembre de 2015). La geopolítica del extractivismo marino en el Caribe Occidental. *Grupo Semillas*, 59.
- Vázquez, A., & Saccio, L. (18 de 09 de 1972). *CANCILLERÍA COLOMBIA*. Recuperado el 2013, de Tratado entre el Gobierno de la República de Colombia y el Gobierno de los Estados Unidos de América Relativo a la situación de Quitasueño, Roncador y Serrana.: <http://www.cancilleria.gov.co/colombia/sovereignty/affairs>



## Metodología para la valoración y evaluación de geomorfositos en Costa Rica

### Methodology for evaluating and assessing geomorphosites in Costa Rica

*Dennis Pérez-Umaña*<sup>1</sup>

*Universidad Nacional de Costa Rica*

*Adolfo Quesada-Román*<sup>2</sup>

*Universidad de Ginebra, Suiza*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.4>

#### RESUMEN

El siguiente trabajo presenta la implementación de una metodología para la evaluación de geomorfositos en Costa Rica, tomando como área de estudio el Parque Nacional Volcán Poás. El objetivo es evaluar los geomorfositos existentes dentro de esta área silvestre protegida mediante una metodología de evaluación de geomorfositos, dicha metodología consiste en la comparación de las características científicas, culturales o añadidas y de uso y gestión presentes en el geomorfosito. Se determina que el Parque Nacional Volcán Poás tiene diversas formaciones que pueden ser consideradas como geomorfositos, además, que hay diversos valores agregados que denotan la importancia que tiene el volcán para la población costarricense. La metodología utilizada en este trabajo puede ser utilizada en otros territorios, con miras a que su implementación pueda colaborar al Ordenamiento Territorial de Costa Rica.

**Palabras clave:** Geositios, geomorfología, geoturismo, geoconservación, volcán Poás.

1 Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio. Escuela de Ciencias Geográficas. Correo electrónico: dennisperez09@gmail.com

2 Instituto de Ciencias Ambientales, Universidad de Ginebra (Suiza). Correo electrónico: adolfo.quesada@gmail.com

Fecha de recepción: 03 de setiembre de 2017

Fecha de aceptación: 27 de octubre de 2017

## ABSTRACT

This paper presents the implementation of a methodology for geomorphosites assessment in Costa Rica-taking the Poás Volcano National Park as study area. The objective is to evaluate the existing geomorphosites inside this protected area using a methodology of geomorphosites assessment. This methodology consists of a comparison of scientific values, added values, and use and management values present in the geomorphosites. It is determined that the Poás Volcano National Park has diverse formations that could be considered as geomorphosites. Moreover, it has several values added that denote the importance that volcano has for Costa Rican people. The methodology used in this work can be used in other territories and can be used to contribute to Land Use Planning in Costa Rica.

**Keywords:** Geosites, geomorphology, geotourism, geoconservation, Poás Volcano.

## Introducción

La superficie terrestre alberga distintas formaciones, algunas muy complejas y otras muy simples, algunas con edades recientes y otras que son muy antiguas en relación a otros relieves. Estas formaciones llegan a ser atractivas para la población, ya sea porque presentan un paisaje singular o porque lo relacionan con algún otro elemento que les genere un aprecio, es aquí, cuando una formación del relieve puede ser nombrada como geomorfosito. Comanescu y Nedelea (2010) citan a Panizza (2001), quien define un geomorfosito como una parte de la superficie terrestre que tiene importancia para entender la historia de la Tierra.

Coratza et al. (2008) señalan que un geomorfosito es un relieve que presenta atributos particulares que lo hacen parte del patrimonio cultural de un territorio, donde la población le otorga valores socioeconómicos, culturales y escénicos, reforzando la idea de Reynard y Panizza (2005), quienes habían mencionado que los valores añadidos que tiene un geomorfosito son el valor estético, histórico, cultural y socioeconómico.

Puede ser objeto geomorfológico individual hasta un paisaje, el cual puede ser modificado o destruido por la actividad humana (Palacio, 2013), por lo que son formaciones que deben ser protegidas mediante alguna regulación, donde se permitan actividades que no afecten el geomorfosito (Pereira et al., 2007, citado por Costa, 2011), ya que son relieves susceptibles a cambios en su morfología, provocados por muchos factores, agentes y procesos (Ilies y Josan, 2008).

Para valorar y evaluar un geomorfosito se deben tomar en cuenta una serie de valores, que a primera instancia no pueden establecerse mediante métodos estadísticos o ecuaciones matemáticas, ya que hay valores que no pueden ser contables, como los valores culturales de un

geomorfosito, pero esto se puede realizar si se elabora un método, lo más objetivo posible, donde se puedan comparar todos los valores de un geomorfosito (González y Serrano, 2008).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar los geomorfositos del Parque Nacional Volcán Poás mediante una metodología comparativa. Cabe resaltar que este estudio fue realizado entre 2014 y 2017, anterior a la fase eruptiva actual (a partir de abril de 2017) que ha mantenido cerrado el parque nacional debido a la peligrosidad de su actividad.

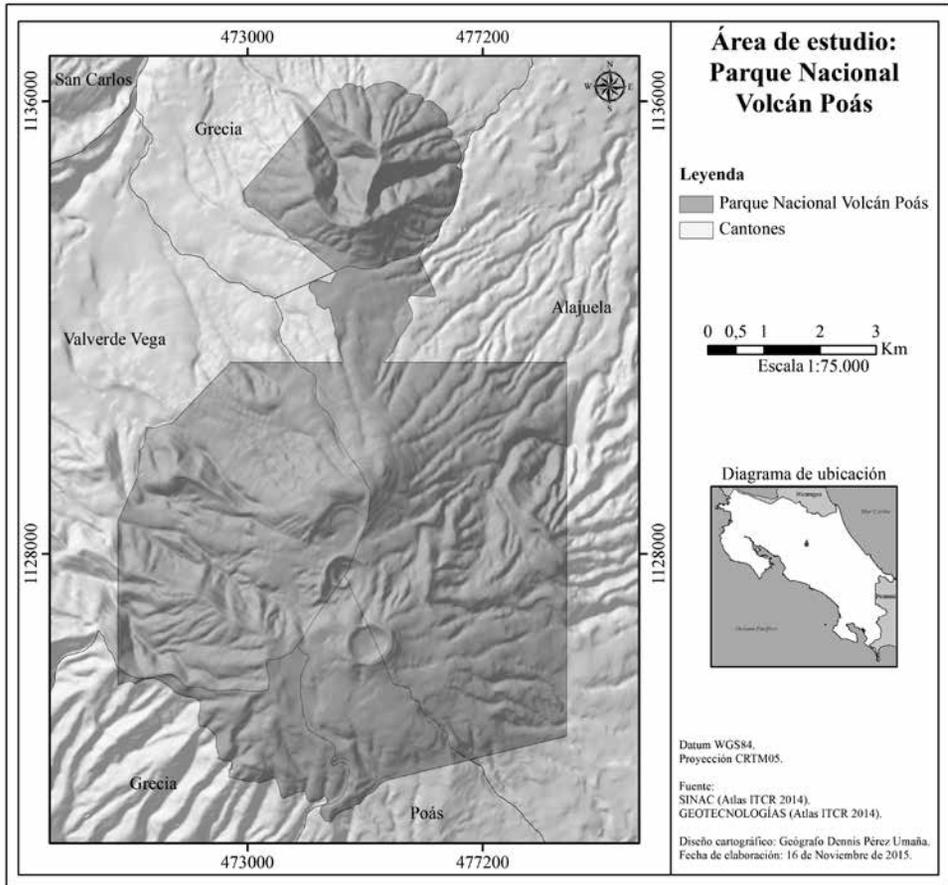
### **Área de estudio**

El Parque Nacional Volcán Poás fue creado en 1970, mediante el Decreto Ejecutivo N°1237 con el objetivo de conservar los recursos naturales. En 1971, con la Ley N°4714 se ratifica la creación de este (SINAC, 2008). Se localiza en la provincia de Alajuela, respectivamente, entre los cantones de Alajuela, Grecia, Poás y Valverde Vega (Mapa 1), tiene un área de 6506 hectáreas. Pérez (2017) señala que esta área silvestre protegida presenta una topografía irregular, siendo notable su variación altitudinal, donde la altitud mínima es de 1 100 msnm y su altitud máxima es de 2 708 msnm.

Es el Parque Nacional volcánico más visitado de Costa Rica, ya que de acuerdo con SINAC (2016), en el año 2015 ingresaron a esta área silvestre protegida un total de 370 176 visitantes, lo cual lo convierte en uno de los Parques Nacionales más importantes de Costa Rica, en materia de turismo, donde el turista ingresa atraído por sus paisajes volcánicos, su biodiversidad y sobre todo para conocer uno de los llamados erróneamente “cráteres más grandes del mundo” (Salguero, 2003).

En los alrededores de esta área silvestre protegida, la población realiza actividades agrícolas como el cultivo de fresas, helechos, entre otros (SINAC, 2008); los turistas que ascienden al volcán aprovechan para comprar algún producto o recuerdo, lo que incentiva la economía local, y se convierte en un beneficio adicional que brinda el parque nacional a la población.

**Mapa 1:** Área de estudio: Parque Nacional Volcán Poás



Fuente: Pérez (2017).

## Caracterización del área de estudio

### *Caracterización geofísica*

El volcán Poás es un complejo estratovolcán que posee una forma subcónica irregular (Alvarado, 2011), se localiza al noroeste de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica (Ruiz et al., 2010). Alvarado (2011) señala que sus principales estructuras son el Cráter Principal, el Cono Botos y el Cono Von Frantzius, los cuales se encuentran alineados en dirección sur norte, siendo evidencia de un posible vulcanismo fisural

en el pasado del macizo (Ruiz et al., 2010), aunque Pérez (2017) sugiere que dichas estructuras son producto del desplazamiento del foco eruptivo en el pasado.

Dentro del Parque Nacional Volcán Poás se localiza también el Volcán Congo, otra estructura que también está alineada junto con los demás conos del volcán Poás. El Volcán Congo tiene una forma cónica bien desarrollada, cuyas laderas están cubiertas por lavas emitidas por el Cono Von Frantzius (Ruiz et al., 2010). Alvarado y Salani (2004) indican que este volcán tiene dos aberturas en direcciones noroeste y noreste creadas durante su último periodo eruptivo.

El Cráter Principal es una de las estructuras más jóvenes de este volcán, ya que cuenta con una edad de 3500 años, mientras que los Conos Botos y Von Frantzius son más antiguos con edades de 8300 y 46000 años, respectivamente (Ruiz et al., 2010). El origen de este cráter tuvo como consecuencia que la mitad del Cono Von Frantzius se destruyera (Pérez, 2017). Por otra parte, el Cono Von Frantzius también es susceptible a movimientos de ladera, ya que, durante el Terremoto de Cinchona del año 2009, distintos movimientos de ladera se dieron en este cono (Quesada y Barrantes, 2016).

El Cono Botos se localiza al sur del Cráter Principal y su principal característica es la laguna pluvial localizada en su interior, la cual tiene un diámetro de 400 metros y una profundidad de 14 metros (Alvarado, 2011). Dicha laguna tiene una gran importancia hídrica, ya que sus aguas drenan por el río Ángel, que es una de las nacientes del río Sarapiquí (Vargas, 2014).

### *Caracterización cultural.*

El volcán Poás ha tenido un papel muy importante en la cultura costarricense, ya que ha sido la inspiración para escritores, músicos, cuentistas y demás (Pérez, 2017). Cabe señalar que algunas obras literarias mencionan al Cráter Principal como parte de sus narrativas, se puede señalar el poema “El Volcán Poás” de Carlomagno Araya y el verso “Semblanza del volcán Poás” de Alfredo Cardona Peña, así como la leyenda del “Sacrificio del Rualdo” (Alvarado, 2011), también una versión alternativa de la leyenda del Cadejos (Zeledón, 1989).

En la música se destacan dos obras, la “Sinfonía de los Volcanes”, compuesta en 2008 por el compositor costarricense Carlos Guzmán, donde

uno de los movimientos de esta obra recibe el nombre del volcán Poás (Alvarado, 2013). La otra canción es “A la sombra del Poás”, escrita por Mario Jinesta, la cual habla acerca de las tradiciones de la población alajuelense, así como de personajes históricos importantes y sitios icónicos de Alajuela (Chaves, 2014).

Imágenes del volcán Poás han sido parte de billetes, como señala Alvarado (2013), en el billete de 20 colones de 1945 aparece una imagen del volcán Poás con una erupción freática, así como en el billete de 10 mil colones de 1997, el cual tiene ilustraciones de 4 volcanes, siendo el Poás uno de estos. También apareció en una estampilla de 140 colones una imagen del Cráter Principal junto con la Laguna Botos (Pérez, 2017).

También a nivel cultural, se destacan los nombres que reciben las principales estructuras el volcán. El término Poás surge en 1663 como referencia a la existencia de plantas con púas a las orillas del río Poás, llamado en aquel entonces río Púas (Alvarado, 2011), pero Ceruti (2010) rescata que el nombre aborigen de este volcán era “Chibuzú”, palabra de origen Huetar cuyo significado es “Montaña del Dios”. Lo mismo sucede con los nombres de los Conos Botos y Von Frantzius, el primero que recibe el nombre en honor a los indígenas Botos (Ceruti, 2010), mientras que el segundo recibe su nombre en honor a Alexander Von Frantzius, uno de los primeros naturalistas que ascendió al volcán a realizar estudios científicos (Vargas, 2014).

Este tipo de características, tanto geofísicas como culturales, son las que dan valor a los geomorfositos, además, son parte de los valores que se toman en cuenta en la evaluación. Son estas características las que hacen atractivos a los geomorfositos y las que se utilizan para promover el turismo para estos relieves.

### **Metodología**

En primera instancia, en una etapa preliminar se hizo un levantamiento de la geomorfología del Parque Nacional Volcán Poás, donde se definieron los geomorfositos presentes dentro de esta área silvestre protegida. Con base a esto, se puso en práctica una metodología de evaluación de geomorfositos. La metodología utilizada en este trabajo corresponde a la elaborada por Serrano y González (2005), la cual consiste en una comparación triple de los diferentes valores presentes en los geomorfositos.

La primera evaluación, es la de las características científicas, que corresponden a toda la información de índole geológica y geomorfológica de los geomorfositos, donde se enumeran las formas presentes y los elementos que han intervenido en su origen (González, 2006), estos valores se cuantifican del 1 al 10 en cada categoría, teniendo una sumatoria máxima de 100, y para compararlo con las otras evaluaciones se pondera de 0 a 10 (De Jesús, 2014). En la Tabla 1, se muestran los componentes de esta evaluación.

**Tabla 1:** Componentes de la evaluación de las características científicas de los geomorfositos

Evaluación		Puntos	Definición
Génesis		Máximo 10	Procesos que han intervenido en la formación
Morfología	Morfoestructuras		Número de relieves que conforman el geomorfosito
	Formas erosivas		
	Formas acumulativas		
Dinámica	Procesos heredados		Elementos heredados y funcionales testigos de procesos pasados o activos
	Procesos actuales		
Cronología			Fases o periodos
Litología			Materiales presentes
Estructuras geológicas			Número estructuras
Estructuras sedimentarias			Número estructuras

**Fuente:** Serrano y González (2005).

La segunda evaluación, es de las características culturales, la cual toma en consideración todos los elementos culturales y ambientales referentes al geomorfosito, enriqueciendo los valores científicos que este posee (González, 2006). El valor máximo de esta evaluación es de 70, pero se expresan sus valores de 0 a 10 para compararlos con las otras evaluaciones (De Jesús, 2014). En la Tabla 2, se enumeran los valores evaluados en las características culturales.

**Tabla 2:** Componentes de la evaluación de las características culturales de los geomorfositos

Evaluación		Puntos	Definición
Paisajístico y cultural		Máximo 10	Consideración escalar paisajística y estética: No existe (0), Componente muy local y puntual (2), Componente a escala media (municipio) (4), Componente comarcal (6), Componente esencial del paisaje en amplios panoramas (regional) (8), Elemento protegido o gestionado por sus contenidos paisajísticos (10).
Elementos culturales	Asociación a elementos de valor patrimonial	Máximo 10	Elementos patrimoniales (monumentos, yacimientos, poblaciones, construcciones populares, elementos etnológicos, entre otros).
	Contenido cultural	Máximo 10	Aspectos culturales (mitos, leyendas, literatura, pintura, otros).
	Contenido histórico	Máximo 10	Fases históricas de uso u ocupación.
Elementos educacionales	Recursos pedagógicos	Máximo 5	Contenidos pedagógicos y docentes.
	Niveles pedagógicos	Máximo 5	Primaria, secundaria, superior, adultos, investigación.
Elementos científicos	Valor científico	Máximo 5	Áreas científicas con valor significativo.
	Representatividad científica	Máximo 5	Local (1), distrital (2), regional (3), nacional (4), internacional (5).
Elementos turísticos	Contenidos turísticos reales	Máximo 5	Histórico artístico; activo (excursionista, otros); paisajístico; esparcimiento, relajación; otros.
	Potencial de atracción turística	Máximo 5	Capacidad de atracción turística: local, distrital, regional, nacional, internacional.

**Fuente:** Serrano y González (2005).

La tercera evaluación, corresponde a las características de uso y gestión, la cual toma en consideración los componentes territoriales y el potencial de uso que tienen los geomorfositos, basándose en el conocimiento

detallado de la geología y geomorfología de estos, así como en el trabajo de campo realizado en el área de estudio (González, 2006). La sumatoria obtenida es de 18, el cual se expresa de 0 a 10 para compararlo con las otras evaluaciones. En la Tabla 3, se muestran los valores que se consideran en esta evaluación.

**Tabla 3:** Componentes de la evaluación de las características de uso y gestión

Evaluación	Puntos	Definición
Accesibilidad	ALTO: 2. Buena accesibilidad	Facilidad de acceso a un geomorfosito para su uso y manejo
	MEDIO: 1. Dificil accesibilidad	
	BAJO: 0. Mala accesibilidad	
Fragilidad	ALTO: 0. Uso no recomendado	Grado de fragilidad del geomorfosito debido a sus características intrínsecas
	MEDIO: 1. Uso Potencial	
	BAJO: 2. Alto valor de uso	
Vulnerabilidad	ALTO: 0. Elementos capaces de transformar la estructura o dinámica del geomorfosito	Elementos del ambiente del geomorfosito que pueden entablar cambios irreversibles en los valores científicos y culturales
	MEDIO: 1. Transformación de bajo grado	
	BAJO: 2. No hay vulnerabilidad	
Intensidad de uso	ALTO: 0. Uso intenso, no permitiendo cualquier incremento en las actividades	Uso actual del geomorfosito
	MEDIO: 1. Uso moderado	
	BAJO: 2. Bajo nivel de uso	
Riesgo de degradación	ALTO: 0. Alto riesgo de degradación	Posibles daños del geomorfosito que causen pérdida de valores científicos y culturales
	MEDIO: 1. Riesgo moderado de degradación	
	BAJO: 2. Bajo riesgo de degradación	
Estado de Conservación	ALTO: 2. Buen estado de conservación	Grado de conservación de los valores científicos y culturales del geomorfosito
	MEDIO: 1. Estado moderado de conservación	
	BAJO: 0. Mal estado de conservación	
Impactos	ALTO: 0. No se recomienda su uso, pero se busca su restauración.	Elementos humanos que afectan directamente el geomorfosito (carreteras, obras civiles)
	MEDIO: 1. Uso permitido, pero se busca orientarlo a su restauración.	
	BAJO: 2. No hay impactos considerables	

Evaluación	Puntos	Definición
Condiciones de observación	ALTO: 2. Buenas condiciones de observación	Condiciones de observación (paisaje, ubicación, acceso, entre otros) para el uso del geomorfosito
	MEDIO: 1. Calidad media de observación	
	BAJO: 0. Malas condiciones de observación	
Límite de cambio aceptable	ALTO: 2. Baja fragilidad y débil intensidad de uso, cambios no implican pérdida de valores	Potencial de cambios que puede asumir el geomorfosito sin perder sus valores científicos y culturales. Se relaciona con la fragilidad y la intensidad de uso.
	MEDIO: 1. La fragilidad y usos actuales permiten cambios moderados sin pérdida de valores	
	BAJO: 0. Alta fragilidad o intensidad de usos no permite cambio alguno sin que se den pérdida de valores.	

Fuente: Serrano y González (2005).

Luego de realizar las tres evaluaciones se procede a realizar una evaluación global, la cual corresponde al promedio de las tres evaluaciones anteriores, donde se interpretan de manera global las características de cada geomorfosito en un solo conjunto, para determinar los atractivos y su importancia (Pérez, 2017). La clasificación para los geomorfositos de acuerdo a los valores obtenidos se observa en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Clasificación de los geomorfositos de acuerdo a su evaluación

Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10

Fuente: Pérez (2017), basado en Serrano y González (2005).

## Resultados

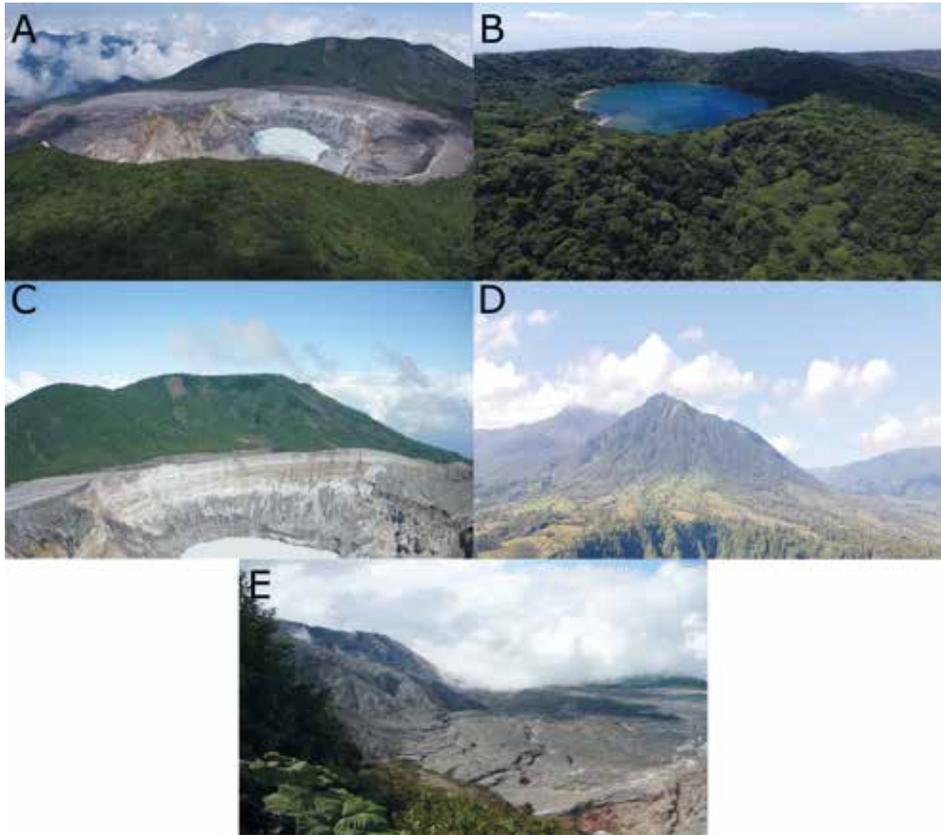
Para el Parque Nacional Volcán Poás, fueron evaluados 5 geomorfositos, los cuales fueron: Cráter Principal, Cono Botos, Cono Von Frantzius, Volcán Congo y Relicto Caldérico (Pérez, 2017), los cuales son formas del relieve atractivas dentro del Parque Nacional Volcán Poás (Figura 1). Los resultados obtenidos en las evaluaciones de los 5 geomorfositos se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5:** Evaluación de geomorfositos en el Parque Nacional Volcán Poás

Geomorfosito	Evaluación Características Científicas	Evaluación Características Culturales	Evaluación Características de Uso y Gestión	Evaluación Global	Clasificación
Cráter Principal	6,8	9,6	7,2	7,9	Alta
Cono Botos	3,1	7,0	6,7	5,6	Media
Cono Von Frantzius	3,3	6,9	7,8	6,0	Media
Volcán Congo	2,3	4,4	6,1	4,3	Media
Relicto Caldérico	1,4	1,1	7,8	3,4	Baja

Fuente: Elaboración propia con base en Pérez (2017).

**Figura 1:** Geomorfositos del Parque Nacional Volcán Poás



- A) Cráter Principal (Fuente: PRIAS-CeNAT, 2017),
- B) Cono Botos (Fuente: PRIAS-CeNAT, 2017),
- C) Cono Von Frantzius (Fuente: propia, 2017),
- D) Volcán Congo (Fuente: Martínez, 2017),
- E) Relicto Caldérico (Fuente: propia, 2017).

La evaluación revela que el Cráter Principal es el geomorfosito que obtiene la evaluación más alta en las características científicas con valor de 6,8. Esto debido a que es el geomorfosito más complejo del volcán, además de ser el sitio de mayor actividad del macizo, cuyo origen se dio mediante una fuerte erupción, la cual modela la forma actual del geomorfosito, junto a otros procesos como la desgasificación (Pérez, 2017). El segundo en importancia es el Cono Von Frantzius con una valoración de

3,3, donde su morfología actual se vio influenciada por la erupción que originó el Cráter Principal, la cual destruyó la mitad del cono (Pérez, 2017).

El Cono Botos obtuvo un valor de 3,1. Este geomorfosito no se vio tan afectado por la creación del Cráter Principal, aunque tuvo un periodo efusivo en sus orígenes (Pérez, 2017). Su importancia radica en la existencia de la Laguna Pluvial en su interior, así como que es en este geomorfosito donde se localiza la máxima altitud del Parque Nacional. El Volcán Congo obtuvo una valoración de 2,3. Dicho volcán tiene una forma cónica, cuyo único remanente posterior a su actividad fue la abertura de su cono, además que su actividad fue muy corta. Mientras que el geomorfosito Relicto Caldérico obtuvo en su evaluación un valor de 1,4, debido a que es muy pobre en su geología y geomorfología por no presentar muchas formaciones, pero se destaca que los materiales que lo conforman son parte de la Unidad Andesitas La Paz, una de las más antiguas formaciones del macizo (Ruiz et al., 2010).

En la evaluación de las características culturales fue el Cráter Principal el que obtuvo la valoración más alta con 9,6, esto reflejado en la gran importancia cultural que tiene el geomorfosito, donde múltiples obras han sido inspiradas en este, además, tiene amplios paisajes que permiten no solo apreciar el geomorfosito, sino también el panorama circundante al volcán. Es un sitio muy visitado por el hecho de ser un volcán activo, lo cual aumenta su visitación por existir una fascinación hacia procesos activos del relieve (Dóniz et al., 2010), denotando que hay una relación entre los procesos sociales con la historia natural del volcán (De Jesús, 2014).

Los geomorfositos Cono Botos y Cono Von Frantzius obtuvieron una valoración de 7,0 y 6,9, respectivamente. La razón por la que ambos geomorfositos obtuvieron esta valoración se debe a la cercanía que tienen con el Cráter Principal, por lo que el turista que llega al Parque Nacional podrá observarlos en su visita, además que en todas las manifestaciones culturales basadas en el volcán estos dos geomorfositos también aparecen, como en el caso de la estampilla de 140 colones, donde aparece el Cráter Principal y el Cono Botos junto con su Laguna (Pérez, 2017).

Se debe destacar, que a nivel científico hayan sido investigados por naturalistas reconocidos en la historia costarricense, en el caso del Cono Von Frantzius recibe su nombre de Alexander Von Frantzius, quien investigó este volcán, así como de Henri Pittier, quien también realizó estudios

en el volcán y se enamoró de la Laguna Botos, y que Alvarado (2011) indica, que este científico en sus escritos expresaba el aprecio que tuvo hacia esta laguna.

Por otra parte, los geomorfositos Volcán Congo y Relicto Caldérico obtuvieron valores de 4,4 y 1,1 respectivamente, ambos obtuvieron valoraciones bajas debido a que no son tan conocidos por la población, a excepción del Volcán Congo, ya que la población que vive en sus cercanías lo logra identificar, pero para otras personas puede aparentar ser una montaña más de la cordillera, aunque este tenga un atractivo paisajístico por su cráter abierto (Pérez, 2017). Mientras que el Relicto Caldérico no es conocido por la población, lo cual no genera ningún tipo de aprecio o inspiración.

La evaluación de Uso y Gestión demuestra que todos los geomorfositos obtienen valores altos. En esta evaluación destacan los geomorfositos Cono Von Frantzius y Relicto Caldérico con 7,8. Ambos se encuentran en áreas donde los turistas no pueden tener acceso, por lo que se encuentran bien conservados. El que más llama la atención es el Relicto Caldérico, ya que en las evaluaciones anteriores obtuvo valores muy bajos, pero en esta destaca por su buen estado de conservación, incluso puede ser un potencial atractivo turístico del Parque Nacional (Pérez, 2017). Misma situación tiene el Cono Von Frantzius, el turista puede apreciarlo por su cercanía con el Cráter Principal, pero no tiene contacto directo con este, por lo que se mantiene en buen estado de conservación y no recibe un impacto severo de las personas.

Por otra parte, el Cráter Principal obtuvo una valoración de 7,2, pero a diferencia de los geomorfositos mencionados anteriormente, la población entra en contacto con el sitio directamente por lo que puede sufrir algún cambio en su estructura o sufrir un impacto que lo afecte. El volcán Poás es uno de los pocos volcanes que tiene una carretera que llega hasta el cráter (Zúñiga, 2008), facilitando el acceso a los miles de turistas que ingresan a este Parque Nacional, pero al mismo tiempo pueden generar un impacto en la morfología del Cráter.

En esta evaluación los geomorfositos Cono Botos y Volcán Congo obtuvieron las evaluaciones más bajas con 6,7 y 6,1, respectivamente. El Cono Botos al igual que el Cráter Principal es muy visitado por lo que es vulnerable a un eventual cambio en su morfología, debido a la facilidad

de accesos que provoca que muchas personas lo visiten. Mientras que el Volcán Congo esta inaccesible para los visitantes, este es vulnerable a sufrir cambios en su estructura por procesos naturales, recordando que es vulnerable a procesos de laderas que cambian su estructura. Además, no tiene accesos para que los turistas se acerquen al sitio, por lo que puede ser apreciado, únicamente, desde lejos (Pérez, 2017).

Por medio de la valoración global, se determina que el geomorfosito más importante del Parque Nacional Volcán Poás es el Cráter Principal, el cual tiene una valoración de 7,9. Al tener una diversidad geológica y una representación cultural muy significativa le dan un atractivo para que la población pueda aprender más de este geomorfosito, además, tiene condiciones óptimas para que los turistas puedan trasladarse al Cráter Principal (Pérez, 2017). El Cono Von Frantzius obtuvo una evaluación global de 6,0, en la que influyó mucho tener una morfología modificada por la actividad del Cráter Principal, además, que en la evaluación cultural así como en uso y gestión obtuvo valores altos, denotando que tiene cierta importancia cultural, además que al estar bien cuidado el geomorfosito lo hace un atractivo más del Parque Nacional.

Mientras que el Cono Botos obtuvo una evaluación global de 5,6, siendo la evaluación cultural más resaltante, ya que gran parte de los atributos culturales que tiene el geomorfosito son gracias a su cercanía con el Cráter Principal, esta evaluación se debe a que es tomado en cuenta en narraciones y manifestaciones artísticas. El Volcán Congo obtuvo un valor global de 4,3, siendo las características de Uso y Gestión las más destacadas, ya que es un geomorfosito que está bien conservado, pero que, por factores propios de la dinámica terrestre este puede variar su morfología. Tiene poca relación cultural y al mismo tiempo tiene poca diversidad geológica, pero aun así tiene características que son atractivas para el turista.

El Relicto Caldérico obtiene la evaluación global más baja con 3,4. En la evaluación científica y cultural obtiene valores muy bajos por tener una pobre riqueza geológica, así como no ser importante para la cultura costarricense, pero en la evaluación de uso y gestión obtiene altos valores, esto indica que es un potencial atractivo turístico para el parque nacional.

## Discusión

La metodología de evaluación de geomorfositos consiste en hacer una triple comparación entre todos los valores que tiene uno de estos sitios, para luego promocionarlos de acuerdo a las características que estos poseen. Se pretende que un geomorfosito pueda ser aprovechado por la población, de manera que conozcan sobre este no solo porque sea un atractivo turístico más, sino que desde sus propias características pueda darse un conocimiento.

Al comparar estas características entre sí, se permite conocer cuál es el uso que se le puede dar el geomorfosito. Por ejemplo, el geomorfosito Cráter Principal al tener altos valores en la evaluación científica y cultural se propone que debe dársele un uso educativo, de investigación y de apreciación paisajística (Pérez, 2017), sin dejar de lado que se le dé un uso turístico, con el cual el visitante pueda utilizar estos valores para un aprendizaje, es decir, que sea un turismo con un enfoque más académico.

Una ventaja de esta metodología es que puede ser utilizada en diversas áreas, no solo en áreas silvestres protegidas, también puede utilizarse en otros territorios, como corredores biológicos, cantones, cuencas hidrográficas, entre otros, donde la variable de la diversidad geológica se considere necesaria para la protección de esta como un recurso de un determinado territorio.

A nivel turístico la metodología permite reconocer nuevos valores a los atractivos turísticos de un territorio. En el caso mostrado en este estudio en el Parque Nacional Volcán Poás, sale a la luz información existente de un geomorfosito, que los turistas desconocen, por ejemplo, el caso de una leyenda, alguna canción o un texto, valores culturales agregados al geomorfosito que ayudan al turista a tener una mejor noción del sitio que visita, destacando que este no tiene solo un paisaje que llama la atención, sino que detrás se pueden mencionar una serie de valores agregados, porque el sitio que visitan es importante para la población local.

## Conclusiones

- Se presentó una metodología práctica, fácil de aplicar, novedosa y útil para evaluar, valorar y clasificar lugares de interés geológico, a partir del conocimiento de sus características geofísicas, culturales, socioeconómicas y de uso y gestión.

- La metodología permite conocer y darle interés al contenido científico y cultural del geomorfosito, donde se busca identificar cuál tiene una mayor relevancia.
- Pese a que se trata de información que se puede considerar subjetiva, como es el caso de las características culturales, esta metodología propone como contabilizar esas características, que en un inicio pueden ser consideradas como incontables.
- La metodología puede ser empleada en cualquier tipo de relieve, ya sea volcánico, costero o glaciar. Además, que puede ser utilizada en otros territorios, como, por ejemplo, en los cantones con miras a su aplicación en el ordenamiento territorial.
- Se utilizó el ejemplo particular del volcán Poás, ya que es el volcán más estudiado por científicos tanto nacionales como internacionales, hasta abril de 2017 anterior a su reactivación, era el volcán más visitado del país con visitación superior a 200 mil personas al año.
- Es el primer estudio de geomorfositos para Costa Rica, se pretende ser la base para futuros estudios en áreas de conservación, sitios a escalas político-administrativas como provincias, cantones o distritos, así como unidades naturales como cuencas hidrográficas, volcanes, cerros, u otros lugares de interés. Por tanto, se insta a la aplicación de esta metodología para un mayor conocimiento de los recursos naturales y su difusión turística responsable.

### Referencias

- Alvarado, G. (2011). *Los volcanes de Costa Rica: geología, historia, riqueza natural y su gente*. San José, Costa Rica: EUNED.
- Alvarado, G. (agosto de 2013). Los volcanes han influido en la cultura y el arte de Costa Rica. *La Nación*. Recuperado de [http://www.nacion.com/ocio/artes/volcanes-influido-cultura-Costa-Rica\\_0\\_1360663943.html](http://www.nacion.com/ocio/artes/volcanes-influido-cultura-Costa-Rica_0_1360663943.html)
- Alvarado, G., & Salani, F. (2004). Tefroestratigrafía (40000-2000 a.P.) en el sector Caribe de los volcanes Barva, Congo y Hule, Cordillera Central, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (30), 59 – 72.
- Ceruti, M. (2010). Los volcanes sagrados en el folclore y la arqueología de Costa Rica. *Mitológicas*, 25, 39 – 50.

- Chaves, F. (noviembre de 2014). Canción “A la Sombra del Poás” resalta las tradiciones y paisajes de Alajuela. *La Nación*. Recuperado de [http://www.nacion.com/ocio/musica/Cancion-resalta-tradiciones-paisajes-Alajuela\\_0\\_1453654634.html](http://www.nacion.com/ocio/musica/Cancion-resalta-tradiciones-paisajes-Alajuela_0_1453654634.html)
- Comanescu, L. & Nedelea A. (2010). Analysis of some representative geomorphosites in the Bucegi Mountains: between scientific evaluation and tourist perception. *Area* (4), 406 – 416. doi 10.1111/j.1475-4762.2010.00937.x
- Coratza, P., Ghinoi, A., Piacentini, D. & Valdati, J. (2008). Management of geomorphosites in high tourist vocation area: an example of geo-hiking maps in the Alpe Di Fanes (Natural Park of Fanes-Senes-Braies, Italian Dolomites). *GeoJournal of Tourism and Geosites*. 2, (2), 106-117.
- Costa, F. (2011). Volcanic geomorphosites assessment of the last eruption, on April to May 1995, within the natural park of Fogo Island, Cape Verde. *GeoJournal of Tourism and Geosites*. 8, (2), 167-177.
- De Jesús, J. (2014). *Geomorfositos en el volcán Parícutín, Michoacán, México* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Dóniz, J., Guillén, C., Becerra, R., & Kereszturi, G. (2010). Volcanes y turismo, Patrimonio, atractivo, recurso y producto. *Turismo*. 2, 73-79. [Fotografía de Andrés Barahona Contreras]. (Parque Nacional Volcán Poás, 16 de febrero de 2017). Archivos. PRIAS-CeNAT, San José, Costa Rica.
- [Fotografía de Javier Martínez Quesada]. (Laguna Hule, 8 de marzo de 2017). Archivos. PROTOBA S.L., Costa Rica
- González, J. (2006). *El Macizo Central de los Picos de Europa: Geomorfología y sus implicaciones geoecológicas en la Alta Montaña Cantábrica*. (Disertación doctoral publicada). Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Universidad de Cantabria.
- González, J. & Serrano, E. (2008). La valoración del Patrimonio Geomorfológico en Espacios Naturales Protegidos. Su aplicación al Parque Nacional de los Picos de Europa. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. (47), 175 – 194.
- Ilies, D. & Josan, N. (2008). Some theoretical aspects regarding the genesis of geosites. *GeoJournal of Tourism and Geosites*. 1, (1), 7-12.

- Palacio, J. (2013). Geositios, geomorfositos y geoparques: importancia, situación actual y perspectivas en México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto Geográfico, UNAM*. (82), 24-37.
- Pérez, D. (2017). *Evaluación del potencial turístico de geomorfositos en el Parque Nacional Volcán Poás* (Tesis de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio). Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica.
- Quesada, A., & Barrantes, G. (2016). Procesos de ladera cosísmicos del Terremoto de Cinchona (Costa Rica) del 8 de enero de 2009. *Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía*, 25 (1). 217 – 232.
- Reynard, E. & Panizza, M. (2005). Geomorphosites: definition, assessment and mapping. An Introduction. *Géomorphologie: relief, processus, environment*. (3). 177-180.
- Ruiz, P., Gazel, E., Alvarado, G., Carr, M. & Soto, G. (2010). Caracterización geoquímica y petrográfica de las unidades geológicas del macizo del volcán Poás, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*. (43), 37 – 66.
- Salguero, M. (2003). *Volcanes de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial Costa Rica.
- Serrano, E. & González, J. (2005). Assessment of geomorphosites in natural protected areas: the Picos de Europa National Park (Spain). *Géomorphologie: relief, processus, environment*. (3). 197-208.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). (2008). *Plan de Manejo del Parque Nacional Volcán Poás*. Recuperado de <http://www.sinac.go.cr/AC/ACCVC/volcanpoas/Documents/Plan%20de%20Manejo%20PNVP.pdf>
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). (2016). *SINAC en números: Informe Anual Estadístico 2015*. San José, Costa Rica: SINAC.
- Vargas, A. (2014). Aportes a la geomorfología, geología y vulcanología de Costa Rica por Alexander von Frantzius. *Revista Geológica de América Central*. (51), 129-136.
- Vargas, G. (2014). *Geografía de Costa Rica*. San José, Costa Rica: EUNED.
- Zeledón, E. (1989). *Leyendas costarricenses*. San José, Costa Rica, Museo de Cultura Popular.
- Zúñiga, R. (2008). *Guía de Parques Nacionales de Costa Rica*. Madrid: Jomagar





# **ESTUDIOS DE CASO**

## **CASE STUDIES**



## **Usos del territorio, acumulación por desposesión y derecho a la salud en la Argentina: el caso del cultivo de Tabaco Burley en la provincia de Misiones**

Uses of territory, accumulation by dispossession and the right to health in Argentina: the case of the cultivation of Burley Tobacco in the province of *Misiones*

*Sebastián Gómez-Lende*<sup>1</sup>

*Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.5>

### **RESUMEN**

En el período histórico actual, la vulneración y el avasallamiento de los derechos humanos básicos se han erigido en la última frontera del capitalismo. Como resultado, los usos modernos del territorio suelen ser irracionales para la mayor parte de la sociedad, convirtiéndose en formas de acumulación por desposesión que a menudo representan una amenaza directa para la salud pública. En este trabajo, se procura demostrar que el cultivo de tabaco Burley en la provincia de Misiones opera, bajo la égida de la agricultura contractual, como un modelo que inequívocamente contribuye a la desposesión del derecho a la salud del campesinado local. Se analizan para ello los principales rasgos del modelo tabacalero misionero, las diversas formas de despojo implementadas por las empresas transnacionales en perjuicio de las familias agricultoras, las implicancias socio-sanitarias derivadas del uso intensivo de agrotóxicos y el papel desempeñado por el Estado.

---

<sup>1</sup> Doctor en Geografía. Investigador Adjunto del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Centro de Investigaciones Geográficas (CIG), Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales (IGEHCS), CONICET/UNPCBA. E-mail: gomezlen@fch.unicen.edu.ar

Recibido: 4 de abril de 2017  
Aprobado: 25 de agosto de 2017

**Palabras clave:** uso del territorio; acumulación por despojo; salud pública; tabaco Burley; Misiones (Argentina).

#### **ABSTRACT**

In the current historical period, the infringement and subjugation of basic human rights have arisen as the last frontier of capitalism. As a result, modern uses of territory are often irrational for most of the society, thus becoming forms of accumulation by dispossession, which represent a direct threat to public health. The purpose of this paper is to show that the cultivation of Burley tobacco in the province of Misiones operates, under the aegis of contract farming, as a model that clearly contributes to the dispossession of the right to health of the local peasantry. In order to fulfil this goal, this article analyzes the main features of the tobacco model, the different forms of dispossession implemented by transnational corporations to the detriment of family farmers, social and health implications of the intensive use of pesticides, and the role played by the state.

**Keywords:** use of territory; accumulation by dispossession; public health; Burley tobacco; Misiones (Argentina).

### **Introducción**

En el período histórico actual, el avasallamiento de los derechos humanos básicos parece haberse erigido en la última frontera del capitalismo. El objetivo de este trabajo consiste en demostrar que el modelo tabacalero, actualmente vigente en la provincia de Misiones encarna un uso irracional del territorio para la mayor parte de la sociedad local, donde la agricultura contractual, impuesta por las empresas transnacionales del sector, opera como una forma de acumulación por despojo que vulnera el derecho a la salud del campesinado.

En primer término, se desarrolla una breve caracterización del área de estudio. Seguidamente, se presenta un escueto marco teórico-conceptual, donde se abordan las relaciones entre los usos del territorio, la acumulación por desposesión y la salud pública. A continuación, se analizan los principales rasgos del modelo tabacalero misionero, así como también las diversas formas de desposesión implementadas por las compañías tabacaleras en perjuicio de las familias agricultoras. El siguiente apartado, se encuentra enteramente dedicado a estudiar la relación existente entre el modelo tabacalero y el despojo del derecho a la salud de las familias campesinas; para ello, se analizan las graves implicancias socio-sanitarias derivadas del uso intensivo de agrotóxicos, el papel desempeñado por el Estado y las estrategias de las empresas. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo.

### **Área de estudio. Breve caracterización de la provincia de Misiones**

Situada en la llamada ‘triple frontera’, la provincia de Misiones limita al oeste con Paraguay, al este, norte y sur con Brasil, y al sudoeste con la provincia de Corrientes (Figura 1). Con una superficie de 29.801 km<sup>2</sup>, esta provincia se encuentra rodeada por los ríos Paraná, Uruguay, Iguazú, San Antonio y Pepirí Guazú. Su clima es subtropical húmedo sin estación seca. En cuanto a relieve y flora, Misiones se halla integrada geológica y ecológicamente al Macizo de Brasilia y la Selva Paranaense, respectivamente.

Originariamente habitada por pueblos aborígenes de la etnia mbya guaraní, Misiones fue uno de los principales bastiones de las reducciones jesuitas (1609-1767) desarrolladas en el marco de la conquista española. Su integración al actual territorio argentino fue tardía, iniciándose con la Guerra de la Triple Alianza (1865-1870) y culminando con el auge de las colonias agrarias (1877-1930). Su división político-territorial contempla 75 municipios agrupados en 17 departamentos: Apóstoles, Caingúas, Candelaria, Capital, Concepción, Eldorado, General Manuel Belgrano, Guaraní, Iguazú, Leandro N. Alem, Libertador General San Martín, Montecarlo, Oberá, San Ignacio, San Javier, San Pedro y 25 de Mayo.

**Figura 1.** Provincia de Misiones (Argentina)



Fuente: IGN (sf).

La colonización agraria desarrollada entre 1877 y 1930 fue el principal factor histórico que moldeó la actual matriz económico-territorial de Misiones. La cesión gratuita de parcelas en tierras fiscales a inmigrantes brasileños, suizos, alemanes, austríacos rusos, polacos y ucranianos, determinó que la yerba mate y, en menor medida, el tabaco, se configuraran tanto en la fuente básica de ingresos monetarios para los colonos como en el motor

de la ampliación de la frontera agrícola (Gallero, 2011; Slutzky, 2011). Esto sentó a su vez las bases de la estructura agraria, todavía vigente, caracterizada por el predominio del minifundio y la agricultura familiar campesina. Recién a mediados del Siglo XX, la estructura económica misionera alcanzó cierto nivel de diversificación, a raíz de la llegada de la industria forestal y la incorporación de cultivos como el tung, el té y los cítricos.

A partir de la década de 1990, la crisis estructural de los cítricos y, sobre todo, de la yerba mate, condujo a la reestructuración del clásico patrón agrario de capitalización, consolidando en su lugar a dos modelos productivos dominantes: las forestaciones exóticas a gran escala, integradas a la industria celulósico-maderera y la pequeña producción agrícola, estructurada en derredor del tabaco como principal cultivo de renta (García, 2011). A lo anterior, debe añadirse el notable auge ganado por el turismo durante las últimas décadas.

En 2010, la provincia contaba con 1.101.593 habitantes, en gran parte concentrados en la capital (Posadas). Su tasa de urbanización ascendía al 73,8% (Argentina, 2013a). En la actualidad, Misiones es reconocida como una de las provincias más pobres de la Argentina. Según fuentes oficiales, en 2013, la pobreza alcanzaba al 9,7% de los habitantes de Posadas, y la indigencia, al 2,4% (Argentina, 2014). Estimaciones independientes, en cambio, situaban esos guarismos en el orden del 48,6% y el 21,7%, respectivamente (IPPYP, 2014).

### **Espacio geográfico, usos del territorio, acumulación por desposesión y salud pública**

Si el espacio geográfico es un conjunto solidario, indisociable y contradictorio de sistemas de objetos y sistemas de acciones mediados por normas, el territorio es ese mismo espacio explicado a partir de sus usos (Santos, 1996; Santos y Silveira, 2001). En el período histórico actual, los usos modernos del territorio operan en gran medida como formas de ‘acumulación por desposesión’, es decir, como modalidades de producción capitalista basadas en el saqueo, la depredación, el fraude, el despojo y/o la violencia (Harvey, 2004). Debido a que el avance de la acumulación por desposesión en la periferia del sistema garantiza la reproducción ampliada del capital en el centro (Amin, 1975), estas prácticas desempeñan un papel cada vez más crucial en la expansión del capitalismo (Harvey, 2004).

La acumulación por desposesión abarca diversos mecanismos, desde la continuidad de modalidades pretéritas o seculares de despojo -mercantilización y privatización de la tierra, desplazamiento de granjas familiares y expulsión forzosa de campesinos y aborígenes, privatizaciones, monetarización, crédito y usura, deuda nacional, esclavitud, etc.- hasta el surgimiento de dispositivos de expropiación más modernos y sofisticados -degradación del hábitat, transferencia de bienes ecológicos y servicios ambientales, determinados derechos de propiedad intelectual (patentes, licencias de material genético y plasma de semillas), biopiratería, pillaje de la reserva mundial de recursos genéticos, etc.- (Harvey, 2004).

So pretexto de modernidad, progreso e inserción en el mercado mundial, estos procesos suelen ser respaldados y promovidos por el propio Estado, que utiliza su monopolio en la definición de legalidad y el ejercicio de la violencia en contra de la voluntad popular (Harvey, 2004). Si la acumulación por desposesión es, en esencia, ‘el saqueo y robo de los derechos de las personas’ (Harvey, 2006), este despojo a menudo implica una amenaza para la salud pública. Santos y Silveira (2001) explican que los usos modernos del territorio suelen ser irracionales para la mayor parte de la sociedad, excepto para los agentes hegemónicos beneficiados por ese modelo de organización espacial. Esa irracionalidad se vuelve aún más descarnada cuando esos mismos usos del territorio suponen una amenaza para la salud de la población, atentando incluso contra la reproducción de la propia vida humana. La estrategia de los países ricos industrializados de externalizar los riesgos ecológicos y sanitarios de producir ciertos bienes a las naciones del Tercer Mundo, para luego importar esos mismos productos a buen precio (Beck, 1998), conduciría a una sutil y velada desposesión del derecho a la salud de la población en aquellos países periféricos, especializados en el desempeño de ciertas funciones de la división internacional del trabajo

Siguiendo a Beck (1998), en el sistema capitalista actual es cada vez más habitual que aquello que por un lado hace crecer la productividad por el otro acabe provocando enfermedades. En este sentido, parte del respaldo que los Estados de los países periféricos brindan a la acumulación por desposesión, consistiría en legitimar y naturalizar los riesgos ecológico-sanitarios de ciertos usos hegemónicos del territorio. En el caso de los productos e insumos tóxicos, esa legitimación suele contemplar el establecimiento de valores límites de tolerancia para el uso de ciertas sustancias,

imponiendo así una ‘ración duradera de envenenamiento colectivo normalizado’ (Beck, 1998). Otra función de la política consistiría en ‘reparar’ los ‘daños colaterales’ generados y, sobre todo, neutralizar las denuncias y presiones que pudieran afectar a los intereses económicos en juego.

Bajo la égida del actual modelo de agricultura industrial (o ‘agro-negocio’), el uso intensivo de plaguicidas contribuye sustancialmente a ese envenenamiento colectivo normalizado. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el número de intoxicaciones con agroquímicos se situó, entre la década de 1980 y comienzos del Siglo XXI, en el orden de los 3 millones de casos anuales, con un altísimo nivel de sub-registro (25 millones de casos no declarados) y una mortalidad de 220.000 personas/año; en las naciones del sur, la tasa era 13 veces mayor a la de los países industrializados (GRR, 2009). Cada año, la intoxicación aguda con plaguicidas afecta a tres de cada 100 trabajadores rurales en el mundo. El cuadro se agrava en los países en desarrollo, responsables por el 75% del consumo internacional de agrotóxicos; aquí, la desnutrición aumenta la vulnerabilidad de la población a los riesgos de la exposición laboral a estos productos (Argentina, 2007).

### **Rasgos del modelo tabacalero misionero. Su papel en la acumulación por desposesión**

La internacionalización y transnacionalización de la industria cigarrera se remonta a la década de 1960, cuando factores como la saturación de la demanda, las campañas anti-tabaco, las restricciones impuestas a la publicidad y las presiones impositivas en los países industrializados, los crecientes costos de producción de materia prima en Estados Unidos y Europa, la necesidad de hallar nuevas fuentes baratas de tabaco en hoja, y la imposición del cigarrillo rubio americano (*american blend*) como patrón de consumo, reorientaron las inversiones de las compañías del sector hacia América Latina (Teubal, 1995). En la Argentina, el aumento de la concentración empresarial, la estrategia exportadora de British American Tobacco y Philip Morris, y la creación en 1972 del Fondo Especial del Tabaco (FET) como eje articulador de la política tabacalera nacional, alentaron, a partir de 1979, la difusión del tabaco Burley<sup>2</sup> en la provincia de Misiones (Teubal, 1995; Slutzky, 2011).

---

2 Se denomina Burley al tabaco ‘curado al aire’, con un mínimo control artificial de la humedad. Su contraparte es el tabaco Virginia, también denominado ‘curado al cañón’ (*flue cured*).

No obstante, el *boom* del Burley misionero recién se desató en 1989, cuando la apertura de nuevos mercados (Europa oriental, por ejemplo) reorientó la producción argentina casi por completo hacia la exportación. Las empresas transnacionales integradas al acopio y la exportación estrecharon su relación con el sector primario por la vía de los contratos agroindustriales -agricultura contractual o bajo contrato-, para así responder a los acuerdos suscritos con los grandes *dealers* internacionales, que exigían un abastecimiento regular en cantidad y calidad de las mezclas requeridas. Este cambio marcó, ciertamente, un punto de inflexión para el productor tabacalero misionero, que antaño solía vincularse con comerciantes que intermediaban en representación de los acopiadores (García, 2011).

En Misiones, el camino para la difusión de la agricultura contractual tabacalera fue allanado por la existencia previa de una agricultura campesina familiar de subsistencia, la condición oligopsónica del mercado de acopio, la caída de los precios de cultivos tradicionales (yerba, tung, té), y la inviabilidad para el campesinado de adoptar otras alternativas productivas, debido a sus altos costos y sus dilatados plazos de recuperación de la inversión. Otros factores, como la rápida aceptación en el mercado mundial del Burley misionero por su condición de producto artesanal, las aptitudes climáticas para su cultivo y la propaganda efectuada por los acopiadores respecto de su aparente rédito económico, hicieron el resto (García, 2011).

Como resultado, la superficie implantada con tabaco Burley en la provincia aumentó un 425,8% entre 1986/87 y 2013/14 -pasó de 4.850 a 25.500 hectáreas-, en tanto que la producción creció un 485,8% -pasó de 6.286.460 a 36.826.527 kilogramos- (Argentina, 2015). En toda la provincia existen aproximadamente 12.000 explotaciones tabacaleras, mayoritariamente concentradas en los departamentos de Guaraní, 25 de Mayo, Leandro N. Alem y Cainguás; el 96,6% de esas unidades posee una superficie inferior a las 10 hectáreas, y el 52,7%, menor a las 2 hectáreas (Argentina, 2005; 2006). Organizador y centralizador de la vida del campesinado, el tabaco exige la participación de todo el grupo familiar en el proceso de producción; la extensión del calendario agrícola (330 días), la escasa o nula capacidad de ahorro y capitalización del productor, los cuidados intensivos que requiere el cultivo y su condición que éste detenta como única fuente de renta, implican que no sólo el jefe de familia, sino

también su mujer e hijos de diferentes edades, intervengan obligada y cotidianamente en el cultivo de tabaco (Souza Casadinho, 2013).

La agricultura contractual tabacalera constituye, de principio a fin, una cadena de acumulación por desposesión. Cuando el campesino suscribe un contrato de producción con el acopiador al inicio de cada campaña tabacalera, se compromete a satisfacer (en el plazo pautado) el cupo asignado en cuanto a volumen y calidad de materia prima, aceptar la supervisión técnica de la empresa, utilizar los insumos proporcionados por esta última, y no comercializar la producción por fuera de los canales establecidos por el acopiador (García, 2011). Esto no sólo obliga al campesino a operar con un limitado margen de autonomía, sino que permite a las tabacaleras extranjeras controlar indirectamente el proceso productivo, externalizar riesgos, imponer condiciones específicas de cultivo y calidad, y extraer plusvalía al productor, apropiándose de la renta del suelo y del valor del trabajo familiar (Slutzky, 2011). Las empresas lucran así tanto con el precio del acopio pagado en relación al precio de exportación -y/o el precio del cigarrillo- como con la deuda del productor en concepto de insumos adelantados, financiamiento y asesoramiento técnico.

Durante la década de 1990, Philip Morris y Universal Carolina Leaf se valieron de la naturaleza oligopsónica del mercado para imponer sus nuevos paquetes tecnológicos (básicamente, semillas y agrotóxicos) al campesinado misionero. Si bien el acopio local es integrado por seis empresas, las numerosas relaciones intra-firma existentes<sup>3</sup> determinan que apenas tres -Philip Morris, Universal Carolina Leaf y Alliance One- comercialicen la totalidad de las cosechas (García, 2011). Los altos niveles de concentración empresarial en el eslabón acopiador e industrial indujeron a los agricultores a adquirir esos paquetes tecnológicos so pena de, en caso contrario, no hallar compradores para su producción.

El campesino opera con un elevado margen de incertidumbre. Los contratos agroindustriales nunca estipulan cuál será el precio final del kilogramo de hoja de tabaco; a su vez, cuando el productor entrega su cosecha al acopiador, éste le abona el valor su producción *en pesos*, pero le descuenta

---

3 Estas empresas son: Cooperativa Tabacalera de Misiones (CTM); Comercial Industria Misionera Argentina (CIMA); Cooperativa Tabacalera de San Vicente (CTSV); Tabacos Norte (TN); Bonpland Leaf (BLASA); y Alliance One (AO). Cinco de esas seis razones sociales se hallan estrechamente relacionadas: CTM controla a CIMA y BLASA, y posee como clientes a AO y Massalin Particulares (MP), filial argentina de Philip Morris. AO, MP y BLASA -filial de Universal Carolina Leaf- participan de la explotación de TN (García, 2011).

los costos financieros implicados en el capital adelantado y el precio de los insumos anticipados *en dólares*, conforme a la fluctuación del tipo de cambio<sup>4</sup> y la evolución del mercado mundial de agroquímicos (García, 2011). Obligados a entregar su producción ‘a cuenta’ -suelen transcurrir de diez días a tres meses entre el acopio y la fecha de pago-, los campesinos sufren otra sustancial merma de su rentabilidad debido la segmentación del mercado del Burley en doce categorías, calidades y precios; así pues, el mejor precio corresponde a la categoría ‘A’, pero el grueso de las cosechas suele ser pagado como calidad ‘B’ o ‘C’ (Agüero, 2009; TD, 2010).

Otra forma de despojo, atañe al rechazo en las bocas de acopio de la producción obtenida con ‘semillas caseras’ importadas desde Brasil, así como también a la penalización de los agricultores que, atraídos por la diferencia cambiaria y los precios más elevados -en 2008, 9,00 pesos/kg contra \$5,75 pesos/kg-, remesan hoja de tabaco al vecino país. Orientadas tanto a reforzar su posición oligopsónica en el mercado como a disciplinar al campesinado, las empresas prohíben estas prácticas y estigmatizan a quienes infringen la norma, sindicándolos como ‘malos productores’ y excluyéndolos del circuito (García, 2011).

El propio Estado nacional respalda y legitima ese proceso de acumulación por desposesión. El sector tabacalero aporta 2.000 millones de dólares anuales al fisco, esto es, el 4% de la recaudación tributaria nacional (Corradini et al, 2005). En ese sentido, el Fondo Especial del Tabaco (FET) utiliza una parte de los impuestos extraídos al consumidor final para otorgar a los productores sobre-precios y adicionales de emergencia que complementan el precio de acopio. Sin embargo, esto funciona como un generoso subsidio encubierto para las tabacaleras, a la vez que inculca en el imaginario colectivo del campesinado la falsa creencia de que el tabaco es una alternativa rentable. La provincia de Misiones sólo percibe, de hecho, entre 30 y 40 millones de los 200 o 300 millones de pesos que, en teoría, debiera recibir del FET cada año (Agüero, 2009). Los campesinos sufren, asimismo, importantes demoras en la remesa de esos recursos, los cuales representan el único (y exiguo) margen de ganancia que la mayoría de los productores obtiene por el producto anual de su trabajo.

---

4 Luego de una década (1991-2001) de paridad nominal (fijada por ley) entre el peso argentino y el dólar estadounidense, la devaluación de la moneda nacional condujo a sensibles modificaciones del tipo de cambio: entre 2002 y 2008, el valor del dólar fluctuó entre 3 y 5 pesos; en la actualidad (2015), alcanza los 10 pesos.

El tabaco Burley es, para las empresas, un lucrativo negocio de exportación; de hecho, en Misiones constituye el tercer complejo exportador provincial (en 2012, 17,6% del total), después de la celulosa y el té (Argentina, 2013c). Orientadas a Europa -Bélgica, Alemania, Holanda, Francia, Inglaterra, Rusia, Portugal-, China y América del Norte -Estados Unidos, Canadá-, esas remesas son, asimismo, alentadas por el propio Estado nacional, que beneficia a las firmas tabacaleras con el reparto discrecional de recursos públicos -reintegro de las retenciones o derechos de exportación, otorgamiento de subsidios directos- (García, 2011).

Sin embargo, el tabaco sólo deja al campesinado un saldo de vulnerabilidad, pobreza y miseria. Si bien los precios del Burley se cuadruplicaron entre 1992 y 2011 (Argentina, 2013b), la plusvalía obtenida por las empresas a expensas del agricultor no hace sino aumentar. En pleno *boom* exportador, la relación entre el precio recibido por el productor y el valor de exportación cayó del 80% registrado en 1997-2001 al 61,5% verificado en 2006-2009 (Slutzky, 2011). A razón de una media de seis personas por familia tabacalera, cada individuo obtenía entre 200 y 500 pesos mensuales (TD, 2010), cifra irrisoria frente a los 80 millones de dólares de tabaco que Misiones exporta anualmente (Argentina, 2013c).

Lo anterior explica las míseras condiciones de vida de las familias campesinas, que residen -en alarmantes condiciones de hacinamiento y promiscuidad- en viviendas extremadamente precarias, construidas de madera y con piso de tierra, en su mayoría carentes de agua potable y servicios sanitarios -el 80% no posee baño y el 50% carece de energía eléctrica- (Agüero, 2009; Slutzky, 2011). Se registraban, asimismo, altas tasas de analfabetismo (4,1%) y escolaridad primaria incompleta (45,5%) (Argentina, 2006; De Fina, 2015).

Las iniciativas orientadas a reconvertir al campesinado hacia actividades económicas presuntamente más rentables (stevia, cebolla, esencias, caña de azúcar, granos, apicultura, avicultura, ganadería porcina, insumos agrícolas, etc.) han sido sistemática y deliberadamente saboteadas desde el propio Estado. Ciertamente, esto es funcional a los intereses espurios del Estado nacional -que no está dispuesto a renunciar al generoso caudal de recursos que le aporta el sector- y las compañías tabacaleras -cuya prosperidad depende estrechamente de la subordinación del campesinado a la agricultura bajo contrato-.

## **Tabaco y agrotóxicos en la provincia de Misiones: el despojo del derecho a la salud**

Lo que Silveira (2003) llama ‘quimificación de la agricultura’ ha recrudecido en la Argentina durante las últimas décadas. El consumo de agrotóxicos en la Argentina aumentó un 858% entre 1991 y 2012 -pasó de 39 millones a 335 millones de litros/año-, con un promedio de aplicación (12 lts/ha) que cuadruplica la media de los países desarrollados (REDUAS, 2013). Como resultado, el mercado agroquímico argentino reporta a las empresas del sector una facturación de 2.500 millones de dólares/año (Eleisegui, 2015).

Misiones no es una excepción a la regla. Orientados a satisfacer los intereses de firmas biotecnológicas -Monsanto, Syngenta, Du Pont, Bayer y tabacaleras -Philip Morris y Universal Carolina Leaf Tobacco-, los contratos agroindustriales obligan a los campesinos a aplicar una vasta gama de agrotóxicos, desde herbicidas, insecticidas y funguicidas hasta acaricidas, nematicidas, fito-reguladores e inhibidores de brotes. Los agroquímicos más utilizados son el glifosato de amonio, el paraquat, el acefato, el clorpirifós, el imidacloprid, la cipermetrina y el thiamethoxan (González, 2007; Dutra, 2010; Gallo, 2010; Souza Casadinho, 2013)<sup>5</sup>. La aplicación de los plaguicidas es manual (mochila pulverizadora).

El uso intensivo y cotidiano de estos productos representa, en sí mismo, una situación de alto riesgo sanitario agravada, a su vez, por una miríada de factores. Sobresalen, entre otros, la adquisición de agroquímicos fraccionados y/o sin marbete, la mezcla de insecticidas y herbicidas sin diluir para potenciar su efecto y disminuir el tiempo de trabajo y los costos de producción, y el desconocimiento respecto de la toxicidad real de dichos agrotóxicos, sus principios activos y sus dosis adecuadas de aplicación. Asimismo, los campesinos rara vez utilizan equipos de protección completa (mamelucos o delantales impermeables) debido a las altas temperaturas reinantes en la provincia, factor que a su vez multiplica el riesgo de intoxicación al favorecer la absorción cutánea e inhalatoria de los

5 Otros plaguicidas utilizados son: carbaryl; sulfuramida; fipronil; clomazone; napropamida; trifluralina; pendimetalin; S-metolacoloro; carbofuran; endosulfán; metamidofos; fenamifos; metomil; oxicloloruro de cobre; mancozeb; deltametrina; carbendazin; epoxiconazole; metalaxil; zineb; diazinon; tiocarbamatos; metsulfuron metil; y alcoholes grasos (González, 2007; Dutra, 2010; Gallo, 2010; Souza Casadinho, 2013). Son, en su mayoría, fosfitos, piretroides y organo-fosforados de amplio espectro y alta peligrosidad muy cuestionados a nivel mundial. Recientemente, el glifosato fue clasificado por la OMS como “Probablemente cancerígeno para seres humanos”, incluyéndolo en el mismo grupo (2A) que el PCB y el formaldehído.

plaguicidas (González, 2007; Páez, 2009; Dutra, 2010; Souza Casadinho, 2013; Parrotta, 2014).

Otra variable que aumenta el nivel de exposición de la población rural a los efectos de los plaguicidas atañe a la acumulación y/o quema de los envases vacíos de agroquímicos. Si bien, la responsabilidad por la recolección, gestión y disposición final de esos residuos recae sobre los acopiadores, las empresas rara vez cumplen con esta obligación; los agricultores almacenan los envases en sus galpones durante años, o bien los entierran, los arrojan a cursos de agua o los incineran (TD, 2010). Como resultado, el suelo, el aire y el agua son rutinariamente contaminados con sustancias tóxicas -dioxinas y furanos- (González, 2007).

En la provincia de Misiones existe un fuerte nivel de sub-registro epidemiológico respecto de la ocurrencia de intoxicaciones accidentales con agroquímicos (González, 2007). No obstante, en un relevamiento desarrollado en los municipios tabacaleros de Aristóbulo del Valle, San Vicente y Colonia Aurora se reportó que el 65% de los agricultores entrevistados manifestó sufrir problemas de salud ligados al uso de plaguicidas (Páez, 2009). En Colonia Aurora, entre 10 y 15 campesinos fallecen anualmente por cuadros de intoxicación aguda con agroquímicos utilizados en el cultivo de Burley (González, 2007).

En el relevamiento efectuado por Dutra (2010), empero, todos los colonos entrevistados niegan haberse intoxicado con plaguicidas, pese a haber sufrido reiterados malestares, dolores de cabeza y vómitos, inmediatamente, después de fumigar; incluso algunos productores sostienen la creencia de que el contacto prolongado con los agroquímicos generaría en sus organismos 'inmunidad' ante los efectos adversos de los mismos (González, 2007). Para Souza Casadinho (2013), esta negación del deterioro corporal y estas falaces relaciones causa-efecto son una estrategia de defensa psicológica de los campesinos para no asumir la dura verdad de que deben envenenarse para sobrevivir.

Otro resultado derivado de la exposición laboral y ambiental a plaguicidas ha sido la aparición de graves patologías entre las familias campesinas tabacaleras. Se han reportado, por ejemplo, numerosos casos de afecciones respiratorias severas, malformaciones cardíacas y renales congénitas, epilepsia, trastornos metabólicos y endocrinos, infertilidad masculina, abortos espontáneos, ceguera, parálisis cerebral, retraso madurativo y

psicomotor, microcefalia e hidrocefalia, discapacidad intelectual, síndrome de Down, fisura labio-palatina, mutaciones genéticas (teratogénesis), miastenia gravis, ictiosis, linfomas, leucemia y otros tipos de cáncer (TD, 2010; Parrotta, 2014; De Fina, 2015).

Según un estudio realizado en la localidad de Colonia Aurora, más de la mitad de los campesinos entrevistados señalaba que al menos un integrante de su familia padecía enfermedades directamente vinculadas a la exposición a agrotóxicos, tales como malformaciones congénitas, cáncer, náuseas, vómitos, alteraciones del sistema nervioso y problemas de visión (Páez, 2009). Al otro lado del muro, los ‘efectos secundarios’ de los agroquímicos se convierten -en términos de Beck (1998)- en voces, ojos, caras y lágrimas.

Ese fenómeno de despojo del derecho a la salud afecta sobre todo a la población infantil, debido a la alta incidencia y prevalencia de malformaciones, leucemia y cánceres con metástasis. En Misiones, 14 de cada 1.000 niños nacen afectados por malformaciones, frente a una media internacional de 0,5 casos cada mil nacidos vivos (Parrotta, 2014). Se han registrado casos de niños nacidos sin pulmones, sin ojos, con ausencia total o parcial de cerebro (anancefalia) o con ictiosis (Gómez Demaio, 2009; NM DD.HH., 2009; Souza Casadinho, 2013; De Fina, 2015). Otra grave malformación detectada es la mielomeningocele, una enfermedad ocasionada por la falla del cierre del tubo neuronal del sistema nervioso central; como resultado, el niño nace con la médula espinal abierta o expuesta, sufriendo parálisis de vejiga, intestino grueso y miembros inferiores, hidrocefalia e incontinencia urinaria y fecal. La rehabilitación del neonato puede requerir hasta veinte intervenciones quirúrgicas (Gómez Demaio, 2009). Según estadísticas del Hospital de Niños de Posadas, 5,4 de cada 1.000 misioneros nacen afectados por esta patología, cifra 50 veces más elevada que la reportada para la provincia por el Centro Latinoamericano de Registro de Malformaciones Congénitas (Gómez Demaio, 2009; NM DD.HH., 2009).

En la localidad de San Vicente, los niveles de discapacidad reportados en 2011 superaban en un 60% la media provincial, con notoria incidencia de las familias tabacaleras (De Fina, 2015). En San Antonio, Piñalito Norte y Aurora, se informó un elevado número de infantes con discapacidades graves ligadas al uso de agrotóxicos (Parrotta, 2014). En la comuna

tabacalera de Colonia Alicia, el retraso intelectual y psicomotor alcanzaba al 84% de los niños relevados (Gómez Demaio, 2009; NM DD.HH., 2009; Parrotta, 2014). A raíz de la modificación del genoma, existe una elevada probabilidad de que estas malformaciones y discapacidades sean transmitidas a la futura descendencia de los afectados (TD, 2010). A lo anterior, se añade la incidencia de neoplasias entre la población infantil, superando ampliamente la prevalencia esperada para la provincia de Misiones (Gómez Demaio, 2009).

Es importante destacar la evidente correlación existente entre la incidencia de las patologías mencionadas, el cultivo de tabaco Burley y la exposición laboral y ambiental a agrotóxicos. Gran parte de las solicitudes de medicamentos oncológicos recibidas por el Ministerio de Salud de Misiones provienen del centro de la provincia -área tabacalera por excelencia- (González, 2007); de allí, procede también el 80% de los pacientes atendidos por las clínicas privadas (De Fina, 2015). Un equipo médico del Hospital de Niños de Posadas comprobó que casi todos los neonatos afectados por mielomeningocele habían sido gestados en áreas tabacaleras sometidas a la aplicación masiva de agrotóxicos<sup>6</sup> (NM DD.HH., 2009). La alta tasa provincial de mortalidad infantil (16,6 ‰) era aún más elevada en departamentos tabacaleros como General Belgrano (18,5 ‰) y 25 de Mayo (22,9 ‰) (Slutzky, 2011).

Esta situación coloca a los agricultores misioneros en una difícil y casi insoluble encrucijada. La incertidumbre en cuanto a lograr la entrega del volumen pautado por contrato, la falta de certezas en cuanto al precio final a obtener y el importante porcentaje retenido por los acopiadores por los sobrevaluados insumos adelantados, obligan a los campesinos a aplicar dosis cada vez más elevadas de agroquímicos. Paradójicamente, y frente a la ausencia de alternativas de reconversión más rentables, la grave situación socio-sanitaria de sus familias los somete cada vez más al yugo del tabaco. Los agricultores deben afrontar altos gastos de atención médica, realización de estudios, intervenciones quirúrgicas y adquisición de medicamentos e insumos sanitarios (Souza Casadinho, 2013; De Fina,

---

6 Debido a la naturaleza lipofílica e hidrofóbica de los agroquímicos, metaloides, metales pesados y otros productos tóxicos se acumulan en el tejido adiposo de los seres humanos expuestos. En el caso de madres en gestación y/o período de lactancia, los agrotóxicos se incorporan al genoma materno, ingresan a la placenta y son excretados en la leche. La falla del cierre del tubo neuronal suele producirse en etapas tempranas del embarazo, generalmente a los 28 días de gestación (Gómez Demaio, 2009).

2015). Sus exiguos recursos los condenan a continuar plantando tabaco, tanto para obtener un mínimo rédito económico con el cual solventar los crecientes gastos médicos del grupo familiar como para acceder a la cobertura proporcionada por las obras sociales del sector<sup>7</sup>.

El *boom* del Burley misionero representa, pues, un claro ejemplo empírico de la tesis de Beck (1998) donde la *amenaza visible de la muerte por hambre* prevalece ante la *amenaza invisible de la muerte por intoxicación* ligada a la aplicación masiva de agroquímicos. Esto es funcional al interés de las tabacaleras y el Estado por ocultar el impacto sanitario de la actividad; procurando evitar engrosar las estadísticas provinciales, en cuanto a malformaciones congénitas y mortalidad infantil. La Asociación de Plantadores de Tabaco de Misiones (APTМ) deriva a los enfermos a clínicas privadas locales y a centros asistenciales de alta complejidad de Buenos Aires, quebrantando así la legislación vigente<sup>8</sup> (Gómez Demaio, 2009). Otro factor de sub-registro epidemiológico concierne a los propios profesionales médicos que, amedrentados por las presiones ejercidas por los intereses políticos y económicos en juego, desisten de denunciar los casos de intoxicación aguda con plaguicidas y mortalidad infantil por uso de agrotóxicos (González, 2007; De Fina, 2015).

Orientado a proteger los intereses de las compañías tabacaleras, el gobierno provincial niega y/o desmonta todo nexo causal entre la desposesión del derecho a la salud, el cultivo de Burley y el uso intensivo de agrotóxicos. Si bien la etiología de todas las patologías citadas se halla inequívocamente relacionada con la exposición a plaguicidas, no existen estudios oficiales exhaustivos, o bien, los proyectos implementados culminan abruptamente, debido a la falta de apoyo político de las dependencias gubernamentales locales y las desintelencias entre éstas y el Ministerio de Salud de la Nación (González, 2007).

Por añadidura, los actores políticos y la APTМ suelen minimizar la gravedad de la problemática socio-sanitaria de los agricultores, o bien, la atribuyen a otros factores, como la consanguinidad de parejas, el alcoholismo y la anemia y escasez de ácido fólico en mujeres embarazadas

---

7 El costo de los tratamientos e insumos médicos para la hidrocefalia y la mielomeningocele es inasequible para los campesinos. El valor del botón gástrico -renovable cada 6 meses- asciende a 660 dólares; la válvula para la hidrocefalia, a 1.500 dólares; y el esfínter urinario artificial, a 10.000 dólares (Gómez Demaio, 2009; De Fina, 2015).

8 Una ley de salud provincial establece que todo malformado debe ingresar al Hospital de Niños de Posadas.

(Parrotta, 2014). Como plantea Beck (1998); estos ‘expertos’ acallan las protestas, temores y críticas de la opinión pública tildándolas de ‘irracionales’, a la vez que procuran convertir a la percepción social del riesgo en un problema de desinformación.

El Estado exhibe así una actitud que oscila entre la desidia y el ocultamiento: por un lado, la llamada ‘ley provincial de agrotóxicos’<sup>9</sup> es sistemáticamente avasallada por las empresas transnacionales del sector químico y, sobre todo, tabacalero, cuyos contratos continúan exigiendo a los agricultores el uso de sus paquetes tecnológicos como condición *sine qua non* para adquirir su producción; por el otro, la Comisión Técnica del Tabaco de la Provincia de Misiones asevera que el uso de agrotóxicos se redujo un 86% entre 2001 y 2011 -de 8,50 kg/ha a 1,17 kg/ha- (COTTA-PROM, 2012), a pesar de que tanto el número de plaguicidas utilizados como sus dosis de aplicación no hacen sino aumentar.

Si bien es cierto, que algunos de los insecticidas organo-fosforados más peligrosos, como el acefato y el clorpirifós han comenzado a ser paulatinamente sustituidos por productos neonicotinoides de última generación y menor toxicidad relativa como el imidacloprid y el thiamethoxan (Dutra, 2010), esto responde más a una estrategia de las tabacaleras por preservar ciertos mercados internacionales que a un genuino interés por la salud de los campesinos. Otrora, incluida en el paquete tecnológico que el agricultor obligatoriamente debía utilizar, la cipermetrina, por ejemplo, ha sido prohibida por las compañías tabacaleras, debido a la decisión de la Unión Europea de rechazar el tabaco contaminado con ese insecticida de alta capacidad residual; esto no impide a los acopiadores fomentar entre los agricultores el uso de herbicidas más agresivos y riesgosos, como el paraquat (González, 2007). El perverso doble juego de las transnacionales tabacaleras impone al campesinado condiciones contractuales cada vez más inestables y contradictorias. El agricultor debe utilizar un vasto acervo de agroquímicos, pero posteriormente, -como explica De Fina (2015)- es penalizado con la no renovación del contrato (y refinanciación de su deuda), si el Burley analizado en las bocas de acopio presenta altos niveles de toxicidad residual.

9 Esta ley, vigente desde 1993, prohíbe la utilización de agroquímicos cuyo uso haya sido prohibido en su país de origen y/o sus perjuicios para la salud humana hayan sido demostrados en otros países.

No obstante, el conformismo, ceguera y complacencia del campesinado ante los objetivos de las empresas hegemónicas comienza a mutar -parafraseando a Santos (1996)- hacia una actitud de descubrimiento, contra-finalidad y revuelta ante el orden global. Es el caso de 144 familias tabacaleras de Leandro N. Alem, San Vicente y otras localidades misioneras, que, en 2011, entablaron una millonaria demanda judicial contra Monsanto, Bayer, Du Pont, Philip Morris y Universal Carolina Leaf Tobacco en los tribunales de New Castle y Delaware. Asesorados por estudios jurídicos nacionales y extranjeros, los agricultores reclaman por los perjuicios sanitarios ocasionados por la obligatoria adquisición, a las empresas denunciadas, de glifosato con bromuro de metilo (MOL, 2011; De Fina, 2015).

### **Conclusiones**

Las relaciones entabladas entre las agroindustrias y el campesinado a menudo multiplican los mecanismos de extracción de excedentes -formas de acumulación por desposesión- que benefician a las primeras en detrimento del segundo. En la provincia de Misiones, el cultivo del tabaco Burley no es una excepción a esa regla; por el contrario, se trata de un uso hegemónico del territorio donde las empresas acopiadoras se valen de la agricultura bajo contrato, la condición oligopsónica del mercado y la vulnerabilidad socioeconómica de los campesinos para apropiarse del valor del trabajo familiar y de la renta exportadora. Cada una de las pautas y condiciones contractuales impuestas a los productores forja, de hecho, un nuevo eslabón en la histórica y cotidiana cadena de dominación, marginalidad, pobreza y miseria que ata a los campesinos a los intereses de las firmas transnacionales del sector.

Beck (1998) sostiene que la agricultura contemporánea se ha convertido en el reino de los venenos y que, por ese motivo, representa una amenaza para la salud pública. El caso de estudio elegido, ciertamente, corrobora esa tesis. Obligatorio, el uso intensivo de plaguicidas constituye tanto una fuente de lucro para las compañías tabacaleras -a través de los llamados 'paquetes tecnológicos'- como un mecanismo de vulneración y avasallamiento de la salud de la población rural. Existe, de hecho, una comprobada correlación entre el cultivo de tabaco Burley, la exposición laboral y ambiental a agrotóxicos y la incidencia de un sinnúmero de graves patologías entre el campesinado. La población infantil es la principal

afectada por ciertos ‘daños colaterales’ del modelo, como las enfermedades cancerígenas y los nacimientos con malformaciones. Esta situación adquiere ribetes perversos, pues obliga a los agricultores a continuar plantando tabaco ya no sólo para subsistir, sino también para costear los onerosos insumos y prestaciones asistenciales que requiere el grupo familiar; en otras palabras, en esa desposesión del derecho a la salud reside un factor que refuerza el yugo del campesinado a la actividad responsable por su pauperización y deterioro sanitario.

Ora por acción, ora por omisión, el poder político respalda y legitima ese despojo. El Fondo Especial del Tabaco perpetúa la subordinación de los campesinos, subsidia las estrategias de acumulación empresariales y otorga al Estado nacional una sustancial masa de recursos fiscales. Y el gobierno provincial niega y/u oculta, finalmente, todo nexo causal entre el modelo hegemónico y el avasallamiento del derecho a la salud de la población.

### Referencias

- Agüero, J. O. (2009). *La cuestión social en Argentina. Los tabacaleros en Jujuy y Misiones*. Buenos Aires: Dunken.
- Amin, S. (1975). *La acumulación a escala mundial: crítica a la teoría del subdesarrollo*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Centro de Estudios e Investigación Social Nelson Mandela (NM DD. HH.) (2009). *Una tragedia colectiva, en plena marcha. Malformaciones por el uso de agroquímicos*. Argentina, Resistencia: Centro de Estudios e Investigación Social Nelson Mandela.
- Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Barcelona: Paidós.
- Comisión Técnica de Tabaco de la Provincia de Misiones (COTTAPROM). (2012). *Uso de agroquímicos en el cultivo de tabaco. Provincia de Misiones*. Argentina, Posadas: Comisión Técnica de Tabaco de la Provincia de Misiones.
- Corradini, E., Cuesta, R., Merello, P., Segesso, R., Giménez, M. L., Zilocchi, H., Molfesa, S. y Musco, J. M. (2005). *Caracterización del sector productor tabacalero en la República Argentina*. Buenos Aires: UCSMBA.
- De Fina, M. (2015). *Los venenos*. Recuperado de <http://www.mariodefina.com/cronicas/los-venenos>

- Dutra, R. (2010). *Plantadores de tabaco y riesgos socioambientales de los métodos de utilización de plaguicidas en San Vicente (Misiones, Argentina)*. Porto de Galinhas-Recife-Pernambuco: REDISEC.
- Eleisegui, P. (2015). *Argentina envenenada: proliferan el cáncer y las malformaciones por el uso de químicos para producir alimentos*. Recuperado de <http://www.iprofesional.com/notas/212108-Argentina-envenenada-prolifera-el-cancer-y-las-malformaciones-por-el-uso-de-quimicos-para-producir-alimentos>
- El territorio (TD). (30 de mayo de 2010). Las dos caras del tabaco con las que viven 12 mil productores. En *Territorio Digital*. Posadas, Argentina. Recuperado de <http://www.territorioidigital.com/nota.aspx?c=2613023321024028>
- Gallero, M. C. (2011). Tabacaleros y acopiadores en la colonización del Alto Paraná Misionero (1930-1946). En *Mundo Agrario*. 22,(11). Recuperado de <http://www.scielo.org.ar/pdf/magr/v11n22/v11n22a04.pdf>
- Gallo, G. (2010). *Agroquímicos. ¿Por qué los agroquímicos se transforman en tóxicos?* Argentina, Trelew: Fundación Patagonia Tercer Milenio.
- García, A. (2011). Adaptaciones frente a una relación asimétrica: agricultores familiares y agroindustrias en el nordeste de Misiones (Argentina). En *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, 2011. (10), 41-64.
- Gómez Demaio, H. (9 de junio de 2009). Agroquímicos: misioneros con retraso mental grave y malformaciones. *El Paranaense*. Argentina, Posadas. Recuperado de [http://www.ecoportel.net/Temas-Especiales/Salud/agroquimicos\\_misioneros\\_con\\_retraso\\_mental\\_grave\\_y\\_malformaciones](http://www.ecoportel.net/Temas-Especiales/Salud/agroquimicos_misioneros_con_retraso_mental_grave_y_malformaciones)
- González, C. O. (2007). “Región Mesopotámica, Provincia de Misiones”. *La Problemática de los Agroquímicos y sus Envases, su Incidencia en la Salud de los Trabajadores, la Población Expuesta y el Ambiente*. Estudio colaborativo multicéntrico. Buenos Aires: Ministerio de Salud de la Nación. (137-180).
- Grupo de Reflexión Rural-Editorial del Nuevo Extremo (GRR). (2009). *Pueblos fumigados. Los efectos de los plaguicidas en las regiones sojeras*. Buenos Aires: Grupo de Reflexión Rural-Editorial del Nuevo Extremo.
- Harvey, D. (2004). *El nuevo imperialismo*. Madrid: Akal.

- Harvey, D. (2006). *El nuevo imperialismo*. Entrevista. Recuperado de <http://www.sinpermiso.info/textos/el-nuevo-imperialismo-entrevista>
- Instituto Geográfico Nacional. (IGN). (s.f.). *Mapas e información geográfica de la República Argentina*. Buenos Aires: Instituto Geográfico Nacional.
- Instituto de Pensamiento y Políticas Públicas (IPPYP). (2014). *36,5% de pobres y 12,1% de indigentes: los números que el gobierno pretende ocultar*. Buenos Aires: Instituto de Pensamiento y Políticas Públicas.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2014). *Encuesta Permanente de Hogares. Medición de hogares y personas bajo las líneas de pobreza e indigencia según regiones y aglomerados urbanos. Serie histórica: primer semestre de 2003-primer semestre de 2012*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2013a). *Población urbana y rural por provincia. Total del país. Año 2010*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2005). *Censo Nacional Agropecuario 2002. Resultados definitivos por cultivos, provincias y departamentos*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. (2015). *Evolución de la producción primaria de tabaco (1986/87-213/14)*. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. (2013b). *Evolución del precio de tabaco en el acopio, en el importe que abona el FET y en el total percibido por el productor (1991/92-2010/11)*. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. (2006). *Explotaciones agropecuarias tabacaleras en la Argentina. Caracterización en base al Censo Nacional Agropecuario 2002*. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. (2013c). *Complejos exportadores provinciales. Informe anual 2012*. Buenos Aires: Ministerio de Economía y Finanzas Públicas.
- Ministerio de Salud de la Nación. (2007). *La problemática de los agroquímicos y sus envases, su incidencia en la salud de los trabajadores, la población expuesta y el ambiente*. Estudio colaborativo multicéntrico. Buenos Aires: Ministerio de Salud de la Nación.

- Misiones On Line* (MOL). (24 de julio de 2011). Salud. Misiones: 120 familias litigan contra fabricantes de agrotóxicos. En *Misiones On Line*. Posadas, Argentina. Recuperado de <http://www.saludnews24.com.ar/noticias/salud/5465--misiones-120-familias-litigan-contra-fabricantes-de-agrotoxicos.html>
- Páez, S. (2009). *Uso de agrotóxicos en el cultivo de tabaco: sus consecuencias en los actores sociales y en el espacio geográfico de la zona centro de la Provincia de Misiones, Argentina*. Recuperado de <http://bloglemu.blogspot.com.ar/2009/05/uso-de-agrotoxicos-en-el-cultivo-de.html>
- Parrotta, M. (23 de febrero de 2014). Misiones: aislados y rodeados de veneno. En *Territorio Digital*. Posadas, Argentina. Recuperado de <http://www.territorioidigital.com/notaimpresa.aspx?c=7679560780822591>
- Red Universitaria de Ambiente y Salud (REDUAS)/ Red de Médicos de Pueblos Fumigados. (2013). *El consumo de agrotóxicos en Argentina aumenta continuamente. Análisis de los datos del mercado de pesticidas en Argentina*. Buenos Aires: Red Universitaria de Ambiente y Salud/Red de Médicos de Pueblos Fumigados.
- Santos, M. (1996). *A natureza do espaço. Técnica e tempo, razão e emoção*. Brasil, São Paulo: Hucitec.
- Santos, M. y Silveira, M. L. (2001). *O Brasil. Território e sociedade no início do século XXI*. Brasil, Rio de Janeiro-São Paulo: Record.
- Silveira, M. L. (2003). *Argentina: território y globalização*. Brasil, São Paulo: Brasiliense.
- Slutzky, D. (2011). *Estructura social agraria y agroindustrial del nordeste de la Argentina: desde la incorporación a la economía nacional al actual subdesarrollo concentrador y excluyente*. Buenos Aires: IADE.
- Souza Casadinho, J. (2013). Utilización de agrotóxicos e impacto en la salud en la actividad hortícola y tabacalera. Un problema de salud pública. *I Congreso Universitario de Salud Pública*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Buenos Aires.
- Teubal, M. (1995). "El agribusiness y la transnacionalización de la agricultura latinoamericana". *Globalización y Expansión Agroindustrial: ¿Superación de la pobreza en América Latina?* Buenos Aires: Corregidor. (81-105).

## **Distribución geográfica de los sismos contenidos en el catálogo de la Red Sismológica Nacional de Costa Rica**

Geographic distribution of the earthquakes included in the catalog of National Seismological Network of Costa Rica

*Kevin Godínez-Rodríguez<sup>1</sup>*

*Mario Arroyo-Solórzano<sup>2</sup>*

*Lepolt Linkimer-Abarca<sup>3</sup>*

*Universidad de Costa Rica, Costa Rica*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.6>

### **RESUMEN**

En este artículo se analiza la distribución espacio-temporal de la sismicidad en Costa Rica, contenida en el catálogo sísmico de la Red Sismológica Nacional para el periodo 1975-2014. La distribución geográfica de la sismicidad resalta las principales estructuras tectónicas activas del país. En particular, cúmulos de sismicidad revelan zonas de alta deformación cortical ubicadas sobre la proyección hacia el continente de montes submarinos y de la Zona de Fractura de Panamá. Estos cúmulos no concuerdan exactamente con las zonas de mayor liberación de energía sísmica. Se detecta, además, un “vacío de sismos” que corresponde con parte de la Cordillera de Talamanca. La inspección de la sismicidad con base en la división político administrativa muestra que el cantón con mayor cantidad de sismos es Pérez Zeledón, mientras que los cantones con la densidad más alta de sismos son: Parrita, El Guarco, Tarrazú, León Cortés y Desamparados.

- 1 Estudiante de Geografía, Universidad Nacional y Asistente, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. Apdo. 214-2060, San Pedro, Costa Rica. Correo: kevin.godinezrodriguez@ucr.ac.cr
- 2 Bachiller en Geografía y Geología. Asistente en Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. Apdo. 214-2060, San Pedro, Costa Rica. Correo: mario.arroyosolorzano@ucr.ac.cr
- 3 Profesor catedrático, Escuela Centroamericana de Geología y Red Sismológica Nacional, Universidad de Costa Rica. Apdo. 214-2060, San Pedro, Costa Rica. Correo: lepolt.linkimer@ucr.ac.cr

Recibido: 21 de febrero de 2017  
Aprobado: 28 de setiembre de 2017

**Palabras clave:** Sismicidad en Costa Rica, catálogo sísmico, densidad de sismos.

#### **ABSTRACT**

This article analyzes the time-geographic distribution of earthquakes in Costa Rica for the seismicity included in the catalog of the Red Sismológica Nacional (National Seismological Network) during 1975-2014. The geographic distribution of seismicity highlights the main active tectonic structures. In particular, clusters of seismicity reveal highly deformed crustal areas, which are located along the inland projected path of seamount chains and the Panama Fracture Zone. These clusters do not correlate exactly with the largest energy released zones. A seismic gap is also detected in the Talamanca mountain range. The inspection of seismicity based on the political division of the country shows that the county with the largest amount of recorded earthquakes is Pérez Zeledón, and the counties with the highest earthquake density are: Parrita, El Guarco, Tarrazú, León Cortés, and Desamparados.

**Keywords:** Seismicity of Costa Rica, seismic catalog, density of earthquakes.

### **Introducción**

La Red Sismológica Nacional (RSN: UCR-ICE) es uno de los entes dedicados a la vigilancia sísmica de Costa Rica. Fue creada mediante un convenio de cooperación técnica y científica entre la Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica (SSVEG) de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica (AAASV) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). La SSVEG y el AAASV funcionan desde 1973 y 1974, respectivamente, y el centro de registro conjunto de la RSN, con sede en la UCR, opera desde 1982.

El catálogo sísmico de la RSN analizado en este estudio está compuesto por 111.850 sismos que ocurrieron entre el 4 de noviembre de 1974 y el 31 de diciembre del 2014. Este catálogo incluye las características básicas de los sismos localizados, es decir: la fecha, hora, latitud y longitud del epicentro, profundidad del hipocentro y en la mayoría de los casos su magnitud. La cantidad y distribución de las estaciones con las que se han localizado los sismos de este catálogo han variado significativamente a lo largo de la historia de la RSN. En 1976, la red de estaciones contaba con únicamente cinco instrumentos en la parte central de Costa Rica (Morales, 1986), número que creció paulatinamente hasta alrededor de 60 estaciones, ubicadas en todo el país para el 2014.

En este artículo se analiza la distribución geográfica de la sismicidad contenida en el catálogo sísmico de la RSN en Costa Rica para el periodo de tiempo 1975-2014. El objetivo del estudio es brindar una idea

de la completitud del catálogo actual y de las zonas que reflejan la mayor sismicidad y la mayor liberación de energía sísmica. Asimismo, se hace una inspección por cantones para determinar cuáles son los que tienen la mayor o menor cantidad de sismos. La identificación de estas zonas con mayor sismicidad y liberación de energía sísmica en las diferentes regiones del país es importante como insumo para estudios de amenaza sísmica de una región particular y, para caracterizar la sismicidad registrada en Costa Rica.

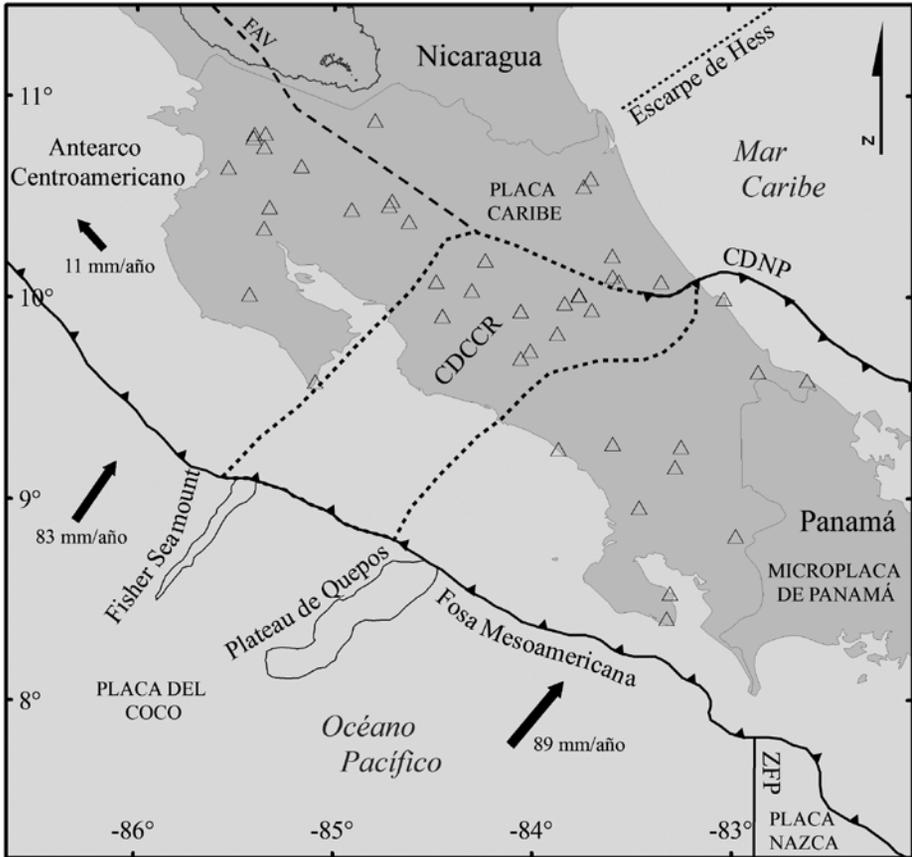
### **Área de estudio**

El área de estudio se enfoca en Costa Rica, para lo cual, se toma una zona de influencia de sectores de países aledaños (sur de Nicaragua y norte de Panamá), y el Océano Pacífico y Mar Caribe. Dado que el catálogo de la RSN contiene sismos regionales (a nivel Centroamericano) y telesismos (terremotos a nivel global), se restringió el área de estudio para enfocar el análisis de la sismicidad dentro del territorio de Costa Rica. De esta forma, se analizaron, únicamente, los sismos ubicados entre las coordenadas de latitud que van desde 7° N a 11,5° N y longitud desde 82° W a 86,5° W. Esta porción del catálogo está compuesta por 68.022 sismos.

Costa Rica se caracteriza por una alta sismicidad, debido a su localización en una zona de subducción, en donde interactúan las placas del Coco, Caribe y Nazca y la microplaca de Panamá (Mapa 1). La sismicidad es especialmente abundante a lo largo de la Fosa Mesoamericana y en la zona sismogénica interplacas, donde se subduce la placa del Coco debajo de la placa Caribe y la microplaca de Panamá (Montero, 2001). Además, la sismicidad es alta a lo largo de la Zona de Fractura de Panamá (ZFP), la cual, sirve de límite entre las placas del Coco y Nazca y a lo largo del Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP) y el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR), los cuales son anchas zonas de deformación cortical con una alta densidad de fallas activas (e.g., Fan y otros., 1993; Goes y otros., 1993, Marshall y otros., y 2000, Montero, 2001), que han sido postulados como límites entre la microplaca de Panamá y la placa Caribe (Mapa 1).

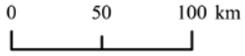
**Mapa 1:** Mapa tectónico simplificado de Costa Rica y ubicación de las estaciones de la RSN durante el año 2014

Costa Rica, Mapa Tectónico Simplificado



**Simbología**

- △ Estaciones RSN
- ..... Escarpe de Hess
- ▲— Fosa Mesoamericana
- - - Fallas del arco volcánico (FAV)
- Zona de fractura de Panamá (ZFP)
- ▼ Cinturón deformado del norte de Panamá (CDNP)
- ⋯ Cinturón deformado del centro de Costa Rica (CDCR)



**Diagrama de Ubicación**



<p>Fuentes: RSN (UCR-ICE). Atlas 2014 del ITCR. Montero &amp; Rojas (2014).</p>	<p>Datum y Esferoide: WGS84. Proyección: CRTM05.</p>	<p>Elaboró: Mario Arroyo, Kevin Godínez &amp; Lepolt Linkimer. Febrero, 2016.</p>
---	--	---

## **Marco teórico-conceptual**

En esta sección se comentan brevemente dos conceptos relevantes para el desarrollo de este estudio: la completitud de un catálogo sísmico y la energía sísmica. El catálogo sísmico es uno de los productos más importantes que una red sismológica puede aportar a la comunidad científica y a la sociedad. La magnitud de completitud (MC) de un catálogo sísmico se define como la magnitud más baja en la cual el 100% de los sismos son detectados exitosamente dentro de una región y periodo de tiempo (e.g., Woessner y Wiemer, 2005). MC depende de muchos factores que afectan la capacidad de detección de una red sismológica, como son: la densidad y distribución de estaciones sísmicas, el tipo de instrumentación usada, la eficiencia del envío de datos desde las estaciones al centro de procesamiento, las prácticas y procedimientos de detección de sismos, entre otros (e.g., Chouliaras, 2009; Mignan y Woessner, 2012).

Una manera para determinar la MC es a través de la metodología de Stepp (1972). Este método evalúa la estabilidad de la tasa media de la ocurrencia de sismos en un rango de magnitud y en una serie de periodos de tiempo predefinidos. Este método supone que la tasa de ocurrencia de los sismos en una región es uniforme o se mantiene constante a través del tiempo. Además, infiere que la ocurrencia de terremotos sigue una distribución de Poisson, es decir, que hace referencia a variables sometidas a influencias, impactos o fenómenos aleatorios que evolucionan en función de un índice, que puede ser el tiempo o el espacio (e.g., Cárdenas, Garzón, Santa y Castillo, 2010).

La energía sísmica, por otro lado, es un concepto que se relaciona con la posibilidad de daños a las estructuras hechas por el hombre. Teóricamente, su cálculo requiere la suma del flujo de energía en un amplio conjunto de frecuencias generadas por un terremoto durante la ruptura. La mayoría de las estimaciones de la energía se han basado históricamente en la relación empírica desarrollada por Gutenberg y Richter (1956):  $\log_{10}E = 11,8 + 1,5 Ms$ . En esta relación, la energía, E, se expresa en ergios, y Ms es la magnitud de las ondas superficiales (Spence, Sipkins y Choy., 1989).

Cuando se produce un evento sísmico, una fracción de la energía de deformación acumulada en la roca es irradiada en forma de ondas sísmicas. Convencionalmente, se emplea la escala de magnitud como método comparativo para demostrar la cantidad de energía liberada por los

terremotos grandes y pequeños. Por cada aumento en magnitud en una unidad, la energía sísmica asociada aumenta cerca de 32 veces (Spence et al., 1989). A partir de mediciones realizadas de la energía de las ondas sísmicas producidas durante los terremotos, se estima que la energía liberada por año en todo el mundo oscila entre 1025 y 1026 ergios (Bolt, 1993).

### **Estado de la cuestión**

Para Costa Rica, existen algunos estudios que se adentran en la inspección geográfica de un catálogo sísmico. Por ejemplo, están los realizados por el Observatorio Vulcanológico y Sísmico de Costa Rica de la Universidad Nacional (OVSICORI-UNA) en los que se detallan los sismos más significativos que han ocurrido durante la existencia de ese centro (e.g., Segura, Quintero, Burgoa y Jiménez, 2014). En el caso de la RSN, existen algunos estudios, como el de Rojas, Cowan, Lindholm, Dahle y Bungum (1993), en el cual se determinaron ecuaciones para la conversión de un tipo de magnitud a otro y los parámetros de la Ley de Gutenberg-Richter para Costa Rica.

Un estudio más reciente que presenta estrecha relación con esta investigación es el de Linkimer y Alvarado (2014), el cual muestra algunos datos estadísticos de los sismos sentidos contenidos en el catálogo bajo estudio. Dentro de los resultados que presentan, sobresale que la cantidad anual de sismos sentidos reportados por la RSN ha variado entre 15 y 353 y que la mayor cantidad de sismos sentidos reportados por esa red ocurrió en los años 1991, 2012 y 2013, lo cual estuvo relacionado con la ocurrencia de terremotos importantes, sus réplicas y sismos inducidos durante esos años.

De manera regional, Benito (2008) trabaja los catálogos disponibles para Centro América y determina la relación Gutenberg-Richter y la MC. También para Latinoamérica, existen otros estudios similares en Venezuela (Valladares, 2013), Colombia (Caneva Salcedo, van Heissenoven y Alfaro, 2003) y México (Benito y Jiménez, 1999). En Estados Unidos y Europa algunas referencias importantes en el tema son: Woessner y Wiermer (2005); Ranjit, Wason y Sharma (2012); Mignan y Woessner (2012) y Chouliaras (2009).

## Marco metodológico

### El catálogo de sismos de la RSN

Con el fin de descartar los sismos con localizaciones de baja calidad contenidos en el catálogo, se tomaron en cuenta algunos criterios. Por ejemplo, se obviaron del análisis los eventos localizados con menos de cuatro estaciones y también, los caracterizados por un valor de la raíz cuadrática media (RMS) mayor a 1,0. Tampoco fueron tomados en cuenta aquellos que no contaban con una estimación de magnitud. Adicionalmente, se realizó una inspección de la profundidad, y fueron descartados aquellos sismos con profundidades atípicas, considerando el espesor de la corteza y profundidad de la losa de la placa del Coco que se subduce bajo Costa Rica (Lücke, 2012). El catálogo filtrado de acuerdo con las restricciones y los criterios mencionados, está compuesto por 62.514 sismos (Cuadro 1).

**Cuadro 1:** Cantidad de sismos en rangos de cinco años del catálogo de la RSN

Intervalo de tiempo	Cantidad total de sismos registrados
2010-2014	9.689
2005-2009	13.664
2000-2004	16.705
1995-1999	10.709
1990-1994	8.389
1985-1989	2.465
1980-1984	733
1975-1979	160
<b>Total</b>	<b>62.514</b>

**Fuente:** Elaboración propia con base en el catálogo de sismos de la RSN.

Otro aspecto tratado en la preparación del catálogo fue la uniformización de la magnitud, ya que la determinación de la misma ha variado a lo largo de la historia de la RSN. Antes del 2012, se determinaba principalmente la magnitud coda ( $M_d$ ) o la magnitud local ( $M_L$ ). Sin embargo, desde el 2012, se estima únicamente la magnitud momento ( $M_w$ ). Con el fin de realizar un análisis homogenizado de la magnitud del catálogo, se

procedió a convertir las magnitudes ML y Md a Mw. Para la conversión de las magnitudes, se usaron las relaciones determinadas por Rojas (1993) y Rojas et al. (1993).

El catálogo de la RSN se analizó para años completos, es decir, comenzando el 1 de enero de 1975 y hasta el 31 de diciembre del 2014. Se realizó una inspección de la sismicidad para intervalos de tiempo de cinco años desde 1975 al 2014, es decir, se consideraron los siguientes intervalos de tiempo: 1975-1979, 1980-1984, 1985-1989, 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009 y 2010-2014 (Figuras 1 y 2). Además, se trabajó con 12 rangos de magnitud, que incluyen un rango de  $M_w \leq 1,9$ , diez rangos desde 2,0 a 6,9 subdivididos en intervalos de 0,5 (i.e., 2-2,4, 2,5-2,9, ... 6,5-6,9) y un rango para  $M_w \geq 7,0$ .

Para detallar la densidad regional de los sismos contenidos en el catálogo, se subdividió el área total de estudio en cuadrículas de 100 km<sup>2</sup> y se contabilizaron los epicentros de los sismos por cada cuadrante (Mapa 2). Adicionalmente, se realizó un análisis geográfico, tomando en cuenta la energía sísmica (ES) liberada, la cual fue calculada a partir de la Mw de cada sismo. Para la determinación de la ES, se utilizó la ecuación propuesta por Gutenberg y Richter (1956). Así, se crearon cuadrantes individuales de 100 km<sup>2</sup> en los cuales se sumó la ES liberada por cada uno de los eventos con  $M_w \geq 2,5$ , ubicados en dicho cuadrante (Mapa 3, Figura 3).

Para el análisis de la sismicidad en cada cantón, se determinó la cantidad total de sismos por cantón, y, además, se calculó la densidad de sismos dividiendo la cantidad de sismos por el área de cada cantón. Si bien, la distribución de la sismicidad dentro de un mismo cantón no es uniforme, de manera general, estas relaciones permiten tener una visualización de qué tan sísmico resulta ser cada cantón y podría incluso servir para relacionarse con múltiples factores como la infraestructura y población en cada zona. Para el manejo general de los datos y la realización y presentación de los gráficos se utilizaron los programas Microsoft Office Excel, ArcMap 10.1, Adobe Illustrator CS6 y R.

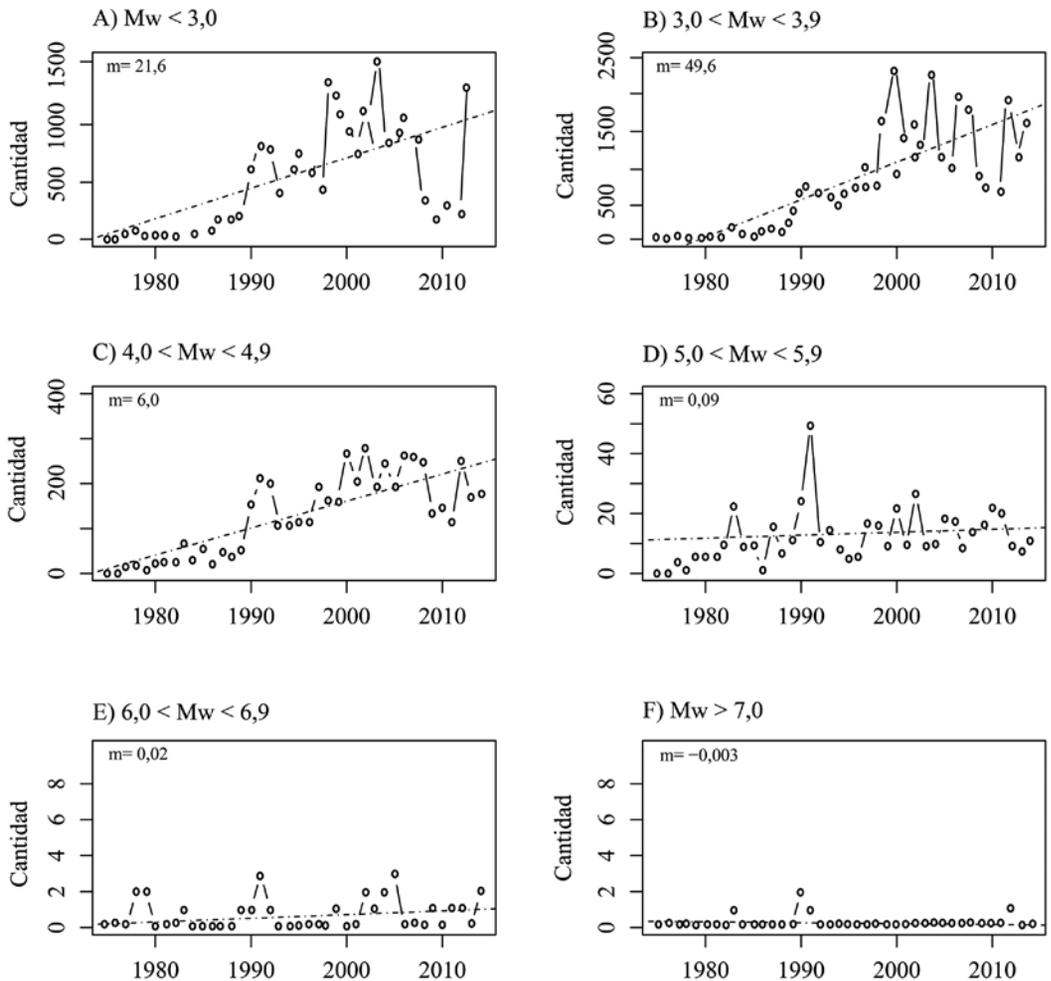
### **Análisis de resultados**

Siguiendo los conceptos planteados en la metodología de Step (1972), se realizó una inspección de la constancia de la cantidad de sismos a través del tiempo, según rangos de Mw a partir de 3,0 (Figura 1). Para

cada gráfico se determinó la pendiente ( $m$ ), de forma que, si  $m \leq 0,1$  la tasa de sismicidad es considerada como constante durante el periodo analizado. Los resultados de esta inspección sugieren una MC de 5,0, ya que arriba de esta magnitud,  $m$  es casi cero, lo que implica muy poca variación de la tasa de sismicidad. Por el contrario, debajo de la MC de 5,0 la  $m$  es alta, mostrando poca constancia en la tasa de sismicidad y sugiriendo un catálogo incompleto. Por ejemplo, para el rango de  $M_w$  4,0-4,9 la  $m$  es muy alta ( $m = 6$ ), es decir, se observa un aumento considerable en la detección de sismos a través del tiempo, especialmente después de 1990. Este aumento en la detección de sismos se debe a la mejora en la cobertura de estaciones a lo largo del tiempo, así como a las mejoras en las técnicas de detección y localización de sismos.

El resultado de una MC de 5,0 corresponde al periodo 1975-2014. Es probable que la MC sea mucho menor para periodos de tiempo posteriores a 1990, no obstante, su determinación ha quedado fuera del alcance de la presente investigación. Se recomienda su determinación mediante el método de Step (1972) en futuros estudios que analicen periodos de tiempo más específicos dentro del catálogo.

**Figura 1:** Cantidad de sismos según rangos de  $M_w$  en el periodo 1975-2014. A)  $M_w < 3,0$ . B)  $M_w$  de 3,0 a 3,9. C)  $M_w$  de 4,0 a 4,9. D)  $M_w$  de 5,0 a 5,9. E)  $M_w$  6,0 a 6,9. F)  $M_w \geq 7,0$ . La línea discontinua denota el ajuste lineal de la cantidad de sismos en el tiempo y  $m$  representa la pendiente de dicho ajuste lineal en cada caso



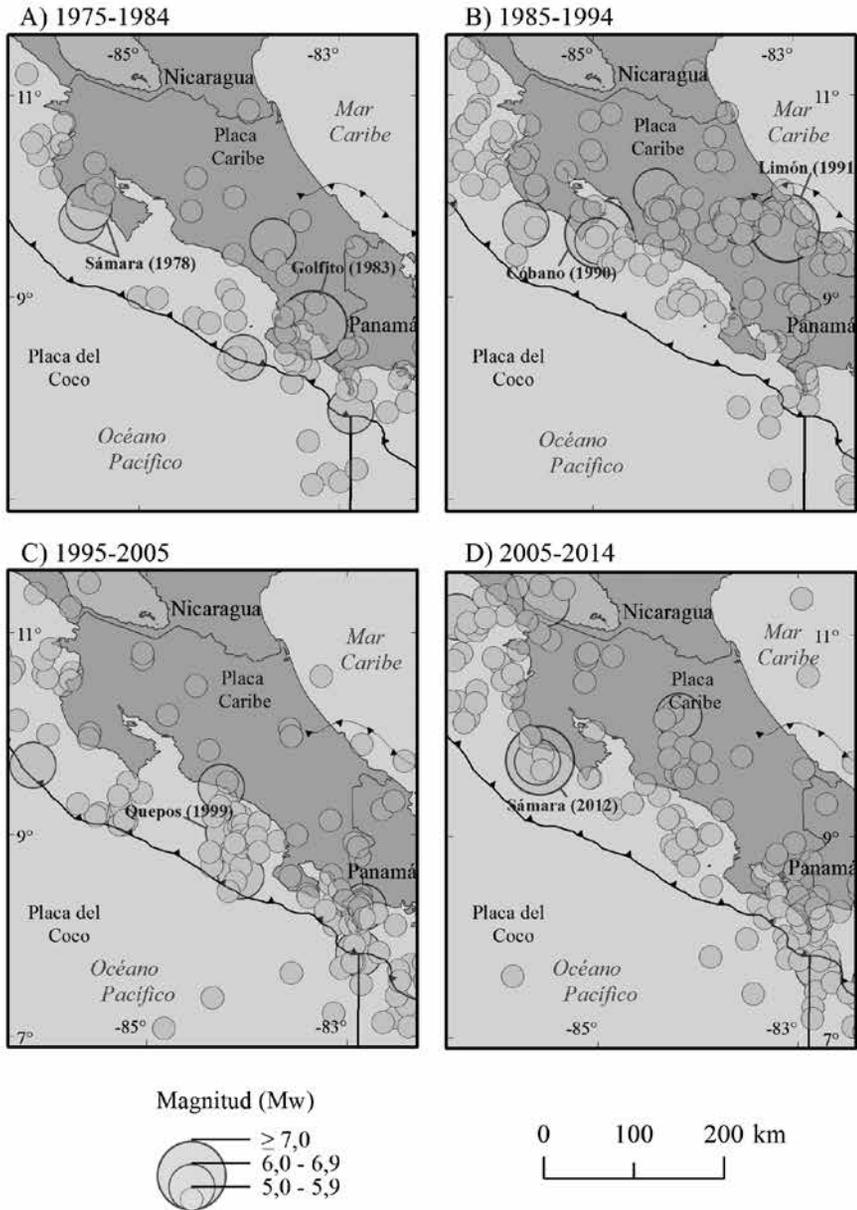
**Fuente:** Elaboración propia con base en el catálogo de sismos de la RSN.

### **Distribución geográfica de la sismicidad**

Se realizó un análisis espacio-temporal de la sismicidad de Costa Rica contenida en el catálogo de la RSN (Cuadro 1, Figura 2, Mapas 2, 3, 4 y 5). La Figura 2, muestra la distribución de la sismicidad subdividida en cuatro décadas para  $M_w \geq 5,0$  desde 1975 hasta el 2014. Esta figura permite visualizar las zonas con la sismicidad más alta en los periodos de tiempo señalados. En general, la sismicidad se concentra especialmente a lo largo de la costa Pacífica, asociada con la subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe y la microplaca de Panamá. En el periodo de observación, sobresalen los terremotos de Sámara de 1978 ( $M_w$  6,8, Figura 2A), Golfito de 1983 ( $M_w$  7,4, Figura 2A), Cóbano de 1990 ( $M_w$  7,3, Figura 2B), Limón de 1991 ( $M_w$  7,7, Figura 2B), Quepos de 1999 ( $M_w$  6,9, Figura 2C) y Sámara del 2012 ( $M_w$  7,6, Figura 2D).

La densidad regional de los sismos contenidos en el catálogo de la RSN se muestra en el Mapa 2. Los resultados obtenidos muestran que la sismicidad es abundante en la costa Pacífica de Costa Rica, especialmente entre la línea de costa y la Fosa Mesoamericana. En esta región se ubica, aproximadamente, la zona sismogénica interplacas de la subducción de la placa del Coco y han ocurrido terremotos importantes como: Sámara de 1978 ( $M_w$  6,8), Golfito de 1983 ( $M_w$  7,4), Cóbano de 1990 ( $M_w$  7,3), Quepos de 1999 ( $M_w$  6,9) y Sámara del 2012 ( $M_w$  7,6, Figura 2).

**Figura 2:** Distribución geográfica de la sismicidad con  $M_w \geq 5,0$  por décadas durante 1975-2014. A) 1975-1984. B) 1985-1994. C) 1995-2004. D) 2005-2014



**Fuente:** Elaboración propia con base en el catálogo de sismos de la RSN.

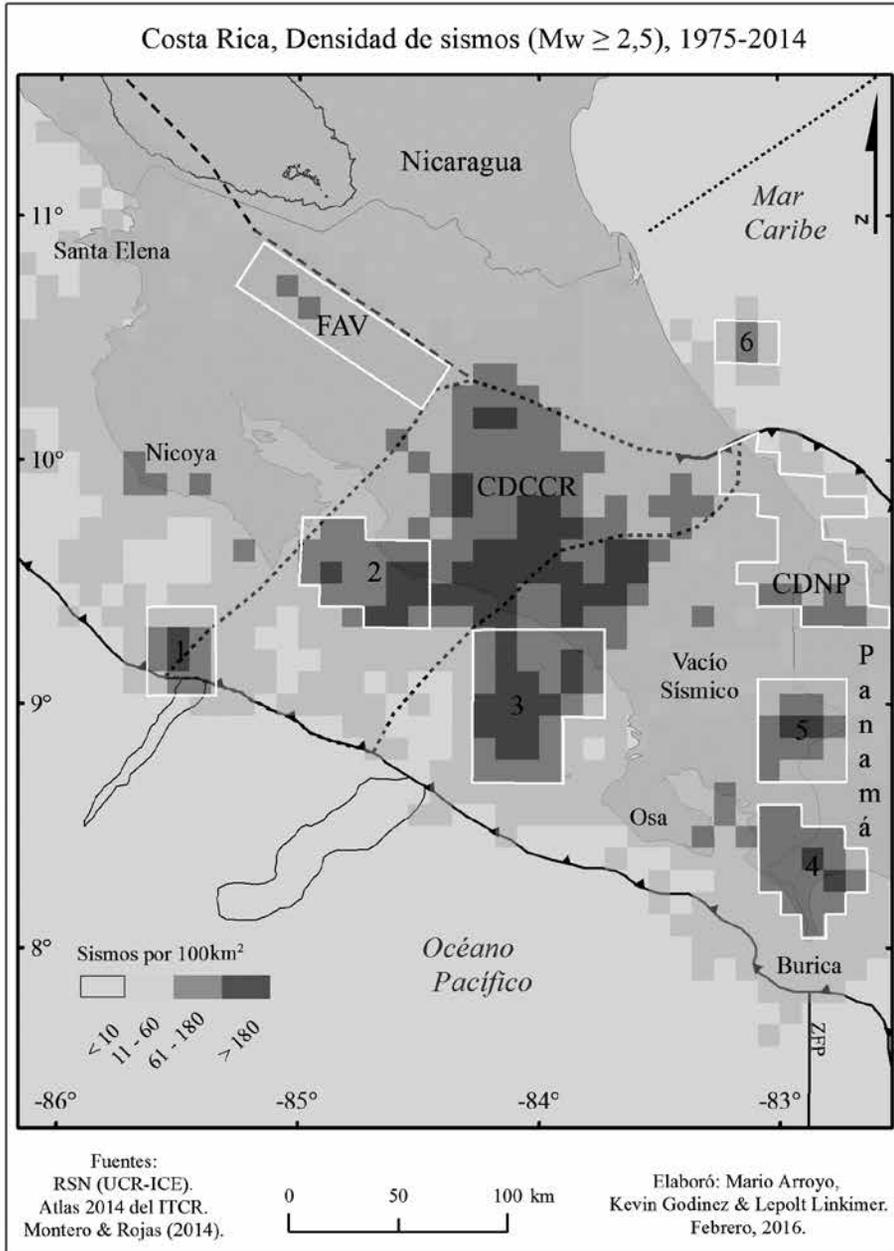
Otro límite de placas, que se resalta al mostrar la densidad de sismos, es el CDCCR. En el Mapa 2, se observa que la sismicidad es alta en casi la totalidad de las cuadrículas contenidas dentro del área propuesta por Montero y Rojas (2014) para el CDCCR. La alta densidad de sismos también expone la posición de las Fallas del Arco Volcánico (FAV) a lo largo de la cordillera de Guanacaste y del CDNP, en el sector Caribe, el cual fue el escenario del terremoto de Limón de 1991 (Mw 7,7, Figura 2B).

En particular, los resultados muestran una alta densidad de sismos en varios cúmulos (numerados con 1, 2 y 3), ubicados sobre la zona sismogénica interplacas del Pacífico Central, entre las penínsulas de Nicoya y Osa. Los cúmulos de alta sismicidad coinciden, aproximadamente, con la proyección hacia tierra de la subducción de montes submarinos de la placa del Coco, como lo son la cadena volcánica submarina de Fisher (cúmulos 1 y 2, Mapa 2) y el Plateau de Quepos (cúmulo 3, Mapa 2, Bilek, Schwartz y Deshon, 2003).

Otras dos regiones de alta sismicidad se ubican en la zona fronteriza entre Costa Rica y Panamá (cúmulos 4 y 5), aproximadamente, en la proyección hacia el norte de la Zona de Fractura de Panamá (Mapa 2). Estas observaciones sugieren que la subducción tanto de montes submarinos como de una falla transformada (ZFP) generan una alta deformación en la placa cabalgante, que resulta en la alta sismicidad concentrada en estas regiones específicas, tal como ha sido observada en estudios previos (e.g. Gardner y otros., 2001, Bilek y otros., 2003, Morell y otros., 2011).

Una alta concentración de sismos también sobresale en el mar Caribe (cúmulo 6, Mapa 2). Esta agrupación de sismos es denominada “nido de Parismina” y destaca por encontrarse en una zona de baja sismicidad que no está conectada directamente con un límite de placas. El origen de esta sismicidad puede estar relacionado con una falla local en el piso oceánico de la placa Caribe.

**Mapa 2:** Densidad de sismos con  $M_w \geq 2,5$  para áreas de  $100 \text{ km}^2$  en el periodo 1975-2014. El nombre de las estructuras tectónicas es señalado en el Mapa 1

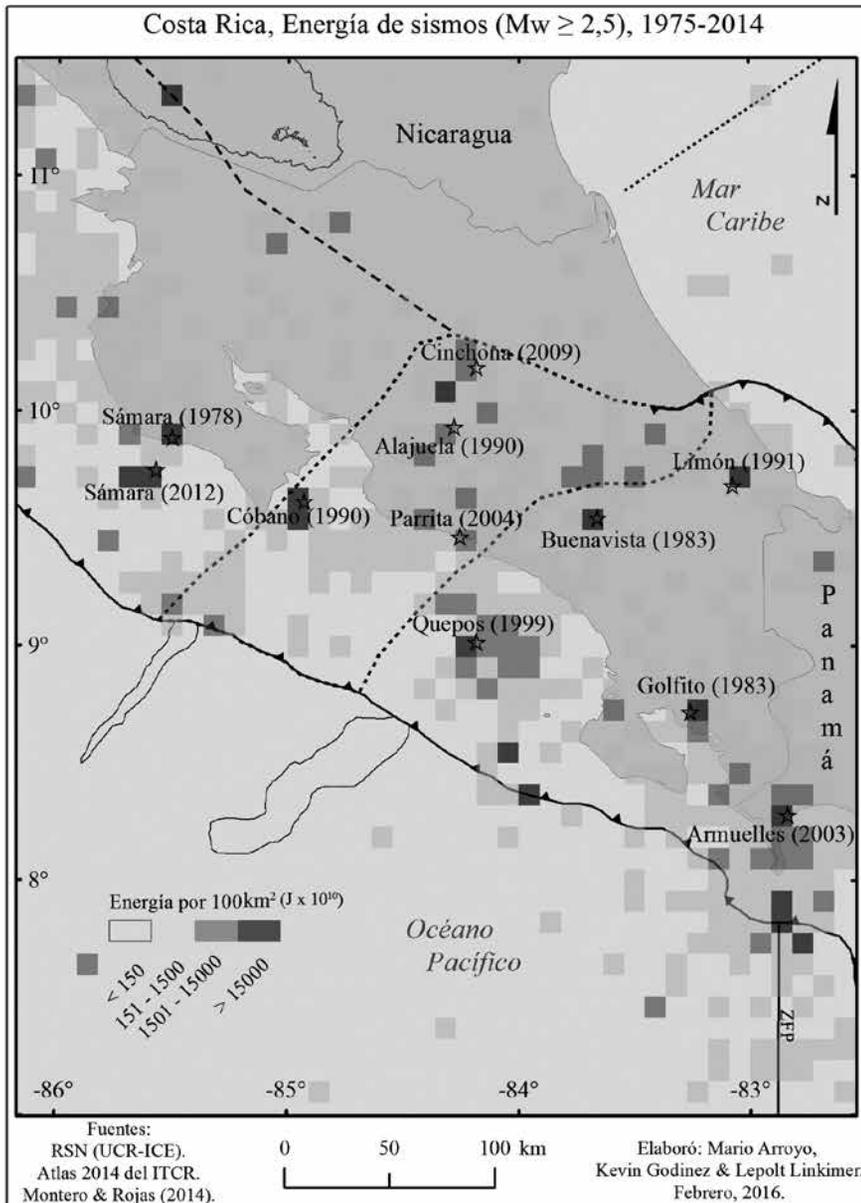


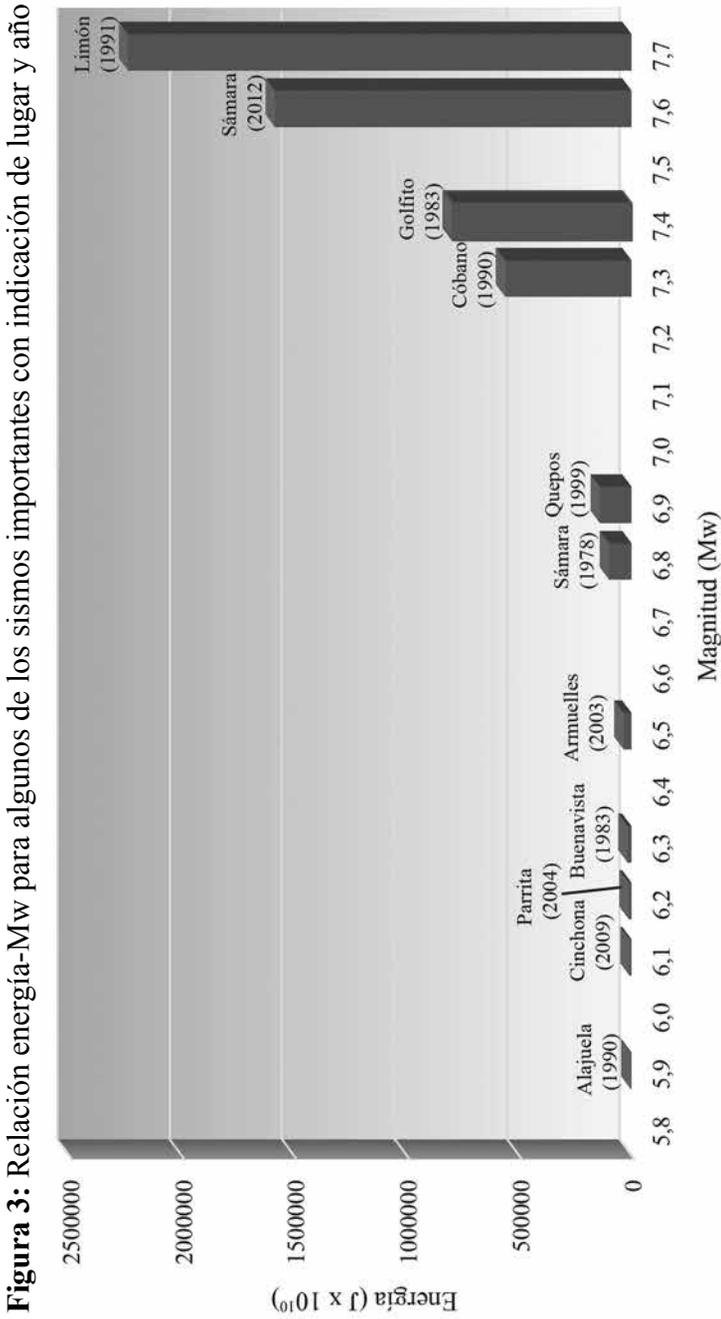
En Costa Rica existen también zonas con baja concentración de sismos durante el periodo de tiempo estudiado. La zona norte del país presenta una sismicidad muy baja, especialmente de sismos superficiales (< 30 km). Además, en los alrededores de la península de Santa Elena, en donde a pesar de la ocurrencia de sismos de magnitud intermedia y alta, la zona posee una densidad de sismos baja en comparación con el resto del país. El área de baja sismicidad más llamativo, por su ubicación, es el localizado en el interior de Costa Rica al norte de la península de Osa. Esta área de quietud sísmica está rodeada por la zona sismogénica interplacas, el CDCCR, el CDNP y los cúmulos numerados como 3, 4 y 5 (Mapa 2). Geográficamente, este “vacío de sismos” corresponde con parte de la Cordillera de Talamanca, que puede ser descrito como una zona estable sismogénicamente durante el periodo de observación.

### **Energía sísmica liberada**

La distribución geográfica de la energía sísmica (ES) liberada se muestra en el Mapa 3. Los seis cuadrantes con la mayor liberación de energía corresponden con la ubicación de los seis terremotos más grandes. Cinco de estos eventos se ubican en la zona sismogénica interplacas a lo largo de la costa pacífica, estos son los terremotos de Sámara de 1978 (Mw 6,8), Golfito de 1983 (Mw 7,4), Cóbano de 1990 (Mw 7,3), Quepos de 1999 (Mw 6,9) y Sámara del 2012 (Mw 7,6, Figura 2). El cuadrante con la mayor liberación de ES se ubica del lado Caribe, relacionado con la zona de deformación cortical del CDNP, en donde ocurrió el terremoto de Limón de 1991 (Mw 7,7, Figura 2). Además, a nivel cortical, también sobresalen cuatro terremotos en la zona del CDCCR, pero de menor Mw. Estos son los terremotos de Buenavista de 1983 (Mw 6,3), Alajuela de 1990 (Mw 5,9), Parrita del 2004 (Mw 6,2) y Cinchona del 2009 (Mw 6,1). Además, sobresale un terremoto al norte de la ZFP (Terremoto de Armuelles, 2003, Mw 6,5).

**Mapa 3:** Energía liberada por los sismos localizados por RSN a partir de Mw 2,5 en el periodo 1975-2014. Los sismos de Mw más alta se representan en forma de estrella. El nombre de las estructuras tectónicas es señalado en el Mapa 1





**Fuente:** Elaboración propia con base en el catálogo de sismos de la RSN.

Los resultados muestran que las zonas de mayor ES liberada durante el periodo 1975-2014 no corresponden exactamente con las zonas de mayor densidad de sismos mostradas en el Mapa 2. En particular, los cúmulos numerados con 1, 2, 4, 5 y 6, no corresponden con zonas de alta liberación de energía, pese a que los sismos con  $M_w < 6,0$  son muy frecuentes en estas áreas. Esto se debe a que la ES crece exponencialmente conforme aumenta la  $M_w$  (Figura 3). Con esto se muestra que las zonas donde más tiembla, no necesariamente son las zonas en donde se libera más ES.

Para visualizar esto con mayor facilidad, el sismo de Limón (1991) de  $M_w 7,7$  liberó aproximadamente 501 veces más energía que el sismo de Alajuela (1990) de  $M_w 5,9$ , siendo la cantidad aproximada de ES liberada para cada uno de  $2,24 \times 10^{16}$  J y  $4,47 \times 10^{13}$  J, respectivamente (Figura 3).

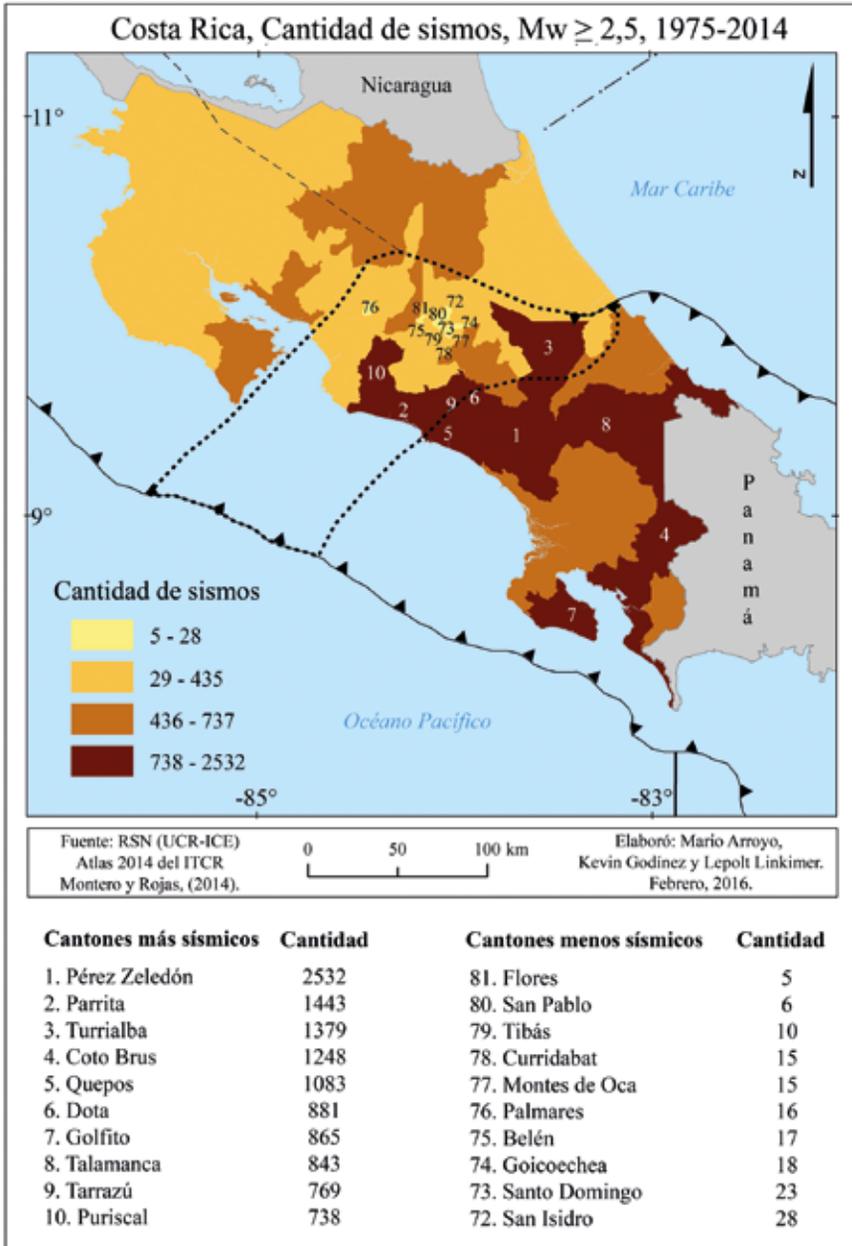
### **Sismicidad por cantones**

Para analizar la sismicidad con base en la división político-administrativa de los cantones del país, se trabajó con todos los sismos de  $M_w \geq 2,5$ . Se omitieron todos los eventos que caen fuera del área terrestre de Costa Rica, es decir, los localizados en el mar, los cuales, tienen injerencia en los cantones costeros, sin embargo, la intención del análisis es enfocado en el espacio geográfico continental, el cual se encuentra dividido en cantones, a diferencia del espacio marítimo.

En el Mapa 4 y Figura 4, se aprecia la cantidad de sismos registrados en el periodo de estudio. Los cinco cantones con la sismicidad más alta son Pérez Zeledón, Parrita, Turrialba, Coto Brus y Quepos. Estos cantones se ubican principalmente en la zona central y sur del país y corresponden con zonas que además no han tenido una cobertura de estaciones óptima para el registro de sismos a lo largo de la historia de la RSN. Por otra parte, los cinco cantones con la sismicidad más baja son Flores, San Pablo, Tibás, Curridabat y Montes de Oca, todos estos ubicados en la parte central del país, la cual es justamente la que a lo largo de la historia ha contado con la mejor cobertura de estaciones sismológicas.

Los resultados anteriores de la cantidad de sismos por cantón, no reflejan necesariamente, las zonas con mayor sismicidad, ya que se puede notar que los cantones con más sismos están caracterizados por áreas grandes en comparación con los cantones con menos sismos. Por esta razón, se presentan, además, los resultados usando la densidad de sismos por cantón en el Mapa 5 y Figura 4.

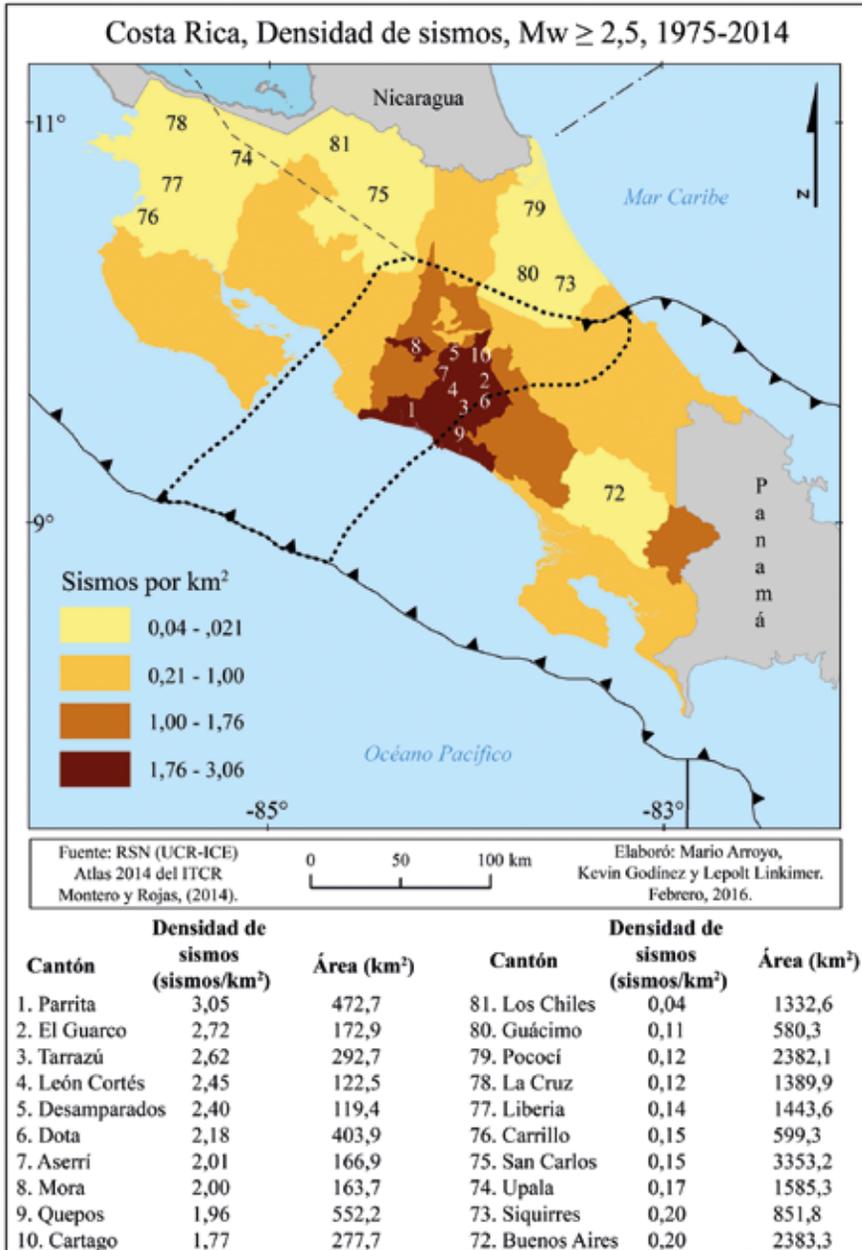
**Mapa 4:** Cantidad total de sismos con  $M_w \geq 2,5$  por cantón y lista de los 10 cantones con la mayor y menor cantidad de sismos localizados por la RSN. El nombre de las estructuras tectónicas es señalado en el Mapa 1



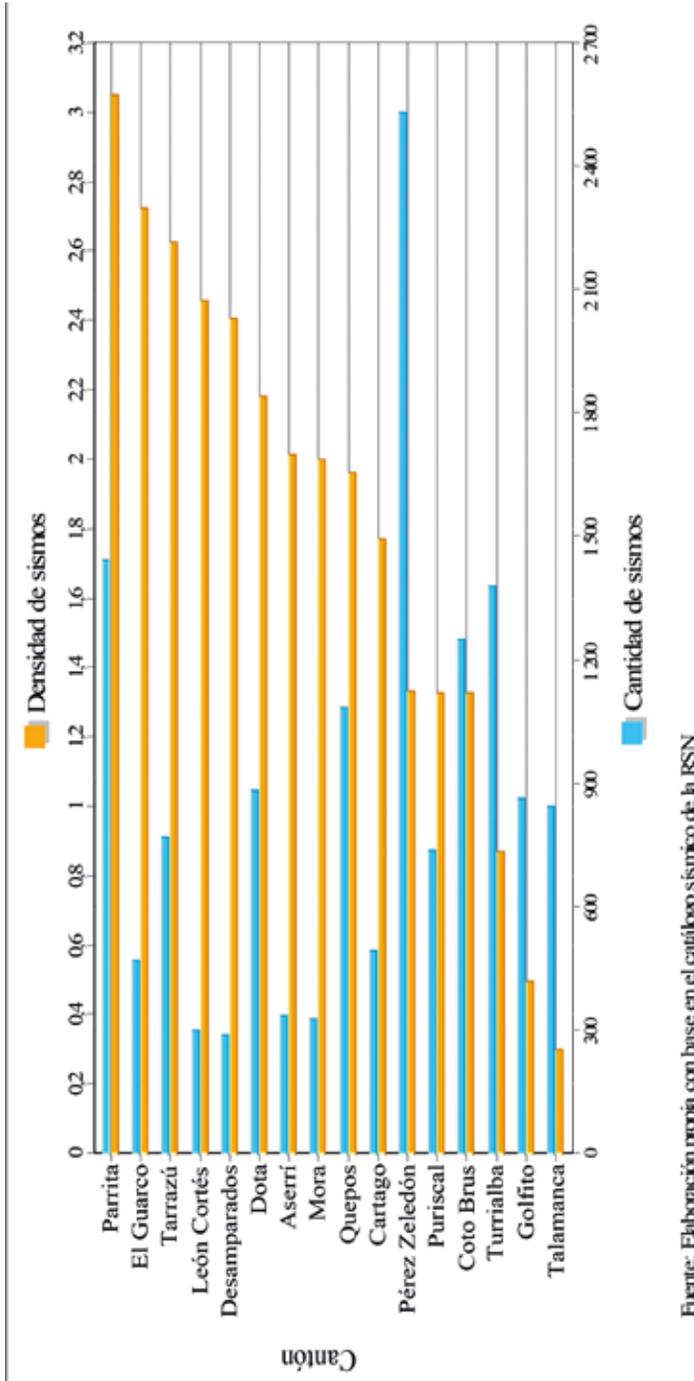
Los resultados muestran como los cantones con la densidad más alta de sismos son Parrita, El Guarco, Turrialba, León Cortés y Desamparados, todos ubicados en la zona Central y del Pacífico Central del país, y con una densidad mayor a 2,4 sismos/km<sup>2</sup>. La sismicidad alta de esta zona, es el resultado de la cercanía a la zona sismogénica interplacas, y, además, a la presencia de las fallas del CDCCR. Por otra parte, los cantones con la menor densidad de sismos son Los Chiles, Guácimo, Pococí, La Cruz y Liberia. En estos casos todos están ubicados en la zona Norte o Pacífico Norte, con una densidad menor a 0,14 sismos/km<sup>2</sup>.

La mayoría de los sismos que se localizan en Costa Rica no son percibidos por la población, debido a su magnitud baja o su localización en zonas poco pobladas. Por esta razón, la cantidad y densidad de sismos por cantón no necesariamente corresponde con una mayor percepción de la sismicidad en dichas zonas. En relación con los sismos que han sido reportados como sentidos a la RSN (Linkimer y Alvarado, 2014), los cantones de Pérez Zeledón, Turrialba y El Guarco han sido el escenario de la mayor cantidad de estos sismos sentidos. Esto concuerda con los resultados obtenidos que muestran que, Pérez Zeledón y Turrialba son cantones con alta cantidad de sismos y El Guarco un cantón con una densidad de sismos alta (Figura 4).

**Mapa 5:** Densidad de sismos con  $M_w \geq 2,5$  por cantón localizados por la RSN en el período 1975-2014. El nombre de las estructuras tectónicas es señalado en el Mapa 1



**Figura 4:** Relación de la densidad y cantidad de sismos para los cantones que presentan la sismicidad más alta, según el catálogo de la RSN entre 1975-2014



Fuente: Elaboración propia con base en el catálogo sísmico de la RSN

## **Conclusiones**

En este estudio se analizó el catálogo sísmico de la RSN compuesto por 111.850 sismos ocurridos entre el 4 de noviembre de 1974 y el 31 de diciembre del 2014. La inspección de la constancia en el tiempo de diversos rangos de  $M_w$  sugiere que este catálogo tiene una MC de 5,0 para el periodo 1975-2014. Este valor debería ser corroborado con el uso de otras metodologías y para rangos de tiempo más específicos.

El análisis espacio-temporal de la sismicidad de Costa Rica reveló que la sismicidad es abundante en la costa Pacífica del país, especialmente, entre la línea de costa y la Fosa Mesoamericana, asociada con la subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe y la microplaca de Panamá. Otras estructuras que se resaltan al graficar la densidad de sismos son el CDCCR, las FAV a lo largo de la cordillera de Guanacaste y del CDNP, en el sector Caribe.

En particular, los resultados muestran una alta densidad de sismos en varios cúmulos ubicados sobre la zona sismogénica interplacas del Pacífico Central, entre las penínsulas de Nicoya y Osa, ubicados aproximadamente en la proyección hacia tierra de la cadena volcánica submarina de Fisher y el Plateau de Quepos, y, además, se presentan cúmulos de alta sismicidad en la zona fronteriza entre Costa Rica y Panamá, aproximadamente, en la proyección hacia el norte de la ZFP. Estas observaciones sugieren que la subducción tanto de montes submarinos como de una falla transformada (ZFP) genera una alta deformación en la placa cabalgante, que resulta en la alta sismicidad concentrada en estas regiones específicas. Una alta concentración de sismos también resalta el llamado “nido de Parismina”, que puede estar relacionado con una falla local en el piso oceánico de la placa Caribe.

La zona de baja sismicidad más llamativa coincide geográficamente con parte de la cordillera de Talamanca, y está rodeada de zonas de alta sismicidad como la zona sismogénica interplacas, el CDCCR y el CDNP. Esta parte de la cordillera de Talamanca puede ser descrita como una zona estable sismogénicamente durante el periodo de observación analizado.

Los resultados muestran que las zonas de mayor ES liberada durante el periodo 1975-2014 no corresponden exactamente con las zonas de mayor densidad de sismos. Esto se debe a que la ES crece exponencialmente conforme aumenta la  $M_w$ . Las áreas con la mayor liberación de ES se

ubican en la zona sismogénica interplacas, a lo largo de la costa pacífica, en donde ocurrieron los terremotos de Sámara de 1978 (Mw 6,8), Golfito de 1983 (Mw 7,4), Cóbano de 1990 (Mw 7,3), Quepos de 1999 (Mw 6,9) y Sámara del 2012 (Mw 7,6). El sector con la mayor liberación de ES se ubica del lado Caribe, relacionado con el CDNP, en donde ocurrió el terremoto de Limón de 1991 (Mw 7,7). A nivel cortical, sobresalen dentro del CDCR cuatro zonas con una alta liberación de ES, en los sitios donde ocurrieron los terremotos de Buenavista de 1983 (Mw 6,3), Alajuela de 1990 (Mw 5,9), Parrita del 2004 (Mw 6,2) y Cinchona del 2009 (Mw 6,1).

La inspección de la sismicidad, considerando la división política-administrativa del país, muestra que los cantones con la cantidad más alta de sismos son Pérez Zeledón, Parrita, Turrialba, Coto Brus y Quepos, y con la densidad más alta de sismos son Parrita, El Guarco, Tarrazú, León Cortés y Desamparados. Por otro lado, los cantones con la cantidad más baja de sismos son Flores, San Pablo, Tibás, Curridabat y Montes de Oca, y con la menor densidad de sismos son Los Chiles, Guácimo, Pococí, La Cruz y Liberia.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a todo el personal profesional, técnico y administrativo tanto en la UCR como en el ICE, que han colaborado con la RSN a lo largo de más de 30 años, y que han permitido el registro y localización de los sismos contenidos en el catálogo analizado. Este trabajo ha sido posible gracias a los recursos económicos que la RSN recibe provenientes de la Ley Nacional de Emergencias N° 8488 y los recursos económicos y de personal brindados por la UCR, en particular el apoyo de la Rectoría a través de horas asistente. Este estudio resulta, en primera instancia, de una iniciativa de investigación como parte de una Práctica Profesional Supervisada de la carrera en Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional (UNA), por lo cual, agradecemos al personal docente de la Escuela de Ciencias Geográficas de la UNA que nos apoyó en la realización del mismo. Este artículo es también el resultado de los proyectos de investigación Vigilancia sísmica de Costa Rica (113-B5-704) y Estudio del catálogo de sismos de la Red Sismológica Nacional de Costa Rica (113-B5-A02) inscritos ante la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

## Referencias

- Benito, M. (2008). *Evaluación regional de la amenaza sísmica en Centro América*. Informe final de Proyecto con América Latina 2008. Univ. Politécnica de Madrid, España. (pp. 84).
- Benito, M. y Jiménez, E. (1999). Peligrosidad sísmica. En: *Física de la Tierra*, 11, 13-47.
- Bilek, S. L., Schwartz, S. y Deshon, H. (2003). Control of seafloor roughness in earthquake rupture behavior. En: *Geology*, 31, 455-458.
- Bolt, B. (1993). *“Earthquake”*. University of California, Berkeley. New York: W.H. Freeman and Company.
- Caneva, A., Salcedo, E., Van Heissenoven, R. y Alfaro, A. (2003). Estudio de sismicidad regional para el análisis de la amenaza sísmica para Bogotá. En: *Ingeniería y Universidad*. 7, N° (2), 133-150.
- Cárdenas, C., Garzón, Y., Santa, L. y Castillo, L. (2010). Modelo de Poisson para la ocurrencia y magnitud espacio-temporal de los sismos en Colombia. En: *UD y la Geomática*. (4), 1-52.
- Chouliaras, G. (2009). Investigating the earthquake catalog of the National Observatory of Athens. En: *National Hazards Earth System Science*.(9), 905–912.
- Fan, G., Beck, S. y Wallace, T. (1993). The seismic source parameters of the 1991 Costa Rica aftershock sequence: Evidence for a transcurrent plateboundary. En: *J. Geophys. Res.*, 98, 15759-15778.
- Gardner, T., Marshall, J., Merritts, D., Bee, B., Burgette, R., Burton, E., Cooke, J., Kehrwald, Protti, M., Fisher, D. y Peter, S. (2001). Holocene forearc block rotation in response to seamount subduction, southeastern Peninsula de Nicoya, Costa Rica. En: *Geology*, 29, 151-154.
- Goes, S., Velazco, A. y Schwartz, S. (1993). The April 22, 1991, Valle de la Estrella, Costa Rica (MW 7.7) earthquake and its tectonic implications. A broadband study. En: *J. Geophys. Res.* 98, 8127-8142.
- Gutenberg, B. y Richter, C. (1956): Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration (second paper). En: *Bulletin of the Seismological Society of America*. 46,(2), 105-145.
- Linkimer, L. y Alvarado, G. (2014). Distribución espacio-temporal de la sismicidad sentida en Costa Rica (1976-2013) en el marco histórico del 30 aniversario (1982-2012) de la Red Sismológica Nacional

- (RSN: UCR-ICE). En: *Revista Geológica de América Central*. N° Especial: 30 Aniversario, 45-71}.
- Lücke, O. (2012). Moho structure of Central America based on three-dimensional lithospheric density modelling of satellite-derived gravity data. En: . (103), 1733–1745.
- Marshall, J. S., Fisher, D. M. y Gardner, T. (2000): Central Costa Rica deformed belt: kinematics of diffuse faulting across the western Panama block. En: *Tectonics*, 19 (3), 468–492.
- Mignan, A., y Woessner, J. (2012). Estimating the magnitude of completeness for earthquake catalogs. En: *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis*. Recuperado de: <http://www.corssa.org>, DOI:10.5078/corssa-00180805.
- Montero, W. (2001): Neotectónica de la región central de Costa Rica: frontera oeste de la microplaca de Panamá. En: *Revista Geológica de América Central*. 24, 29–56.
- Montero, W. y Rojas, W. (2014). Las fallas Picagres y Purires y su relación con la secuencia sísmica de Puriscal de 1990. En: *Revista Geológica de América Central*, (50), 39-69.
- Morales, L. (1986): Historia de la Sismología en Costa Rica. En: *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*, 24,° (59), 93-104.
- Morell, K. D., Fisher, D. M., Gardner, T. W., La Femina, P., Davidson, D. y Teletzke, A. (2011). Quaternary outer fore-arc deformation and uplift inboard of the Panama Triple Junction, Burica Peninsula. En: *J. Geophys. Res.*, 116, B05402, doi: 10.1029/2010JB007979.
- Ranjit, D., Wason, H. y Sharma, M. (2012). Temporal and spatial variations in the magnitude of completeness for homogenized moment magnitude catalogue for Northeast India. En: *Journal of Earth System Science*, N° (121), 19-28.
- Rojas, W. (1993). *Catálogo de Sismicidad Histórica y Reciente en América Central: Desarrollo y Análisis*. (Tesis de Licenciatura. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica).
- Rojas, W., Cowan, H., Lindholm, C., Dahle, A. y Bungum, H. (1993). *Regional Seismic Zonation for Central America A Preliminary Model*. Informe Norsar, Norway, Dec. 1993.
- Segura, J., Quintero, R., Burgoa, B., Jiménez, W. (2014). Análisis de la actividad sísmica en Costa Rica durante el 2010 y resumen de los

- eventos sísmicos más importantes presentados en Costa Rica de 1983 – 2012. *Revista Geográfica de América Central*. (52). 71-102.
- Spence, W., Sipkins, S. y Choy, G. (1989). Measuring the size of an earthquake. En: *Earthquakes and Volcanoes*. 21, (1), 58-63.
- Stepp, J. (1972). Analysis of Completeness of the Earthquake Sample in the Puget Sound Area and its Effect on Statistical Estimates of Earthquake Hazard. En: Caneva, A., Salcedo, E., Van Heissenoven, R. y Alfaro, A. (2003). Estudio de sismicidad regional para el análisis de la amenaza sísmica para Bogotá. En: *Ingeniería y Universidad*. 7, (2), 133-150.
- Valladares, R. (2013). *Determinación de parámetros sísmicos asociados con la amenaza sísmica en la región nororiental de Venezuela*. (Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias, Departamento de Física. Universidad de Oriente Núcleo de Sucre, Cumana, Venezuela)
- Woessner, J. y Wiemer, S. (2005). Assessing the quality of earthquake catalogues: estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. En: *Bulletin of the Seismological Society of America*. 95,(2), 684–698.



## **Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México**

Functional zones and physical-geographic landscape units in the micro-basin *Potrero de la Palmita, Nayarit, Mexico*

*Alejandro César Valdés Carrera*<sup>1</sup>

*Universidad Autónoma de Querétaro*

*Juan Alfredo Hernández Guerrero*<sup>2</sup>

*Universidad Autónoma de Querétaro, México*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.7>

### **RESUMEN**

Las zonas funcionales y las unidades de paisaje de una microcuenca permiten analizar de manera sistémica los procesos presentes y futuros en los subsistemas y la dinámica histórico-evolutiva de sus componentes (ambientales, sociales y económicos), a la vez que permiten trabajar con diferentes escalas de análisis. El presente trabajo tiene como objetivo la delimitación de zonas funcionales y la clasificación de unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México, para describir, diagnosticar y contribuir en la planificación y gestión de acciones con el uso de los recursos naturales. Para contestar el objetivo se utilizó el método de delimitación de zonas funcionales a nivel nacional (México) y el método para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje físico-geográfico adaptada a escala local (1:10,000). El resultado fue la delimitación de tres zonas funcionales; captación (alta), transición (media) y descarga (baja). Además,

- 1 Maestro en Gestión Integrada de Cuencas. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Campus Aeropuerto. Dirección: Carretera a Chichimequillas s/n, Ejido Bolaños. C.P. 76140. Correo electrónico: [alejandrovaldes321@gmail.com](mailto:alejandrovaldes321@gmail.com)
- 2 Doctor en Geografía. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Campus Aeropuerto. Dirección: Carretera a Chichimequillas s/n, Ejido Bolaños. C.P. 76140. Correo electrónico: [juan.hernandez@uaq.mx](mailto:juan.hernandez@uaq.mx)

Recibido: 22 de abril de 2017  
Aprobado: 5 de octubre de 2017

se identificaron 39 unidades de paisaje para las tres zonas; 17 corresponden a la zona alta, 18 a la zona media y 4 a la zona baja. La investigación representó una metodología viable para trabajar a escala de gran detalle, pues con el análisis de la estructura vertical y horizontal de las unidades de paisaje físico-geográfico se logró obtener una base de la dinámica y procesos que se llevan a cabo en la microcuenca para contribuir en estrategias encaminadas a la gestión, planeación y uso de los recursos de un territorio.

**Palabras clave:** Microcuenca, Zonas funcionales, Unidades de paisaje.

#### **ABSTRACT**

The functional zones and the landscape units of a micro-basin allow systematically analyzing the current and future processes in the subsystems and historical-evolutionary dynamics of its components (environmental, social and economic), while allowing to work with different scales of analysis. This work aims at defining functional zones and the classification of physical-geographical landscape units in the *Potrero de la Palmita* micro-basin, *Nayarit*, Mexico to describe, diagnose and contribute to the planning and management of actions for the use of natural resources. In order to fulfill the objective, the method of defining functional zones at national level (Mexico) and the method for the semi-automated generation of physical-geographic landscape units adapted at a local scale (1: 10,000) were used. The result was the delimitation of three functional zones; reception (high), transition (mid) and discharge (low). In addition, 39 landscape units were identified for the three zones -17 correspond to the upper zone, 18 to the middle zone, and 4 to the lower zone. The research represented a viable methodology to work on a scale of great detail. This because the analysis of the vertical and horizontal structure of the units of physical-geographical landscape helped obtain a basis of the dynamics and processes that are carried out in the micro watershed to contribute in strategies aimed at the management, planning, and use of the resources of a territory.

**Keywords:** Micro-basin, Functional zones, Landscape units.

## **1. Introducción**

La cuenca hidrográfica es un sistema compuesto por subsistemas y elementos complejos y heterogéneos que se convierte en un territorio idóneo para ejercer la labor conjunta de gestión y manejo de los recursos naturales (García, 2006; Gilland *et al.*, 2009). La gestión y el manejo de cuencas establecen como prioridad la conservación del ambiente (Pineda *et al.* 2015). Para comprender la dinámica de la cuenca mediante un enfoque sistémico deben reconocerse tres zonas funcionales: a) La de captación, de cabecera o cuenca alta; b) La de almacenamiento, de transición o cuenca media; y c) La de descarga, de emisión o cuenca baja (Garriido *et al.*, 2010 en Cotler *et al.*, 2013). Asimismo, siguiendo el enfoque sistémico, el estudio de cuencas hidrográficas tiene un importante reto, representado por la delimitación de unidades ambientales homogéneas de menor escala a las zonas funcionales, realizando una caracterización de sus componentes y funcionamiento particular, sin olvidar el lugar que

ocupan dentro del sistema (Cotler, 2007; ESA, 2013). De esa forma, el análisis paisajístico físico-geográfico permite analizar a detalle la estructura vertical y horizontal del paisaje que conforma la dinámica dentro de las zonas funcionales de la cuenca (Cotler, 2017). Esas unidades de orden natural poseen un comportamiento sistémico, integrado por componentes naturales abióticos y bióticos, formados bajo la influencia de los procesos físicos y de las actividades humanas modificadoras que se encuentran en permanente interacción (Mateo y Bollo, 1987 en Carbajal *et al.*, 2009).

Existen ejemplos que fundamentan el trabajo en cuencas a través de un enfoque sistémico que, a su vez, incluyen las características de la cuenca por medio del estudio de paisajes. Algunos ejemplos destacados se describen a continuación: Elaboración de lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico para la región de América Latina, el Caribe y México (Andrade, 2004). La propuesta para la planificación de cuencas en Colombia, indicando que para ejecutar un plan de ordenación y manejo de cuencas debe tomarse como base el enfoque fisicogeográfico-paisajístico (Londoño, 2001). Por su parte, un estudio de cuencas en Cuba fue desarrollado a partir del enfoque de manejo integral de cuencas, donde se describen las características físico-geográficas y socioeconómicas de la cuenca (González, 2008). Gaspari *et al.* (2013) plantean los elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas en Argentina, donde hace evidente aplicar un enfoque integrador y multisectorial. Asimismo, Hasdenteufel *et al.* (2008) realizan el modelo de ordenamiento ambiental de la cuenca hidrográfica superficial del río Quibú, perteneciente a la provincia de la Habana, Cuba, con un enfoque de gestión ambiental y manejo integrado, siguiendo una metodología geocológica, donde se definieron las unidades de paisaje o paisajes presentes en la microcuenca de análisis. Jaque (2010) elabora el diagnóstico territorial de la cuenca del río Andalién en Chile, siguiendo el modelo geosistémico o de análisis integrado de sistemas naturales propuesto por Bertrand; Muñoz y Azócar (2014) realizan la gestión del territorio comprendido por la cuenca del Río Baker en Chile, con base en una metodología de análisis y gestión del paisaje. Franch *et al.* (2015) realizan el análisis del paisaje geosistémico de la cuenca del río Martín en Aragón, España, partiendo de la metodología de la geografía física compleja que consiste en definir los paisajes físico-geográficos que constituyen la cuenca. Finalmente, Cotler y Priego (2004)

realizan el análisis de los paisajes físico-geográficos e hidrológicos con el enfoque de manejo integrado de cuencas en la Cuenca Lerma-Chapala, se parte de la delimitación de zonas funcionales (función hidro-ecológica), para posteriormente delimitar unidades de paisaje.

Con base en lo anterior, se fundamentan los estudios de cuencas, en los cuales los paisajes físico-geográficos sirven como herramienta para lograr un análisis sintético e integral de la unidad de análisis territorial cuenca. Asimismo, se establece la relación de las zonas funcionales y sus componentes paisajísticos, descritos por su estructura vertical y el arreglo espacial, resultado de las relaciones entre éstos (estructura horizontal), permitiendo evaluar sus condiciones naturales de forma detallada, con miras a la conservación, planeación, resolución de problemáticas y optimización de su uso. De igual forma, se evidencia la necesidad del trabajo a escalas de análisis detalladas con una representación cartográfica a gran escala. El trabajar a escala local por medio de paisajes físico-geográficos facilita atender las cualidades y deficiencias socioambientales que presentan las zonas funcionales de la microcuenca, buscando su resolución y aprovechamiento por medio de acciones de manejo acordes a su realidad espacio-temporal, basadas en la comprensión de los procesos sistémicos cumplidos por los componentes de la microcuenca.

En ese sentido, la microcuenca Potrero de la Palmita, presenta problemáticas ambientales identificables en sus zonas funcionales y paisajes heterogéneos, como el cambio de uso de suelo, susceptibilidad ante peligros naturales y baja productividad, derivada del desarrollo de actividades productivas en zonas no aptas, generando problemáticas sociales como pobreza, migración y afectaciones culturales. No obstante, se detectó la ausencia de estudios actuales que doten de información sobre la situación ambiental y social de la microcuenca, con base en las características de las unidades de paisaje que forman sus zonas funcionales, debido a que los estudios más recientes se centran en temáticas de desarrollo regional (COPLADENAY, 2008), y de impacto a la población étnica por infraestructura como represas hidroeléctricas (Zepeda, 2012), por lo que representa una zona vulnerable al efecto de políticas regionales y procesos de origen natural y antrópico.

Por consiguiente, el presente trabajo tiene como objetivo la delimitación de zonas funcionales y la clasificación de unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, aportando las

bases descriptivas y de diagnóstico que contribuyan en la planificación y gestión de acciones para el uso óptimo de los recursos naturales a escala local (1: 10,000).

## **2. Área de estudio**

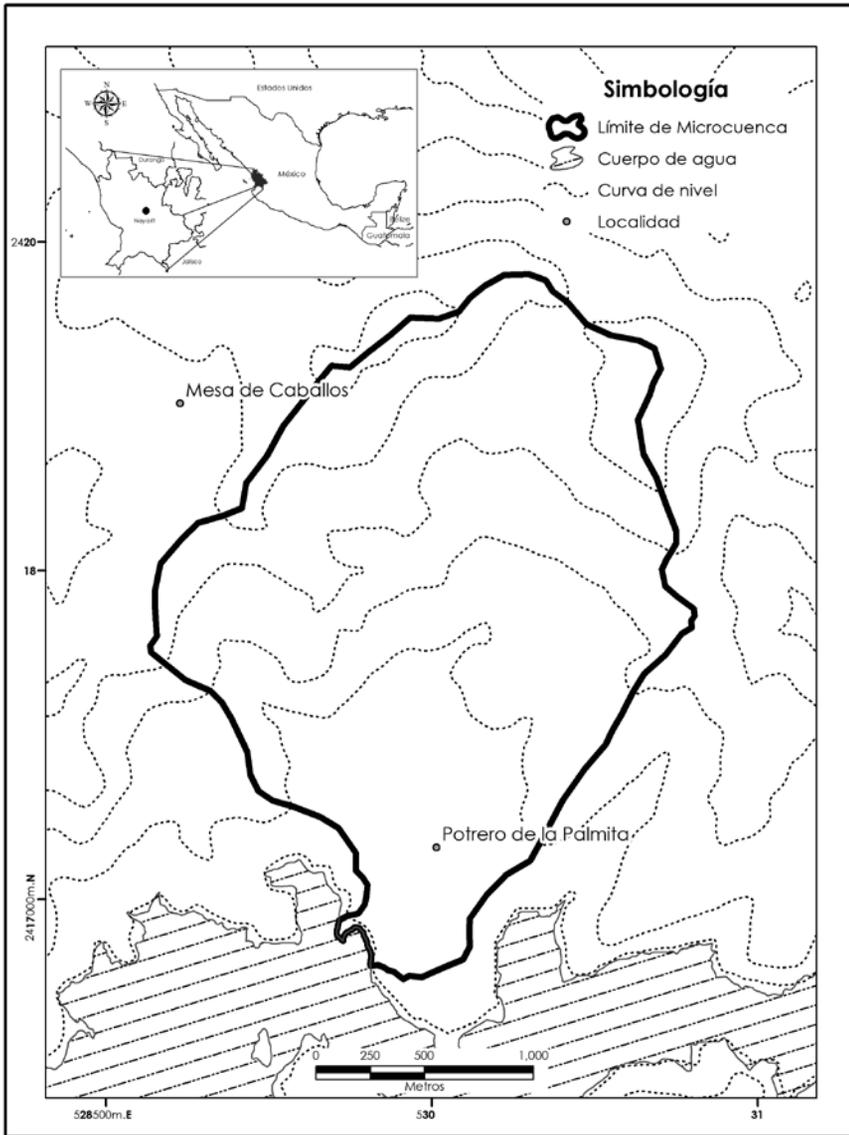
El área de estudio es la microcuenca Potrero de la Palmita, la cual se ubica al oeste de la República Mexicana y forma parte del municipio del Nayar al este del Estado de Nayarit (Figura 1). La localidad más importante es Potrero de la Palmita, comunidad huichol (grupo étnico de la región centro-oeste de México) cercana a la desembocadura de la microcuenca (en la Presa Aguamilpa), sitio donde drena sus aguas al Río Huaynamota. Las vías de comunicación están constituidas por brechas y veredas.

Sus principales características físicas están representadas por la región hidrológica y la topografía, las cuales influyen en la dinámica biofísica, social y económica, condicionando la presencia de gradientes climáticos y procesos geomorfológicos, que a la vez regulan la existencia de diferentes suelos, condiciones hídricas, vegetación y fauna. Así, la microcuenca se ubica en la Región N° 12, Lerma-Chapala-Santiago, y pertenece a la cuenca del Río Santiago-Aguamilpa y a la Subcuenca del Río Grande de Santiago, localizándose al norte de la unidad y cubriendo una superficie de 4.73 km<sup>2</sup>. Topográficamente, se sitúa entre los 752 msnm y 210 msnm, siendo sus elevaciones principales el Cerro Cuate (540 msnm), ubicado al oeste de la microcuenca, y Peñasquillo (740 msnm) al norte.

Fisiográficamente, la microcuenca se localiza en la provincia Sierra Madre Occidental, que corresponde a la unidad superior del relieve, según Priego *et al.* (2010) de montañas y lomeríos. Así, se identificaron seis tipos de unidades inferiores del relieve o geoformas; complejos cumbrales, complejos de laderas y barrancos-ladera convexa, complejos de laderas y barrancos-ladera cóncava, complejos de laderas y barrancos-ladera recta, complejos de laderas y barrancos-valles y complejos de superficies y cauces.

Las geoformas anteriores presentan cinco rangos de pendientes con valores que van de <3°, clasificándose como muy ligeramente inclinados, valores de 3° a 5°, clasificados como ligeramente inclinados, valores de 5° a 10°, clasificados como medianamente inclinados, valores de 10° a 30°, clasificados como fuertemente inclinados y valores >30°, clasificados como muy fuertemente inclinados.

**Figura 1.** Localización de la microcuenca Potrero de la Palmita



**Fuente:** Elaborado con base en el INEGI (2015).

El basamento litológico de la microcuenca estuvo representado por tres tipos de rocas ígneas extrusivas con composición ácida, sea el caso de riolita, toba riolítica e ignimbrita, las cuales datan de 18.7 a 10.2 millones

de años, ubicándolas en la era del cenozoico, el periodo terciario y la época del mioceno (SGM, 2006).

En cuanto al clima, predomina un solo tipo para la microcuenca, el cual se clasifica como  $Aw_0$  o cálido subhúmedo, al que le corresponde una temperatura media anual mayor a  $22^{\circ}\text{C}$ , presenta régimen de lluvias de verano y sequía en invierno que significa que el mes de máxima precipitación se presenta dentro del periodo de mayo a octubre, y este recibe por lo menos diez veces mayor cantidad de precipitación que el mes más seco del año, con porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2, precipitación del mes más seco  $<60$  y grado de humedad (P/T) menor de 43.2 (INEGI, 2008).

La acción del clima sobre las rocas, aunado a la posición en el relieve, la acción de la biota, el tiempo y el manejo, determinan la formación de diferentes suelos, en ese sentido, se tienen tres unidades edáficas que caracterizan la microcuenca, las cuales son leptosol, regosol eútrico y feozem háplico (INEGI, 1974 y FAO, 2016).

Las características de los suelos descritos, en conjunto con las condiciones climáticas de la microcuenca, posibilitan el desarrollo de coberturas vegetales naturales como bosque de latifoliadas-encino y selva baja caducifolia. Estas suelen ser modificadas respecto al uso destinado por la población cambiando a selva baja caducifolia perturbada, pastizal inducido, agricultura de temporal y asentamientos humanos.

Los asentamientos humanos son representados por la presencia de la comunidad huichol en la microcuenca a partir de 1990, donde se conservan sus tradiciones, creencias ancestrales y lengua, cuyo crecimiento poblacional ha aumentado en las últimas décadas, por lo cual, la densidad poblacional ha ido a la alza, concentrándose en viviendas adaptadas al paisaje, cuyas actividades económicas son condicionadas por la tenencia de la tierra que los constituye como comunidad agraria, por lo que predominan las actividades primarias como la pesca, agricultura y ganadería, resaltando actividades terciarias turísticas y artesanales, todas ellas conservando una amplia relación con su cultura.

### 3. Métodos

#### 3.1 Delimitación de zonas funcionales a escala local

Para la elaboración de la cartografía de zonificación de la parte alta, media y baja de la microcuenca, se retomó el método aplicado por Garrido *et al.* (2009), adaptándolo para obtener un resultado detallado a nivel microcuenca, lo cual permitió la delimitación a escala de salida 1: 10,000. El método inicio por la generación del Modelo Digital de Elevación (MDE), a partir del mapa de curvas de nivel escala 1: 50,000, proporcionado vía web por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para el cuadrante que cubre la microcuenca, a continuación, se obtuvieron los insumos cartográficos referentes a curvas de nivel a cada cinco metros, un *hillshade* y la red hidrográfica inferida obtenida a partir de las curvas generadas.

Posteriormente, se recortó el MDE para la microcuenca, realizando la curva hipsométrica con el propósito de tener una primera aproximación a los tres rangos altimétricos correspondientes a cada zona funcional (alta, media y baja). A partir de los rangos altitudinales, se enriquecieron y modificaron los límites de las zonas con base en el análisis e interpretación de las curvas de nivel, la red hidrográfica inferida, morfometría de la cuenca y el modelo de sombreado del relieve, de manera que, en función de los siguientes criterios se describen las tres zonas funcionales:

- a. Zona de captación hídrica (cabecera)/cuenca alta: área aledaña a la divisoria de aguas, incluyendo al parteaguas, laderas montañosas y las zonas de lomeríos correspondientes a las áreas transicionales entre las corrientes de 1er y 2do orden; mayor energía del relieve, pendiente y altimétricamente dentro de las más elevadas de la cuenca.
- b. Zona de captación-transporte hídrico/cuenca media: zona transicional en donde se desarrolla e integra la red hidrográfica de 2do, 3ero, y 4to orden; zonas de lomeríos, colinas y áreas inter-fluviales, también incluye los piedemontes, con pendiente del terreno y energía del relieve medias y altimétricamente posicionada entre las partes alta y bajas de las cuencas. Incluye zonas de abanicos coalescentes.
- c. Zona de emisión hídrica/cuenca baja: área receptora del sistema hidrográfico, que incluye el área del cauce principal (corriente de mayor orden) en su desembocadura al mar (el caso de una cuenca

exorreica) o a un cuerpo colector interno (perenne o intermitente) más importante (cuenca endorreica), así como las áreas de las planicies aluviales, lechos ordinarios y extraordinarios de inundación con escasa inclinación de la pendiente del terreno y mínimas alturas relativas y con escasa energía del relieve.

La morfometría de la microcuenca se obtuvo mediante ecuaciones estándar que se aplicaron con base en la delimitación de la microcuenca, así como de las corrientes intermitentes y efímeras obtenidas de las curvas de nivel a cada 5 metros (Tabla 1).

**Tabla 1.** Parámetros morfométricos

Parámetro	Indicador	Fórmula/Definición	Unidades
<b>Forma</b>	Área de la cuenca(Ac)	Superficie comprendida dentro del partaguas	km <sup>2</sup>
	Perímetro de la cuenca(Pc)	Longitud de la línea del partaguas	km
	Longitud axial de la cuenca (Lc)	Distancia del punto más alejado del exutorio de la cuenca que sigue el comportamiento del río principal y toca el extremo del partaguas	km
	Ancho promedio de la cuenca (W)	$W=Ac/Lc$	km <sup>2</sup> /km
	Coefficiente de compaciad o índice de gravelius(K)	$K=0.282*Pc/\sqrt{Ac}$	-
	Factor de forma(Rf)	$Rf=W/Lc$	-
	Relación de elongación(Re)	$Re=1.128*\sqrt{Ac}/Lc$	-
<b>Relieve</b>	Índice de alargamiento(Ia)	$Ia= Lm/Am$	-
	Pendiente de la cuenca(S)	$S=100 [(H*L)/Ac]$	%
	Longitud del cauce principal (Lcp)	Distancia de la proyección horizontal del cauce principal	km
	Pendiente media del cauce principal(P)	$P= [(Hmáx*Hmín)/Lcp] *100$	%
<b>Drenaje</b>	Densidad de drenaje(Dd)	$Dd=Lcorr/Ac$	km/km <sup>2</sup>
	Densidad de corrientes (Dc)	$Dc=Ca/Ac$	corr/km <sup>2</sup>
	Orden de la cuenca	según Strahler	-
	Relación de bifurcación(Rb)	$Rb=N_n/N_{n+1}, Rb_n=(Rb_1+Rb_2+Rb_n)/número\ de\ Rb_s$	-
	Tiempo de Concentración (tc)	$Tc= 0.06628*(Lcp^{0.77}/S^{0.385})$	hrs

\*Lm: longitud máxima de la cuenca; Am: ancho máximo tomado perpendicularmente a la dirección de Lm. H: equidistancia entre curvas medias, L: longitud de las curvas de nivel. Hmáx: cota máxima sobre el río principal, Hmín: cota mínima sobre el río principal, Lcorr: longitud total de corrientes dentro de la cuenca, Ca: sumatoria del total de corrientes dentro de la cuenca, Tc: según Kirpich (1940).

**Fuente:** Elaborado con base en Henao (2006), Gaspari *et al.* (2010) y Gaspari *et al.* (2013), Waikar y Nilawar (2014).

Por lo tanto, los límites de las zonas funcionales fueron modificados y detallados, a partir de la interpretación visual en gabinete, sin dejar de considerar que la escala de despliegue de la información fuera congruente con la escala fuente de los mismos. A partir de la zonificación funcional se realizó trabajo de campo para corregir errores derivados de la interpretación del relieve y otros insumos utilizados en el proceso de generación, todos ellos con un análisis geomorfológico, comprobando la funcionalidad de la microcuenca.

La herramienta que se utilizó para desarrollar el método antes mencionado fue la plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG) Arc Gis (v.10.3), aplicando como las variables necesarias los archivos en formato *raster* referentes al MDE y *Hillshade*, los archivos vectoriales de curvas de nivel y red hidrográfica inferida; como insumo también fue necesaria la curva hipsométrica y morfometría de la microcuenca. Lo anterior se analizó mediante la técnica de sobreposición, análisis visual cartográfico y trabajo en campo.

### **3.2 Delimitación de unidades de paisaje a escala local**

Delimitadas las zonas funcionales de la microcuenca, se prosiguió a identificar las unidades de paisaje que las constituyen. Para ello, se adaptó el método de generación semiautomatizada de unidades de paisaje de Priego *et al.* (2010), haciendo énfasis en la delimitación detallada de unidades de paisaje a escala local (1: 10,000). El método consistió en acotar las unidades de paisaje que conforman la microcuenca y posteriormente recortarlas para cada zona funcional, en ese sentido se definió en primer lugar la estructura horizontal de las unidades de paisaje, siguiendo los principios histórico-evolutivos y estructuro genéticos del mismo (Mateo, 2002 en Hernández *et al.*, 2006). Se identificó como primer paso la unidad superior del relieve en la que está ubicada la zona de estudio (Tabla 2), para ello se consultó la información vectorial referente a las provincias fisiográficas, elaborado por INEGI (2001), con una cobertura nacional.

**Tabla 2.** Unidades superiores del relieve

Montañas y Lomeríos
Rampas de piedemontes
Valles
Planicies (acolinadas, onduladas y subhorizontales)

**Fuente:** Elaborado con base en Priego *et al.* (2010).

Identificada la unidad superior de relieve que, para la zona de estudio corresponde a Montañas y Lomeríos, se prosiguió a delimitar las unidades inferiores del relieve o geoformas con base en los criterios para su delimitación expuestos en la tabla 3, a partir de la consulta de los criterios fue necesario interpretar el comportamiento de las curvas de nivel (a cada 5 metros), en conjunto con el *hillshade* y mapa de pendientes, permitiendo generar un *shapefile* con la delimitación inicial de las geoformas.

**Tabla 3.** Criterios para delimitación de unidades inferiores de relieve

Unidades superiores	Unidades inferiores	Criterios/Definición
Montañas y Lomeríos	Complejos cumbrales	Complejos de cimas y puertos, incluidos los sectores de parteaguas, que en ellos queden incluidos. Resaltan la unión de varias cimas y puertos, siguiendo la curva de nivel inferior más cercana que agrupe a todas esas geoformas. Es difícil encontrar complejos cumbrales con inclinación menor a 1°.
	Complejo de laderas y barrancos	Unidades que no están en los complejos cumbrales y que poseen más de 3° de inclinación de la pendiente. No se diferencian ni cartografían los valles de corrientes temporales, sino que van incluidos en el complejo. Se dividen al igual que el caso anterior, pero sin incluir las pendientes menores a 3°. Los complejos de laderas y barrancos incluyen las siguientes unidades morfológicas inferiores: laderas con más de 3° de inclinación; parteaguas; cornisas y barrancos existentes al interior de las laderas.
	Complejo de superficies y cauces	Son todas las unidades, al interior de la montaña o lomerío, que no están incluidas en las unidades anteriores y que, además, poseen menos de tres grados de pendiente. Generalmente, ocupan una porción pequeña de estas unidades en comparación con el área de las unidades anteriores.

**Fuente:** Elaborado con base en Priego *et al.* (2010).

Posteriormente, se realizó un primer análisis de las unidades inferiores resultantes, resultando algunas generales, por lo cual, se prosiguió a detallarlas, generando nuevos grupos de unidades inferiores subdividiendo las geoformas ya existentes de acuerdo a la función y estructura de las unidades por delimitar y el aporte que tendrían al análisis dentro de la microcuenca (Tabla 4). Una vez definidas las unidades inferiores de relieve, se sobrepuso la capa de pendiente, indicando las más predominantes para cada unidad y clasificándolas de acuerdo a la tabla 5.

**Tabla 4.** Análisis de unidades inferiores del relieve

Unidades inferiores	Detalles	Nuevas unidades inferiores
<b>Complejos cumbrales</b>	Permanece sin cambio considerando domos y puertos	No se generan nuevas unidades
<b>Complejo de laderas y barrancos</b>	Se diferencian laderas cóncavas, convexas y rectas. Además de valles.	Complejo de laderas y barrancos-ladera cóncava; Complejo de laderas y barrancos-ladera convexa; Complejo de laderas y barrancos-ladera recta; y Complejo de laderas y barrancos-valles
<b>Complejo de superficies y cauces</b>	Permanece sin cambio considerando escalón coluvial y planicie aluvial.	No se generan nuevas unidades

Fuente: Elaborado con base en Priego *et al.* (2010).

**Tabla 5.** Clasificación conforme pendiente

Clasificación	Complejos cumbrales	Complejos de laderas y barrancos	Complejos de superficies y cauces
Muy fuertemente inclinados	>30°	>30°	
Fuertemente inclinados	10°-30°	10°-30°	
Medianamente inclinados	5°-10°	5°-10°	5°-10°
Ligeramente inclinados	3°-5°	3°-5°	3°-5°
Muy ligeramente inclinados	<3°		<3°

Fuente: Elaborado con base en Priego *et al.* (2010).

Posteriormente, se integraron los demás componentes de su estructura vertical en forma de atributo sin generar nuevos polígonos, para ello, se inició por superponer las capas que constituyen los componentes más

estables a lo largo del tiempo, los cuales se representan por la geología y climas, seguidamente se sobrepusieron los componentes del paisaje que presentan una mayor dinámica en una escala histórico temporal, es así que se retoma la información edáfica, de vegetación, uso de suelo y las características socio-económicas. Consecutivamente, al tener la estructura vertical fue posible obtener la estructura horizontal, expresada espacialmente en las unidades de paisaje, a las cuales, se les aplicó el principio del área mínima cartografiable (4x4 mm) para tener una mejor representación espacial (Tabla 6).

**Tabla 6.** Área mínima cartografiable para escalas grandes

Escala	1 cm igual a		1mm igual a		Área mínima cartografiable (4x4mm)	
	m	Km	m	km	M <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>
<b>1:500</b>	5	0.005	0.5	0.0005	4	0.000004
<b>1:1,000</b>	10	0.01	1	0.001	16	0.000016
<b>1:5,000</b>	50	0.05	5	0.005	400	0.0004
<b>1:10,000</b>	100	0.1	10	0.01	1,600	0.0016

**Fuente:** Elaborado con base en Salitchev, 1979 en Priego *et al.* (2010).

Finalmente, mediante el uso de la plataforma de SIG se sobrepusieron las unidades de paisaje a las zonas funcionales, con ello se obtuvieron unidades de paisaje por cada zona funcional, a las cuales se les asignó también una clave de identificación, procurando que con ello fuera fácilmente identificable la zona y unidad que representa.

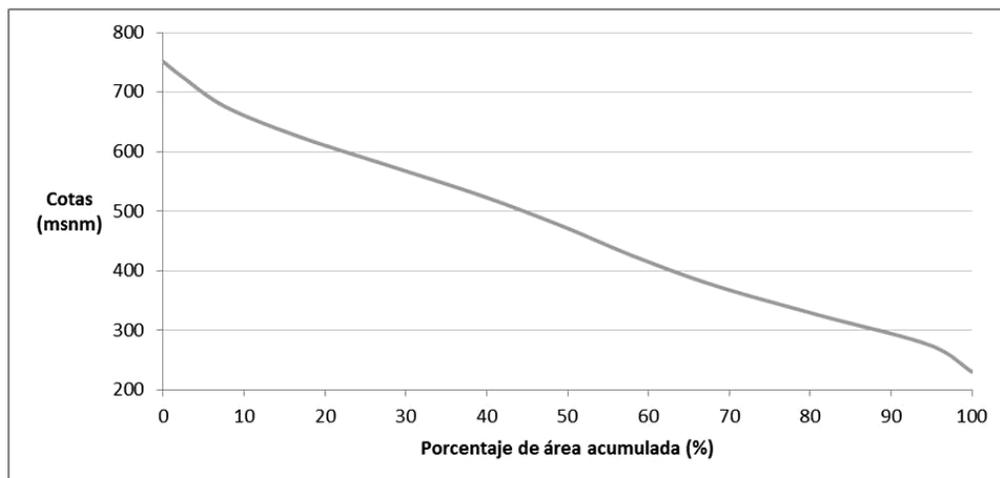
La herramienta que se utilizó para llevar a cabo los métodos fue la plataforma de Sistemas de Información Geográfica Arc Gis v.10.3, el manejador de bases de datos Excel, el kit de muestreo de suelos, instrumentos de laboratorio, GPS, pica y flexómetro, utilizando como las variables necesarias a los archivos en formato vectorial y raster referentes a cada componente, fuentes bibliográficas y registros censales y estadísticos de la población. Lo anterior se abordó por medio de las técnicas de análisis cartográfico, análisis descriptivo y análisis en campo.

## **4. Zonas funcionales y unidades de paisaje de la microcuenca Potrero de la Palmita**

### **4.1 Zonas funcionales de la microcuenca Potrero de la Palmita**

La curva hipsométrica permitió identificar el comportamiento del relieve y señalar una primera aproximación para definir las zonas funcionales. Los resultados mostrados en la figura 2, indican una microcuenca en su etapa de madurez, lo que significa que se encuentra en una etapa de equilibrio donde predominan los procesos de transporte de sedimentos y de agua, a la vez que no se descarta el efecto de la erosión hídrica en las zonas con mayor altitud. De igual forma, con base en el comportamiento del gradiente altitudinal y el área que acumula, se tiene una primera aproximación de la funcionalidad de la microcuenca, identificando que la zona funcional baja se localiza de los 210 a los 300 msnm, la zona media de los 300 a 480 msnm y la zona alta de los 480 a 752 msnm.

**Figura 2.** Curva Hipsométrica Microcuenca Potrero de la Palmita



**Fuente:** Elaboración propia.

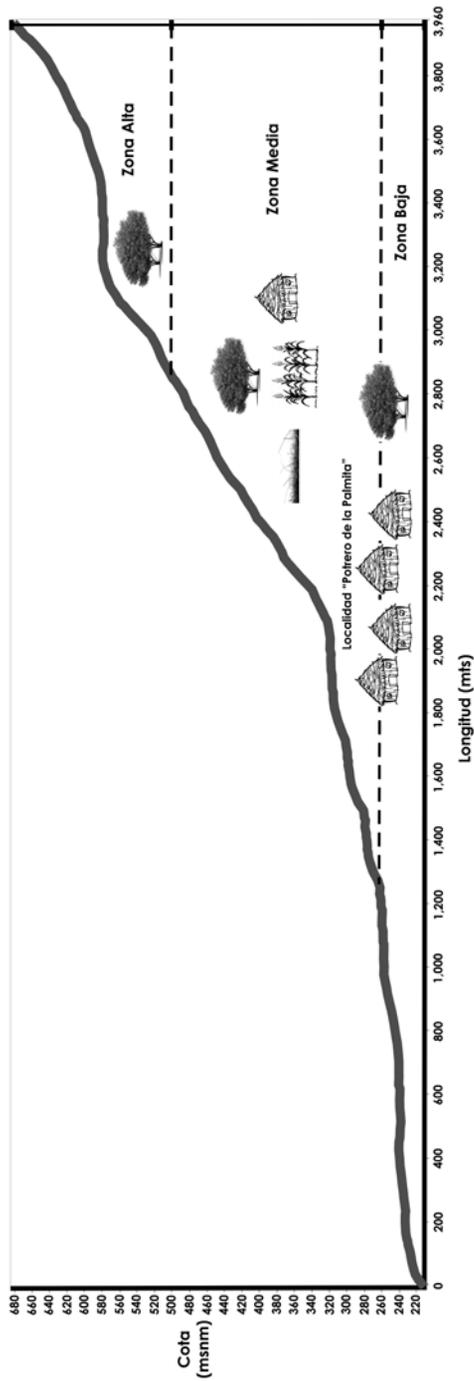
La morfometría de la microcuenca permitió inferir la posible respuesta de esta ante una precipitación mediante la interpretación de los indicadores morfométricos de forma, entre los cuales el factor de forma (0.51), el coeficiente de compacidad (1.21), la relación de elongación

(0.80) y el índice de alargamiento (1.95) indicaron que la microcuenca tiende a ser moderadamente alargada, con una forma oval oblonga a rectangular oblonga, o forma oval-alargada a alargada, presentó fuertes relieves y pendientes pronunciadas, por lo que favorece la respuesta rápida, debido al relieve accidentado que predomina en ella, siendo susceptible a crecientes súbitas con efectos en la parte baja, lo cual indica que la zona funcional alta y media tenderán a ocupar mayor superficie en comparación con la parte baja.

El relieve de la microcuenca se describió mediante la pendiente y el cauce principal, los cuales están directamente relacionadas con su evolución geológica, la capacidad de infiltración del suelo, la recarga del acuífero y el aporte a la escorrentía superficial que se desarrolla en cada zona funcional. De manera específica, la pendiente media de la microcuenca es de 29.66%, eso indica un relieve fuertemente accidentado, mientras que la pendiente del cauce principal fue de 14.33%, lo que significa también un relieve accidentado. Lo anterior, finalmente, permite identificar una cuenca donde predomina la erosión y transporte de materiales que se depositan en la parte media y baja de la misma.

A través de los indicadores morfométricos sobre el drenaje, la microcuenca se clasificó como exorréica con drenaje dendrítico, el cual es colectado por el cauce principal, clasificado como cauce mediano con una longitud de 3.96 kilómetros (Figura 3). También, la microcuenca se caracteriza por contar con una red hídrica de cuarto orden, con relación de bifurcación de 2.19 y densidad de drenaje alta de 5.51 km/km<sup>2</sup>. Con lo anterior, la microcuenca presenta una estructura con un drenaje óptimo, cuyo tiempo de concentración de 0.065 horas (3.93 minutos), indica que es capaz de drenar eficientemente el agua de una precipitación extrema dentro de la misma llevándola al exutorio.

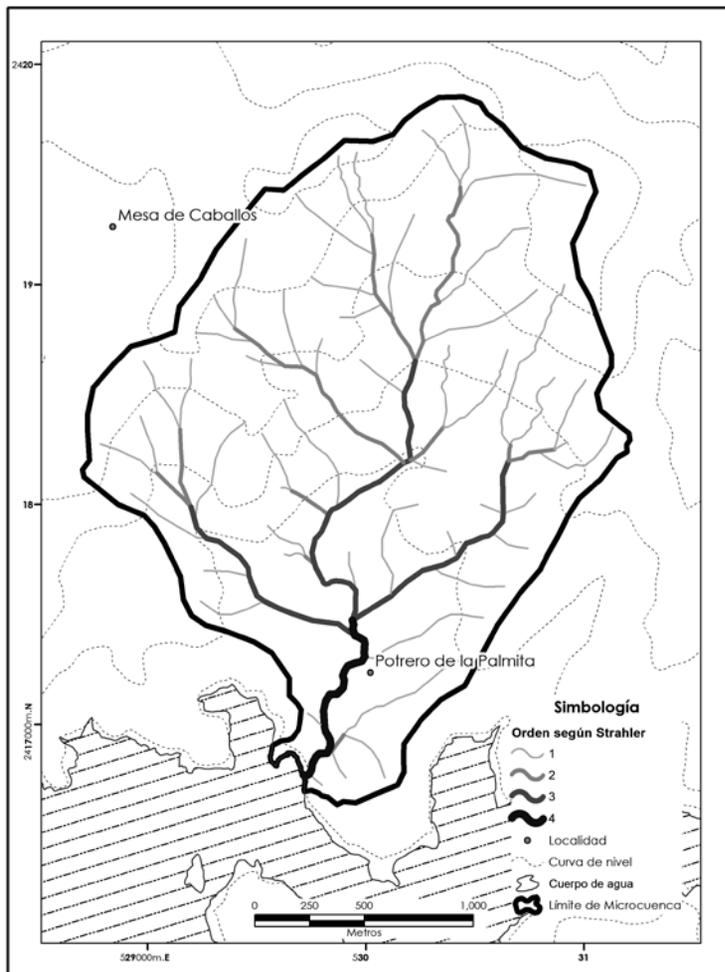
Figura 3. Perfil longitudinal del cauce principal



Fuente: Elaboración propia.

El análisis visual del perfil longitudinal del cauce principal y los órdenes de las corrientes conforme el cambio altitudinal (Figura 4) permitió detallar los límites de las zonas funcionales en la microcuenca, siguiendo principalmente los cambios abruptos en el cauce del río y la presencia de nuevos órdenes. Todo ello resultó en una re-delimitación de las zonas funcionales; zona alta a partir de los 500 msnm, la zona media de los 500 a los 260 msnm, y la zona baja por debajo de los 260 msnm.

**Figura 4.** Orden de cauces de la Microcuenca Potrero de la Palmita

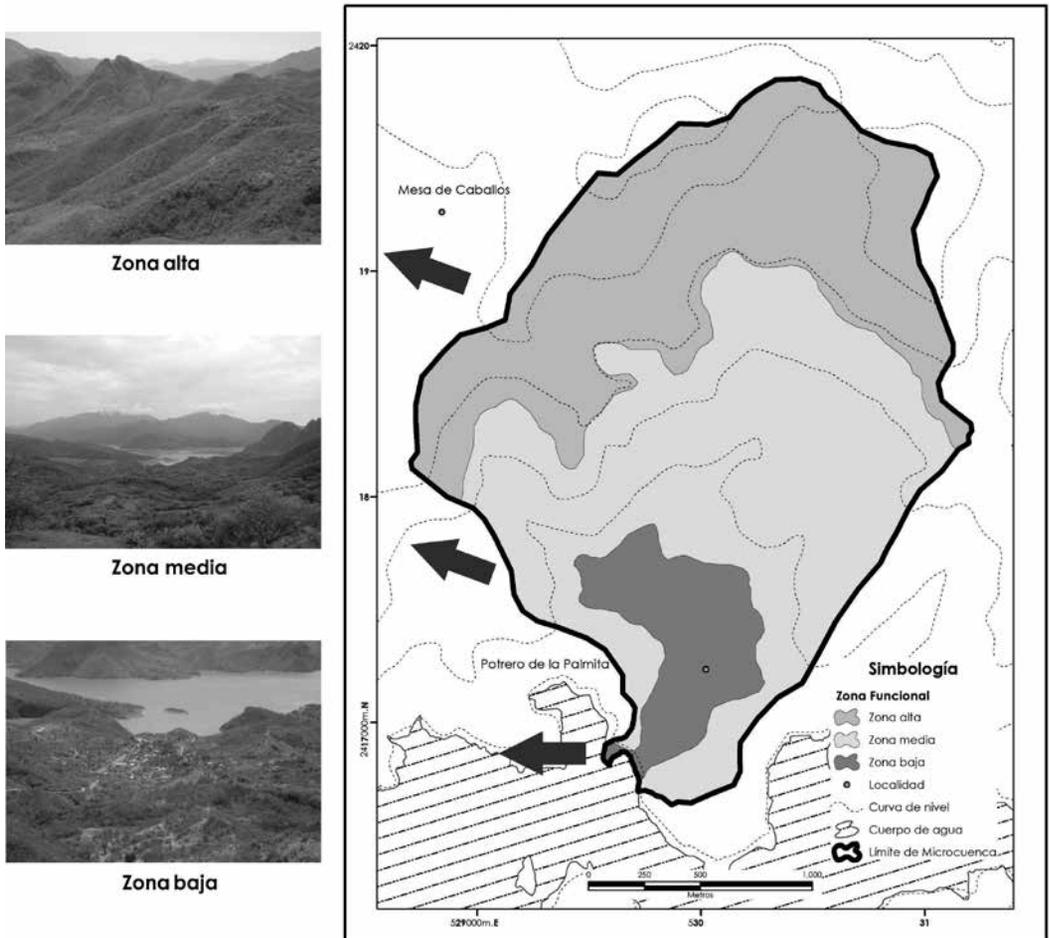


**Fuente:** Elaborado con base en el INEGI (2015).

Posterior a la delimitación de las zonas funcionales, derivadas del análisis hipsométrico y morfométrico de la microcuenca, se constató en campo la veracidad del producto obtenido, mediante recorridos a pie por los límites de las zonas funcionales, derivado de ello se detectó que los límites de la zona alta y media estuvieron bien definidos y que la zona baja podría delimitarse a partir de la cota 280.

Finalmente, la delimitación de las zonas funcionales permitió tener zonas bien definidas, donde se llevan a cabo procesos como la erosión, transporte, deposición, infiltración y escurrimiento. La zona alta constituyó el área de captación, donde se presentaron las corrientes de primer orden y predominaron procesos erosivos, cubre una superficie de 190.04 ha y se ubica por arriba de los 500 msnm, teniendo como máximo 752 msnm. A su vez, la zona media donde predominaron procesos de erosión y transporte, derivados de la presencia de corrientes de segundo y tercer orden, que también benefician la captación, ocupó la mayor superficie dentro de la microcuenca correspondiente a 235.98 ha, ubicándose entre los 500 y 280 msnm. Finalmente, la zona baja se caracterizó por presentar procesos de deposición de materiales y concentrar al río de mayor orden (río principal) encargado de la emisión del agua por el exutorio, se ubicó entre los 280 y 210 msnm, presentando la menor superficie dentro de la microcuenca con 47.13 has (Figura 5).

**Figura 5.** Zonas funcionales de la microcuenca Potrero de la Palmita



**Fuente:** Elaboración propia.

Lo cual, permitió concordar con la postura de García (2006) y Cotler *et al.* (2013), quienes señalan que la cuenca está representada por la heterogeneidad, complejidad, dinamismo y número de interrelaciones presentes en su territorio, el cual es delimitado por el parteaguas, pudiendo abordar su estudio a partir de la delimitación de sus zonas funcionales, lo cual lleva a realizar un análisis integral de su estructura y función.

De igual forma, los resultados anteriores se asemejan a los obtenidos por Garrido *et al.* (2009), quienes realizan la delimitación de las zonas

funcionales de las cuencas hidrográficas de México a escala 1:250,000, aportando la metodología y definición base necesarias para la delimitación de zonas funcionales, sin embargo, no fue posible concordar enteramente con su método, ya que fue planteado para una escala de análisis de menor detalle a la de la investigación, por lo cual se adaptó el método a escala local obteniendo resultados favorables para la zona de estudio.

Lo anterior, presentó la ventaja de obtener resultados que evitaran la generalización derivada del trabajo a escalas medianas y pequeñas (1: 250,000, 1: 1'000,000) como lo realizado por los autores referidos, generando información cartográfica detallada a escala 1: 10,000, generada a partir de fuentes cartográficas disponibles, considerando además las características de forma, relieve y drenaje, así como la facilidad de llevar a cabo correcciones en campo debido al trabajo a nivel microcuenca.

#### **4.2 Unidades de paisaje en las zonas funcionales de la microcuenca Potrero de la Palmita**

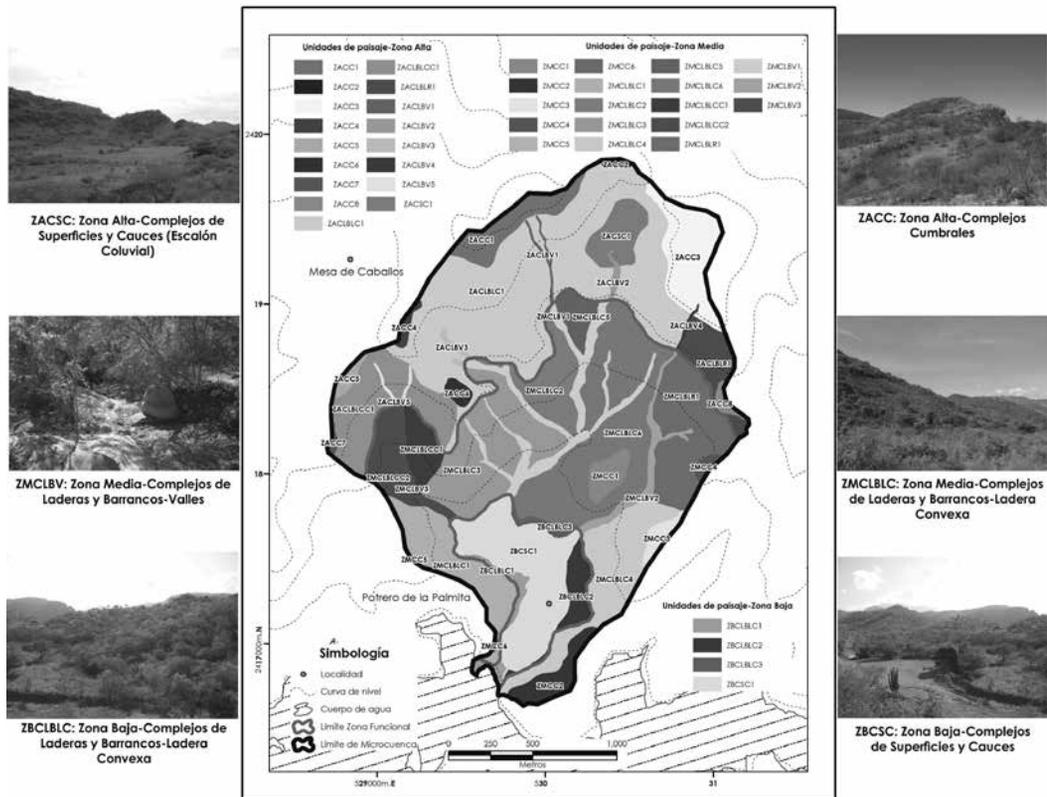
La estructura horizontal está representada por un total de 39 unidades de paisaje distribuidas en las tres zonas funcionales (alta, media y baja), de las cuales 17 conformaron la zona alta, 18 la zona media y 4 la zona baja (Tabla 7). Estas unidades de paisaje representan zonas ambientales homogéneas que permiten realizar una caracterización detallada y a menor escala de la estructura y dinámica de las zonas funcionales, por medio de la descripción de sus componentes socioambientales, en ese sentido, la zona funcional alta se caracterizó por presentar unidades de paisaje donde predominan los complejos cumbres, caracterizados por domos con pendientes muy pronunciadas; la zona media se caracterizó, principalmente, por laderas y valles con pendientes pronunciadas y medianamente pronunciadas y, finalmente, la zona baja se representó por superficies planas y laderas muy ligeramente inclinadas (Figura 6).

**Tabla 7.** Unidades de paisaje por zona funcional

Zona Funcional	Clave- Unidad de Paisaje	Nombre
Alta	ZACC1	Zona Alta-Complejos Cumbrales 1
	ZACC2	Zona Alta-Complejos Cumbrales 2
	ZACC3	Zona Alta-Complejos Cumbrales 3
	ZACC4	Zona Alta-Complejos Cumbrales 4
	ZACC5	Zona Alta-Complejos Cumbrales 5
	ZACC6	Zona Alta-Complejos Cumbrales 6
	ZACC7	Zona Alta-Complejos Cumbrales 7
	ZACC8	Zona Alta-Complejos Cumbrales 8
	ZACSC1	Zona Alta-Complejos de Superficies y Cauces 1
	ZACLBV1	Zona Alta-Complejos de Laderas y Barrancos-Valles 1
	ZACLBV2	Zona Alta-Complejos de Laderas y Barrancos-Valles 2
	ZACLBV3	Zona Alta-Complejos de Laderas y Barrancos-Valles 3
	ZACLBV4	Zona Alta-Complejos de Laderas y Barrancos-Valles 4
	ZACLBV5	Zona Alta-Complejos de Laderas y Barrancos-Valles 5
	ZACLBLR1	Zona Alta-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Recta 1
	ZACLBLCC1	Zona Alta-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Cóncava 1
	ZACLBLC1	Zona Alta-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Convexa 1
Media	ZMCC1	Zona Media-Complejos Cumbrales 1
	ZMCC2	Zona Media-Complejos Cumbrales 2
	ZMCC3	Zona Media-Complejos Cumbrales 3
	ZMCC4	Zona Media-Complejos Cumbrales 4
	ZMCC5	Zona Media-Complejos Cumbrales 5
	ZMCC6	Zona Media-Complejos Cumbrales 6
	ZMCLBV1	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Valles 1
	ZMCLBV2	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Valles 2
	ZMCLBV3	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Valles 3
	ZMCLBLR1	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Recta 1
	ZMCLBLC1	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Convexa 1
	ZMCLBLC2	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Convexa 2
	ZMCLBLC3	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Convexa 3
	ZMCLBLC4	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Convexa 4
	ZMCLBLC5	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Convexa 5
	ZMCLBLC6	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Convexa 6
	ZMCLBLCC1	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Cóncava 1
ZMCLBLCC2	Zona Media-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Cóncava 2	
Baja	ZBCSC1	Zona Baja-Complejos de Superficies y Cauces 1
	ZBCLBLC1	Zona Baja-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Convexa 1
	ZBCLBLC2	Zona Baja-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Convexa 2
	ZBCLBLC3	Zona Baja-Complejos de Laderas y Barrancos-Ladera Convexa 3

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6.** Unidades de paisaje por zona funcional de la microcuenca Potrero de la Palmita



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1 Unidades de paisaje en la zona funcional alta

La zona funcional alta es la segunda en número de zonas de la microcuenca (17 unidades de paisaje), en ella predominan los complejos cumbrales y complejos de laderas y barrancos, con pendientes de 5° a >30°. Lo anterior muestra una zona donde predominan los procesos erosivos. Asimismo, su constitución litológica de riolita, toba riolítica e ignimbrita permiten procesos de infiltración y captación de agua; los suelos predominantes se caracterizan por ser poco evolucionados (leptosol y regosol), por lo que en conjunto con el clima cálido subhúmedo condicionan un hábitat propicio para el desarrollo de bosque natural de latifoliadas-encino, selva baja caducifolia y pastizal inducido.

1.- ZACC1 (Zona alta-complejos cumbrales 1). Está conformada por complejos cumbrales, cuya pendiente predominante en más del 80% oscila entre los 5° y 30°, clasificada como medianamente a fuertemente inclinada, constituidos por la asociación riolita-toba riolítica, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos leptosol (53.31%) y regosol eútrico (46.69 %); con presencia de bosque natural de latifoliadas-encino (27.48%), selva baja caducifolia (62.9%) y selva baja caducifolia perturbada (9.62%), ubicándose al noroeste de la zona funcional, con una superficie de 11.41 ha.

2.- ZACC2 (Zona alta-complejos cumbrales 2). Caracterizada por complejos cumbrales con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 80% de su superficie, clasificada como medianamente a fuertemente inclinada, constituidos por la asociación riolita-toba riolítica (58.1%) y toba riolítica-ignimbrita (41.9%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos leptosol (63.56%) y regosol eútrico (36.44%); que dan pie al desarrollo de selva baja caducifolia (73.22%), selva baja caducifolia perturbada (0.04%) y pastizal inducido (26.74%), ubicándose al norte de la zona funcional, cubriendo un área de 0.69 ha.

3.- ZACC3 (Zona alta-complejos cumbrales 3). Representada por complejos cumbrales con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 90% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación riolita-toba riolítica (76.24%) y toba riolítica-ignimbrita (23.76%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos leptosol (63.57%) y regosol eútrico (36.46%); con presencia de selva baja caducifolia (9.4%), selva baja caducifolia perturbada (25.26%) y pastizal inducido (65.34%), ubicada al noreste de la zona funcional, cuya superficie es de 18.83 has.

4.- ZACC4 (Zona alta-complejos cumbrales 4). Compuesta por complejos cumbrales con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 60% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación riolita-toba riolítica, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos leptosol (78.31%) y regosol eútrico (21.69%); con predominio total de selva baja caducifolia perturbada, ubicada al oeste de la zona funcional, con una superficie de 1.42 has.

5.- ZACC5: (Zona alta-complejos cumbrales 5). Constituida por complejos cumbrales con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 65% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados,

de basamento rocoso representado por la riolita (25.07%) y la asociación toba riolítica-ignimbrita (74.93%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos leptosol (75.14%) y regosol eútrico (24.86%); con presencia de selva baja caducifolia (36.47%) y selva baja caducifolia perturbada (63.53%), ubicada al suroeste de la zona funcional, cubriendo un área de 1.84 ha.

6.- ZACC6: (Zona alta-complejos cumbrales 6). Caracterizada por complejos cumbrales con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 65% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, de basamento representado por la asociación toba riolítica-ignimbrita (74.93%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelo leptosol; con presencia de selva baja caducifolia (70.05%) y selva baja caducifolia perturbada (29.95%), ubicada al suroeste cuya superficie es de 1.86 ha.

7.- ZACC7: (Zona alta-complejos cumbrales 7). Representada por complejos cumbrales con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 90% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, de basamento rocoso representado por la riolita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelo regosol eútrico con presencia de selva baja caducifolia (32.90%) y selva baja caducifolia perturbada (67.10%), ubicada al suroeste de la zona con una superficie de 0.65 ha.

8.- ZACC8: (Zona alta-complejos cumbrales 8). Compuesta por complejos cumbrales con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 85% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, de basamento rocoso representado por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelo regosol eútrico; con presencia de selva baja caducifolia perturbada, ubicada al sureste de la zona funcional, cubriendo un área de 1.48 ha.

9.- ZACSC1: (Zona alta-complejos de superficies y cauces 1). Constituida por complejos de superficies y cauces con pendiente de <3° a 10° en más del 95% de su superficie, clasificados como muy ligeramente a medianamente inclinados, constituidos por las asociaciones riolita-toba riolítica (34.06%) y toba riolítica-ignimbrita (65.94%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelo regosol eútrico; con presencia de selva baja caducifolia (16.47%) y pastizal inducido (83.53%), ubicada al centro de la zona funcional, cuya superficie es de 9.51 ha.

10.- ZACLBV1 (Zona alta-complejos de laderas y barrancos-valles 1). Caracterizada por complejos de laderas y barrancos-valles con pendiente

de 10° a 45°, clasificados como fuertemente a muy fuertemente inclinados, constituidos por las asociaciones riolita-toba riolítica (73.52%) y toba riolítica-ignimbrita (26.48%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos regosol eútrico (62.52%) y leptosol (37.48%); con presencia de selva baja caducifolia, ubicada al oeste de la zona funcional, con una superficie de 1.26 ha.

11.- ZACLBV2 (Zona alta-complejos de laderas y barrancos-valles 2). Caracterizada por complejos de laderas y barrancos-valles con pendiente predominante de 10° a 30° en más del 80% de su superficie, clasificados como fuertemente inclinados, constituidos por toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelo regosol eútrico con presencia de selva baja caducifolia (99.4%) y pastizal inducido (0.5%), ubicada al centro de la zona funcional, cubriendo un área de 1.06 ha.

12.- ZACLBV3 (Zona alta-complejos de laderas y barrancos-valles 3). Representada por complejos de laderas y barrancos-valles, con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 85% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por las asociaciones riolita-toba riolítica (9.7%) y toba riolítica-ignimbrita (90.3%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelo regosol eútrico, con presencia de selva baja caducifolia (84.28%) y selva baja caducifolia perturbada (15.72%), ubicada al oeste de la zona funcional, cuya superficie es de 1.31 ha.

13.- ZACLBV4 (Zona alta-complejos de laderas y barrancos-valles 4). Compuesta por complejos de laderas y barrancos-valles, con pendiente de 10° a 30°, clasificados como fuertemente inclinados, constituidos por las asociaciones riolita-toba riolítica (77.16%) y toba riolítica-ignimbrita (22.84%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos leptosol (87.92%) y regosol eútrico (12.08%); con presencia de selva baja caducifolia (96.77%) y pastizal inducido (3.23%), ubicada al este de la zona funcional con una superficie de 0.51 ha.

14.- ZACLBV5 (Zona alta-complejos de laderas y barrancos-valles 5). Constituida por complejos de laderas y barrancos-valles, con pendiente de 10° a 45°, clasificados como fuertemente a muy fuertemente inclinados, conformados por riolita (0.19%) y las asociaciones riolita-toba riolítica (58.08%) y toba riolítica-ignimbrita (41.72%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos leptosol (25.61%) y regosol eútrico (74.39%), con presencia de selva baja caducifolia (98.64%) y selva baja caducifolia perturbada (1.36%), ubicada al suroeste de la zona funcional, cubriendo un área de 0.86 ha.

15.- ZACLBLR1 (Zona alta-complejos de laderas y barrancos-ladera recta 1). Caracterizada por complejos de laderas y barrancos - ladera recta con pendiente predominante de 10° a 30° en más del 95% de su superficie, clasificados como fuertemente inclinados, las asociaciones riolita-toba riolítica (45.52%) y toba riolítica-ignimbrita (54.48%), clima Aw0-cálido subhúmedo suelos leptosol (66.07%) y regosol eútrico (33.93%); con presencia de selva baja caducifolia (19.17%), selva baja caducifolia perturbada (59.65%) y pastizal inducido (21.18%), ubicada al sureste de la zona funcional, cuya superficie es de 9.97 ha.

16.- ZACLBLCC1 (Zona alta-complejos de laderas y barrancos-ladera cóncava 1). Representada por complejos de laderas y barrancos - ladera cóncava con pendiente predominante de 10° a 45° en más del 98% de su superficie, clasificados como fuertemente a muy fuertemente inclinados, constituidos por riolita (43.36%) y las asociaciones riolita-toba riolítica (18.17%) y toba riolítica-ignimbrita (38.47%), clima Aw0-cálido subhúmedo suelos regosol eútrico (56.69%) y leptosol (43.31%); con presencia de selva baja caducifolia (85.99%), selva baja caducifolia perturbada (13.64%) y agricultura de temporal (0.37%), ubicada al suroeste de la zona funcional, con una superficie de 24.67 ha.

17.- ZACLBLC1 (Zona alta-complejos de laderas y barrancos-ladera convexa 1). Compuesta por complejos de laderas y barrancos - ladera convexa con pendiente predominante de 10° a 45° en más del 94% de su superficie, clasificados como fuertemente a muy fuertemente inclinados, constituidos las asociaciones riolita-toba riolítica (59.71%) y toba riolítica-ignimbrita (40.29%), clima Aw0-cálido subhúmedo suelos regosol eútrico (69.53%) y leptosol (30.47%); con presencia de bosque natural de latifoliadas-encino (0.59%), selva baja caducifolia (55.35%), selva baja caducifolia perturbada (18%), pastizal inducido (25.38%) y agricultura de temporal (0.68%), ubicada al centro, oeste y este de la zona funcional, cubriendo un área de 102.62 ha.

Los argumentos señalados de la zonificación permiten identificar que las unidades de paisaje constituyen dentro de la zona alta sitios susceptibles a la erosión hídrica, especialmente, por la pendiente, constitución litológica y edáfica, y cobertura vegetal. Además, se tiene que las unidades de paisaje cuya base geomorfológica son los complejos cumbrales (ZACC1, ZACC2, ZACC3, ZACC4, ZACC5, ZACC6, ZACC7 y ZACC8) representan las

unidades de paisajes con mayor susceptibilidad ante procesos erosivos, causado por la pendiente y la precipitación que reciben, ello ocasiona la pérdida de la capa superficial de los suelos, que además, se clasifican como poco profundos, lo cual resulta nocivo para la vegetación, ya que existen condiciones extremas para su establecimiento que representan una problemática, debido a que en esas unidades de paisaje se concentra el bosque natural de latifoliadas-encino y la selva baja caducifolia.

Se presenta una unidad de paisaje cuya base geomorfológica está constituida por los complejos de superficies y cauces (escalón coluvial) (ZACSC1), la cual presenta los procesos más estables derivados de su pendiente poco inclinada y vegetación herbácea y forestal, que disminuyen la erosión hídrica laminar, beneficiando la conservación del suelo regosol que predomina en ella y repercute a los procesos de captación y formación de escurrimientos efímeros.

Las unidades de paisaje, cuya base geomorfológica son los complejos de laderas y barrancos-valles (ZACLBV1, ZACLBV2, ZACLBV3, ZACLBV4 y ZACLBV5) constituyen superficies dinámicas por las cuales se drena rápidamente la precipitación recibida por la parte alta de la cuenca, en ellos predominan procesos erosivos y de transporte, que se generan a partir de las pendientes fuertes que los caracterizan.

Finalmente, las unidades de paisaje caracterizadas por los complejos de laderas y barrancos-ladera recta, cóncava y convexa (ZACBLR1, ZACBLCC1 y ZACBLCC1) representan zonas con pendiente pronunciada que propician procesos erosivos rápidos, los cuales pueden detonarse si existe ausencia de vegetación, representan zonas importantes, ya que conservan zonas con suelos productivos y áreas con vegetación natural.

Dadas las condiciones que presentan las unidades de paisaje que conforman la zona funcional alta, se puede decir, que predominan procesos rápidos, donde la precipitación y pendiente son variables determinantes, lo cual repercute en el estado de los suelos y la vegetación, siendo una zona altamente susceptible a procesos degradativos.

#### **4.2.2 Unidades de paisaje en la zona funcional media**

La zona funcional media cuenta con 18 unidades de paisaje, eso equivale a la mayor cantidad de unidades por zona en la microcuenca. En esa zona funcional predominan los complejos de laderas y barrancos,

con pendientes medianamente pronunciadas de 3° a 30°, lo que indica que es una zona donde predominan procesos de transporte. Por su parte, la constitución litológica de riolita, toba riolítica e ignimbrita permite que se presenten procesos de formación de valles y corrientes superficiales de segundo orden, caracterizadas por escurrimientos intermitentes. El suelo predominante es el regosol, que, aunque somero cuenta con materia orgánica que beneficia en conjunto con el clima cálido subhúmedo la presencia de selva baja caducifolia, pastizal inducido y agricultura de temporal.

1.- ZMCC1 (Zona media-complejos cumbrales 1). Representada por complejos cumbrales con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 75% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (0.75%), leptosol (74.78%) y regosol eútrico (24.47%); con presencia de selva baja caducifolia (30.56%), selva baja caducifolia perturbada (36.83%) y pastizal inducido (32.6%), ubicada al centro de la zona funcional, cuya superficie es de 4.92 ha.

2.- ZMCC2 (Zona media-complejos cumbrales 2). Compuesta por complejos cumbrales con pendiente predominante de <3° a 30°, clasificados como muy ligeramente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (80.03%) y regosol eútrico (19.97%); con presencia de selva baja caducifolia (11.96%), selva baja caducifolia perturbada (27.93%) y asentamientos humanos (60.12%), ubicada al sur de la zona funcional con una superficie de 7.19 ha.

3.- ZMCC3 (Zona media-complejos cumbrales 3). Constituida por complejos cumbrales con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 80% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por riolita (92.71%) y la asociación toba riolítica-ignimbrita (7.29%); clima Aw0-cálido subhúmedo, suelo regosol eútrico; con presencia de selva baja caducifolia perturbada (75.35%), agricultura de temporal (15.99%) y pastizal inducido (8.66%), ubicada al este de la zona funcional, cubriendo un área de 2.97 ha.

4.- ZMCC4 (Zona media-complejos cumbrales 4). Formada por complejos cumbrales con pendiente predominante de 3° a 10° en más del 75% de su superficie, clasificados como ligeramente a medianamente

inclinados. Están constituidos por la asociación de toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelo regosol eútrico, junto con la presencia de selva baja caducifolia perturbada, ubicada al este y cuya superficie es de 1.22 ha.

5.- ZMCC5 (Zona media-complejos cumbrales 5). Caracterizada por complejos cumbrales con pendiente predominante de  $<3^{\circ}$  a  $5^{\circ}$  en más del 80% de su superficie, clasificados como muy ligeramente a ligeramente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelo regosol eútrico y selva baja caducifolia perturbada, ubicada al oeste con una superficie de 0.42 ha.

6.- ZMCC6 (Zona media-complejos cumbrales 6). Representada por complejos cumbrales con pendiente predominante de  $3^{\circ}$  a  $10^{\circ}$  en más del 80% de su superficie, clasificados como ligeramente a medianamente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (64.84%) y regosol eútrico (35.16%); con presencia de selva baja caducifolia (60.99%) y asentamientos humanos (39.01%), ubicada al suroeste de la zona funcional, cubriendo un área de 0.16 ha.

7.- ZMCLBV1 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-valles 1). Compuesta por complejos de laderas y barrancos-valles con pendiente predominantes de  $5^{\circ}$  a  $30^{\circ}$  en más del 80% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (29.74%), leptosol (13.4%) y regosol eútrico (56.85%); con presencia de selva baja caducifolia (77.03%), selva baja caducifolia perturbada (0.45%), pastizal inducido (0.02%) y agricultura de temporal (22.5%), ubicada al centro y norte de la zona funcional, cuya superficie es de 17.11 ha.

8.- ZMCLBV2 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-valles 2). Compuesta por complejos de laderas y barrancos-valles con pendiente predominantes de  $5^{\circ}$  a  $30^{\circ}$  en más del 75% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (50.77%) y regosol eútrico (49.23%); con presencia de selva baja caducifolia (79.65%), selva baja caducifolia perturbada (19.24%) y agricultura de temporal (1.11%), ubicada al centro y este de la zona funcional, con una superficie de 5.61 ha.

9.- ZMCLBV3 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-valles 3). Constituida por complejos de laderas y barrancos-valles con pendiente predominantes de  $5^{\circ}$  a  $30^{\circ}$  en más del 90% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (30.57%), leptosol (10.58%) y regosol eútrico (58.85%); con presencia de selva baja caducifolia (70.84%), selva baja caducifolia perturbada (16.37%) y agricultura de temporal (12.79%), ubicada al oeste y cubre un área de 3.66 ha.

10.- ZMCLBLR1 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-ladera recta 1). Formada por complejos de laderas y barrancos-ladera recta con pendiente predominante de  $10^{\circ}$  a  $30^{\circ}$  en más del 90% de su superficie, clasificados como fuertemente inclinados, constituidos por riolita (7.79%) y la asociación toba riolítica-ignimbrita (92.21%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (5.53%) y regosol eútrico (94.47%); con presencia de selva baja caducifolia (60.77%), selva baja caducifolia perturbada (36.91%) y agricultura de temporal (2.32%), ubicada al este y cuya superficie es de 27.06 ha.

11.- ZMCLBLC1 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-ladera convexa 1). Caracterizada por complejos de laderas y barrancos-ladera convexa con pendiente predominante de  $5^{\circ}$  a  $30^{\circ}$  en más del 95% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (32.11%) y regosol eútrico (67.89%); con presencia de selva baja caducifolia (3.68%), selva baja caducifolia perturbada (84.64%), agricultura de temporal (8.07%) y asentamientos humanos (3.61%); ubicada al suroeste de la zona funcional con una superficie de 20.24 ha.

12.- ZMCLBLC2 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-ladera convexa 2). Representada por complejos de laderas y barrancos-ladera convexa con pendiente predominante de  $10^{\circ}$  a  $45^{\circ}$  en más del 95% de su superficie, clasificados como fuertemente a muy fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (4.81%), leptosol (64.29%) y regosol eútrico (30.90%); con presencia de selva baja caducifolia (87.45%) y selva baja caducifolia perturbada (12.55%), ubicada al noroeste de la zona funcional, cubriendo un área de 13.36 ha.

13.- ZMCLBLC3 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-ladera convexa 3). Compuesta por complejos de laderas y barrancos-ladera convexa con pendiente predominante de 10° a 45° en más del 90% de su superficie, clasificados como fuertemente a muy fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (12.18%), leptosol (61.18%) y regosol eútrico (26.64%); con presencia de selva baja caducifolia (70.46%), selva baja caducifolia perturbada (7.95%) y agricultura de temporal (21.59%), ubicada al oeste de la zona y cuya superficie es de 32.54 ha.

14.- ZMCLBLC4 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-ladera convexa 4). Constituida por complejos de laderas y barrancos-ladera convexa con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 95% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por riolita (16.42%) y la asociación toba riolítica-ignimbrita (83.58%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (30.33%) y regosol eútrico (69.67%); con presencia de selva baja caducifolia (7.04%), selva baja caducifolia perturbada (61.64%), pastizal inducido (0.43%), agricultura de temporal (10.75%) y asentamientos humanos (20.13%); ubicada al sureste de la zona funcional con una superficie de 26.56 ha.

15.- ZMCLBLC5 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-ladera convexa 5). Formada por complejos de laderas y barrancos-ladera convexa con pendiente de 5° a 30°, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelo regosol eútrico; con presencia de selva baja caducifolia (62.1%) y agricultura de temporal (37.9%); ubicada al norte de la zona funcional, cubriendo un área de 5.31 ha.

16.- ZMCLBLC6 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-ladera convexa 6). Caracterizada por complejos de laderas y barrancos-ladera convexa con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 90% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (29.77%), regosol eútrico (69.10%) y leptosol (1.13%); con presencia de selva baja caducifolia (41.79%), selva baja caducifolia perturbada (19.9%), pastizal inducido (15.97%), agricultura de temporal (21.26%) y asentamientos humanos (1.09%); ubicada al centro, este y norte de la zona funcional, cuya superficie es de 50.58 ha.

17.- ZMCLBLCC1 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-ladera cóncava 1). Representada por complejos de laderas y barrancos-ladera cóncava con pendiente de 10° a 45°, clasificados como fuertemente a muy fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos leptosol (44.41%) y regosol eútrico (55.59%); con presencia de selva baja caducifolia; ubicada al oeste de la zona funcional con una superficie de 7.37 ha.

18.- ZMCLBLCC2 (Zona media-complejos de laderas y barrancos-ladera cóncava 2). Compuesta por complejos de laderas y barrancos-ladera cóncava con pendiente predominante de 10° a 45° en más del 85% de su superficie, clasificados como fuertemente a muy fuertemente inclinados, constituidos por riolita (4.39%) y la asociación toba riolítica-ignimbrita (95.61%), clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (0.78%) y regosol eútrico (99.22%); con presencia de selva baja caducifolia (71.03%), selva baja caducifolia perturbada (14.62%) y agricultura de temporal (14.35%), ubicada al oeste de la zona funcional, cubriendo un área de 9.63 has.

Lo anterior, permite identificar que las unidades de paisaje cuya base geomorfológica son los complejos cumbrales (ZMCC1, ZMCC2, ZMCC3, ZMCC4, ZMCC5 y ZMCC6), constituyen unidades con pendiente que va de moderada a fuerte, lo que deriva en procesos de pérdida de suelo y en el aumento de zonas, donde la vegetación encuentra limitantes para su asentamiento y se genera una problemática, ya que suelen ser las áreas que mayor aprovechamiento agropecuario sufren dentro de la zona funcional.

Las unidades de paisaje cuya base geomorfológica son los complejos de laderas y barrancos-valles (ZMCLBV1, ZMCLBV2 y ZMCLBV3) constituyen superficies dinámicas a través de las cuales la zona media dreña el escurrimiento que llega a ellas proveniente de la zona alta, sin embargo, la pendiente va de moderada a fuerte, lo que genera procesos erosivos, de transporte y muy pocos de acumulación, visibles estos últimos en terrazas y/o en superficies más estables donde puede desarrollarse el suelo y asentarse más fácilmente la vegetación.

Las unidades de paisaje características de complejos de laderas y barrancos-ladera recta y cóncava (ZMCLBLR1, ZMCLBLCC1 y ZMCLBLCC2) siguen conservando pendientes fuertes, lo que las clasifica dentro de las zonas con potencial erosivo alto, donde debería conservarse

la vegetación y darse un uso de suelo de conservación, con el objetivo de evitar la degradación y pérdida del suelo.

Finalmente, las unidades de paisaje caracterizadas por los complejos de laderas y barrancos-ladera convexa (ZMCLBLC1, ZMCLBLC2, ZMCLBLC3, ZMCLBLC4, ZMCLBLC5 y ZMCLBLC6) representan la mayor superficie de cobertura dentro de la zona funcional, su pendiente de moderada a fuerte, indica la presencia de procesos erosivos moderados donde predomina el transporte de materiales y deposición leve, constituyéndose como zonas de importancia para la conservación de su cobertura natural.

Las condiciones que se presentan en las unidades de paisaje que conforman la zona funcional media, permiten clasificarla como una zona donde predominan procesos de transporte de materiales erosionados, provenientes de la zona alta y de su misma superficie, donde la pendiente es más estable, permitiendo el desarrollo de suelos más profundos y productivos y mayor presencia de vegetación natural, sin embargo, es una zona susceptible, ya que en ella se llevan a cabo la mayoría de las actividades agropecuarias dentro de la cuenca de forma no planificada, generando degradación en sus condiciones.

### **4.2.3 Unidades de paisaje en la zona funcional baja**

La zona funcional baja está conformada por cuatro unidades de paisaje, en ella predominan los complejos de superficies y cauces, con pendientes muy suavizadas y estables que van de 0° a 5°, lo que indica que es una zona donde predominan los procesos de deposición o acumulación de materiales provenientes de la zona media y alta, además, de ser el sitio donde se ubica el río principal de la microcuenca, considerado de cuarto orden; su constitución litológica de toba riolítica e ignimbrita permite el desarrollo de suelos profundos y productivos como el feozem, que en conjunto con el clima cálido subhúmedo condicionan las características naturales para dar pie al desarrollo de selva baja caducifolia, pastizal inducido y agricultura de temporal, a la vez de ser el sitio donde existen las mejores condiciones para que se establezcan los asentamientos humanos.

1.- ZBCSC1 (Zona baja-complejos de superficies y cauces 1). Caracterizada por complejos de superficies y cauces con pendiente predominante de <3° a 5° en más del 75% de su superficie, clasificados como muy ligeramente a ligeramente inclinados, constituidos por la asociación toba

riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (99.27%) y regosol eútrico (0.73%); con presencia de selva baja caducifolia (3.78%), selva baja caducifolia perturbada (33.02%), agricultura de temporal (1.97%) y asentamientos humanos (61.23%), ubicada al centro, noroeste y sur de la zona funcional, cuya superficie es de 34.73 ha.

2.- ZBCLBLC1 (Zona baja-complejos de laderas y barrancos-ladera convexa 1). Representada por complejos de laderas y barrancos- ladera convexa con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 75% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo suelos feozem háplico (68.83%) y regosol eútrico (31.17%); con presencia de selva baja caducifolia (20.5%), selva baja caducifolia perturbada (33.57%), pastizal inducido (7.32%) y asentamientos humanos (38.61%), ubicada al oeste de la zona funcional, con una superficie de 3.79 ha.

3.- ZBCLBLC2 (Zona baja-complejos de laderas y barrancos-ladera convexa 2). Compuesta por complejos de laderas y barrancos- ladera convexa con pendiente predominante de 5° a 10° en más del 75% de su superficie, clasificados como medianamente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo, suelos feozem háplico (98.99%) y regosol eútrico (1.01%); con presencia de selva baja caducifolia (3.07%), selva baja caducifolia perturbada (11.23%), agricultura de temporal (4.36%) y asentamientos humanos (81.34%), ubicada al este de la zona funcional, cubriendo un área de 6.77 ha.

4.- ZBCLBLC3 (Zona baja-complejos de laderas y barrancos-ladera convexa 3). Constituida por complejos de laderas y barrancos- ladera convexa con pendiente predominante de 5° a 30° en más del 90% de su superficie, clasificados como medianamente a fuertemente inclinados, constituidos por la asociación toba riolítica-ignimbrita, clima Aw0-cálido subhúmedo suelos feozem háplico (98.04%) y regosol eútrico (1.96%); con presencia de selva baja caducifolia (48.53%), agricultura de temporal (3.44 %), pastizal inducido (0.08%) y asentamientos humanos (47.95%), ubicada al norte de la zona, y cuya superficie es de 1.83 ha.

Las unidades de paisaje analizadas anteriormente muestran que aquellas unidades, cuya base geomorfológica son los complejos de laderas y barrancos-ladera convexa (ZBCLBLC1, ZBCLBLC2 y ZBCLBLC3), representan las superficies con mayor dinamismo dentro de la zona

funcional baja, ya que en ellas aún se presentan procesos de transporte que depositan material en las partes más estables de la zona funcional.

Por otra parte, la unidad de paisaje más estable dentro de la zona baja está caracterizada por los complejos de superficies y cauces (ZB-CSC1), la cual representa la mayor superficie de cobertura dentro de la zona funcional baja, su pendiente ligera indica la presencia de procesos de deposición, lo cual repercute en la presencia de suelos evolucionados muy productivos que deben conservarse y aprovecharse de forma planificada para evitar su deterioro.

Las condiciones que se presentan en las unidades de paisaje que conforman la zona funcional baja, permiten clasificarla como una área donde predominan procesos de deposición de materiales erosionados, provenientes de la parte alta y media, derivado de su pendiente estable, permitiendo el desarrollo de suelos profundos y productivos, que favorecen el desarrollo vegetativo, sin embargo, es susceptible a degradarse, ya que en ella se presenta el crecimiento de los asentamientos humanos dentro de la cuenca.

Con base en lo anterior, se obtuvieron resultados favorables, concordando con lo expuesto por Cotler (2007), Enríquez et al. (2004) y Carbajal (2008) respecto a la importancia de la delimitación de unidades de paisaje dentro en las cuencas hidrográficas, con el objetivo de estudiar de forma detallada los componentes naturales que conforman su estructura, y que, a su vez, se interrelacionan describiendo su función dentro del sistema. Así, se contribuye a la correcta administración de los recursos naturales con que cuenta cada uno de ellos, permitiendo una planificación más acertada de las actividades a desarrollar dentro de la cuenca.

De igual forma, se comparten los resultados obtenidos por Jaque (2010), García, Mendoza y Galicia (2005), Sánchez (2011) y García (2013), quienes trabajan con el enfoque paisajista en regiones de México y en otros países, manejando escalas de análisis 1:50,000 y 1:25,000, comprobando la funcionalidad de la aplicación de la metodología en cuencas hidrográficas, sin embargo, no se concordó completamente con sus métodos, ya que, aunque trabajaron con escalas de análisis detalladas y utilizaron herramientas de SIG, al igual que en esta investigación, solo consideraron componentes paisajísticos físicos dejando de lado sus componentes socioeconómicos, considerados de importancia para el desarrollo de esta investigación, sea el caso de unidades para el aprovechamiento productivo.

Lo anterior, tuvo la ventaja de comprobar la calidad del trabajo con escalas cartográficas de detalle mayores a 1: 50,000, ya que, permiten generar información detallada de las características de un territorio, de igual forma, resalta la importancia de considerar dentro del análisis paisajístico a sus componentes socioeconómicos, los cuales ofrecen un panorama más amplio de la dinámica actual que se desarrolla en las unidades de paisaje.

## **5. Conclusiones**

Con base en el desarrollo de la investigación, se concluye que para llevar a cabo el estudio dentro de una microcuenca es pertinente partir de la delimitación de las zonas funcionales que la caracterizan, ya que mediante su correcta diferenciación es posible explicar y evaluar la dinámica, evolución y funcionalidad, permitiendo desarrollar mediante un análisis integral la planificación de actividades de manejo de esta, con respecto a su situación actual, relacionando los procesos formadores y modeladores del relieve con los componentes hídricos y ecosistémicos que se llevan a cabo en la zona de estudio, siendo así, para el caso de la microcuenca la zona media representó el área con mayor superficie (235.98 ha), donde predominan procesos de transporte, seguida de la zona alta (190.04 ha), con dominio de procesos erosivos y, finalmente, la zona baja con la menor superficie (47.13 ha), y mayor estabilidad, prevaleciendo en ella la deposición de materiales.

De igual forma, se puede considerar a las cuencas como unidades territoriales cuyo funcionamiento y estructura es posible evaluar por medio de la delimitación de unidades espaciales de menor superficie, o unidades de paisaje físico-geográfico, posibilitando trabajar a nivel de detalle las características socio-ambientales de la unidad de análisis territorial denominada cuencas, y realizar un análisis focalizado de las problemáticas y potenciales que presentan. Al respecto, se contribuye con la identificación de 39 unidades de paisaje, donde la zona media concentra el mayor número de ellas con una cantidad de 18, seguida de la zona alta con 17 y finalmente la baja con 4 unidades.

Los resultados indican que las condiciones de las unidades de paisaje de la zona alta son las más susceptibles a desarrollar procesos de erosión y pérdida vegetativa. Por su parte, las unidades de paisaje de la zona media desarrollan procesos erosivos y de transporte, además se observaron cambios de uso de suelo donde transforman áreas naturales por agropecuarias.

Finalmente, las unidades de paisaje de la zona baja, aunque son las más estables, presentan problemáticas generadas por el crecimiento de los asentamientos humanos.

La investigación mostró la importancia de trabajar a escalas de gran detalle (1:10,000), de ahí, que se recomienda que las investigaciones futuras consideren la generación de cartografía detallada y actualizada a escala local, con el objetivo de contar con fuentes cartográficas de calidad y evitar errores en el procesamiento de información; de no contar con los recursos y tiempo dentro de las investigaciones o trabajos, para ello, se recomienda y considera primordial realizar trabajo de campo que permita detallar, corregir y ponderar las variables cartográficas con las que se interpreta y analiza el paisaje y/o la cuenca.

De igual forma, si se trabaja a escala local, se recomienda contar con datos aportados por el monitoreo en la zona de estudio, lo cual permitirá el desarrollo de métodos y la obtención de datos congruentes con la dinámica natural y social de la zona de estudio.

Finalmente, el presente trabajo representa un aporte metodológico a investigaciones que consideren como estudio de caso a las cuencas hidrográficas, estudiadas desde una perspectiva local en busca de la planeación de su territorio, por lo cual la metodología aquí expuesta puede ser replicada para el desarrollo de nuevos estudios con similar enfoque.

## 6. Referencias bibliográficas

- Andrade, P.A. (2004). *Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico*. (Serie manuales de educación y capacitación ambiental). D.F. México: PNUMA.
- Carbajal, M. (2008). *Circuito Turístico Chilpancingo-Azul: Evaluación de la Degradación del Paisaje*. (Tesis de Maestría en Geografía). UNAM, México. D.F. 23-31.
- Carbajal, M.J.C., Hernández, S.J.R. y Bollo, M.M. (2009). Paisajes Físico Geográficos del Circuito Turístico Chilpancingo Azul, Estado de Guerrero, México. En: *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (73), 71-85.
- COPLADENAY (Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado de Nayarit). (2008). *Programa Estatal de Desarrollo Urbano. Plan Estatal de Desarrollo 2005-2011*. Tepic. Nayarit: COPLADENAY.

- Cotler, H. (2007). *El Manejo Integral de Cuencas en México. Estudios y Reflexiones para Orientar la Política Ambiental*. (2da ed.). D.F. México: SEMARNAT-INE.
- Cotler, H. y Priego, A. (2004). El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma-Chapala. En: *El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. (63-74) D.F. México.: SEMARNAT-INE, 63-74.
- Cotler, H., Galindo, A., González, I., Pineda, R. y Ríos, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*, (Cuaderno de divulgación ambiental. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable). D.F. México: SEMARNAT/Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas.
- Enríquez, C., Priego, Á.G. y Morales, H. (2004). Paisajes físico-geográficos de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta Ecológica*, (71), 11-22.
- ESA (Education Services Australia) (2013). *Landscapes and landforms. GeogSpace*. Australia: Australian Teachers Association.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2016). World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. *World soil resources reports*. (106). Rome. Italy: FAO.
- Franch, P.I., Priego, S.A.G., Bollo, M.M., Cancer, P.L. y Bautista, Z.F. (2015) Aplicación de los paisajes físico-geográficos en un sector de la cordillera ibérica: la cuenca del río Martín, Aragón. En: *España. Interciencia*, 40 (6), 381-389.
- García, C.W. (2006). *El Sistema Complejo de la Cuenca Hidrográfica. Facultad de Ciencias Humanas*. Medellín. Colombia: Universidad de Colombia. Recuperado de [http://telesecundaria.gob.mx/mesa\\_tecnica/files/Sistema-Cuenca\\_Hidrografica.pdf](http://telesecundaria.gob.mx/mesa_tecnica/files/Sistema-Cuenca_Hidrografica.pdf).
- García, R.A. (2013). El paisaje: una herramienta en el estudio detallado del territorio. En: *Kuxulkab' Revista de Divulgación*, VII (14), 22-33.
- García, R.A., Mendoza, R.K.I. y Galicia, S.L. (2005). Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Papagayo, Guerrero. México. En: *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, 56, 77-100.

- Garrido, A., Enríquez, C., Pérez, J. L., Luna, N., y Sánchez, O. (2009). *Zonas Funcionales de las Cuencas Hidrográficas de México. Escala 1:250000*. D.F. México: INECC.
- Gaspari, F.J., Senisterra, G.E., Delgado, M.I., Rodríguez, V.A.M. y Besteiro, S.I. (2010). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. (2da ed.) La Plata. Argentina: Universidad Nacional La Plata.
- Gaspari, F.J., Rodríguez, V.A.M., Senisterra, G.E., Delgado, M.I. y Besteiro, S.I. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de la Plata.
- Gilland, T., Fox, F., Andruczyk, M., French, S. y Swanson, L. (2009). *What is a watershed. Urban water-quality management*. Publication 426-041. Virginia, U.S.: Virginia Polytechnic Institute and State University / Virginia cooperative extensión.
- González, P.J.I. (2008). *El Manejo de cuencas en Cuba: Actualidad y retos*. D.F. México: INECC.
- Hasdenteufel, P., Rodríguez, M.J.M., Baume, O. y Torres Gomez de Cadiz.R.J. (2008). La Geoecología como herramienta para la gestión ambiental-Estudio de caso de la cuenca hidrográfica superficial del río Quibú. Provincia Ciudad de la Habana. Cuba. En: *Revista Universitaria de Geografía*, 17, 309-329.
- Henao, S.J.E. (2006). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás.
- Hernández, T.H., Priego, S.A.G., López Portillo, J.A. y Isunza, V.E. (2006). Los paisajes físico-geográficos de los manglares de la laguna de la Mancha, Veracruz, México. En: *Interciencia*, 31(3), 211-219.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (1974) *Carta edafológica F13D11 "El Venado"*. Escala 1:50,000. Aguascalientes, México: INEGI.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2001). *Provincias Fisiográficas. Cobertura nacional*. Escala 1:1'000,000. Datos vectoriales. Serie I, Aguascalientes, México: INEGI.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2008). *Unidades climáticas. Cobertura nacional*. Escala 1:1'000,000. Datos vectoriales. Aguascalientes, México: INEGI.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2015). *Carta topográfica F13D11 "El Venado". Escala 1:50,000*. Aguascalientes, México: INEGI.
- Jaques, C.E. (2010). Diagnóstico de los paisajes mediterráneos costeros. En: *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 54, 81-97.
- Londoño, A.D. (2001). *Cuencas Hidrográficas: Bases conceptuales-caracterización-planificación-administración*. Tolima, Colombia: Universidad del Tolima.
- Muñoz, M.D. y Azócar, G. (2014) Incorporación del paisaje en la gestión del territorio de la Patagonia Chilena. En: *Urbano*, 17(30), 34-59.
- Pineda, L.R., Hernández-Guerrero, J., y Tobar, D.R. (2015) Retos para la Conservación del Patrimonio Natural desde la Gestión Integrada de Cuencas. En: *Revista Ciencia UAQ*, 8(2), 1-17.
- Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M. y Garrido, A. (2010). *Propuesta para la Generación Semiautomatizada de Unidades de Paisajes. Fundamentos y Métodos*. (Serie Planeación Territorial). D.F. México: SEMARNAT-INECC-CIGA.
- Sánchez, N.D. (2011). *Potencial de los paisajes naturales para actividades de turismo de naturaleza en el sector de la costa michoacana Río Coalcomán-el Farito*. (Tesis de Maestría). CIGA-UNAM, México, pp. 9-12.
- SGM (Servicio Geológico Mexicano) (2006). *Carta geológico-minera. El Venado F13D11. Escala 1:50,000*. Nayarit, México: SGM.
- Waikar, M.L. y Nilawar, A.P. (2014). Morphometry analysis of a drainage basin using geographical information system: a case study. *International journal of multidisciplinary and current research*, 2, (179-184).
- Zepeda, L. R. (2012). *Impacto de las Grandes Presas en el Estado de Nayarit: Aguamilpa y las Comunidades del Potrero de la Palmita, Ahuapán y Naranjito de Copal*. (Tesis Doctoral). UNAM, México, 125-175.



**Riesgos de desastres en áreas periurbanas en la gran  
área metropolitana, consideraciones pasadas y recientes:  
orientaciones y alcances reales de la gestión del riesgo y el  
ordenamiento territorial, cantones de Aserrí, Alajuelita,  
Desamparados, Escazú, Santa Ana y Mora**

Disaster risks in peri-urban areas of the great metropolitan area  
-past and recent considerations: guidelines and real scopes of  
risk management and land-use planning , *Aserrí, Alajuelita,  
Desamparados, Escazú, Santa Ana and Mora* cantons

*Luis Nelson Arroyo González*<sup>1</sup>  
*Universidad Nacional de Costa Rica*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.8>

**RESUMEN**

Limitando por el sur, la ciudad de San José se extiende un cordón montañoso que es el asiento de los cantones de Aserrí, Desamparados, Alajuelita, Escazú, Santa Ana y Mora. Este sector tiene entre sus particularidades, el pertenecer a formaciones geológicas que por su grado de antigüedad presentan procesos de alta meteorización, con relieves caracterizados por pendientes fuertes y laderas abruptas. Debido a su cercanía histórico geográfica con la sección central del país, este territorio, desde inicios de la década del 90, se ha convertido en una prolongación de la ciudad capital, por lo que representa un sector de alto poblamiento y de construcción de infraestructura diversa. El hacinamiento, la ocupación irrestricta y diversa de estas tierras, ha propiciado desde el pasado la activación de procesos de equilibrio en laderas,

---

1 Académico, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica  
Correo electrónico: [luis.arroyo.gonzalez@una.cr](mailto:luis.arroyo.gonzalez@una.cr)

Fecha de recepción: 15 de mayo de 2017  
Fecha de aceptación: 17 de octubre de 2017

tales como deslizamientos -los cuales, intrínsecamente, relacionados a la dinámica física propia de relieves de alta pendiente- aceleran y multiplican presencia gracias a la actividad antrópica.

**Palabras clave:** amenazas naturales, ordenamiento territorial, deslizamientos, inundaciones, gestión del riesgo.

#### **ABSTRACT**

To the southern part of San José city, there is a mountainous ridge that is the place where *Aserri, Desamparados, Alajuelita, Escazú, Santa Ana,* and *Mora* cantons are settled. This area belongs to the old geological formation where, due to the rain pattern, the relief is affected by high weathering. This causes the presence of rugged hillsides. Since the nineties and due to its historic and geographical proximity to the central part of the country, this territory has been highly influenced by population growth and urbanization. The unrestricted way in which the population has occupied the land has caused landslides and flash floods. These processes are related to the physic dynamic of high slope reliefs and the way that many people are living over there.

**Keywords:** Natural hazards, land planning, landslides, flooding, risk management.

### **1. Introducción**

La ocurrencia de inundaciones, avalanchas y deslizamientos que se documentan en sectores aledaños a ríos y quebradas de la ciudad de San José, pertenecen a fechas muy recientes, y, aunque la dinámica de desbordes es parte integrante del desarrollo fluvial, el hecho es que en el caso particular de las redes de avenamiento en las ciudades; tales reportes aparecen con mayor periodicidad al variar drásticamente las condiciones de uso y ocupación de las áreas adyacentes.

Las anteriores apreciaciones son congruentes con el crecimiento urbano experimentado en la periferia de la ciudad capital, y del que no han escapado sectores, hasta hace unos años, considerados como inaccesibles a vías de comunicación y poblamiento.

A finales de la década del 50 y mediados de los años 60, las áreas que circundaban la ciudad capital todavía conservaban características netamente rurales, con viviendas dispersas a lo largo de caminos principales y terrenos dedicados de preferencia al cultivo del café, pastos y de caña de azúcar. Más recientemente, y en correspondencia con la migración y crecimiento poblacional, este sector al igual que muchos otros localizados en la vecindad capitalina no han escapado al poblamiento espontáneo y desordenado, típico de los asentamientos de zonas marginales.

En los sectores en donde cursos fluviales causan mayores impactos, -a pesar de no observarse una marcada diferenciación en cuanto a la

calidad y el tipo de vivienda característico de las barriadas populares- es evidente el desarrollo de núcleos habitacionales en espacios muy reducidos en donde la norma es el hacinamiento. En general, estos emplazamientos corresponden a precarios de reciente instalación sobre terrenos inmediatamente vecinos a ríos, y en los que, lógicamente, la urgencia por ocupar espacio habitable ha sobrepasado cualquier pretensión de confortabilidad.

A las numerosas restricciones que en todo orden padecen estos pobladores, ocasionalmente se han venido agregando inconvenientes producto de inundaciones y deslizamientos, los que además de acentuar efectos sobre los sitios en donde se asientan, extienden consecuencias hacia viviendas ubicadas fuera de estos núcleos que también han sido edificadas sobre los márgenes de los ríos. A ello debe agregarse la inobservancia o ausencia de reglamentos plasmados en legislaciones varias y en planes reguladores –si los hubiera- lo cual contribuye en forma notoria con la presencia creciente de poblamiento que no responde a patrones de accesibilidad y aptitud espacial, entre otros factores.

Los deslizamientos y las inundaciones -entre los eventos naturales- constituyen mecanismos de origen físico con amplia incidencia sobre los relieves desde los primeros estados de formación del planeta. El modelamiento de la superficie terrestre obedece en esencia a la influencia combinada de estas y otras fuerzas, en donde los procesos de equilibrio que se sucedían en el pasado también ocurren en el presente como parte de la misma dinámica que formaba y destruía relieves. El advenimiento de los seres humanos y la transformación radical que se experimenta a todo nivel, y en los ámbitos más disímiles de la superficie terrestre, ha inclinado en demérito del ambiente, y, por ende, de las actividades con origen antrópico; esta multiplicidad de transformaciones en muchos casos ha sobrepasado la capacidad de recuperación de los ecosistemas, debido a la magnitud de las intervenciones humanas.

Algunos de los sectores que han experimentado efectos por amenazas naturales, han recibido a lo largo del tiempo la atención tanto de especialistas como de entes gubernamentales. Esta atención se ha concretado no solo en la promulgación de directrices jurídicas como instrumentos que buscan reglamentar estos espacios, sino que también la atención se ha plasmado en forma de obras estructurales, a fin de proteger apropiadamente sectores que de hecho se identifican como vulnerables, ya sea porque en el pasado han

recibido efectos directos, sino porque también algunas han evolucionado hacia esa situación por transformaciones sensibles en su entorno. Por lo general, las entidades gubernamentales recurren a estas protecciones como una forma de atenuar efectos dañinos, y, por otro lado, las comunidades amenazadas cimentan sensación de seguridad al abrigo de un dique o una obra en ladera. Aunque de hecho es discutible asumir que brinden protección absoluta por múltiples razones. Es evidente que en el contexto de Costa Rica, la efectividad de estas construcciones ha presentado debilidades concretas, tales como las protecciones por dique que se erigieron en Ciudad Neily en octubre de 1988 y en las barreras actuales que se extienden a lo largo de algunas secciones del río Quebradas en San Isidro de Pérez Zeledón, para citar algunas. La función específica que tales barreras ejercen en el entorno representa una solución temporal que no reemplazará las regulaciones, que sobre uso de territorios se promulguen, ya que el mismo emplazamiento de la obra delimita o deslinda tierras con particularidades de formación y relieve que también en ausencia de esa protección se podrían incorporar como parte del territorio vulnerable. (Arroyo, 2010)

Qué tanto de un territorio protegido de esta forma se integra, como si fuese seguro para ensancharlo hacia usos diversos, debe ser motivo de análisis, ya que las implicaciones de tal proceder, implícitamente, ignoran regulaciones provenientes de informes técnicos, por un lado, y por otro, amplía un sentido de seguridad que adormece en las comunidades el sentido de prevención deseable en áreas bajo riesgo. También a la postergación de medidas de corto plazo en materia de reducción del riesgo, en parte por la ausencia de instrumentos de ordenamiento territorial como los planes reguladores.

Estos documentos sintetizan estudios técnicos, en donde, entre otros aspectos, se regulan los usos de los territorios de acuerdo a pautas de uso para esos espacios. Estos lineamientos -se espera- incluyen directrices relacionadas con las aptitudes de las tierras y las ocupaciones más idóneas, para así tratar de corregir disconformidades en usos no compatibles, ya sea por vecindad, por densidad de ocupación o restricciones con sustento en variables físicas. Así, la vigencia de tales instrumentos en localidades muy afectadas por inestabilidad de laderas, por ejemplo, requiere de estudios concienzudos, en donde el seguimiento y el apego a las limitaciones que el mismo plan impone, sean de acatamiento obligatorio como así está contemplado durante las fases de aprobación de este instrumento. El resultado positivo de estas

reglamentaciones tiene reflejo a lo largo del tiempo, ya que se supone que las limitaciones que se imponen en espacios frágiles dejan de experimentar presiones ante el cese que los mismos reglamentos especifican. De ahí, que la puesta en práctica establece un antes y un después en el ordenamiento espacial de un cantón, máxime en estos cantones del sur de la ciudad de San José, en donde la prevalencia de problemas ambientales es la norma.

## **5. Método**

Este trabajo efectúa una descripción de eventos por deslizamientos e inundaciones en los sectores bajo estudio, así como procesos asociados que han impactado algunas comunidades de esos territorios. Ello se apoya en la búsqueda de información presente en informes técnicos y otras fuentes; además, de la revisión de mapas temáticos e imágenes aéreas. Una vez consultados y analizados estos datos, se redactan consideraciones acerca de los detalles geomorfológicos que construyen la realidad física, además de la incidencia potencial e implícita, que tales factores tienen sobre los núcleos humanos ahí asentados. Ello se efectúa con apoyo de trabajo de campo que incluye referencias de hechos in situ, así como con el soporte de los mapas topográficos a escalas diversas. Paralelo a ello se elabora cartografía básica con ubicación de los cantones analizados, así como referencia histórica documentada en gráficos de población acerca de las tendencias de crecimiento de la población. En posesión de las áreas en riesgo que proporcionan los productos cartográficos de fuentes selectas sobre ubicación de amenazas, se confrontan con las especificaciones reglamentarias y jurídicas atinentes a la gestión del riesgo y del ordenamiento del territorio. Se realiza una entrevista a los encargados de la gestión del territorio en esas municipalidades con el fin de, completar detalles acerca de sus experiencias con respecto a la ocupación de sectores de riesgo, información que se recolectó mediante una entrevista semiestructurada aplicada a líderes comunales y organizaciones comunales.

## **2. Planteamiento del problema**

Por lo general, la ocupación indiscriminada de tierras a raíz del avance del poblamiento humano y de infraestructura causa efectos desestabilizadores en sectores ambientalmente frágiles, por lo que detonantes como la lluvia o los sismos suelen desencadenar procesos de inestabilidad,

tales como deslizamientos e inundaciones. La recurrencia de estos sucesos y el engrosamiento en pérdidas diversas, debido a la multiplicidad de aspectos que se afectan al producirse eventos de esta naturaleza, señalan que las consecuencias de estos procesos, en lugar de disminuir o estabilizarse, tienden a aumentar.

No obstante, la diversidad de enfoques que se aplican al estudio de las amenazas naturales, ya sea mediante investigaciones interdisciplinarias o informes técnicos, es preciso afinar perspectivas que permitan discriminar, aparte del estudio de la amenaza en sí, qué clase de vulnerabilidades se asocian a la postergación o no cumplimiento de directrices técnicas o legales con respecto a criterios que plantean usos más apropiados para los territorios. Esta particularidad adquiere día con día mayor notoriedad en vista del crecimiento poblacional y la lógica expansión de áreas que se incorporan como sectores habitacionales y de servicios.

### **3. Marco de Referencia**

El término desastre según (Lavell, A., et al. (2003) se aplica como una

Situación o proceso social que se desencadena como manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antrópico que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población y en su estructura productiva e infraestructura, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento del país, región, zona o comunidad afectada, las cuales, en muchos casos, no pueden ser enfrentadas o resueltas de manera autónoma, utilizando los recursos disponibles, entre otras cosas, por la pérdida de vida y salud de la población; la destrucción, pérdida o inutilización total o parcial de bienes de la colectividad y de los individuos, así como daños severos en el ambiente; requiriendo de una respuesta inmediata de las autoridades y de la población para atender a los afectados y reestablecer umbrales aceptables de bienestar y oportunidades de vida. (Lavell, A., et al. (2003) (p.41).

Dado que la fragilidad natural de los territorios se incrementa ante la ocupación espontánea para usos no congruentes con sus restricciones físicas, es importante contemplar el concepto Amenaza antropogénica. Este se expresa con:

“Peligro latente generado por la actividad humana en la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios y la construcción y uso de infraestructura y edificios. Comprende una gama amplia de peligros como lo son las distintas formas de contaminación de aguas, aire y suelos, los incendios, las explosiones, los derrames de sustancias tóxicas, los accidentes en los sistemas de transporte, la ruptura de presas de retención de agua etc. (ídem) (2003)(p.18)

El concepto de Riesgo se aplica entendiéndolo como la Probabilidad de que se presenten pérdidas, daños o consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un periodo definido” (Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias) (2014) (6).

Convencionalmente el riesgo es expresado como función de amenaza, vulnerabilidad y capacidad. Algunas disciplinas también incluyen el concepto de exposición o valoración de los objetos expuestos para referirse principalmente a los aspectos físicos de la vulnerabilidad. Más allá de expresar una posibilidad de daño físico, es crucial reconocer que los riesgos pueden ser inherentes, aparecen o existen dentro de sistemas sociales. Igualmente es importante considerar los contextos sociales en los cuales los riesgos ocurren. En este caso también se contempla la acepción de Riesgo aceptable en donde “se considera como el nivel de pérdida que una sociedad o comunidad considera tolerable, habida cuenta de las condiciones sociales, económicas, políticas, culturales y ambientales prevalentes”. (Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, 2014). (11)

La categoría Amenaza natural, representa un “Peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno de origen natural -por ejemplo, un terremoto, una erupción volcánica, un tsunami o un huracán- cuya génesis se encuentra en los procesos naturales de transformación y modificación de la Tierra y el ambiente” (ídem) (p.5). Suelen clasificarse de acuerdo con sus orígenes terrestres o atmosféricos, permitiendo identificar, entre otras, amenazas (geológicas, hidrometeorológicas, biológicas) o causadas por el ser humano (degradación del ambiente, peligros tecnológicos). (CNE, 2014) (p.5). Con frecuencia la cuantificación de la amenaza resulta difícil por lo que a menudo ésta se describe en términos cualitativos. Este proceso requiere información histórica o la consideración de un experto.

## El concepto de Vulnerabilidad se expresa como

Condición intrínseca de ser impactado por un suceso a causa de un conjunto de condiciones y procesos físicos, sociales, económicos y ambientales. Se determina por el grado de exposición y fragilidad de los elementos susceptibles de ser afectados -la población, sus haberes, las actividades de bienes y servicios, le ambiente- y la limitación de su capacidad de recuperarse” (CNE, 2014). (6).

Representa también las condiciones que imposibilitan o dificultan la recuperación autónoma posterior. Las diferencias de vulnerabilidad del contexto social y material expuesto ante un fenómeno peligroso determinan el carácter selectivo de la severidad de sus efectos. Se convierte así en un “sistema de condiciones y procesos resultantes de factores físicos, sociales, económicos y medioambientales que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de los peligros. (Lavell, A., et. al. 2003) (p.19). El ordenamiento territorial la (CNE, 2014) conceptúa

[...]como un proceso y estrategia de planificación, con carácter técnico-político, a través del cual se pretende configurar, en el corto, mediano y largo plazo, una organización del uso y ocupación del territorio, acorde con las potencialidades y limitaciones del mismo, las expectativas y aspiraciones de la población y los objetivos sectoriales del desarrollo (económicos, sociales, culturales y ambientales). (p.15).

La Gestión del Riesgo de acuerdo con la Ley No. 8488, se entiende como un proceso mediante el cual se revierten positivamente las condiciones de vulnerabilidad de la población, los asentamientos humanos, la infraestructura, así como las líneas vitales, las actividades productivas de bienes y servicios y el ambiente. Es un modelo sostenible y preventivo, al que se le incorporan criterios efectivos de prevención y mitigación de desastres dentro de la planificación territorial, sectorial, socio económica, así como la preparación, atención y recuperación de emergencias. (ídem) (CNE, 2014) (11).

El concepto periurbano se aplica al conjunto de terrenos que rodean una ciudad y en los que se han construido urbanizaciones de casas adosadas y viviendas similares para absorber la población creciente del núcleo urbano. La mayor parte de los planos de una ciudad incluye tres grandes

zonas: el centro, la zona residencial y los espacios periurbanos. (<https://definicion.de/periurbano/>) (5-11-2017).

### **3. Delimitación geográfica-geológica del área en estudio**

Parte de los relieves que delimitan la vertiente sur de la Depresión Intermontana Central contrastan en forma notable con su contraparte al norte tanto por su cronología geológica como por la diversidad de material que la compone. A diferencia de la sección septentrional, caracterizada por relieves de tres cimas conspicuas de origen volcánico y piedemontes extensos; (de este a oeste, edificios volcánicos del Irazú, Barva y Poás) la sección sur corresponde a un sector montañoso bajo, el cual visto desde la parte central de la ciudad capital adopta en partes el aspecto de colinas de cimas cortas y recortadas; con la excepción del macizo de Escazú (Pico Blanco), el cual domina abruptamente el área circundante.

Los relieves que conforman este límite sur de la Depresión Central tienen su mayor altitud en los cerros de Escazú (2300 m). El macizo intrusivo (granodiorita) (cerro Pico Blanco) presenta caracteres morfológicos contrastantes con las unidades geológicas vecinas, tales como las rocas sedimentarias terciarias de la formación Pacacua (areniscas) y con las calizas de San Miguel y las areniscas de Coris. Los territorios de esta vertiente sur que establecen contacto con el fondo del valle, lo efectúan mediante la conformación de extensos conos de deyección

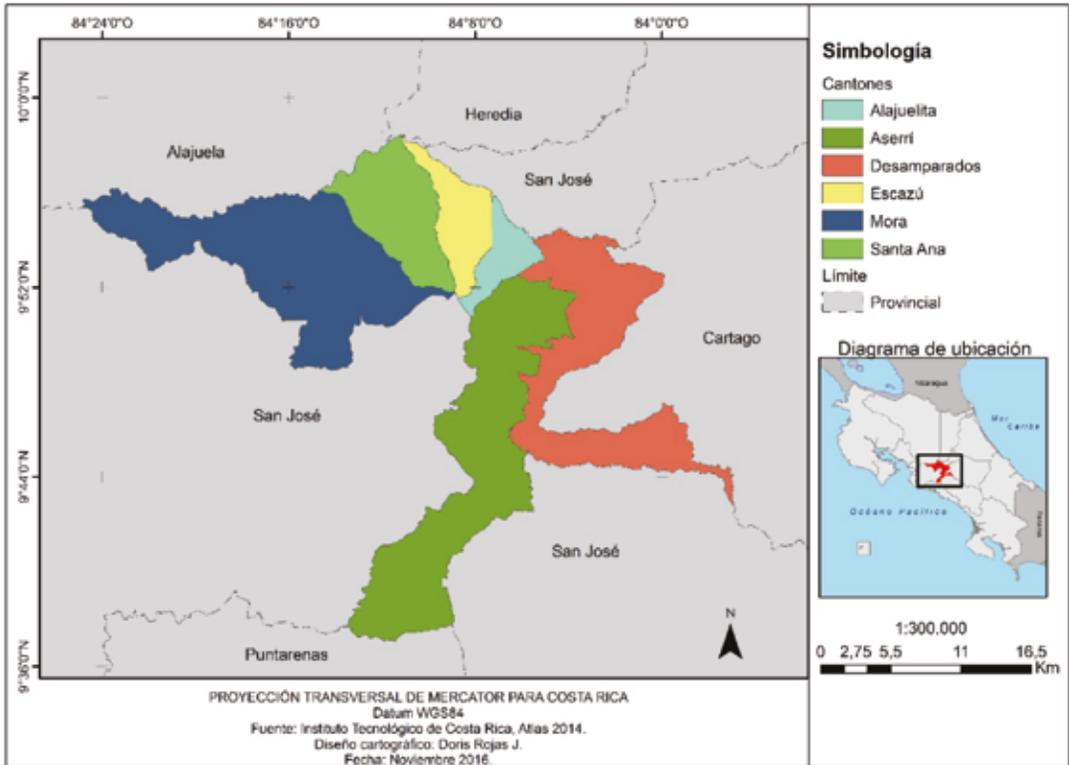
que han debido formarse durante el Pleistoceno superior por efectos climáticos aún desconocidos y que permitieron el desplazamiento de bloques a veces de diámetro considerable. Estos conos nacen en las estribaciones al noreste de los cerros Carpintera y prosiguen hasta Villa Colón, siendo más importantes los de Escazú y Santa Ana, separados por pequeñas estribaciones volcánicas del Mioceno. (Bergoeing y Malavassi, 1982) (14).

Este cordón montañoso que delimita parte del límite sur de la Depresión Intermontana Central extiende sobre sus piedemontes relieves de escasa altitud que conforman vertientes cortas, moderadamente disectadas y sobre las cuales, históricamente se han asentado núcleos poblacionales que han respondido a los patrones de ocupación socio económica que han modelado los territorios de esta parte del país. A finales del siglo XIX estas

localidades conformaban hábitats dispersos, que se integraban en esencia, con base al cultivo del café. Ello varió a partir de la concentración de la actividad económica y poblacional que convierte la región central del país en el área de mayor concentración poblacional y de servicios, ya que la Gran Área Metropolitana cubre el 3,8% del territorio y alberga cerca del 60% de la población del país. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD (2011))

Administrativamente, parte de estos territorios se corresponden de este a oeste con los cantones de Aserrí, Desamparados, Alajuelita, Escazú, Santa Ana y Mora, los cuales abarcan longitudinalmente unos 45 km, considerando su flanco norte mientras que su anchura se adentra -para este trabajo- en promedio de 20 a 25 km hasta la divisoria principal de aguas, y que establece en casos como los de Alajuelita, Escazú y Santa Ana, el límite natural sur de estos cantones. Estas jurisdicciones en conjunto tienen una superficie de 423,44 Km<sup>2</sup> aunque el sector bajo estudio comprende únicamente los territorios cantonales que se localizan de frente a la Depresión Intermontana Central, en su flanco sur. (Mapa 1)

**Mapa 1.** Ubicación de los cantones de Alajuelita, Desamparados, Escazú, Mora y Santa Ana



#### 4. Características demográficas

Tal y como se ha mencionado, los territorios cantonales bajo estudio han recibido durante las últimas décadas un monto creciente de pobladores, atraídos por su cercanía a la ciudad capital, con las consabidas ventajas que tal equipamiento provee. Asimismo, estas concentraciones poblacionales, nacidas a raíz de los desequilibrios espaciales del modelo del desarrollo prevalente no se sustentan en políticas con lineamientos que regulen estos avances poblacionales, por lo que no es de extrañar la multiplicidad de efectos negativos en término de impactos a medios naturales, que esa dinámica causa. Las restricciones en cuanto a ocupación que algunos de estos cantones presentan, no las hace aptas para soportar los usos diversos a que son sometidas, máxime que solo en la mitad y en

uno parcial existen planes reguladores, para ordenar o enderezar al menos, los desajustes ambientales que estas ocupaciones han originado. Los efectos visibles causados por la presencia humana son patentes en el avance constructivo hasta encajonar valles fluviales, y por tanto, en la extensión de estas estructuras allende los terrenos con limitaciones físicas casi absolutas. Los imperativos socio económicos primarios que han empujado estos éxodos de migrantes hacia estos territorios –principalmente, en el caso de los cantones de Desamparados y Alajuelita- no requieren pormenorizar en demasía sobre la naturaleza de los impulsos que hasta ahí los han movido, ya que tales cantones se encuentran entre los más desfavorecidos cuando se explicitan los índices de privaciones humanas cantonales (IPHc) y los logros en desarrollo humano cantonal (IDHc). Así, Desamparados se ubica en el grupo de cantones con IPHc bajos y IDHc medio bajos. Alajuelita aparecía como el cantón que se ubicaba en bajos logros en desarrollo humano y privaciones sociales en la categoría “medio bajas”, lo que ponía de manifiesto un desarrollo humano muy debilitado. (PNUD, 2011). Precisamente, sobre dos unidades territoriales vecinas, en este caso San José y Desamparados, recaen los máximos de ocurrencia de sucesos para la década 1999-2009. Para ese periodo el primero registró 76 reportes por inundaciones y 153 por deslizamientos, el segundo 179 sucesos por inundaciones y 245 por deslizamientos. (Arroyo, N. 2014).

Tal y como se ha señalado, el avance del poblamiento y por ende la ocupación espontánea de terrenos sin sujeción a mecanismos de planificación, con vista a convertirse en sitios que califiquen por sus características como aptos para ser utilizados y formar parte de la planta urbana, tienden a acelerar problemas de inestabilidad en medios naturales, los que por su misma conformación física y grado de invasión, experimentan deterioros que por lo general afectan el “desarrollo” que se pretendió crear. Este procedimiento afecta de diversas maneras estos entornos, ya sea activando deslizamientos en laderas abruptas o tornando insalubres medios atiborrados de viviendas, carentes de consideraciones mínimas sobre los mismos desechos que su presencia genera. Así, se señala que “

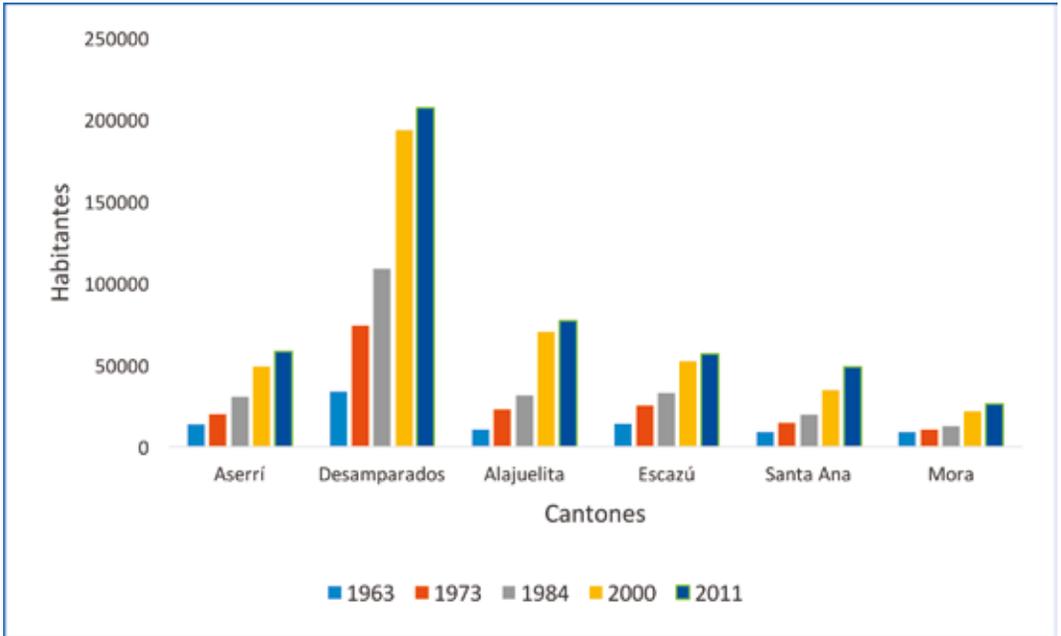
La expansión urbana acelerada de la mancha urbana en la GAM durante el período 1975-2005, se ha dado principalmente hacia cantones como Escazú y Santa Ana, Belén, Flores, San Pablo, San Rafael y el cantón central

en la provincia de Heredia y Alajuela centro. Hacia el este de la capital se ha concentrado en Coronado, Goicoechea, La Unión y Desamparados Programa Estado de la Nación, 2007. Documento revisado el 6 de junio de 2015. Recuperado de: [http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca\\_virtual/educacion/euni\\_7t5.pdf](http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/educacion/euni_7t5.pdf)

La expansión del uso habitacional del suelo ha sido desordenada, ha incrementado los problemas para la recarga de acuíferos y ha generado saturación de los cauces de los ríos por exceso de escorrentía. Asimismo La expansión ha sido acompañada por una mayor generación de residuos sólidos, un notable incremento del parque automotor y contaminación del aire y los recursos hídricos (Programa Estado de la Nación, 2007). Programa Estado de la Nación, 2007. Documento revisado el 6 de junio de 2015. Recuperado de: [http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca\\_virtual/educacion/euni\\_7t5.pdf](http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/educacion/euni_7t5.pdf)

La dinámica de crecimiento poblacional en estas unidades cantonales desde 1963 hasta el año 2011 se muestra en el gráfico No.1. De acuerdo a ello, en un lapso aproximado de 48 años se observa una tendencia sostenida de aumento de habitantes en todas estas jurisdicciones. De los seis cantones, Desamparados es el que exhibe los aumentos más significativos entre los lapsos de años graficados, sobre todo del período comprendido del año 1984 hasta el 2000. Dentro de este mismo período, se localiza un segmento de tiempo que va del 30 de agosto de 1970 al 20 de agosto del año 2000 (30 años), en donde los registros de eventos de inundación en este cantón ascienden a 346. (Sistema de Información para Emergencias, CNE, 2014). La segunda posición en cuanto a aumento de pobladores lo ocupa Alajuelita, sobre todo en los años 1984, 2000 y 2011. Desde el 6 de setiembre de 1971 hasta el 8 de noviembre del año 2010, esta localidad acumuló 119 sucesos por inundación. (ídem).

**Gráfico No.1:** Evolución del crecimiento poblacional por cantón



**Fuente:** INEC, 2011. Elaboración propia. 11-07-2014

En contraposición con los datos anteriores, referencias de sucesos históricos por inundaciones y deslizamientos en Desamparados datan de setiembre de 1981, año a partir del cual y hasta octubre de 1988, se contabilizaban para este cantón 4 eventos. (Arroyo, N. 1988). Para ese mismo periodo, Alajuelita no aparece reseñada, aunque sí los ríos Poás y Cañas, los que afectaron lugares de Aserrí y Desamparados. El hecho que no se consignen noticias sobre sitios de Alajuelita no significa que no ocurrieron, máxime que se advierte que para setiembre de 1981 ocurrió algún suceso meteorológico regional que afectó al país, dada la profusión de noticias por inundaciones en el sector de las cuencas ubicadas al sur de la ciudad de San José.

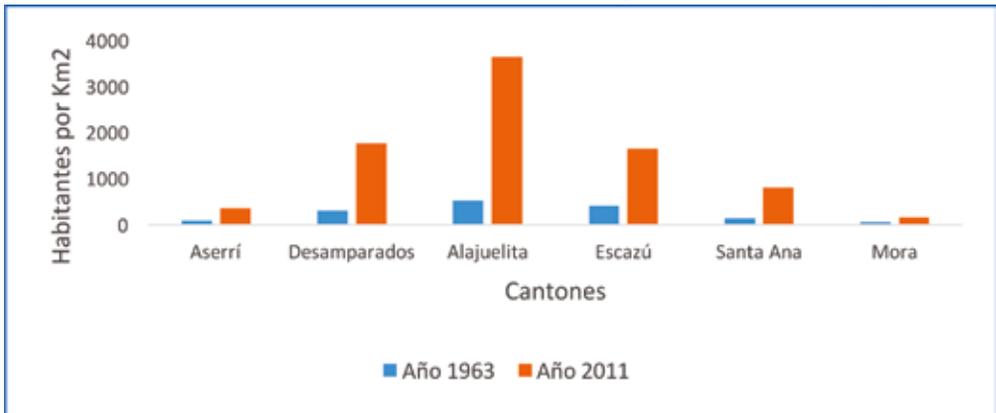
Del total de cantones, Mora es la unidad administrativa, en donde proporcionalmente se experimentó menor crecimiento poblacional, lo cual por un lado es significativo, ya que, de los cantones bajo análisis, es el que registra menor número de noticias por los peligros estudiados. Al respecto en el gráfico No.2, se aprecia como este cantón en comparación con el

resto exhibía para el año 1963 como para el 2011 la menor densidad de población, no obstante, ser la unidad administrativa de mayor extensión territorial. En el caso de los demás cantones, de acuerdo a la tendencia de crecimiento de habitantes en esas unidades, existe una correspondencia entre ese incremento poblacional y el aumento del número de personas por kilómetro cuadrado. Los valores de mayor contraste entre estos años corresponden en su orden a los cantones de Alajuelita y Desamparados.

Es claramente observable, como en ambas unidades el arribo de pobladores se ha traducido, por lógica, en un aumento del número de personas y coincidentemente, ambas unidades administrativas, tal y como se apuntaba atrás, tienen los máximos de noticias por inundaciones y deslizamientos. Los cantones que en su orden experimentaron también aumentos significativos en el renglón de densidad poblacional son Escazú y Santa Ana.

Ambas unidades territoriales no muestran la recurrencia de sucesos que son representativos de Alajuelita y Desamparados. Este hecho, no necesariamente significa que los territorios de Escazú y Santa Ana estén exentos de situaciones de riesgo por peligros naturales como los aquí estudiados, ya que desde la óptica físico natural, los territorios que conforman estos relieves representan una continuidad topográfica que puede -para este caso en particular- extenderse desde Aserri hasta Mora. La variable que puede esgrimirse y que gira en torno a esta vulnerabilidad puede residir en el nivel de equipamiento material que los referidos cantones han experimentado, así como las políticas de traslado de asentamientos masivos que hacia sectores de Alajuelita y Desamparados -principalmente-, se efectuaron a principios de la década de los años noventa. También debe señalarse que Escazú y Santa Ana tienen plan regulador, el primero, desde el año 2009, y el segundo, que data del año 1987. Por otro lado, Desamparados lo tiene desde el 2007. Debe señalarse que, no obstante, la vigencia de este instrumento en los cantones anotados, así como la complejidad que muestra el abordaje de los problemas ambientales en los cantones de Alajuelita y Desamparados; estos planes son de alcance parcial.

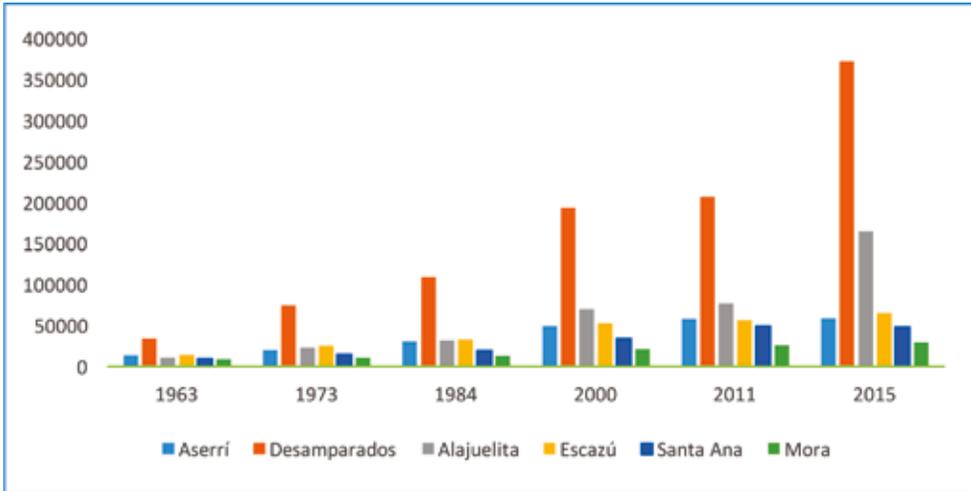
### Gráfico No.2: Densidad de Población cantonal por Km2, años 1963 y 2011



Fuente: Hernández, H. 1985. Elaboración propia. 11-07-2014.

En el gráfico No.2, se aprecia como la densidad de población en el cantón de Alajuelita, prácticamente, se multiplicó por siete en relación al año 2011 y con respecto al año 1963. Desamparados mantuvo una proporción similar. Escazú multiplica su densidad por tres veces al igual que Santa Ana; siendo Aserrí y Mora las unidades cantonales que en comparación con los anteriores experimentaron menos crecimiento. En este último cantón se aprecia concordancia entre el bajo crecimiento de la población entre 1963 y 2011 y una densidad de población que, en este lapso de 48 años, si acaso en Mora, fue duplicada. Tal detalle puede relacionarse –previa relación con otros factores- con la más baja incidencia de efectos por peligros naturales que este cantón presenta.

### Gráfico No.3 Estimación y proyección del crecimiento poblacional por cantón



Fuente: INEC, 2011. Elaboración propia. 11-07-2014.

En términos de proyección del crecimiento poblacional, (Rosero, L. 2002), se aprecia en el gráfico No.3, como las tendencias en el rubro de aumento de habitantes corroboran para el caso del cantón de Desamparados el aumento continuo de pobladores. De acuerdo con el gráfico, se aprecia como en el lapso que va del año 2011 al 2015, la tendencia de crecimiento es la más alta en comparación con los resultados en donde median periodos de 10 o más años. Para el periodo de 4 años, el cálculo estima que la población en término de ese lapso, crecería en más de 150.000 personas, lo cual es alto si se considera que, por ejemplo, de 1963 al 2011, -lapso de 48 años- esta era la cantidad de personas que ya se registraban de diferencia entre ambos periodos. En el caso de Alajuelita, el crecimiento poblacional a partir del año 1963 y hasta el 2011 muestra una tendencia homogénea en términos de no aumentos sensibles; situación que se modifica a partir de 1984, ya que en el censo del año 2000 la población crece cerca de 100.000 habitantes. De acuerdo con la proyección al año 2015, este cantón aumentaría en unos 90.000 pobladores con respecto al año 2011. Para este año 2015, el resto de los cantones bajo análisis no presentan cambios significativos, continuando Mora como el cantón que menos crece en la variable poblacional.

## **5. Análisis de Resultados**

En función de la continuidad geográfica y topográfica que representa la delimitación administrativa de estos cantones se puede señalar que los procesos que han originado eventos por amenazas naturales aquí, no difieren significativamente por su dinámica; entre el cantón más al este (Aserrí) y Mora (oeste). La temporalidad y acaecimiento de tales procesos sí se haya estrechamente vinculada a la actividad antrópica que estas áreas han recibido, por cuanto, es a partir de estos avances que se inscriben como daños a infraestructura y a seres humanos, lo que con anterioridad se concebía como ciclos de actividad de geodinámica externa, absolutamente asociados a procesos milenarios y continuos de formación de relieves nuevos. Es por ello, que existen comunes denominadores tanto entre el tipo de amenazas naturales que se ubican en estos cantones, así como en los problemas ambientales que ha suscitado la ocupación desordenada de estos territorios. Tal similitud se patentiza en los registros históricos de daños y en recuentos de víctimas, así como en tendencias que no parecen tener un término, visto desde una perspectiva de mejoramientos concretos y definitivos que se plantean, pero que no tienen evidencias palpables con el advenimiento del período lluvioso. Si bien cada una de estas unidades administrativas presenta diferencias sustanciales en cuanto a equipamiento y niveles de ingreso personal, la magnitud de los hechos registrados no establece diferencias entre cantones catalogados como de predominancia de sectores económicos altos y los sectores económicamente bajos. La evidencia es lo sucedido en Lajas, cantón de Escazú, con la avalancha en el año 2010 que causó 27 personas fallecidas y daños económicos cuantiosos. Eventos de tal envergadura no han sucedido en Aserrí, Desamparados o Alajuelita; comparativamente, más desfavorecidos en cuanto al nivel socio económico, y por ende, en logros de desarrollo humano. (Arroyo, 2014). Tal premisa permite deducir que más allá de aspectos puramente reglamentarios por aplicación o no de lineamientos en planes reguladores, si los hubiera; existe una crisis ambiental con localizaciones diversas y focalizada en espacios muy puntuales, en donde coexisten condiciones desventajosas en los ámbitos social, económico, e institucional. Las expectativas de mejoramiento ambiental parecen enfocarse en la formulación de planes reguladores; los cuales tampoco representan a corto y mediano plazo una panacea, porque, por un lado, prevalecen situaciones que los mencionados

planes no van a solucionar como son los patrones históricos de ocupación de la tierra, y por otro, los alcances que se vislumbran a corto plazo plantean en la actualidad serias dificultades institucionales por la imposibilidad de resolver situaciones de exposición a amenazas en forma inmediata.

Así, dentro de los aspectos que se señalan por los responsables municipales y consultores, con respecto a los planes reguladores -en el caso de los cantones que lo tienen- está presente el escaso seguimiento que se les da por la distancia temporal que media para su actualización, así como los inconvenientes de tipo técnico y de orden económico que han atravesado no solo al inicio de la aplicación de dicho plan, sino con los inconvenientes que plantean instancias como Sistema Nacional de Riesgo y Avenamiento (SENARA) y el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). Tales observaciones se sustentan en las demoras en que incurren estos organismos para la aprobación de los planes, lo cual afecta el ámbito de aplicación de las reglamentaciones, sobre todo en aquellos casos en que su aplicación es perentoria. Dado que en algunos casos las revisiones y correcciones alcanzan meses o años, ello conlleva, a que directrices de diversa naturaleza con relación a los alcances del plan regulador puedan sufrir desactualizaciones, sobre todo en espacios administrativos de cantones, que por diversos motivos no han experimentado dinámicas de poblamiento y urbanización con efectos negativos sensibles en sus territorios. Lo que significa que la no vigencia de reglamentaciones en plazos aceptables introduce postergación de medidas, que en casos calificados pueden representar avances negativos cuando de regular usos no acordes se trate. Esta posibilidad es válida porque se está en presencia de espacios geográficos dinámicos, sujetos a cambios a corto plazo, y, por ende, en donde su reglamentación es perentoria cuando las áreas están siendo sometidas a presiones de poblamiento por avances en precario.

En los casos particulares de los cantones que aquí se analizan y partiendo de las circunstancias actuales que estos presentan, es importante destacar que el contar con plan regulador y la aprobación de los trámites de viabilidad ambiental es un paso a futuro. Los contextos y la dinámica territorial que prevalecen no significan que estos cantones hayan adquirido una especie de blindaje en los temas concretos de exposición y riesgo por amenazas naturales. Debe partirse del hecho que son territorios muy alterados, en donde además de situaciones casi insostenibles en el renglón

ambiental, las determinaciones pasadas y presentes no han tenido como andamiaje primario una gestión del riesgo que haya sido contemplada en la toma de decisiones. El adoptar la nueva legislación no provee cambios a corto y mediano plazo en situaciones, en donde los entresijos administrativos de afectación de intereses personales y de procedimiento también se anteponen a la puesta en orden de asuntos relacionados con territorios en riesgo. Ello queda patente cuando la vigencia del plan regulador en cantones como San José o Desamparados no ha evitado la recurrencia creciente de efectos por inundaciones y deslizamientos.

Tal y como se señaló al inicio de este trabajo, la totalidad de los cantones que componen el área bajo estudio comparten un territorio, que a manera de franja continua, se extiende de este a oeste, al pie de relieves que delimitan la ciudad de San José por el sur. Esta localización, ahora particionada por límites administrativos, en el pasado reciente, conformó una extensa unidad de relieve, la cual a raíz de la ocupación para usos diversos empezó procesos de transformación espaciales ausentes en su totalidad de criterios apegados a criterios de planificación. No es sino a partir del año 1969, que con la promulgación de la Ley de Planificación Urbana se implementan controles incipientes centrados en formas de construcción y ubicación de servicios en áreas específicas, concedidos asimismo por las respectivas municipalidades y únicamente apoyados en la supracitada ley. Debe señalarse que estos criterios no incluían estudios adicionales sobre variables asociadas a relieves, aspectos ambientales u otros factores que introdujeran eventuales restricciones de uso. La carencia de instrumentos futuros más finos, tales como planes reguladores, como parte de temas de riesgo o IFAS, no favorecieron el conocimiento a profundidad de tierras con evidentes restricciones para ser pobladas. El resultado evidente de tales carencias, es en parte producto de los problemas que a todo nivel se observan en algunos de estos cantones.

No obstante, la diversidad de leyes que desde ópticas diferentes enfocan campos particulares, tales como el aspecto forestal o los suelos, es evidente que la promulgación de la Ley de Planificación Urbana No.4240 de 1968 vino a normar aspectos urbanísticos, cuyos alcances se centran exclusivamente en el ámbito urbano, siendo omisa con “el uso del suelo en zonas agrícolas, la conservación de territorio desde el punto de vista

de la biodiversidad o del paisaje, o la gestión del riesgo con un enfoque preventivo del ordenamiento territorial.” (Astorga, A. 2010) (10). Como su nombre lo indica, sus lineamientos están dirigidos hacia espacios urbanos; alcances que técnicamente no son extensivos hacia una planificación integral del territorio del país. De acuerdo con sus planteamientos, esta ley vino también a introducir el concepto del plan regulador como insumo para las municipalidades, instrumento, cuya elaboración está pendiente total o parcialmente desde esa fecha hasta la actualidad para muchos cantones. De acuerdo con el Informe del Estado de la Nación (2010), la vigencia de los planes reguladores representaba cerca de 10% del territorio continental del país. Astorga, A. (2011, p.10).

Para los tiempos en que estas regulaciones no existían, los criterios que prevalecían eran los establecidos por los mercados de bienes raíces, en donde los cambios de uso de tierras con vocación agrícola se fueron gradualmente extendiendo hacia usos de mayor rentabilidad. Desde esta perspectiva puede al menos explicarse la extrema atomización del paisaje urbano, en donde los antiguos propietarios cafetaleros con probabilidad ofertaron lotes de entre 150 a 200 metros cuadrados, situación que a la luz de las reglamentaciones actuales –si existieran- sería impensable su puesta en práctica, con base a las restricciones naturales que presentan amplias secciones de este territorio.

Asimismo, de acuerdo con las entrevistas recabadas a los funcionarios de las municipalidades; si bien la ley No. 8488 del año 2013 vino a subsanar debilidades fuertes en temas relacionados con el ordenamiento territorial, al enlazar los esfuerzos sobre la identificación de amenazas efectuadas por la Comisión Nacional de Emergencias, y hacer de acatamiento vinculante sus advertencias para con las municipalidades; el hecho es que no puede olvidarse la historia de desaciertos en el uso del territorio en amplios sectores del territorio, con respecto a situaciones de riesgo acumulado. Este aspecto es de importancia, sobre todo en aquellos sectores, en donde el poblamiento y los escasos controles, con respecto, por ejemplo, a la construcción irregular de viviendas, hacen extensivo el deterioro ambiental, y por ende, acrecientan la vulnerabilidad. Tal característica torna difícil la labor de control por parte de los funcionarios municipales, ya que equivale a tratar de ordenar lo que representa una situación consuetudinaria en muchos de los espacios cantonales.

Esta particularidad es, especialmente, notoria cuando se estudian los contextos físicos de los cantones analizados. Ninguna de las delimitaciones administrativas es consistente en su coincidencia con límites naturales, entiéndase cuencas. El caso del cantón de Desamparados es notable, ya que al menos dieciséis cursos fluviales sirven de límites cantonales. Con esta afirmación se da por descontado, el que muchos de los cursos fluviales que atraviesan estos territorios no tienen su nacimiento dentro del cantón, sumándole a ello el que algunos de ellos, tal como el río Cañas, nace en Aserrí, para continuar hacia Desamparados y Alajuelita. Tal característica agrava más el panorama general de la zona considerada en su conjunto, ya que las jurisdicciones o criterios cantonales no se enfocan en términos de gestión del riesgo unificadas, sino que las determinaciones eventuales con respecto a este tema, deben resolverse o atenderse de funcionario a funcionario o de municipalidad a municipalidad, lo cual atrasa resoluciones que requieren atención prioritaria.

Tal característica se asocia con la temporalidad, ya que las situaciones de riesgo existentes prevalecen, o sea que a lo largo del tiempo se ha ido efectuando uno que otro detalle correctivo que ha obedecido a una situación coyuntural por lluvias o deslizamientos, sin embargo, la esencia del problema como lo es el recargo de las cuencas con viviendas y demás obras, no se representa con mejoras sustantivas. Dicho de otra forma, es tal el deterioro ambiental de estos territorios, que implícitamente se asume la opción de “riesgo aceptable” en vista de la imposibilidad de remover causas estructurales para una solución permanente del problema. La prevalencia de factores de hecho y condicionantes históricas por ocupación de tierras que se sitúan en contextos, en donde no existía legislación que tratara en detalle el ordenamiento territorial, hace que no sea viable un reacomodo de variables naturales –como, por ejemplo, los retiros de construcción que se reglamentan en las riberas de los ríos- lo que equivaldría a la destrucción de gran cantidad de viviendas, así como de reubicación de estos pobladores en sitios más seguros.

Es fundamental entender que los alcances de la gestión del riesgo, idealmente, deberían alejarse de una gestión de compensación ante la presencia de situaciones de riesgo consuetudinarias. Estas últimas representan aquellas en donde la prevalencia de desajustes ambientales por invasión de hábitats frágiles puede alcanzar grados de irreversibilidad no

tanto porque los sistemas naturales estén imposibilitados de recuperarse, sino porque las causas estructurales por el modelo económico asumido; no hacen factible esa reversión en vista de lo complejo de los factores e intereses que involucrarían su solución. El procedimiento de gestión del riesgo no alcanzará para estas áreas los alcances mínimos, porque lo que debió preverse en términos de planificación de territorios, no se realizó. Lo que existe ahora es una aceptación y reducción del riesgo, porque no hubo un paralelismo en tareas de ocupación y de uso apropiado de los espacios que corriera aparejado a las modificaciones que se hacían en el entorno. La premisa que asocia y que respalda el proceso de desarrollo tal y como se comprende: sostenible, garantizado en función de equipamientos o servicios y en condiciones ideales de durabilidad; exige también soportes óptimos que prolonguen las prestaciones de tales infraestructuras.

### Referencias

- Arroyo, N. (2014). Costa Rica: Tipología sinóptica de dos unidades cantonales por provincia con mayor incidencia de impactos por inundaciones y deslizamientos durante la década 1999-2009. Informe de investigación. Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Geográficas, Comisión Nacional de Emergencia. Heredia, Costa Rica.
- Arroyo, N. (2014). Gestión del riesgo y los índices de desarrollo distrital: un enfoque de casos. *Revista Geográfica de América Central*, 53, 81-111.
- Arroyo, N. (2011) Costa Rica: Análisis de la incidencia espacial de inundaciones y deslizamientos por provincias y cantones, años 2000 al 2006. *Revista Geográfica de América Central*, 47E(2).
- Arroyo, N. (1988). Tipos y distribución de algunos peligros naturales en Costa Rica (Sismicidad y vulcanismo, deslizamientos, sequías e inundaciones). Informe de investigación. Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Geográficas, Comisión Nacional de Emergencia. Heredia, Costa Rica.
- Astorga, A. (2011). *Programa Estado de la Nación (2011)*. Capítulo 4: Armonía con la naturaleza. Decimoséptimo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica 2011. Programa Estado de la Nación. [http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca\\_virtual/017/](http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/017/)

- Astorga\_Allan\_Ordenamiento\_territorial\_en\_Costa\_Rica\_2010.pdf. Página 10. Leído el 14-02-2015.
- Bergoeing, J. y Malavassi, E. (1982). *Geomorfología del Valle Central de Costa Rica*. (Explicación de Carta Geomorfológica 1:50.000) Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Investigación, Departamento de Geografía.
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (2014). *Gestión Municipal del Riesgo de Desastres: Normas y elementos básicos para su inclusión en el ordenamiento territorial. Énfasis en Prevención, Control y Regulación territorial*. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (2014). *Sistema de Información para Emergencias*. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.
- Lavell, A. et al. (2003). *La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CE-PREDENAC), PNUD. Documento revisado el 10 de abril de 2014. Recuperado de: <http://vcd.crid.or.cr/vcd/index.php/RIESGO>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD (2011). *Atlas del desarrollo humano cantonal de Costa Rica 2011*. Universidad de Costa Rica, (1 ed.) San José. Costa Rica 2011. Recuperado de: <http://www.pnud.or.cr/mapa-cantonal/atlas.pdf>
- Rosero, L. (2002). *Estimaciones y proyecciones de población por distrito y otras áreas geográficas*. Costa Rica 1970-2015. Centro Centroamericano de Población (CCP) Universidad de Costa Rica e Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) San José, Costa Rica Octubre, 2002 Recuperado de: <http://ccp.ucr.ac.cr/bvp/pdf/proye/distrital.pdf>

## Morfometría de la subcuenca del río Toyogres, Cartago, Costa Rica

Morphometry of *Toyogres* river sub-basin, Cartago, Costa Rica

*Pablo Ramírez-Granados*<sup>1</sup>

*Kevin Alfaro-Jiménez*<sup>2</sup>

*Universidad Nacional de Costa Rica*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.9>

### RESUMEN

A partir de sistemas de información geográfica y modelado de datos en Microsoft Excel, se realizó la morfometría de la subcuenca del río Toyogres en Cartago. El objetivo del estudio fue desarrollar los principales parámetros geomorfométricos y morfométricos que caracterizan una cuenca hidrográfica como etapa inicial en cualquier estudio hidrológico. Los resultados mostraron como la forma de la subcuenca puede ser analizada a partir del estudio de los aspectos geométricos derivados de los índices morfométricos, los cuales a su vez relacionan los aspectos litológicos y geomorfológicos que condicionan la forma alargada que esta tiene. A su vez, esta forma condiciona la relación de sus drenajes y las categorías en las cuales se encuentran además de su respuesta hidrológica.

**Palabras clave:** morfometría, cuenca Toyogres,

---

1 Investigadores, Laboratorio de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Costa Rica. Correo electrónico: pablo.ramirez.granados@una.cr

2 Investigadores, Laboratorio de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Costa Rica. Correo electrónico: kevin15aj@gmail.com

Fecha de recepción: 31 de mayo de 2017  
Fecha de aceptación: 4 de setiembre de 2017

## ABSTRACT

Based on geographic information systems and data modeling in Microsoft Excel, the morphometry of the Toyogres river sub-basin in Cartago was modeled. The purpose of the study was to develop the main geomorphometric and morphometric parameters that characterize a hydrographic basin as an initial stage in any hydrological study. The results showed how the shape of the sub-basin is related to the geometric aspects derived from the indices, which, therefore, responds to an elongated form. In turn, this form conditions the relationship of their drainage and the categories in which they are located.

**Keywords:** morphometry, Toyogres River, watershed.

## Introducción

El manejo de los recursos hídricos es, en la actualidad una de las mayores preocupaciones de la humanidad debido a las necesidades de agua para su consumo y las diferentes actividades humanas. Una de las maneras para abordar la problemática de los recursos hídricos, es a partir del enfoque de cuenca hidrográfica, el cual permite conocer las características intrínsecas y la hidrología (Brooks *et al.*, 2013).

En la evaluación inicial de una cuenca hidrográfica, una de las primeras etapas lo constituye la medición de ella, basada en parámetros morfométricos (Zăvoianu, 1985). La morfometría de cuencas es un término que se refiere a la medición de la forma de estas (Zaidi 2011; Esper Angillieri y Perucca 2014) y como la forma condiciona su respuesta hidrológica. También puede ser usada para entender la dinámica geomorfológica de un paisaje (Demoulin, 2011).

Las cuencas hidrográficas o cuencas de drenaje son las unidades fundamentales para entender las características geométricas de paisajes fluviales, tales como la topología de redes de corrientes, su patrón, forma y características de relieve (Prabu y Baskaran, 2013; Mikhailova, 2015). Por otro lado, la estimación de los parámetros y patrones de drenaje, a partir de la morfometría, pueden contribuir a un mejor entendimiento del comportamiento hidrológico de una cuenca, como por ejemplo el estudio de inundaciones (Newson 1978), la ocurrencia, movimiento y almacenamiento de agua subterránea (Avinash *et al.* 2014)

El presente trabajo representa una descripción morfométrica inicial de la subcuenca hidrográfica del río Toyogres. Constituye un estudio inicial, a partir del cual se podrán realizar propuestas en relación al comportamiento hidrológico y las propiedades morfológicas de la cuenca,

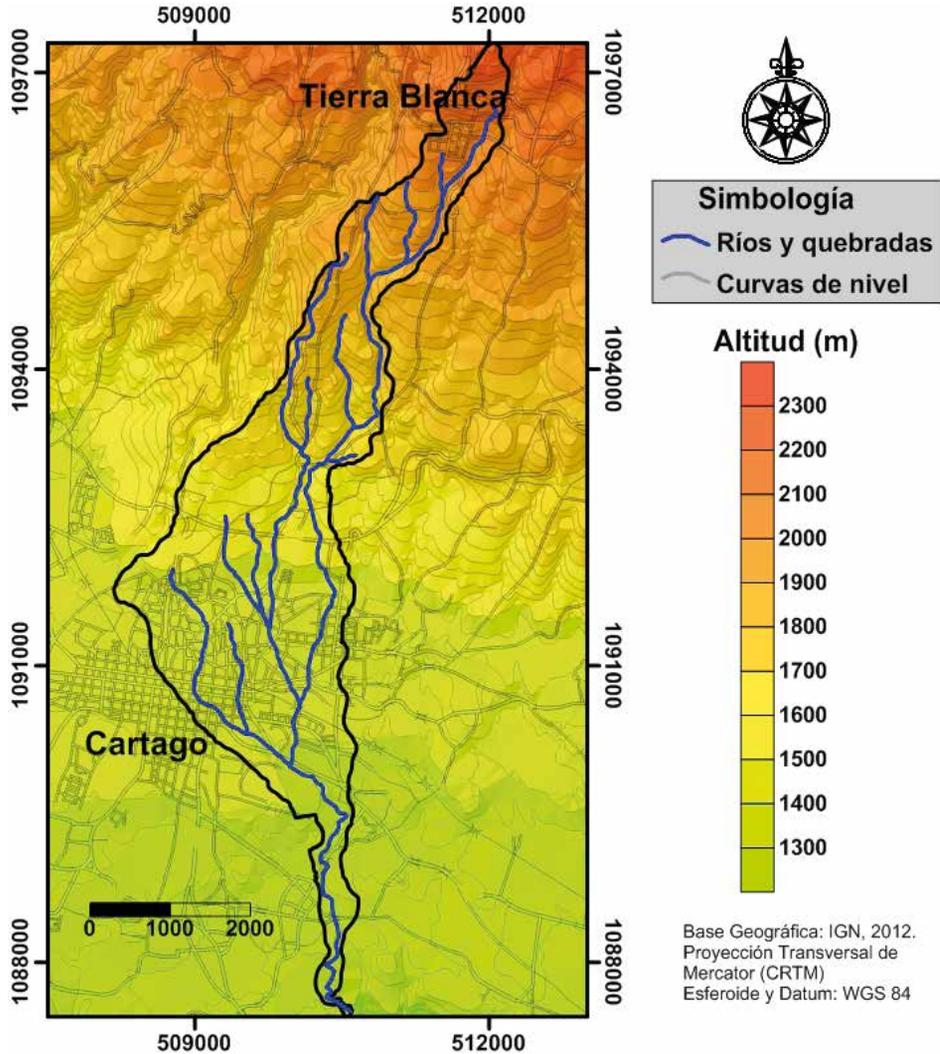
integrando principios definidos en hidrología, geomorfología y otras disciplinas (Shen *et al.* 2015). Este artículo es un resultado parcial del proyecto 0138-16 denominado “*Caracterización biofísica, morfométrica e hidrológica para proponer acciones de manejo de recursos hídricos en la subcuenca del río Páez, Cartago*” y constituye uno de los aportes en investigación técnica y científica aplicada, del Laboratorio de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos, de la Escuela de Ciencias Ambientales, a la Comisión de Recurso Hídrico del Consejo Cantonal de Coordinación Institucional del Cantón de Cartago (CCCI-RH).

### **Área de Estudio**

El área de la cuenca se localiza en la zona central de la hoja Istarú, desde el poblado de Tierra Blanca, atravesando la ciudad de Cartago, hasta llegar al poblado de Dulce Nombre (fig. 1). Se ubica entre las coordenadas planas 508 770 y 512 130 m este y 1 087 483 y 1 097 263 m norte del sistema de Proyección Transversal de Mercator para Costa Rica (CRTM).

Posee un área aproximada de 9,8 km<sup>2</sup>, a partir de su proyección horizontal sobre contornos topográficos de la hoja Istarú, escala 1: 50.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), usando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Sus aguas drenan hacia el río Agua Caliente, el cual a su vez desemboca en el río Grande de Orosi para formar el río Reventazón. Dentro de la cuenca se destacan la ciudad de Cartago y los poblados de Tierra Blanca y Dulce Nombre.

Figura 1. Cuenca del río Toyogres



En la parte alta de la cuenca del río Toyogres, correspondiente al sector norte de la hoja Istarú, está conformada por un uso de la tierra predominantemente de cultivo agrícola anual, mientras que la parte sur, corresponde a zona urbana (Méndez, 2012).

Regionalmente en la cuenca se definen varias unidades geológicas correspondientes al Grupo Irazú, el cual se define como una serie de rocas

volcánicas, producto de la actividad del volcán Irazú y que abarca desde el Pleistoceno Tardío hasta la actualidad (Krushensky, 1972). Krushensky (1972) divide este grupo en orden cronológico en las formaciones Reventado Sapper, Birrís y Cervantes. Posteriormente Alvarado (1993) propone las siguientes unidades en orden estratigráfico: Ignimbrita, Reventado, De La Haya, Cerro Alto Grande, Sapper, Birrís, Colada de Cervantes, González, Dóndoli, Tristán, Alfaro y Depósitos Recientes. Luego, Pavanelli *et al.* (2004) realizaron un estudio en las faldas sur-sureste, definiendo como unidades estratigráficas las siguientes: Indiferenciada, Cot, Debris Avalanche de Birrís, Flujos de Lava de Cervantes, Ceniza de Caída Laguna, Debris Avalanche de Reventado y Productos Recientes. Más reciente, Alvarado *et al.* (2006), proponen un nuevo orden estratigráfico para las unidades volcanológicas, definiendo las siguientes: San Jerónimo, Paraíso y Pico de Piedra, Reventado, De La Haya, Sapper, Cervantes, González, Dóndoli, Tristán, Alfaro y Depósitos Recientes. Para las descripciones de los materiales de la subcuenca del río Toyogres, se utilizarán las unidades definidas por Krushensky (1972), pues las descripciones de los trabajos posteriores obedecen a una separación de orden volcanológico.

La unidad geológica regional donde se encuentra la subcuenca del río Toyogres, corresponde con el Miembro Superior de la Formación Reventado. Esta consta de flujos de lava de tipo andesítico-basáltico, lahares y depósitos de ceniza. Localmente se encuentra compuesta por materiales volcánicos cuaternarios (Quintanilla *et al.*, 2008) específicamente coluvios, lahares y aluviones. Estos lahares se caracterizan por presentar varios niveles de depositación separados por lentes arcillosos. Más recientemente, Ramírez y Zúñiga (2014) encontraron que estos lahares están sobreyacidos por capas de arcilla en distintos sectores. En el sector de Tierra Blanca, se reconocen flujo de lavas, mineralógicamente compuestas por cristales de plagioclasa en su mayoría, con un pequeño porcentaje de piroxenos y cuyo afloramiento se encuentra aproximadamente 1 km al noroeste de Tierra Blanca. Estas lavas están sobreyacidas por capas de ceniza, las cuales condicionan la forma ondulada suave del terreno (Ramírez-Granados y Zúñiga Mora 2014).

Con respecto a la geomorfología, Alvarado *et al.* (2006) señalan que el patrón de drenaje de los ríos al sur del volcán Irazú, fluye hacia abajo formando profundos cañones, debido al material volcánico poco

consolidado. Algunos ejemplos de ello se manifiestan en el cañón del río Toyogres, en el puente que divide San Rafael de Oreamuno y Cartago, la carretera hacia el volcán Irazú y en la carretera hacia Paraíso; también se observan en la localidad de Dulce Nombre (Ramírez y Zúñiga, 2014).

Considerando los usos de la tierra definidos y cartografiados por PRUGAM (2008), los usos dominantes en esta cuenca señalan un alta dominancia de los pastos y los cultivos, desde la parte media de la cuenca hasta su cabecera, cerca del poblado de Tierra Blanca. De la cuenca media hacia el sur, los usos dominantes son el uso urbano y en mucho menor medida los pastos, muchos de los cuales presentan diferencias significativas con los pastos de la parte alta de la cuenca debido al impacto que se generan en ellos por los usos urbanos vecindantes.

### **Metodología**

La elaboración de la morfometría de la cuenca se basó en las curvas topográficas de la hoja Istarú, escala 1:50 000, del Instituto Geográfico Nacional (IGN). A partir de la hoja previamente escaneada y georeferenciada y usando el sistema de información geográfica (SIG), ArcGis 10.2, se realizó la digitalización de los drenajes y el parteaguas, usando los contornos de elevación y con ello se trazó el límite topográfico de la cuenca hidrográfica. El modelado geomorfométrico se realizó con la ayuda del software Surfer 11.6.

Tomando en cuenta que la cuenca hidrográfica es un vector poligonal, se obtuvieron de ella sus propiedades geométricas: área y perímetro. Sobreponiendo el vector poligonal de líneas de contornos topográficos con el vector poligonal de la cuenca, se hizo un corte del polígono basado en las curvas de nivel y de allí se obtuvieron las áreas parciales de la cuenca entre contornos. En el caso de los vectores lineales, correspondientes a ríos y curvas de nivel, se obtuvieron las longitudes de línea para cada uno.

Ya obtenidos los insumos vectoriales en el sistema SIG, los parámetros morfométricos fueron calculados considerando la definición teórica de ellos, referida en distintas publicaciones (Zăvoianu, 1985; Villón, 2004; Vittala *et al.*, 2004) y realizando diversos cálculos con ayuda de Microsoft Excel 2007.

En lo que respecta al modelado geomorfométrico, este se realizó utilizando una interpolación lineal de un conjunto de puntos espaciados

10 m, con lo cual se construyó el modelo digital del terreno (MDT) sobre el cual se calcularon los parámetros morfométricos. Los parámetros geomorfométricos, expresados como ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, fueron estimados usando una grilla cuadrada y utilizando diferencias finitas (Moore *et al.*, 1991).

## **Resultados**

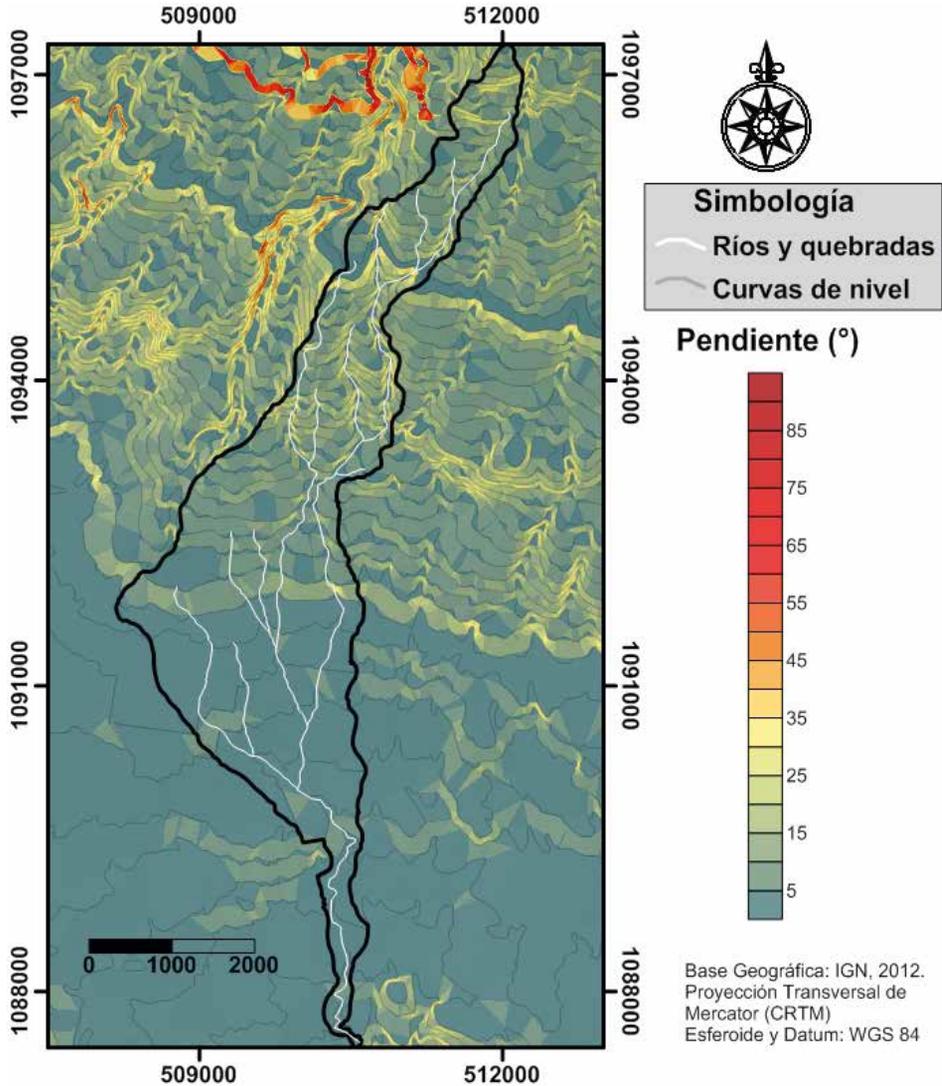
### *Pendiente*

Este parámetro geomorfométrico, calcula la pendiente de cualquier nodo de cuadrícula en la superficie. Esta pendiente es reportada en grados desde 0° (horizontal) a 90° (vertical). Para un punto particular en la superficie, la pendiente está basada en la dirección de descenso o ascenso más empinado en ese punto (Jordan, 2007) y es descrita por la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial y}\right)^2}$$

Para la cuenca del río Toyogres, las pendientes rondan valores entre los 0° y 10° en las zonas más planas de la cuenca baja, se incrementan hasta en 35° en la zona media y alta (fig. 2). Uno de las características más evidentes en el mapa de pendientes, corroborado en la visitas de campo, es que los drenajes de la cuenca no manifiestan cañones profundos y muchos de ellos no son evidentes en contornos cada 20 m. En varios de los trayectos a lo largo del río, se observaron profundidades variables de hasta 5 m, como en el caso del puente del río, sobre la vía 219, entre Cartago y Oreamuno, y los puentes en San Rafael de Oreamuno accesibles por los caminos principales.

**Figura 2.** Pendiente (°) de la cuenca del río Toyogres.



### *Orientación*

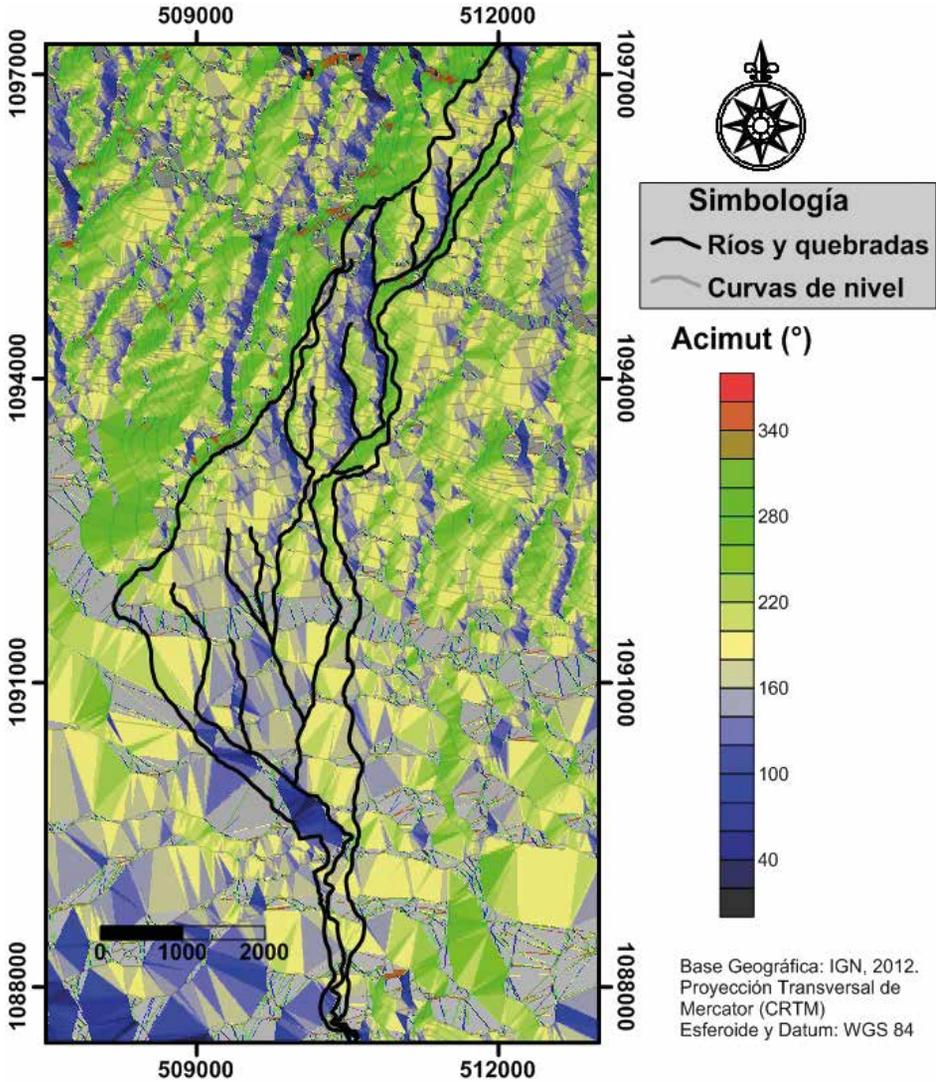
La orientación calcula la dirección de descenso de la pendiente más empinada, es decir la dirección de inmersión, en cada nodo de cuadrícula. Esta es la dirección que aparece perpendicular a las líneas de contorno en la superficie y está opuesta a la dirección del gradiente. Los valores de

orientación son reportados en acimut, donde 0° señala una dirección norte y las sucesivas en relación horaria. Se describe como:

$$A_T = 270 - \frac{360}{2\pi} \cdot \text{atan} \cdot 2 \left( \frac{\partial L}{\partial y}, \frac{\partial L}{\partial x} \right)$$

La orientación de las pendientes en la cuenca del río Toyogres, muestra una dominancia en la dirección en la dirección sur y suroeste, especialmente en la cuenca media. Hacia el norte de la cuenca, los drenajes evidencian una clara división entre las pendientes, orientadas hacia el sur oeste y hacia el sureste. En las zonas donde se indefine la orientación, es decir, las zonas no orientadas, estas se caracterizan por ser zonas planas. En el campo estas zonas corresponden con el sector norte de la ciudad de Cartago, en el poblado de San Blas, donde la pendiente es baja.

**Figura 3.** Orientación (°) de la cuenca del río Toyogres



### *Geometría básica*

La cuenca de captación del río Toyogres presenta un área de 10,14 km<sup>2</sup>, obtenida a partir de la digitalización de su parteaguas en un sistema de información geográfica. Según la definición de jerarquías, esta cuenca se puede considerar dentro de la categoría de minicuenca ya que su área

está dentro del rango de 10 a 30 km<sup>2</sup> (Vittala y Govindaiah 2004), para este trabajo su jerarquía corresponde a la de subcuenca.

Presenta un perímetro de 25,27 km y cuenta con una elevación mínima de 1280 m y una máxima de 2280 m.

El parteaguas de una cuenca, define la forma y la superficie que abarca la cuenca hidrográfica, además influye en los escurrimientos y en la relación de caudal-tiempo (hidrograma) en el punto de salida. Los escurrimientos a los sistemas de drenajes, están condicionados por el contorno, de la misma manera que el tiempo de concentración. Para la cuenca del río Toyogres, su índice de compacidad es de 2,22, indicando que es una cuenca de forma alargada (Zăvoianu, 1985).

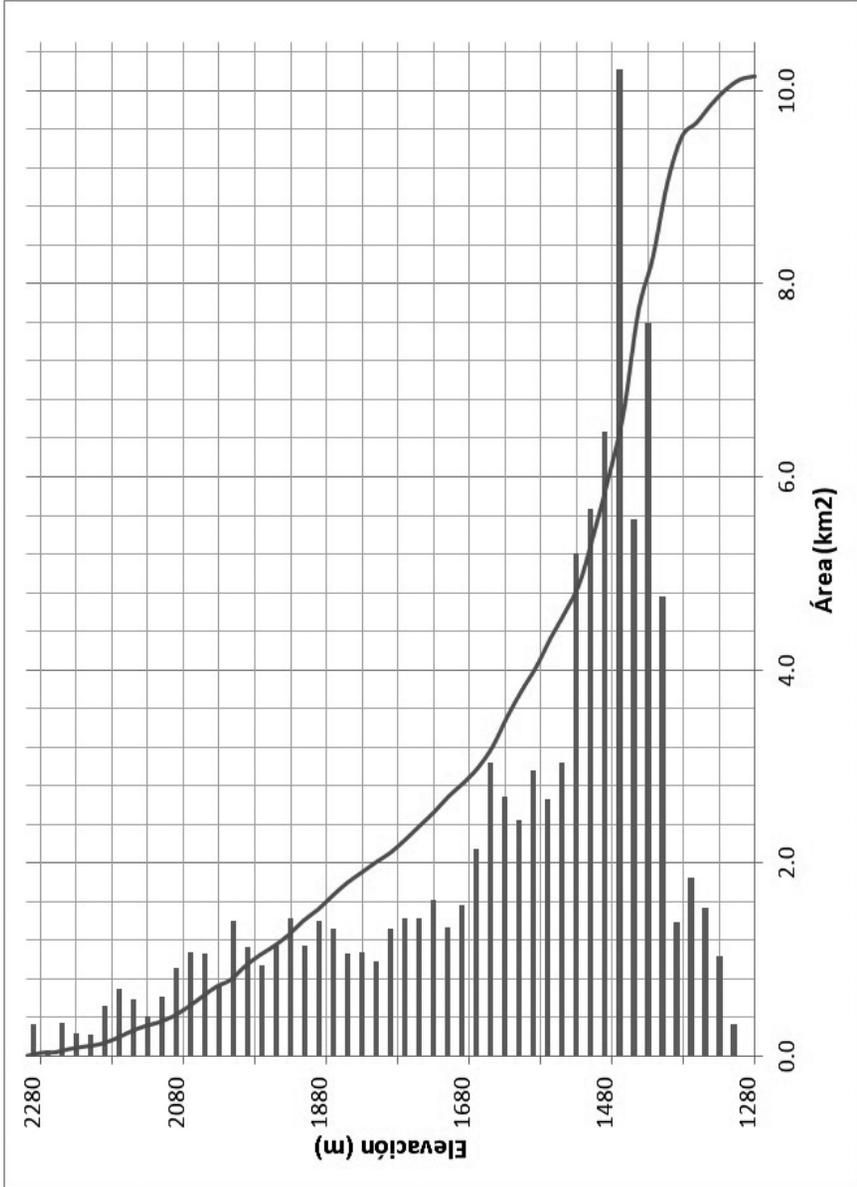
La longitud de una cuenca es definida como la longitud a lo largo de la dimensión proyectada más grande en lo posible paralela al drenaje principal (Pareta y Pareta, 2011). La cuenca del río Toyogres, presenta una longitud de 10,18 km, según el método de Ongley (Zăvoianu, 1985) y un ancho máximo de 2,45 km. El factor de forma de 0,24, confirma que la cuenca tiene una forma alargada (Zăvoianu, 1985). La longitud y el ancho promedio de la cuenca fueron 11,77 km y 0,86 km, respectivamente, obtenidos del rectángulo equivalente.

#### *Análisis hipsométrico y frecuencia altimétrica*

Una cuenca hidrográfica es generalmente descrita por su integral hipsométrica  $\int Hb$  (Demoulin, 2010) un índice volumétrico propuesto por Strahler (1952) el cual vino a mejorar el método desarrollado por Langbein (Langbein, 1947). La integral hipsométrica  $\int Hb$ , se puede definir como la integral de la distribución acumulada de la altitud relativa dentro de una cuenca hidrográfica. El análisis de frecuencia altimétrica se utiliza para describir las frecuencias de ciertos niveles de elevación y acompaña la descripción hipsométrica.

La subcuenca del río Toyogres muestra una curva hipsométrica de tipo cóncavo (fig. 4), donde el pico de la distribución altimétrica corresponde con las altitudes entre los 1300 y los 1540 m. El valor de la integral hipsométrica, considerando el método propuesto por Pike y Wilson (1971), y corroborado a partir de la integración del área bajo la curva, es de 32%. Este valor de la integral hipsométrica revela que la subcuenca del río Toyogres está iniciando su etapa de madurez, ya que valores menores del 30% son asociados a senectud y cercanos a 47% a madurez (Racca 2007). La elevación media de la cuenca es de 1600,48 m.

**Figura 4.** Curva hipsométrica y gráfico de frecuencia altimétrica de la cuenca del río Toyogres



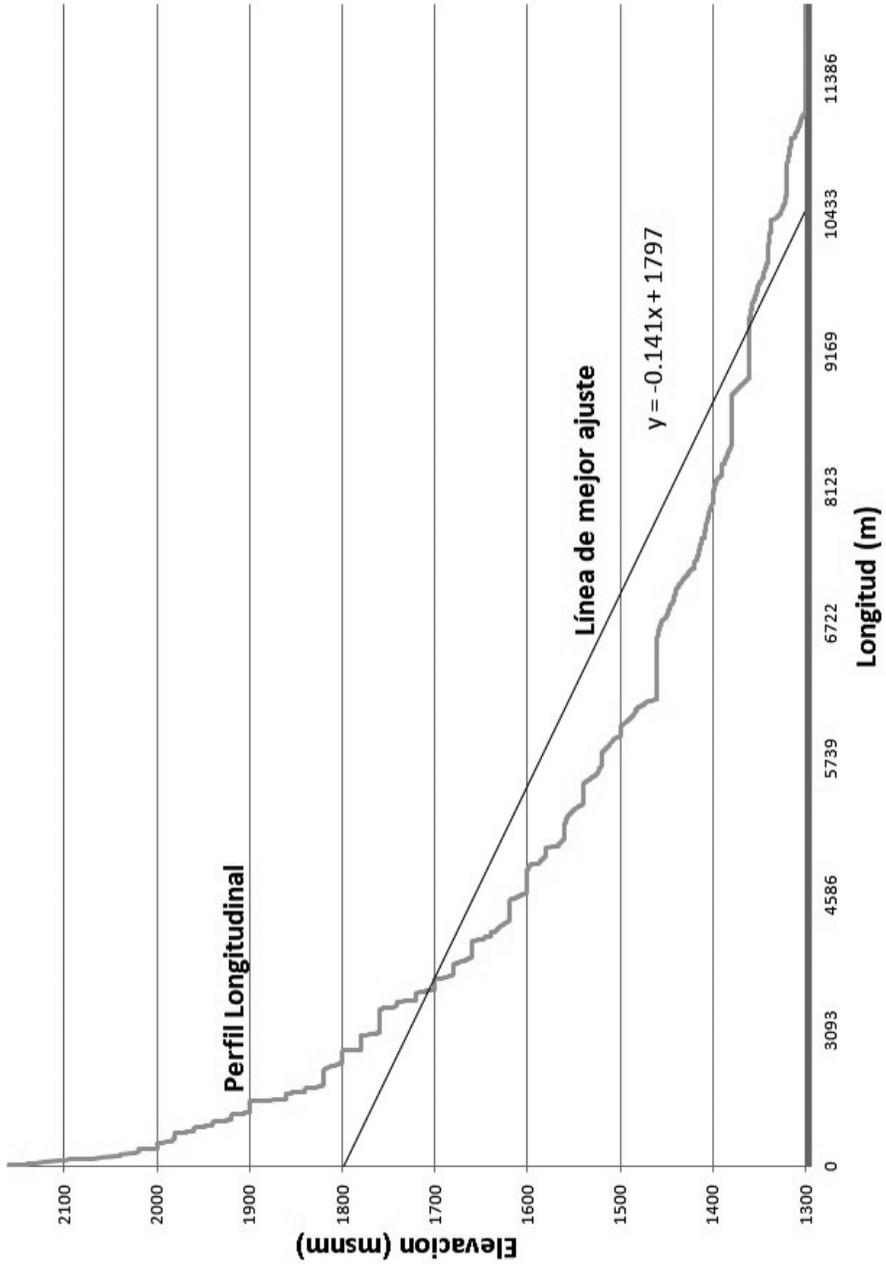
### *Pendiente de la cuenca.*

La pendiente puede ser definida como la tangente del ángulo de inclinación de una línea o plano definido por la superficie (Zăvoianu, 1985). Existen varios métodos para calcular la pendiente promedio de la cuenca, algunos de ellos pueden ser consultados en Zăvoianu (1985), Chang *et al.*, (1989), Villón (2004).

Al ser la cuenca hidrográfica, una superficie con una proyección horizontal irregular, resulta complicado establecer el ancho y el largo promedio. Para obtener ambos valores, es usado el criterio del rectángulo equivalente, donde se utiliza como punto de partida el área y el perímetro de la cuenca. El índice de pendiente (*Ip*) de la cuenca, según Villón (2004) es una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo recorrido por el río, tomando en cuenta el lado mayor del rectángulo equivalente. Para la cuenca, *Ip* arroja un valor de 26% o 14,6° de pendiente promedio. El valor de la pendiente según el criterio de Alvord (Villón, 2004) fue de 14% o 8,21°. Usando el criterio del rectángulo equivalente, el valor de la pendiente para la cuenca del río Toyogres es de 8,5% o 4,85°. Tomando como base los segmentos del rectángulo equivalente, la pendiente con el criterio de Taylor & Schwarz (Taylor y Schwarz 1952; Villón, 2004) resulta en un valor de 4,77% o 2,73°. Debido a las fuertes variaciones de las pendientes de una cuenca hidrográfica y a la imposibilidad de determinar, por la irregularidad de su forma, un valor más exacto, existe un criterio que puede ser usado como valor base para la pendiente de una cuenca.

Villón (2004) menciona que un criterio de naturaleza más real de medir la pendiente en una cuenca, es a partir de la compensación de áreas obtenidas de una recta de mejor ajuste, donde la condición es que dicha línea divida áreas iguales, por debajo y por encima de una línea de perfil longitudinal (fig. 5), esta última obtenida de un modelo digital del terreno (MDT). El valor de la pendiente, con el método de compensación de áreas, es de 14,1% o 8,02°.

**Figura 5.** Perfil longitudinal y ajuste por mínimos cuadrados de la cuenca del río Toyogres



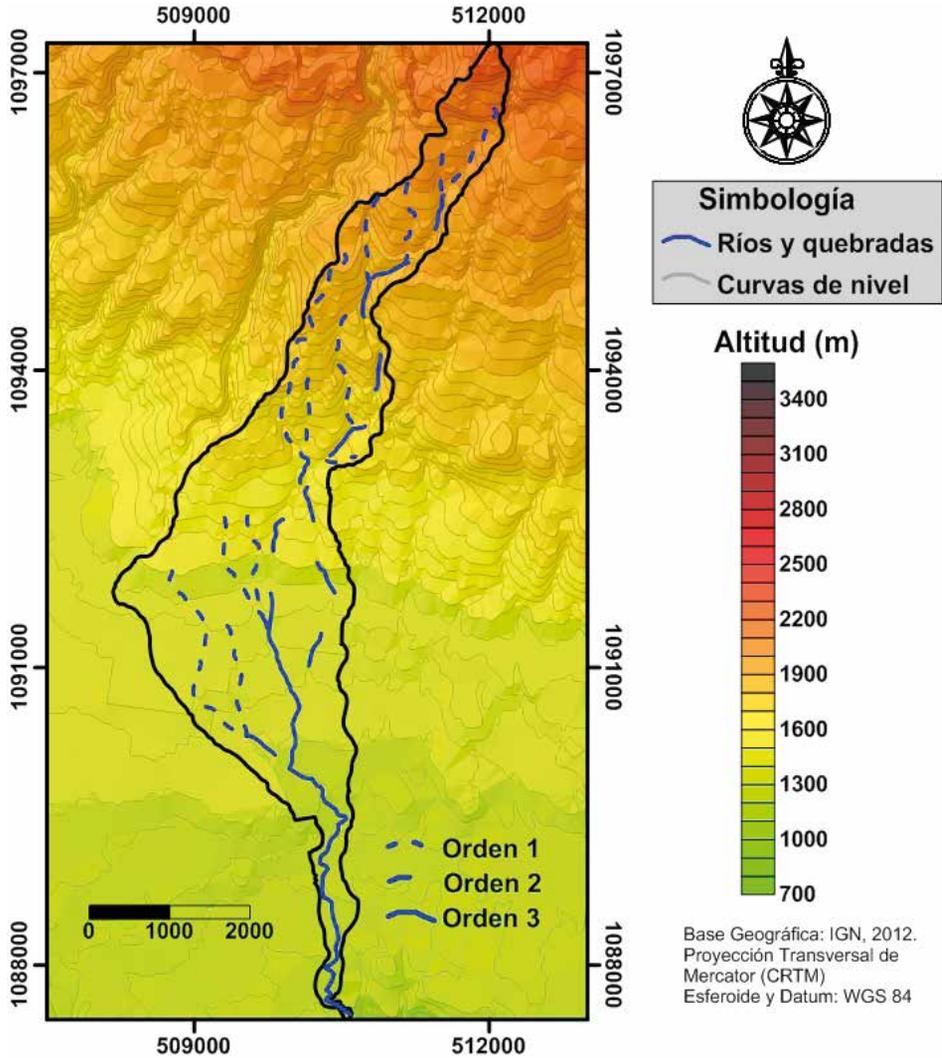
Este valor es coincidente con el criterio de Alvord y será el valor promedio de la pendiente de la cuenca del río Toyogres. Es importante mencionar que no se tomó en consideración el valor de la pendiente con el método de Taylor & Schwarz, debido a la imposibilidad de dividir el perfil longitudinal en tramos irregulares (o en su defecto regulares) con contornos de escala 1:50 000. Esto debido a la escogencia de la geometría de la celda y a su digitalización.

### *Drenajes*

El patrón de drenaje de una cuenca hidrográfica es el resultado de una combinación de factores: climático, tectónico, litológico, geomorfológico, de vegetación y de suelos (Esper Angillieri y Perucca, 2014).

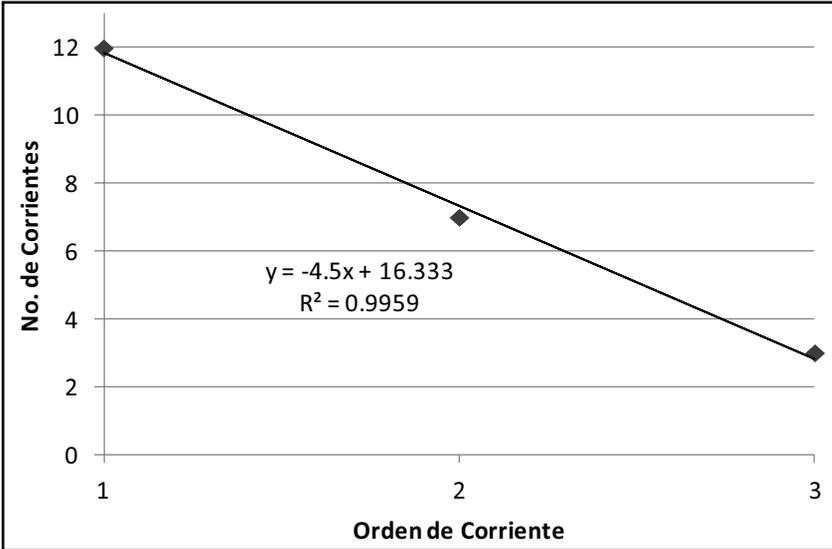
La cuenca del río Toyogres manifiesta un patrón paralelo, con una dirección norte-sur. Considerando los contornos de 20 m, muestra tres órdenes principales (fig. 6), obtenidos a partir del criterio de Strahler (Zăvoianu, 1985).

**Figura 6:** Órdenes de corrientes de la cuenca del río Toyogres



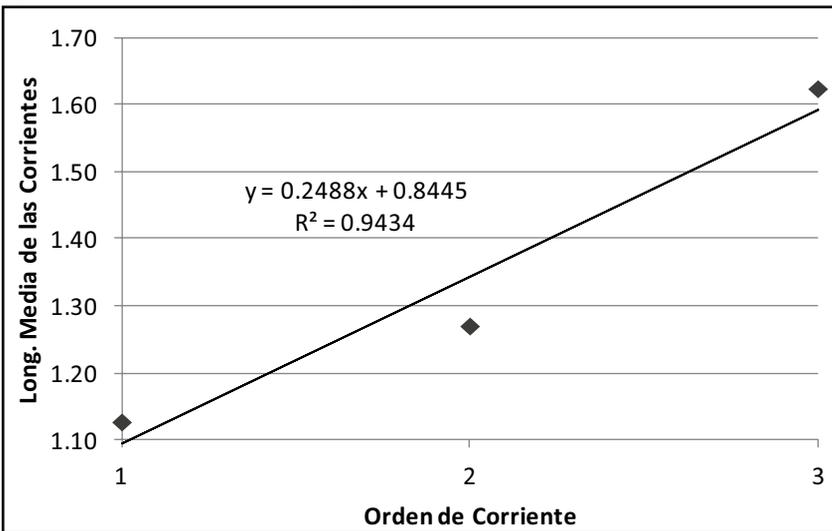
Los drenajes de orden 1 contabilizan un número de doce corrientes, con un promedio de 1,12 km y una longitud total de 13,54 km con una dirección de norte-noroeste a sureste. Los drenajes de orden 2 contabilizan siete corrientes, con una media de 1,27 km con una longitud total de 8,9 km y los drenajes de orden 3 contabilizan tres corrientes con una media de 1,62 km con una longitud total de 4,88 km (fig. 7).

**Figura 7:** Relación número de corrientes y órdenes de corrientes.



La longitud media de los drenajes fue de un total 1, 34 km y considerando cada orden, es notable que el valor de longitud media aumente conforme aumenta el número de orden (fig. 8).

**Figura 8:** Relación de la longitud media y los órdenes de corrientes.



La razón de bifurcación ( $R_b$ ) de la cuenca es de 2,02 (1,71 para 1 y 2; 2,33 para 2 y 3) y su relación de longitudes de 1,20 (1,13 para 1 y 2 y 1,28 para 2 y 3).

La densidad de drenaje representa la cantidad de canales requerida para drenar una unidad de cuenca de drenaje (Gordon *et al.*, 2004). La cuenca del río Toyogres exhibe una densidad de corrientes de 2,17/km<sup>2</sup> y una densidad de drenajes de 2,69 km/km<sup>2</sup>.

Vittala y Govindaiah (2004) indican que la densidad de drenaje varía entre 1,55 y 2,16 km/km<sup>2</sup>, indicando una densidad de drenaje baja. Pareta y Pareta (2004) señalan que un valor de 2,79 km/km<sup>2</sup> se considera una densidad de drenaje moderada. Para la cuenca del río Toyogres el valor de la densidad de drenaje ronda entre bajo a moderado y podría ser un indicio de que la cuenca tiene un subsuelo permeable (Vittala y Govindaiah, 2004), lo cual podría relacionarse con los materiales volcánicos que lo conforman. Sin embargo, esta afirmación debe ser respaldada por pruebas de campo y de laboratorio.

### Conclusiones

La subcuenca del río Toyogres parte del sistema de corrientes perennes que atraviesan la ciudad de Cartago y que corresponden con uno de los sistemas de drenaje del sector central de la ladera sur del volcán Irazú.

Está dominada por usos agrícolas y pastos en su parte alta y pastos y uso urbano en la parte baja. Los materiales geológicos que componen la subcuenca son de origen volcánico cuaternario, específicamente coluvios, lahares y aluviones, con algunos lentes de arcilla. Estos materiales son fácilmente observables, especialmente, en el sector de la cuenca media-baja, donde son reconocibles en el cauce principal y en algunos cortes de caminos.

Usando SIG y Microsoft Excel, se obtuvieron las propiedades geomorfométricas y morformétricas de la subcuenca. Esta se encuentra en el rango de los 1280 a los 2800, con rangos de pendiente variables, desde los 0 a los 10° en la parte baja y de 15 a 35° en la parte media y alta. La orientación de la cuenca mostró direcciones de la pendiente en el sentido suroeste y sur y algunas pocas en la dirección sureste.

La subcuenca presenta un índice de compacidad de 2,22 y un factor de forma de 0,24, ambos índices confirman la forma alargada de la cuenca. La integral hipsométrica indica que es de tipo cóncavo, con un valor de un 32%. La subcuenca presenta una pendiente de 14,1% a partir de su corriente principal.

Los drenajes indican un patrón de tipo paralelo, con dirección nortesur y un máximo de 3 órdenes bajo el criterio de Strahler, siendo un máximo de orden 3. La relación de órdenes indica que a menor orden hay una mayor cantidad de corrientes y que al aumentar el orden, la longitud de las corrientes es mayor. La densidad de drenaje varía entre bajo a moderado y podría indicar que la subcuenca tiene un suelo permeable pero para comprobar esto, se deben de realizar más investigaciones.

### Referencias

- Alvarado, G. (1993). *Volcanology and Petrology of Irazú Volcano, Costa Rica*. (Tesis Ph.D.). University of Kiel.
- Alvarado, G.,; Carr, M.,; Turrin, B., Swisher, C., Schmincke, H. & Hudnut, K. (2006). Recent volcanic history of Irazú volcano, Costa Rica: Alternation and mixing of two magma batches and pervasive mixing. *Geological Society of America Special Papers*. 412, 259-276.
- Alvarado, M., Durán, D., Fallas, K., Hernández, L. & Valverde, R. (2006). Amenazas y vulnerabilidad: El caso de los ríos Reventado y Toyogres, Cartago. *Revista Reflexiones*. 85 (1-2), 1021-1209.
- Avinash, K., Deepika, B. & Jayappa, K. (2014). Basin geomorphology and drainage morphometry parameters used as indicators for groundwater prospect: Insight from Geographical Information System (GIS) technique. *Journal of Earth Science*. 25 (6), 1018-1032.
- Boomfield, J; Bricker, S. & Newell, A. (2011). Some relationships between lithology, basin form and hydrology: A case study from the Thames basin, UK. *Hydrological Processes*. 25, 2518-2530.
- Brooks, K., Ffolliot, P. & Magner, J. (2013). *Hydrology and the Watershed Management*. 4ta ed. Wiley-Blackwell.
- Dade, W. (2001). Multiple scales in river basin morphology. *American Journal of Science*. 30, 60-73.
- Demoulin, A. (2011). Basin and river profile morphometry: A new index with a high potential for relative dating of tectonic uplift. *Geomorphology*. 126, 97-107.
- Esper Angillieri, M. Y. & Perucca, L. (2014). Geomorphology and morphometry of the de La Fecha river basin, San Juan, Argentina. *Environmental Earth Sciences*. 72 (8), 3227-3237.

- Gordon, N., McMahon, T. & Finlayson, B. (2004). *Stream Ecology: An Introduction for Ecologist*. 2da edición. Wiley.
- Jordan, G. (2007). Digital Terrain Analysis on a GIS Environment. Concepts and Development in Peckham, R., Jordan, G. (Eds). *Digital Terrain Modelling: Development and Application in a Policy Support Environment*. Springer.
- Krushensky, R. (1972). Geology of Istarú Quadrangle, Costa Rica. *United States Geological Survey Bulletin*. 1358.
- Langbein, W. (1947). Topographic characteristic of drainage basins. *Water-Supply Paper*. 968-C. USGS.
- Méndez-Morales, M. (2012). Calibración y validación del modelo hidrológico SWMM en cuencas hidrográficas de alta pendiente en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 26 (2), 20-32.
- Mikhailova, M. (2015). Morphometry of river deltas. *Water Resources*. 42 (1), 52-62.
- Prabu, P., Baskaran, R. (2013). Drainage morphometry of Upper Vaigai river sub-basin, Western Ghats, South India using remote sensing and GIS. *Journal Geological Society of India*. 82, 519-528.
- Moore, I., Grayson, R. & Ladson, A. (1991). Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*. 5, 3-30.
- Newson, M. (1978). Drainage basin characteristics, their selection, derivation and analysis for a flood study of the British Isles. *Earth Surface Processes*. 3, 277-293.
- Pareta, K. & Pareta, U. (2011). Quantitative morphometric analysis of a watershed of Yamuna basin, India using ASTER (DEM) data and GIS. *International Journal of Geomatics and Geosciences*. 2 (1), 248-269.
- Pavanelli, N., Capaccioni, B., Sarocchi, D., Vaselli, O., Tassi, F. & Duarte, E. (2004). Geology and stability of the southern flank of Irazú volcano, Costa Rica. *Acta Vulcanológica*. 16(1).
- Pike, R. & Wilson, S. (1971). Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*. 82 (4), 1079-1084.
- PRUGAM. (2008). *Plan Regional Urbano de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica 2008-2030*.
- MIVAH-MOPT-MIDEPLAN-MINSALUD-INVU-IFAM-CNFL-AYA.

- 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 (1-2), 31-38.
- Ramírez-Granados, P. & Zúñiga-Mora, H. (2014). *Modelado hidrogeológico para la caracterización de la hidrodinámica de las aguas subterráneas. Aplicación al acuífero de Cartago, Costa Rica*. (Informe Final Proyecto 830-B2-039). Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. Universidad de Costa Rica.
- Shen, X., Vergara, H., Nikolopoulos, E., Anagnostou, E., Hong, Y., Hao, Z., Zhang, K., & Mao, K. (2015). GDBC: A tool for generating global-scale distributed basin morphometry. *Environmental Modelling and Software*. 83, 212-223.
- Strahler, A. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*. 53, 1117-1142.
- Taylor, A. & Schwarz, H. (1952). Unit-hydrograph lag and peak flow related to basin characteristic. *Transactions American Geophysical Union*. 33 (2), 235-246.
- Villón, M. (2004). *Hidrología*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Vittala, S., Givindaiah, S. & Gowda, H. (2004). Morphometric analysis of sub-watersheds in the Pavagada area of Tumkur district, South India using remote sensing and GIS techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 32 (4), 351-362.
- Zaidi, F. (2011). Drainage basin morphometry for identifying zones for artificial recharge: A case study from the Gagas River Basin, India. *Journal Geological Society of India*. 77, 160-166.
- Zăvoianu, I. (1985). Morphometry of Drainage Basins. *Developments in Water Science*. 20. Elsevier.



## **Análisis espacial del índice hídrico: avances en la adopción de decisiones sostenibles en territorios agrícolas de Carabobo, Venezuela**

Spatial analysis of the water index: advances in sustainable decision-making in Carabobo agricultural territories, Venezuela

*Barlin Orlando Olivares Campos<sup>1</sup>*

*Universidad de Córdoba (UCO), Andalucía, España*

*Rafael Ángel Hernández<sup>2</sup>*

*Richard Coelho Bonilla<sup>2</sup>*

*Juan Carlos Molina Trigos<sup>2</sup>*

*Yessica Pereira de López<sup>2</sup>*

*Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), Venezuela*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.10>

### **RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue analizar espacialmente el índice hídrico ( $I_m$ ), permitiendo agrupar el clima de acuerdo al grado de humedad. Se utilizó la metodología del Balance Hídrico Climático (BHC) en 25 estaciones pluviométricas en Carabobo, Venezuela, para un periodo de registro común (1969-1999). Los resultados muestran que se encontraron cuatro regiones, donde la humedad se comporta de modo diferente, los mayores excesos son al sur del estado y se constató que las estaciones climatológicas ubicadas al norte de Carabobo presentan un mayor déficit anual. Las zonas agrícolas más relevantes están representadas por un índice hídrico de (-2,16 a -18,96); lo que determina un clima Subhúmedo seco con precipitaciones anuales que oscilan entre los 921 mm y los 1063 mm. Este estudio generó información vital en aquellas áreas agrícolas que requieren riego adicional o de controles con obras estructurales de drenaje para evitar que determinados cultivos, sensibles al exceso de agua, se perjudiquen.

- 1 Investigador. Master en Tecnología Ambiental. Doctorando del Programa Iberoamericano de Doctores en Agroalimentación de la Universidad de Córdoba (UCO), Andalucía, España. Correo: barlinolivares@gmail.com
- 2 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), Gerencia de Meteorología Aplicada. Baruta, Venezuela.

Fecha de recepción: 05 de octubre de 2017  
Fecha de aceptación: 05 de diciembre de 2017

**Palabras clave:** agricultura, precipitación, climatología, geoestadística, déficit hídrico

#### **ABSTRACT**

The objective of this study was to analyze spatially the water index (Im), allowing to group the climate according to the degree of humidity. The methodology of the Climatic Water Balance (BHC) for 25 rainfall stations in Carabobo, Venezuela, was used for a common registration period (1969-1999). The results show that four regions were found where the humidity behaves differently, the greatest excesses are to the south of the state and it was found that the climatological stations located in the north of Carabobo present a greater annual deficit. The most important agricultural areas are represented by a water index of (-2.16 to -18.96); which determines a dry Subhumid climate with annual precipitations that oscillate between 921 mm and 1063 mm. This study generated vital information in those agricultural areas requiring additional irrigation or controls with structural drainage works that prevent certain crops sensitive to excess water from being harmed.

**Keywords:** agriculture, precipitation, climatology, geostatistics, water deficit

### **Introducción**

Hoy en día, los usuarios de los servicios de meteorología desean información sobre más aspectos del conjunto del sistema climático y terrestre. Bajo el contexto actual, los datos relacionados con el clima se usan para describir, representar y predecir tanto el comportamiento del conjunto del sistema climático (en particular, el efecto de la actividad del hombre en el clima) como la relación entre el clima y otros aspectos del entorno natural (OMM, 2011; Olivares *et al.*, 2016c).

Las condiciones meteorológicas que influyen en la variabilidad climática natural, junto a la interacción de los elementos del clima, dan paso a la generación de los tipos climáticos que son parte fundamental, dentro de los factores formadores del suelo, del régimen hídrico de las cuencas hidrográficas, y, que al interactuar con el resto de los factores físico naturales, condicionan la biodiversidad en general y la oferta climática, que requieren determinados cultivos para obtener superficies cosechadas rentables y sostenibles.

Particularmente, las actividades agrícolas en campo se ven condicionadas por los elementos climáticos, especialmente, por la temperatura y precipitación; es por ello, que conocer el régimen hídrico de una región tiene valiosas aplicaciones, orientadas a minimizar riesgos en los procesos de producción de bienes y servicios, además, de servir de base para la zonificación de cultivos, caracterización de sequías, determinación de épocas de siembra, programación de riego e identificación de necesidades

de drenaje, entre otros (Ruiz-Álvarez *et al.*, 2012; Olivares *et al.*, 2012; Olivares *et al.*, 2013a; Rodríguez *et al.*, 2013; Olivares *et al.*, 2017b).

En general, los territorios agrícolas tropicales se inscriben en un espacio dominado por la escasez de precipitaciones en una época del año, su elevada irregularidad y la falta de concordancia entre las necesidades requeridas por los cultivos (evapotranspiración potencial) y las lluvias (Olivares *et al.*, 2017a). Por ello, las relaciones entre la lluvia y la agricultura se ilustran frecuentemente bajo la fórmula de balances hídricos, los cuales comparan la lluvia media mensual con los estimados requeridos de agua por los cultivos. Es necesario un criterio agronómico que permita conocer la diferenciación climática de las zonas y las necesidades hídricas de los cultivos en cada lugar y tiempo, para asegurar la producción y la renta del agricultor.

En función a lo señalado anteriormente, Thornthwaite (1948) propuso una metodología para que los climas se ordenen de acuerdo al grado de humedad, al tomar en cuenta las necesidades hídricas de los cultivos (evapotranspiración); y con los resultados del Balance Hídrico Climático (BHC): excesos y déficits, se determina el índice hídrico ( $I_m$ ), mismo que permite agrupar el clima en una de las clasificaciones más usadas a nivel mundial

El conocimiento de los déficits y excesos de agua, mediante la aplicación metodológica del BHC es de gran interés para determinar las posibilidades de los cultivos de secano y regadío en las zonas agrícolas de Venezuela, debido a que el aprovechamiento de las tierras de agricultura se realiza en su mayor parte sin conocer las características potenciales del clima, los suelos, y los requerimientos del cultivo, lo que no permite aprovechar al máximo la productividad, además, de la conservación y manejo sostenible de los recursos.

En el estado Carabobo, Venezuela, cada vez son más los productores agrícolas que deciden optimizar el uso del recurso hídrico con inversiones que permitan sobrellevar de manera óptima los períodos de déficit hídrico en la época seca. De allí, la importancia y la necesidad de generar información básica de las condiciones climáticas que, junto a los aspectos sociales y económicos, constituyen el impulso a la investigación y la innovación tecnológica para el desarrollo de actividades científicamente fundamentadas, económicamente rentables y ambientalmente sustentables en las áreas agrícolas degradadas, permitiendo obtener una mejor calidad de vida de sus habitantes.

El objetivo de este estudio fue analizar espacialmente el índice hídrico en las zonas agrícolas del estado Carabobo en Venezuela, con el propósito de interpretar y aplicar información sobre el clima del pasado, para la adopción de decisiones, el desarrollo sostenible y la mejora de productos de información, predicciones y proyecciones relativas al clima. Adicionalmente, este estudio proporciona información simple, accesible y oportuna, entendiéndose como un producto de investigación que el usuario pueda comprender y aplicar fácilmente, además de ser de fácil acceso para un asesoramiento profesional con fines de seguimiento en territorios agrícolas.

### **Área de estudio**

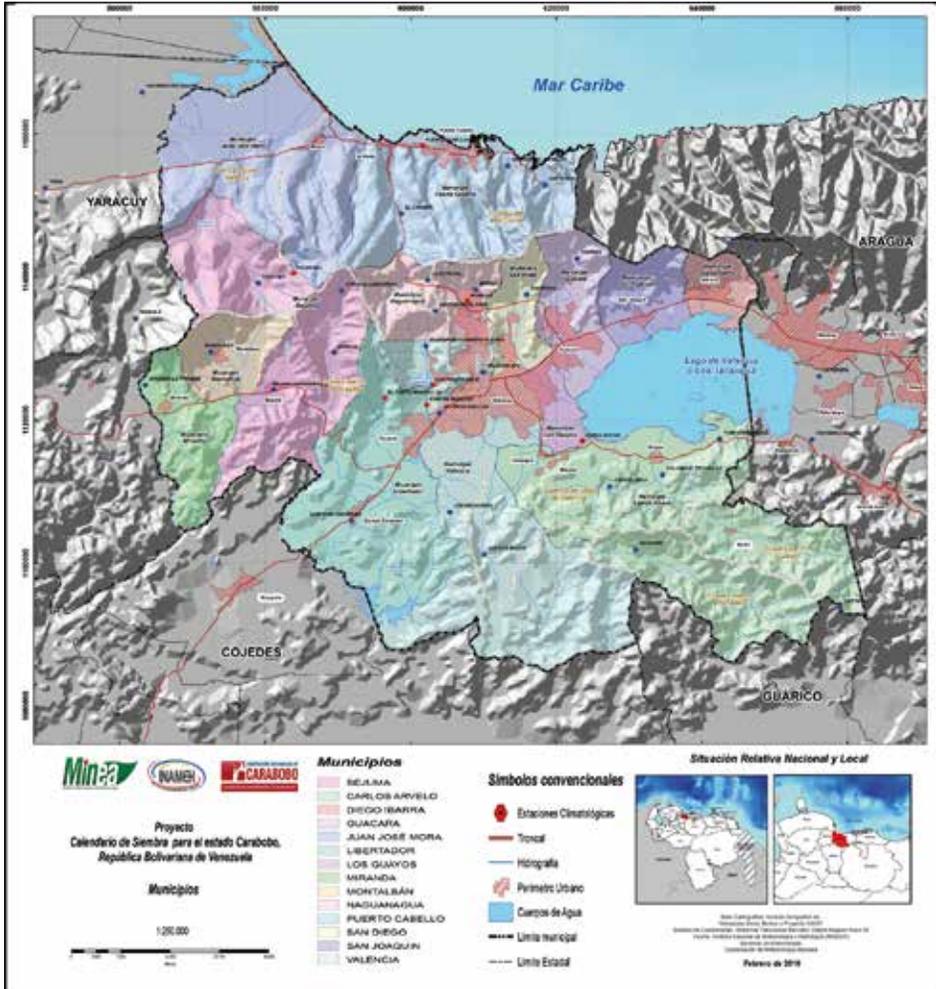
El estado Carabobo está localizado en la zona centro-norte del país, entre las coordenadas geográficas 09°48' y 10°35' de Latitud Norte con 67°31' y 68°26' de Longitud Oeste. Limita al norte con el Mar Caribe, al sur con los estados Cojedes y Guárico, al este con el estado Aragua y al oeste con el estado Yaracuy (Figura 1). Posee una superficie de 4651 Km<sup>2</sup>, incluyendo 281 Km<sup>2</sup> del Lago de Valencia (Hernández *et al.*, 2017); lo que representa el 0,5% del territorio nacional. De la superficie total, solo el 42,53 % (1973 Km<sup>2</sup>) es adecuado para la actividad agrícola.

### **Marco Metodológico**

#### *Información climática*

Se utilizaron los datos mensuales de precipitación de 25 estaciones Convencionales Pluviométricas (CP) ubicadas en el estado Carabobo, provenientes del Banco de Datos de la Gerencia de Procesamiento y Calidad de Datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) (Tabla 1).

**Figura 1.** Distribución espacial de las estaciones pluviométricas en el estado Carabobo, Venezuela.



Estas estaciones se seleccionaron por poseer un período común de 30 años de registro histórico que va desde 1969 hasta 1999; este lapso de tiempo incluye el mayor número de estaciones con registros completos del estado Carabobo, de acuerdo con lo sugerido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011). Los datos englobados se calcularon con las fórmulas de desglose mensual y los faltantes se estimaron a través del Método Estadístico de Regresión (Guevara, 2013).

**Tabla 1.** Ubicación geográfica de las estaciones pluviométricas del estado Carabobo, Venezuela

Cuenca hidrográfica	Estación	Municipio	Norte	Este	Altitud (msnm)
Mar Caribe	El Cambur	Puerto Cabello	1148809	598736	80
	La Entrada	Naguanagua	1139635	602382	510
	Hacienda El Manglar	Puerto Cabello	1155581	613403	20
	Santa Rita	Puerto Cabello	1152833	618430	38
Lago de Valencia	Vigirima	Guacara	1142558	622845	557
	San Diego	San Diego	1137558	615956	460
	Valencia-GFV	Valencia	1126726	609967	460
	Yuma-Caserío	Carlos Arvelo	1117317	642415	460
	Colonia El Trompillo	Carlos Arvelo	1112434	634579	450
	Agua Blanca	Carlos Arvelo	1110749	627339	515
	Las Dos Bocas	Valencia	1101292	610166	550
	Bárbula	Naguanagua	1136672	607806	493
	Valencia-San Luis	Valencia	1120933	603958	470
Río Portuguesa	Guataparo El Café	Naguanagua	1135215	603369	1200
	Chirgua-Cabeceras	Bejuma	1138036	590553	770
	Guataparo C. Inglesa	Valencia	1130327	602075	530
	Montalbán	Montalbán	1129486	572502	700
	Chirgua	Bejuma	1129525	589480	740
	Bejuma-Panamericana	Bejuma	1124314	581185	650
	Los Aguacates	Valencia	1107115	605429	467
	Campo De Carabobo	Libertador	1105972	591853	500
Río Yaracuy	Canoabo	Bejuma	1139114	579052	300
	Miranda-La Trinidad	Miranda	1124954	563534	628
Río Tiznados	Manuare	Carlos Arvelo	1101914	630873	640
Río Guarico	Cartanal	Carlos Arvelo	1093824	658988	620

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un control de calidad a los datos de precipitación mensual para definir la proporción de datos faltantes, identificar valores fuera de lo normal y observar el entendimiento básico de la distribución de las series (Parra y Cortez, 2005; Ablan *et al.*, 2008 y Olivares *et al.*, 2013b); utilizando los programas JMP v.6 (Jones y Sall, 2011) e InfoStat v.11 (Di Rienzo *et al.*, 2011).

Se estimó la evapotranspiración potencial (ETP) por el método FAO de Penman-Monteith, a partir de diferentes variables climáticas (Allen *et al.*, 2006; Guevara, 2013). Este método ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana la ETP de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos, y es descrito ampliamente en el estudio desarrollado por Hernández *et al.* (2017).

Dado que las estaciones que se disponen en el estado y sus adyacencias son en su mayoría de tipo Convencional Pluviométrica, se procedió a considerar los datos ya estimados de ETP por el Método de Penman Monteith que en su totalidad son 25 puntos a nivel mensual y anual. Dichos valores de ETP fueron correlacionados, analizados, de acuerdo al comportamiento mensual de la evaporación, y relacionados con las áreas naturales homogéneas para posteriormente ser distribuidas mediante ambiente SIG Arcview v.3.2. (ESRI, 1996) en todas las estaciones pluviométricas del estado. Todo ello con el objeto de disponer de datos meteorológicos confiables que permitan disminuir el riesgo de una sobreestimación o subestimación de la información en el cálculo de los balances hídricos.

### **Balances Hídricos Climáticos (BHC)**

Los BHC fueron calculados para cada estación climatológica bajo un lenguaje de programación llamado Clipper (Hernández *et al.*, 2017). El programa compila los datos de precipitación y ETP a nivel mensual; y con relación a los algoritmos de las fórmulas, ecuaciones matemáticas y estadísticas implícitas en el campo de la Agrometeorología, este realiza un procesamiento de los datos, elaborando los correspondientes balances hídricos que desglosan los valores de almacenamiento, excesos y déficit de agua en suelo, dependiendo de su profundidad y textura predominante, además de la pendiente del terreno.

### **Índice Hídrico**

Los tipos climáticos hídricos son la expresión integral del comportamiento de un conjunto de variables a nivel mensual, tales como la precipitación, la temperatura del aire, y la evapotranspiración real y potencial, que sintetizadas en un Índice Hídrico ( $I_m$ ), determinan la existencia de un determinado tipo de clima y condiciones de vida existentes, potencialmente

aprovechables en el campo de la siembra mediante la interrelación con los balances hídricos.

De acuerdo a esto, para el estado Carabobo se determinaron los tipos climáticos hídricos con base en la metodología propuesta por Thornthwaite (1948), detallada en la ecuación (1) y clasificaciones en la Tabla 2.

$$I_m = \frac{(100 * Exceso) - (60 * Déficit)}{ETP} \quad (1)$$

Dónde: E= Exceso de agua durante el año;

D= Deficiencia de agua en el año;

ETP= Evapotranspiración Potencial anual.

**Tabla 2.** Clasificación climática en función al Índice Hídrico

Índice Hídrico	Símbolo	Tipo Climático
Mayor de + 100	A	Excesivamente húmedo
+ 80,1 a + 100	B4	Muy húmedo
+ 60,1 a + 80	B3	Húmedo
+ 40,1 a + 60	B2	Moderadamente húmedo
+ 20,1 a + 40	B1	Ligeramente húmedo
+ 0,1 a + 20	C2	Subhúmedo húmedo
-19,9 a 0	C1	Subhúmedo seco
-39,9 a -20	D	Semiárido
Menor de -40	E	Árido

Fuente: Thornthwaite (1948).

## Resultados y discusión

### *Análisis de los tipos climáticos asociados al índice hídrico*

Desde el punto de vista climático, el estado Carabobo se localiza entre los Climas Ecuatoriales húmedos al sur y los secos de las Altas Presiones subtropicales al norte. Los primeros deben su origen a la presencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), cuyo desplazamiento define el inicio de la temporada de lluvias para Venezuela; mientras que los segundos, se presentan como consecuencia de la célula anticiclónica de Azores Bermudas, que al aproximarse al ecuador terrestre en los meses de sol bajo para el hemisferio norte, contribuye a disminuir la humedad existente, generando una amplia zona de calmas climáticas, donde la precaria

evolución de los sistemas nubosos, contribuye a la existencia del buen tiempo atmosférico (Hernández et al., 2017; Olivares *et al.*, 2017b).

En el margen de estas dos estructuras, las condiciones permiten la presencia de los Climas Tropicales del estado Carabobo y el resto del país, con unos meses influenciados por la convergencia y su influencia en la génesis de precipitaciones (temporada de lluvias); y otros dominados por la ausencia de éstas (temporada seca) dentro del campo de las Altas Subtropicales del Atlántico Norte (Olivares *et al.*, 2016a; 2016b).

De ahí, la presencia de los diversos tipos climáticos hídricos del estado Carabobo, que pueden ser clasificados en cuatro grandes grupos que de norte a sur son: Semiárido (D); Subhúmedo Seco (C1); Subhúmedo Húmedo (C2) y Ligeramente Húmedo (B1), todos con condiciones que permiten diferenciarlos tanto por su espacialidad dentro de la entidad como por la fisiografía e influencia que ésta ejerce en las condiciones climáticas existentes.

### **Zonas del Semiárido (D)**

La superficie aproximada para este tipo climático es de 651 Km<sup>2</sup>, el cual representa el 14% del total del estado Carabobo (Figura 3); se extiende sobre los municipios Juan José Mora y Puerto Cabello en la región litoral hasta aproximadamente los 1100 msnm, y ocupa las emblemáticas regiones de Puerto Cabello, El Palito y Morón, en el área conocida como la planicie costera del centro y oeste del estado, donde paradójicamente se observa una estrecha franja litoral que colinda con el sistema montañoso de la costa y sólo cambia su configuración hacia el extremo oeste en la cuenca del Río Yaracuy, donde el paisaje pasa a ser colinar, como es el caso de Montalbán.

De acuerdo a los resultados, el ( $I_m$ ) para la estación Montalbán es de -21,32: lo que determina la existencia de un clima semiárido con precipitaciones anuales de 879 mm. El balance hídrico de la estación (Figura 2a) señala un monto de precipitación anual efectiva de unos 850 mm, con una (ETP) anual alrededor de los 1327 mm y supera a la precipitación durante todo el año, excepto en los meses de julio y agosto traduciéndose tal condición en la presencia de suelos secos y cursos de agua permanentes en condiciones de estiaje; en este subtipo de clima no existen excesos de agua.

### **Zonas del Subhúmedo seco (C1)**

Este tipo climático abarca una superficie de 2791,15 Km<sup>2</sup> para un 60% de la totalidad de la entidad (Figura 3); se extiende sobre los municipios Miranda, Bejuma, Naguanagua, Los Guayos, San Diego, Guácara, San Joaquín y Diego Ibarra; así como el extremo norte de los municipios Libertador, Valencia, Carlos Arvelo; y extremo sur de los municipios Juan José de Mora y Puerto Cabello. Desde el punto de vista fisiográfico, se observan amplios contrastes debido a los paisajes existentes, presentándose un relieve montañoso al norte en el eje de la Cordillera de la Costa, un paisaje colinar al suroeste en la región de Montalbán, hasta finalmente ubicarse la depresión tectónica o valle de la cuenca del Lago de Valencia en la región central.

El ( $I_m$ ) para esta región va desde -2,16 a -18,96; lo que determina un clima Subhúmedo seco con precipitaciones anuales que oscilan entre los 912 mm en la estación Cartanal (Figura 2c) y los 1033 mm en Chirgua Cabecera (Figura 2b). En estos sitios, la precipitación anual efectiva está alrededor de los 900 mm, con una ETP anual de 1359 mm y sólo supera a la precipitación durante los meses de noviembre hasta abril, cuando los suelos se encuentran secos y los cursos de agua permanentes en condiciones de estiaje; el mes de noviembre se caracteriza por la desaparición de los excesos, pero al mismo tiempo la presencia de una importante cantidad de agua almacenada que supera los 60 mm, reduciéndose dicho valor a medida que se acentúa la temporada seca para mostrar 0 mm de almacenamiento durante el mes de diciembre cuando la salida de las aguas da paso a los déficits durante los meses de enero a abril.

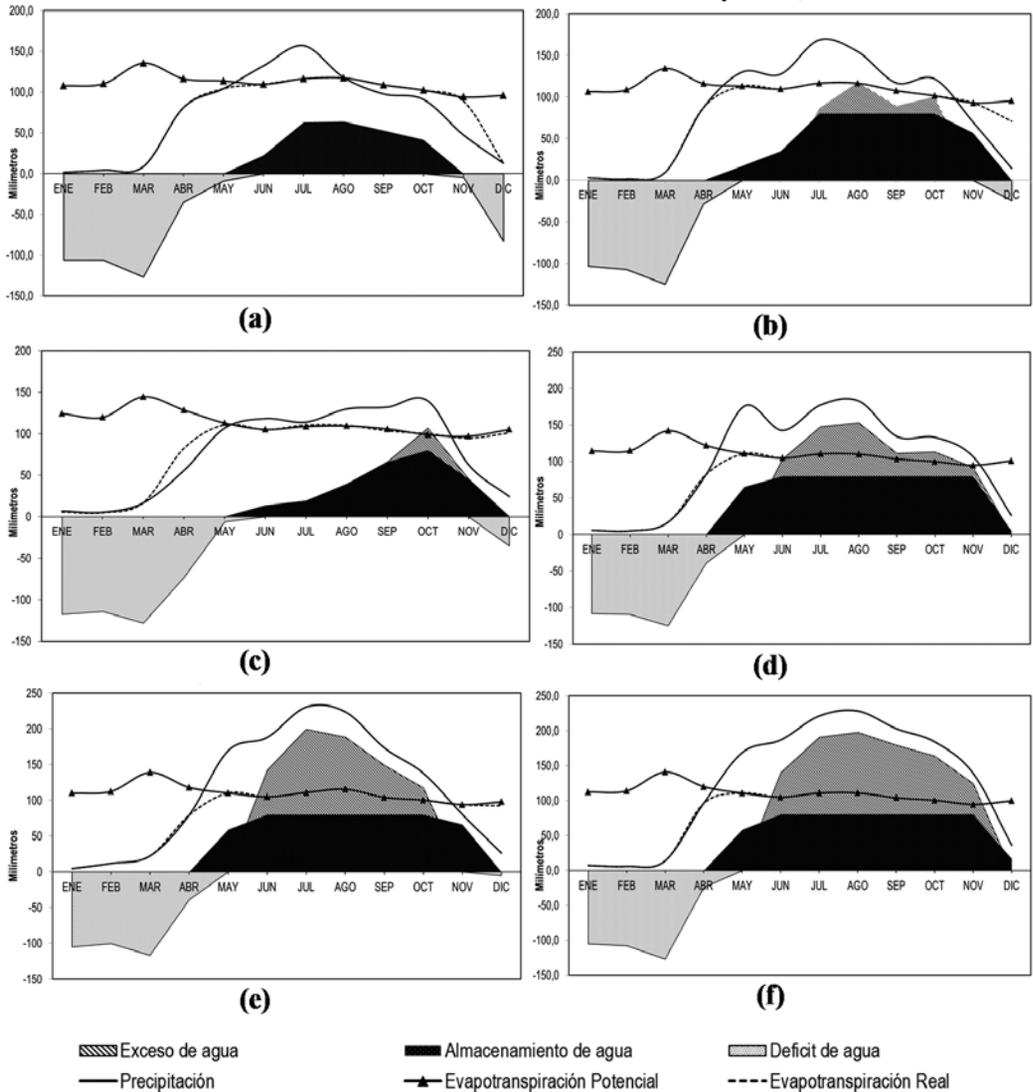
### **Zonas del Subhúmedo húmedo (C2)**

Este tipo climático está emplazado sobre una superficie de 883,86 Km<sup>2</sup> equivalentes a un 19% de la totalidad del estado; se extiende sobre el área más septentrional del municipio Valencia y meridional del municipio Libertador, así como el suroeste del municipio Carlos Arvelo, donde se encuentran las áreas agrícolas más extensas y de mayor potencial del estado Carabobo (Figura 3).

El ( $I_m$ ) para esta zona se ubica en el rango de 0,69 a 13,45; lo que determina la presencia de un clima Subhúmedo húmedo, donde las precipitaciones anuales oscilan en torno a los 1238,1 mm en la estación Manaure

y los 1376,1 en la estación Campo Carabobo. La temporada lluviosa se extiende de mayo a octubre, la precipitación supera los índices de la ETP, generando la presencia de excesos que concentran montos superiores a los 300 mm anuales y que superan ampliamente la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos (Figura 2d). El mes de abril al igual que en el tipo climático Ligeramente Húmedo, se comporta como un período transicional entre la temporada seca y la temporada lluviosa, constituyendo el escenario donde los déficits comienzan a disminuir producto del incremento de los índices de pluviosidad (Figura 2e).

**Figura 2.** Balance hídrico para cada estación representativa (Considerando la Capacidad de Almacenamiento: 80 mm, Textura predominante del suelo: Mediana, Profundidad: 50 cm, Pendiente General atribuida a toda el área en estudio: <1%, Evapotranspiración Potencial por Penman–Monteith)



(a) Montalbán (déficit alto); (b) Chirgua Cabecera (déficit moderado); (c) Cartanal (déficit moderado); (d) Manaure (Déficit bajo); (e) Campo Carabobo (déficit bajo); (f) Las Dos Bocas (exceso alto)

Fuente: Elaboración propia

### **Ligeramente húmedo (B1)**

Políticamente, se extiende al extremo sur del municipio Valencia hacia los límites con el estado Cojedes, ocupando una superficie de 325,63 Km<sup>2</sup> que representa el 7% de la totalidad del estado (Figura 3); El ( $I_m$ ) para esta región es de 22,42; lo que determina un clima ligeramente húmedo, en el que las precipitaciones anuales oscilan en torno a los 1536 mm, de acuerdo a la información de la estación Las Dos Bocas.

El régimen de lluvias (Figura 2f) muestra una distribución de tipo Unimodal con dos períodos claramente definidos; la temporada lluviosa, entre mayo a octubre, se extiende inclusive hasta noviembre, cuando se concentra el 88% de la pluviosidad, con un máximo mensual de 237 mm para el mes de agosto; y la temporada seca de diciembre hasta abril, cuando se concentra el 12% restante de la cantidad de agua precipitada.

Durante la temporada lluviosa, se presentan los excesos debido a que la precipitación supera los índices de la ETP, concentrándose un total de 515 mm acumulados desde junio a noviembre que son consecuencia de la saturación de la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos, generando escenarios de escorrentía superficial e incremento de los niveles de agua en los ríos y quebradas.

### **Implicaciones del déficit hídrico y excesos de agua**

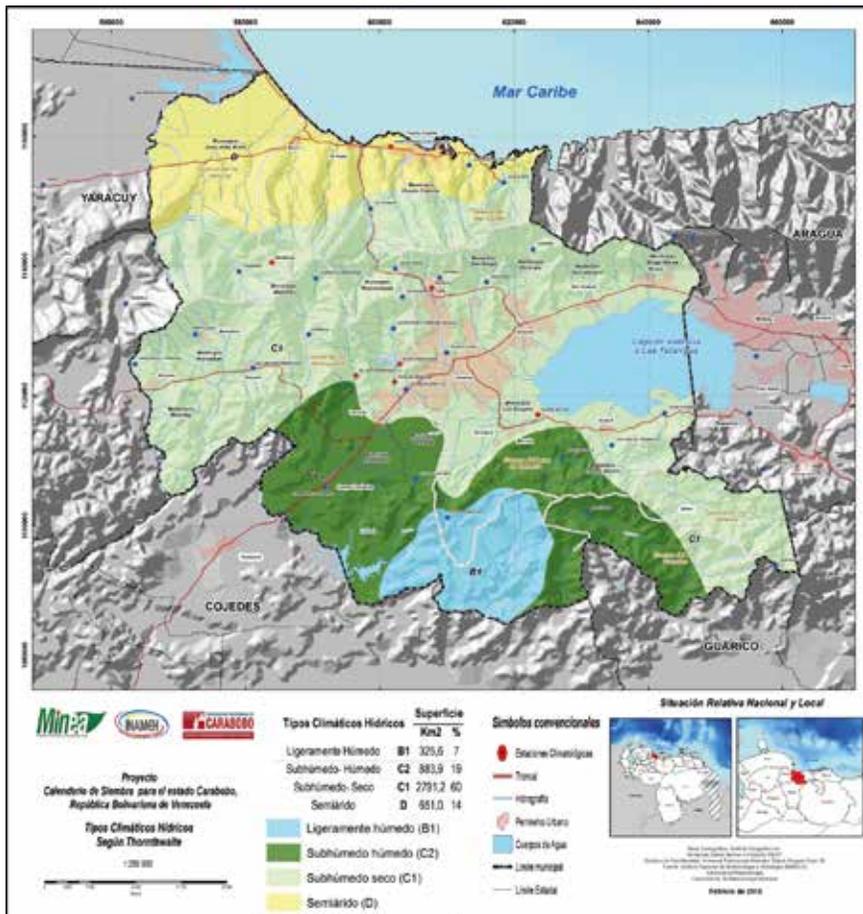
Los valores de déficit derivados del cálculo de los BHC para cada una de las estaciones se presentan en la tabla 3. Los valores anuales más altos (686 mm) se presentan en la estación Hacienda El Manglar, distribuidos durante todo el año, seguido de Montalbán y Miranda La trinidad, con montos anuales de 470 mm en ambas estaciones, debido a la escasa precipitación. Es conveniente indicar que la fecha de siembra de un cultivo anual está relacionada con los rendimientos que se puedan obtener, especialmente, si depende de la precipitación como única fuente de agua. Es importante explicar el caso del maíz y algunos cereales en Carabobo, ya que los agricultores esperan las primeras lluvias para preparar el suelo y posteriormente sembrar; de modo que el cultivo aproveche el periodo de mayor precipitación para completar su periodo vegetativo y reproductivo.

En esta zona, el periodo crítico de los cultivos que normalmente se siembran, coincide con el periodo de mayor precipitación, garantizando así una buena disponibilidad de agua. En el momento de la cosecha, el

periodo de lluvia está culminando, permitiendo que estos cultivos de ciclo corto completen su madurez fisiológica y que las maquinarias cosechadoras y mano de obra puedan realizar la cosecha con facilidad.

En este orden de ideas, si la siembra se realiza muy temprano (abril) se corre el riesgo de que el cultivo no disponga de suficiente humedad en su periodo crítico, y, por lo tanto, sus rendimientos serán bajos, y si se siembra muy tarde entonces habrá exceso de humedad asociado con anegamiento, poca disponibilidad de oxígeno en el suelo y bajos rendimientos (Casanova, 2005; Cortez *et al.*, 2016).

**Figura 3.** Distribución espacial de los tipos climáticos asociados al índice hídrico en las zonas agrícolas de Carabobo, Venezuela.



Es de señalar que los cultivos utilizan, para su crecimiento y funciones biológicas, apenas el 2% del agua que ingresa por sus raíces, el resto lo eliminan en forma de vapor de agua a la atmósfera, por lo que midiendo la evapotranspiración actual se tiene un valor muy aproximado de las necesidades de agua de la planta, ya que aunque utilizan un porcentaje muy bajo del agua absorbida para crecer y desarrollarse, es indispensable la circulación del resto para el reparto de los nutrientes disueltos en el agua a todo el organismo vegetal (De Ondiz, 2008).

**Tabla 3.** Distribución anual del déficit hídrico (mm) para la zona de estudio.

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Vigirima	103,5	107,6	129,7	67,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4
San Diego	105,3	108,6	130,1	64,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,4
La Entrada	102,5	105,4	123,4	51,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,6
El Cambur	85,4	92,1	120,7	46,6	14,7	20,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chirgua	102,2	108,9	133,8	47,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,7
Montalbán	106,0	106,0	126,8	35,2	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	83,2
Guataparo	102,8	106,2	128,1	54,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7
Chirgua Cabecera	103,2	107,2	124,6	28,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,4
Las Dos Bocas	105,2	108,0	127,1	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bejuma Panamericana	102,9	107,9	125,4	35,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,9
Canoabo	99,8	101,7	127,4	54,3	17,3	33,9	7,4	12,2	3,3	0,0	0,0	11,4
Miranda La Trinidad	104,2	111,0	126,4	42,5	-2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	67,5
Santa Rita	86	101,1	124,2	60,4	-26	22,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bárbula	104,1	106,8	130,7	50,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,8
Agua Blanca	108,7	107,5	128,7	40,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Guataparo El Café	101,6	106,4	124,6	53,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0
Hacienda El Manglar	89,2	98,9	117,6	64,9	57,9	49,8	20,6	35,8	45,2	25,8	33,6	46,9
Colonia El Trompillo	112,1	112,6	137,5	72,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5
Yuma Caserio	112,2	116,3	139,2	72,4	-2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,4
Valencia GFV	106,3	109,3	131,3	46,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,3
Valencia San Luis	107,4	107	129,1	38,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,9
Los Aguacates	106,5	111,4	131	45,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Campo Carabobo	105,4	100,7	116,7	38,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-5,4
Manaure	108,7	109,8	125	39,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cartanal	117,4	114,3	127,9	72,7	-6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,3

Fuente: Elaboración propia

En las zonas áridas ubicadas al norte del estado Carabobo, caracterizadas por escasas precipitaciones o lluvias distribuidas en pocos meses del año, será indispensable recurrir al riego para lograr el crecimiento y fructificación de los cultivos dentro de su ciclo. El número de cosechas dependerá de la disponibilidad de agua almacenada en el embalse, por lo que la ausencia de esa obra de captación dejaría la tierra improductiva.

En aquellas zonas del estado Carabobo, especialmente, las localidades agrícolas ubicadas en el tipo climático Subhúmedo seco, que demanden riego complementario, pero tienen un periodo lluvioso definido y con extensiones que sean iguales o mayores que el ciclo de los cultivos, es posible la combinación del riego y del secano para llegar a no menos de dos cosechas por año en los cultivos de ciclo corto.

La distribución de los excesos de agua derivados de los BHC se muestra en la tabla 4. En las zonas al sur de Carabobo, donde llueve la mayor parte del año (estación Las Dos Bocas), se podrán tener cosechas que el ciclo de cultivo y los tiempos de preparación de tierras y de cosechas permitan, no hará falta riego complementario. Mientras más corto sea el periodo lluvioso, más agua será necesario importar, mayor será el riego complementario para poder tener una o más cosechas de un cultivo dado.

En la cuenca del lago de Valencia, gran parte de los cultivos levantados con riego no están sujetos a los vaivenes propios de la lluvia, con sequías eventuales que pueden generar pérdidas de las cosechas o con tormentas de precipitaciones intensas que dañen los cultivos por asfixia a nivel de las raíces, a menos, que se hagan cuantiosas inversiones de drenaje superficial y subsuperficial.

La regulación de las variaciones de la precipitación se logra, por lo general, con embalses que garanticen volúmenes de almacenamiento que pueden estar destinados entre otras aplicaciones al riego y al control de las inundaciones. De este modo, una sequía no será tan inclemente si se dispone de una cantidad de agua almacenada previamente para regar, o una creciente no generara tantos daños aguas abajo, si se dispone en el embalse del volumen necesario para almacenarlas (De Ondiz, 2008).

**Tabla 4.** Distribución anual de los excesos de agua (mm) para la zona de estudio.

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Vigirima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,6	30,1	35,5	0,0	0,0
San Diego	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,2	39,1	47,9	18,4	0,0	0,0
La Entrada	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,8	44,2	37,9	22,0	0,0	0,0
El Cambur	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chirgua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	35,4	34,9	11,0	0,0	0,0
Montalbán	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Guataparo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	55,8	61,7	47,4	20,1	0,0	0,0
Chirgua Cabecera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	38,1	9,4	20,3	0,0	0,0
Las Dos Bocas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	59,9	110,5	117,5	99,2	83,7	44,3	0,0
Bejuma Panamericana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,0	39,0	6,4	1,3	0,0	0,0
Canoabo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Miranda La Trinidad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Santa Rita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,8	0,0
Bárbula	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,7	60,5	44,3	24	0,0	0,0
Agua Blanca	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,3	69,2	73,9	67,3	46,4	0,0	0,0
Guataparo El Café	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15	60,3	58,8	51,3	31,5	0,0	0,0
Hacienda El Manglar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Colonia El Trompillo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,2	49,8	41,3	15,2	0,0	0,0
Yuma Caserio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,7	49,5	0,0	0,0
Valencia GFV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	42,4	43,5	24,6	0,0	0,0
Valencia San Luis	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,7	66,1	57,9	42,9	27,4	0,0	0,0
Los Aguacates	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,3	102,9	89,7	83,6	67,9	6,4	0,0
Campo Carabobo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,4	119,6	108,4	69,3	37,6	0,0	0,0
Manaure	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23	67,2	72,9	30,8	33,2	11,8	0,0
Cartanal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,5	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia

Para el periodo analizado, los resultados descritos evidencian que el fenómeno ENOA (El Niño-Oscilación Austral) puede explicar de forma parcial la ocurrencia de meses extremadamente secos o extremos húmedos a escala local durante las temporadas húmedas y secas en la cuenca del lago de Valencia (Paredes *et al.*, 2014; Paredes *et al.*, 2015; Pérez, 2012).

### **Estrategias de adaptabilidad climática**

El cambio climático observado durante las últimas décadas ha profundizado la vulnerabilidad de las poblaciones más necesitadas y los agroecosistemas de la región central de Venezuela, especialmente, en el estado Carabobo. Generalmente, parte de las zonas agrícolas padece de una crisis socioambiental derivada de la implementación de modelos extractivos y agroexportadores intensivos, así como políticas públicas con vacíos que benefician solo a una parte de la población (Ovalles *et al.*, 2008; MARN, 2005).

La crisis hídrica en la región se ha evidenciado de manera acelerada en los últimos treinta años con la disminución de los caudales de los ríos y los nacimientos de agua, afectando sobre todo a la población rural y los pequeños agricultores, lo que ha llevado a un alto crecimiento en los precios de los bienes agrícolas, provocando, de esta manera, mayor nivel de inseguridad alimentaria.

Ante este panorama, surgen las líneas de acción y medidas de adaptación en la agricultura como actividad climáticamente sensible, enfocadas a impulsar los cambios en los sistemas de bienes alimentarios (producción y almacenaje de alimentos básicos e insumos agrícolas y su comercialización); cambios en las actividades de los sistemas de alimentos (la forma de producción, almacenaje, consumo y distribución) y por último, cambios en los componentes de seguridad alimentaria (disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad de los alimentos).

La Tabla 5, muestra las medidas de adaptación en territorios agrícola de Carabobo, donde la capacidad de adaptación y elasticidad de la población son incrementados a través de la adopción de sistemas y prácticas productivas sustentables.

**Tabla 5.** Medidas de adaptación climática para territorios agrícolas de secano en Carabobo, Venezuela

Línea de acción	Ubicación	Medidas de adaptación	Ámbito de adopción	Ámbito de incidencia
Diversificación agrícola	Cuenca del Lago de Valencia y Cuenca del Río Portuguesa	Rescate de especies nativas Reducción de insumos agroquímicos Fortalecimiento del banco de germoplasma Capacitación formal en prácticas sustentables Transferencia de tecnología orientadas a las prácticas sustentables Promoción de colectivos dedicados a la producción de semilla nativa Colectivización de la tierra para buenas prácticas	Familiar y local por medio de los colectivos productores	Municipal/ sectorial
Gestión de las cuencas más vulnerables	Zonas altas, medias y bajas de las cuencas hidrográficas	Sensibilización de la población en materia de conservación de los recursos Reforestación de la zona alta de las cuencas Construcción de barreras vivas	Organismos oficiales como ministerios e instituciones de investigación	Estadal / Regional
Fortalecimiento de iniciativas colectivas	Cuencas: Río portuguesa, Río Tiznados, Río Yaracuy y Lago de Valencia	Para productores dedicados a la agricultura de subsistencia: creación de un espacio local para la comercialización de la producción Para jóvenes productores: promoción de la formación de nuevos colectivos productores Para productores de agricultura convencional: fortalecimiento de sus capacidades mediante procesos de formación teóricos-prácticos que les permitan incrementar su conocimiento local, identidad cultural y auto- sustentabilidad.	Organizaciones comunitarias y gremiales	Local / Municipal

**Fuente:** Adaptado de Hernández et al. (2017).

## Conclusiones

El estudio concentra los resultados del BHC, el cual permitió conocer la variación interanual del déficit y excesos. De esta forma, se coloca en evidencia la influencia que la variabilidad interanual del clima puede ejercer en la caracterización climática de Carabobo, y su repercusión en las áreas agrícolas. Esto permite sugerir el uso de esta metodología para

obtener los valores de déficits y excesos resultantes de los BHC, con fines de planificación, zonificación y caracterización del régimen hídrico de cualquier localidad.

Considerando la magnitud del déficit hídrico en estas zona agrícolas del estado Carabobo, se debería enfrentar los episodios secos severos mediante una mayor dotación de recursos para la construcción de pozos profundos, aprovechando además causas de los ríos y quebradas cercanos; para ello, es necesario contar con un plan estratégico a nivel regional para determinar las cuencas fluviales más importantes en la zona, con el objeto de generar una reserva para potenciar el riego en el sector agropecuario.

Los resultados dejan en evidencia que la zonificación de los riesgos de déficit y excesos de agua en áreas potenciales para cultivos facilitará la creación de base de datos de apoyo al ordenamiento ecológico del estado Carabobo. Esto permitiría a largo plazo, realizar un manejo sustentable de los recursos naturales a partir de un conocimiento profundo de las potencialidades, así como su conservación con conocimiento previo.

### **Agradecimiento**

Agradecemos el apoyo financiero de la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Desarrollo Agrario de la Gobernación del estado Carabobo, Venezuela.

### **Referencias**

- Ablan, M., Andressen, R., Vargas, M. P. y Acevedo, M. (2008). Propuesta metodológica para el control de calidad de datos de precipitación. *Agro-nomía Trop*, 58(1), 57-60. Recuperado de [http://sian.inia.gov.ve/repositorio/revistas\\_ci/Agro-nomia%20Tropical/at5801/pdf/ablan\\_m.pdf](http://sian.inia.gov.ve/repositorio/revistas_ci/Agro-nomia%20Tropical/at5801/pdf/ablan_m.pdf)
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma, Italia, FAO. 323 p. (Serie Estudio de Riego y Drenaje No. 56).
- Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Editorial del Consejo de desarrollo científico y humanístico. UCV. Caracas, Venezuela.
- Cortez, A., Rodríguez, M., Rey, J.C., Ovalles, F., González, W., Parra, R., Olivares, B. y Marquina, J. (2016). Variabilidad espacio temporal de la precipitación en el estado Guárico, Venezuela. *Rev. Fac. Agron (LUZ)*, 33 (3), 292-310.

- De Ondiz, J. (2008). *Riego y drenaje agrícola para ingenieros*. Editorial del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. UCV. Caracas, Venezuela.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. (2011). *InfoStat versión 2011*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de: <http://www.infostat.com.ar>
- ESRI. (1996). Arc View GIS. *The geographic information system for everyone*. Versión 3.2. by ESRI. Product ID: 825921104087.
- Guevara, J.M. (2013). *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos*. Caracas, Venezuela. Editorial del Consejo de desarrollo científico y humanístico. UCV...
- Hernández, R., Pereira, Y., Molina, JC., Coelho, R., Olivares, B. y Rodríguez, K. (2017). *Calendario de siembra para las zonas agrícolas del estado Carabobo en la República Bolivariana de Venezuela*. Sevilla España, Editorial Universidad Internacional de Andalucía.
- Jones, B. y Sall, J. (2011). JMP statistical discovery software. Wiley Interdisciplinary Reviews: *Computational Statistics*, 3(3), 188-194.
- MARN (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Venezuela). (2005). *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Caracas, Venezuela.
- Olivares, B., Parra, R., Cortez, A. y Rodríguez, M.F. (2012). Patrones de homogeneidad pluviométrica en estaciones climáticas del estado Anzoátegui, Venezuela. *Revista Multiciencias*, 12 (Extraordinario), 11-17.
- Olivares B., Caraballo, L. y Torrealba, J. (2013a). Variabilidad del régimen de precipitación en el periodo 1990-2009 en la localidad de El Tigre estado Anzoátegui, Venezuela. *Rev. Fac. Agron (LUZ)*, 30 (1), 19-32. Recuperado de [http://revfacagronluz.org.ve/PDF/enero\\_marzo2013/v30n1a20131932.pdf](http://revfacagronluz.org.ve/PDF/enero_marzo2013/v30n1a20131932.pdf)
- Olivares, B., Cortez, A., Parra, R., Rodríguez, M. y Guevara, E. (2013b). Aplicación de procedimientos estadísticos para el control de calidad de las series de precipitación mensual de los llanos orientales venezolanos. *Rev. Fac. Agron (LUZ)*, 30 (3), 367-391. Recuperado de [http://revfacagronluz.org.ve/PDF/julio\\_septiembre2013/v30n3a2013367391.pdf](http://revfacagronluz.org.ve/PDF/julio_septiembre2013/v30n3a2013367391.pdf)

- Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R., Rey, J.C. y Rodríguez, M. (2016a). Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado. *Revista Acta Nova*, 7 (3), 266-283.
- Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R., Rey, J.C. y Rodríguez, M. (2016b). Análisis temporal de la sequía meteorológica en localidades semiáridas de Venezuela. *UGCiencia*, 22 (1), 11-24.
- Olivares, B., Cortez, A., Muñetones, A. y Casana, S. (2016c). Strategic Elements of Organizational Knowledge Management for Innovation. Case: Agrometeorology Network. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 10 (1), 68-81.
- Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R., Rey, J.C. y Rodríguez, M. (2017a). Evaluation of agricultural vulnerability to drought weather in different locations of Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 34 (1): 103-129.
- Olivares, B., Zingaretti, M. L., Demey Zambrano, J.A. y Demey, J. R. (2017b). Aplicación del método STATIS-ACT al régimen de lluvias en la Región Oriental Venezolana. *UNED Research Journal*, 9(1), 97-106.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial, Suiza). (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. OMM-N°100. Ginebra. Suiza.
- Ovalles, F., Cortez, A., Rodríguez, M.F., Rey, J.C. y Cabrera-Bisbal, E. (2008). Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela. *Agronomía Trop*, 58 (1), 37 – 40.
- Paredes, F., La Cruz, F. y Guevara, E. (2014). Análisis regional de frecuencia de las sequías meteorológicas en la principal región cerealera de Venezuela. *Bioagro*, 26(1), 21-28.
- Paredes, F., Guevara-Pérez, E., Barbosa-Alves, H. y Uzcátegui-Briceño, C. (2015). Tendencia de la precipitación estacional e influencia de El Niño-Oscilación Austral sobre la ocurrencia de extremos pluviométricos en la cuenca del lago. *Tecnología y Ciencias del Agua* VI (6), 33-48.
- Parra, R. y Cortez, A. (2005). Control de calidad de series de precipitación de las series de precipitación del INIA Venezuela en el periodo 1970-2000. *Rev. Arg. de Agrometeorología*, (5-6), 63-73.

- Pérez, N. L. (2012). Influencia de episodios El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) sobre la precipitación en el Estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2), 400-406.
- Rodríguez, M.F., Cortez, A., Olivares, B., Rey, J.C., Parra, R. y Lobo, D. (2013). Análisis espacio temporal de la precipitación del estado Anzoátegui y sus alrededores. *Agronomía Trop*, 63 (1-2), 57-65.
- Ruiz-Álvarez, O., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M.A., Ontiveros Capurata, R.E. y López-López, R. (2012). Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 28(1), 1-14.
- Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *American Geographical Society*, 38(1), 55-94.



## **Avaliação preliminar dos conhecimentos etnoclimático e etnogeomorfológico de pescadores do litoral do Município de Goiana – estado de Pernambuco / Brasil**

Preliminary evaluation of the ethnoclimatic and ethnogeomorphologic knowledge of fishermen of the coast of the Municipality of Goiana - state of Pernambuco / Brazil

*Roberta Kelly Fernandes-da-Silva*<sup>1</sup>

*Vanessa Martins-Lopes*<sup>2</sup>

*Oswaldo Girão*<sup>3</sup>

*Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.11>

### **RESUMO**

Buscou-se identificar, de forma preliminar, os saberes etnoclimáticos e etnogeomorfológicos detrês comunidades de pescadores localizadas no município de Goiana, estado de Pernambuco, objetivando identificar como os pescadores entendem os saberes relativos à sazonalidade climática e às formas e funções dos relevos costeiros, assim como classificam o ambiente físico/natural em que vivem. Foram realizados levantamentos bibliográficos e visitas às comunidades pesquisadas para reconhecimento do ambiente físico/natural onde, posteriormente, foram realizadas entrevistas de caráter qualitativo. Compreender a importância do etnoconhecimento e das experiências que os moradores das comunidades possuem em relação à dinâmica existente no meio em que praticam

1 Graduanda do Curso de Licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco – Brasil. robertakellype@hotmail.com

2 Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco – Brasil. wan.martins19@gmail.com

3 Professor Associado 1 do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco – Brasil. osgirao@gmail.com

Fecha de recepción: 07 de marzo de 2017

Fecha de aceptación: 16 de octubre de 2017

a pesca, poderá contribuir de forma eficaz em ações desenvolvidas pelo poder público a partir da participação dos moradores locais com seus conhecimentos, experiências e práticas.

**Palavras-chave:** Etnoconhecimento; Comunidades pesqueiras; Geomorfologia Costeira; Litoral Norte de Pernambuco; Goiana-PE.

#### **ABSTRACT**

This study aimed at preliminarily finding the ethnoclimatic and ethno-geomorphological knowledge of three fishing communities located on the municipality of Goiana, in the state of Pernambuco. This aimed at identifying how fishermen understand the knowledge about the climatic seasonality and the forms and functions of the coastal reliefs, as well as classifying the physical / natural environment in which they live. Bibliographical surveys were carried out and visits to the surveyed communities were made to recognize the physical/natural environment where qualitative interviews were subsequently conducted. Understanding the importance of ethno-knowledge and the experiences that the residents of the communities have in relation to the dynamics existing in the environment in which they practice fishing, may contribute effectively to actions developed by the public power from the participation of residents with their knowledge, experience and practices.

**Keywords:** Ethno-knowledge; Fishing communities; Coastal Geomorphology; North Coast of Pernambuco; Goiana-PE.

### **Introdução**

As comunidades tradicionais, como a de pescadores artesanais, que conhecem intimamente o ambiente costeiro através da vivência com o lugar, detêm práticas de uso e manejo que não causam grandes impactos ao ambiente natural, se comparadas às práticas da sociedade urbano-industrial. A terra, a água, a fauna, a flora e outros elementos da natureza são partes integrantes de suas rotinas diárias, e geralmente dos quais dependem a sua sobrevivência, por isso são tratados com um elo de afetividade, o que implica em um maior grau de comprometimento com a conservação da dinâmica do sistema natural.

Em tais ambientes a diversidade ecológica, em muitos casos, é mantida a partir da diversidade cultural e das técnicas existentes nas comunidades de jangadeiros e caiçaras, aspectos majoritariamente desconsiderados em políticas voltadas para a proteção ambiental, que poderiam considerar estratégias de sobrevivência das culturas locais e os modos de vida das populações litorâneas, que consideram a necessidade da manutenção de um equilíbrio ambiental.

Dentro da perspectiva apresentada, o estudo realizado justificou-se pela necessidade do reconhecimento da construção e manutenção dos conhecimentos tradicionais sobre o relevo costeiro de comunidades de

pescadores artesanais no município de Goiana, localizado no litoral norte do estado de Pernambuco, como estudo voltado para futuras ações de planejamento e gestão territorial e de conservação ambiental costeira, uma vez que o município em questão abriga várias comunidades de pescadores que se dedicam ao sistema artesanal de pesca, mas que recentemente veem sofrendo pressões ambientais decorrentes da expansiva atividade imobiliária sobre a orla costeira municipal.

As possíveis aplicações do estudo realizado visam mitigar problemáticas relativas às ações voltadas para o planejamento e gestão ambiental e territorial, que desconsideram o conhecimento dos moradores sobre a realidade ambiental e cultural em suas aplicações, sendo tais considerações essenciais para proposições racionais junto aos moradores envolvidos, que habitam e, majoritariamente, praticam atividades econômicas relacionadas com o ambiente costeiro, considerado de equilíbrio frágil e dinâmico.

A compreensão do conhecimento tradicional sobre as dinâmicas ambientais naturais, a nível climático e geomorfológico, devem ser considerados em ações públicas pois potencializam o sucesso das mesmas ao envolver populações locais com contribuições valorosas sobre modificações sazonais, anuais ou mesmo decadas quanto ao comportamento climático e suas repercussões sobre processos e formas geomorfológicas presentes em ambientes costeiros.

Desta forma, foi objetivo geral do estudo é identificar como as comunidades de pescadores artesanais das comunidades de Atapuz, Barra de Catuama e Carne de Vaca entendem as dinâmicas climáticas e suas repercussões sobre os processos e as formas geomorfológicas, assim como denominam, classificam e manejam o ambiente físico/natural costeiro em que vivem, enfatizando, dentre as características geoambientais, aquelas de caráter geomorfológico, sendo objetivos específicos identificar qual a percepção etnoecológica que as comunidades de pescadores artesanais possuem sobre o ambiente em que vivem, e classificar, etnogeomorfológicamente, o relevo local a partir do etnoconhecimento coletado em campo, assim como identificar uma correlação entre os conhecimentos geomorfológicos acadêmicos e etnogeomorfológicos locais.

### **Área de estudo**

As comunidades pesqueiras estão localizadas em ambiente costeiro-estuarino, sendo uma no litoral norte, Carne de Vaca, na desembocadura do rio Megaó, e duas no litoral sul, Barra de Catuama e Atapuz, na entrada norte do canal de Santa Cruz, todas no município de Goiana, ao norte do estado de Pernambuco (figuras 1). As três comunidades avaliadas possuem como bases da economia a prática da pesca, assim como a atividade turística de lazer.

Na costa Nordeste Oriental, na qual localiza-se o estado de Pernambuco, predomina planícies costeiras, praias e franjas de recifes de arenitos de praias, além de falésias pontuais a retaguarda de algumas praias. As lagoas e estuários também são ocupados por manguezais, e nessa área há grande influência dos ventos de sudeste. Em termos geológicos o litoral norte pernambucano pertence ao domínio estrutural da Bacia Sedimentar Paraíba.

A faixa costeira de Goiana é litologicamente diversificada, sendo composta pelos depósitos Cretáceos-paleocênicos do Grupo Paraíba, depósitos Plio-pleistocênicos da Formação Barreiras e depósitos quaternários. Essa litologia exerce importante papel na gênese geomorfológica da área em questão, dividindo-a em três unidades geomorfológicas: Tabuleiros Costeiros, Domínio Colinoso e Planícies Costeiras (CPRH, 2003).

As planícies costeiras, ou litorâneas, unidade onde está inserida a área objeto do estudo, são planícies formadas por sedimentos terciários ou quaternários, depositados na zona costeira. A gênese desse ambiente está relacionada a vários fatores, como as variações do nível do mar do quaternário associadas às correntes de deriva litorânea, às fontes primárias de sedimento e às “armadilhas” para retenção do sedimento. Frequentemente essas planícies estão associadas a desembocaduras de grandes rios e/ou reentrâncias na linha de costa. Segundo Silva (2012) essa é uma unidade geológico-geomorfológica de grande complexidade, já que se trata de um ambiente de transição entre fenômenos continentais e marinhos, onde ocorrem diversos tipos de ambientes geomorfológicos.

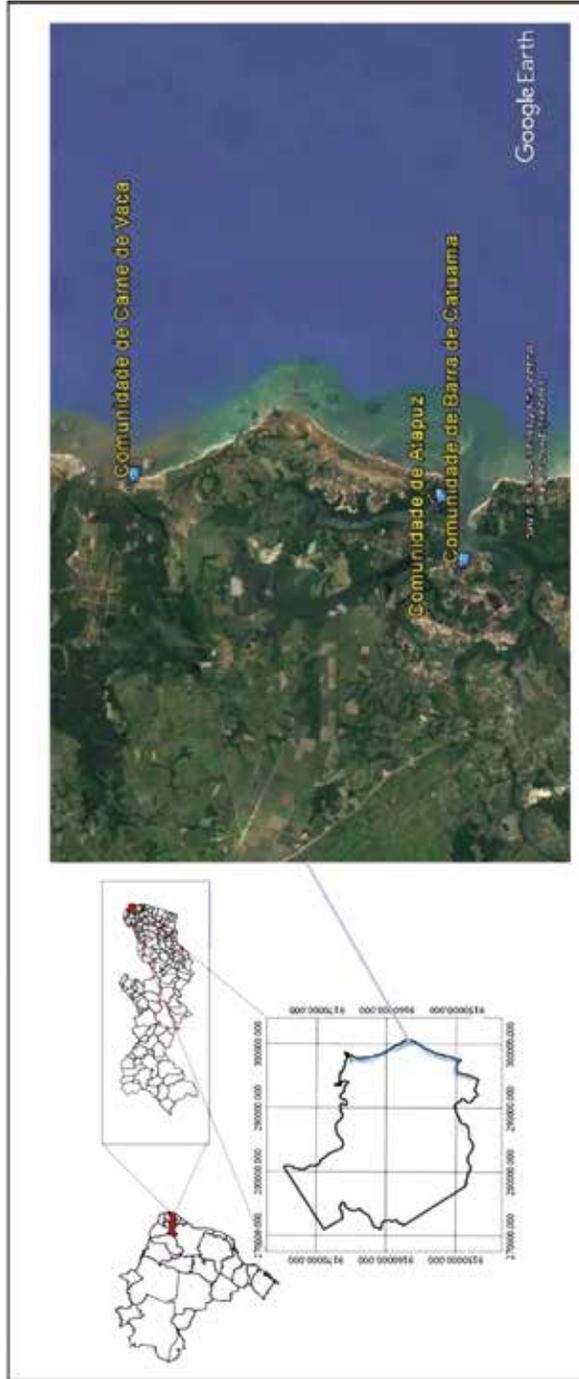
Quanto à dinâmica climática local, cinco sistemas atmosféricos atuantes são responsáveis pelas precipitações no Litoral Norte de Pernambuco, de acordo com Oliveira (2003), são:

- Vórtices Ciclônicos da Atmosfera Superior (VCAS), atuantes a partir do fim da primavera a início do verão (novembro a janeiro);
- Brisas marítimas, atuantes ao longo do ano, com maior intensidade no outono-inverno (março a setembro);
- Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), atuantes durante o verão-outono (dezembro a junho);
- Frentes frias, atuantes durante o outono-inverno (março a setembro);
- Sistemas ondulatórios de leste, atuantes durante o outono-inverno (março a setembro);

Para o litoral de Goiana, há um gradativo aumento de precipitação a partir de fevereiro, com valores médios mensais variando entre 50 à 100 mm, março e abril com valores superiores à 200 mm, atingindo a precipitação máxima, superior à 300 mm, no mês de junho. A intensidade de chuvas nessa região, durante esta época do ano, está diretamente relacionada à posição e intensidade da alta pressão do Atlântico Sul e à temperatura do Atlântico Sul, próximo à costa brasileira. A partir de julho, final da estação chuvosa da região, as precipitações tendem a diminuir, atingindo valores em torno de 50 mm no mês de setembro (Manso *et.al.*, 2006).

Ainda segundo Manso *et.al.* (2006), durante o inverno, predominam os ventos de sudeste, com velocidades médias entre 5,0 a 6,1 m/s, já no verão, predominam os ventos de nordeste, com velocidade média de 5,2 m/s. Os ventos alísios de sudeste e as brisas marinhas exercem grande influência nas condições climáticas da área, ora minimizando, ora maximizando os efeitos térmicos advindos da insolação.

**Figura 1:** Localização do município de Goiana em Pernambuco e das comunidades de pescadores em seu litoral



### **Marco teórico-conceitual**

Os conhecimentos tradicionais adquiridos pelos pescadores, diferentemente do conhecimento científico, devem ser levados em consideração, baseados no fator de pertencimento e experiência, de fazer parte da dinâmica socioambiental local. Ou seja, é reconhecer a existência de várias experiências e saberes, os quais os indivíduos praticam no seu dia a dia.

Assim, o etnoconhecimento das comunidades tradicionais expressa de forma única como conviver com a natureza, seus limites e sua dinâmica, pois:

O prefixo etno faz referência aos aspectos e conhecimentos específicos de povos ou etnias, ou seja, aos conhecimentos de grupos de indivíduos que compartilham uma cultura. Assim, os estudos etnocientíficos são aqueles que procuram compreender como comunidades com cultura própria se inter-relacionam com plantas, animais e com o próprio lugar ou território em que se encontram, ou seja, os conceitos e saberes desenvolvidos por uma cultura sobre diferentes áreas do conhecimento nas relações povos-natureza. Estes saberes advêm de gerações de experimentações entre estas sociedades e seu meio ambiente buscando melhores formas de uso e manejo dos recursos naturais através do tempo, e tem como característica fundamental a interdisciplinaridade das ações e a busca do reconhecimento do valor intelectual deste etnoconhecimento (Ribeiro, 2012).

De acordo com suas necessidades, os pescadores percebem, concebem e conceituam os ambientes e suas formas, criando técnicas para alcançar seus objetivos socioeconômicos, ou seja, conseguir sua sustentabilidade econômica, mas também do ponto de vista físico-ambiental.

O grau de enraizamento das pessoas com o meio ambiente em que vivem faz com que elas construam vínculos e identidades únicas, enriquecendo suas tradições, conhecimentos e culturas. O ser humano se apropria da natureza de acordo com sua cultura, com o seu território étnico, uma vez que:

O homem é o resultado do meio cultural em que foi socializado. Ele é um herdeiro de um longo processo acumulativo, que reflete o conhecimento e a experiência adquiridas pelas numerosas gerações que o antecederam (Laraia, 2009, p.45 *apud* CARvalho Neta, Ribeiro, MarcaL e Lima, 2014).

No caso de comunidades de pescadores, a partir dos vínculos criados com o meio, a percepção de qualquer mudança da dinâmica do ambiente em que vivem é de extrema importância para a busca de um reequilíbrio ambiental. Para tanto, a conservação e continuação de práticas tradicionais de pesca auxiliam os pescadores perceberem que há processos de mudanças, e que estas tentam identificar as causas com suas experiências, e alteram, se necessário, práticas ou mesmo locais de pesca, a exemplo da noção/percepção de que o “clima está mudando” e afetando a atividade pesqueira, na quantidade e qualidade dos pescados.

Neste contexto, no âmbito do conhecimento de comunidades locais, ou do etnoconhecimento, tanto a etnoclimatologia quanto a etnogeomorfologia podem ser consideradas como uma abordagem etnoecológica, uma ciência híbrida estruturada a partir da combinação de ciências naturais e sociais (Ribeiro, 2012), que busca a integração de conhecimentos locais aos considerados acadêmicos.

A Etnoclimatologia, segundo Nasuti *et al.* (2013), pode ser definida como uma análise da relação e interação entre os fatores e elementos climáticos e as culturas humanas, que utilizam o conhecimento adquirido sobre o clima local a partir de suas observações e conhecimentos empíricos sobre o meio natural (Gascón, 2014, GAscón e Caviedes, 2014).

Os estudos de caráter etnoclimáticos implicam o conhecimento empírico do tempo atmosférico e dos tipos climáticos e mesmos de suas dinâmicas sazonais em um determinado local, produto do contato, observação e interação com o meio, sendo estes aperfeiçoados ao longo do tempo por sucessivas gerações, que resguardam e os transmitem, sendo seus fundamentos baseados em saberes tradicionais, transmitidos mediante narrativas orais.

São várias as razões para a valorização dos conhecimentos etnoclimáticos, que no Brasil, estão embrionariamente voltados para o semiárido do nordeste do país (Folhes e Donald, 2007; Medeiros, Pinto e Rozendo, 2014), mas entre elas é pertinente destacar seu valor como acervo cultural e memória popular, e as valiosas informações que o conhecimento das dinâmicas climáticas de um passado recente podem ser confrontadas com dinâmicas presentes à escala de detalhe local (Fuentes, Bastos e Santos, 2015).

Quanto à etnogeomorfológica, esta visa resgatar os valores das culturas locais sobre suas interpretações sobre o relevo, pautando-se sob a ótica do entendimento e práticas de uso e manejo que essas comunidades

exercem sobre a paisagem geomorfológica de que fazem parte, dando ênfase as formas e processos morfogenéticos e morfodinâmicos atuantes em determinadas localidades (RIBEIRO, 2012). Desta feita, as taxonomias e classificações locais para as formas e processos geomorfológicos são igualmente relevantes para a obtenção de uma visão ampla sobre a relação entre grupos sociais e o meio natural em estudos etnogeomorfológicos.

Os estudos etnogeomorfológicos podem, ainda, contribuir para um “desenvolvimento local” a partir de um “envolvimento local” das comunidades tradicionais, contribuindo para ações de geoconservação ambiental a partir do manejo e gestão socioambiental desses grupos no local em que vivem, tendo, a partir da valorização de seus conhecimentos, o poder de atuar nas intervenções governamentais, e mesmo privadas, sobre seus *locus* habitacionais.

Além das contribuições as formas de usos e ocupações a partir da dinâmica das zonas costeiras, deve-se considera estas como áreas extremamente frágeis no que se refere à degradação de seus recursos pela ocupação antrópica, além de serem geomorfológicamente instáveis a *inputs* climáticos e oceanográficos (Cabral, Silva e Girão, 2014).

Essa instabilidade em ambientes costeiros decorre das alterações por efeitos naturais e antrópicos, que se revelam em modificações na disponibilidade de sedimentos, no clima de ondas e na altura do nível relativo do mar. A variação no nível do mar é um dos principais mecanismos responsáveis por modificações na linha de costa e da configuração litorânea (Muehe, 1994), sendo um dos principais reflexos de mudanças morfodinâmicas percebidas por pescadores.

Sendo um ambiente instável, possíveis fragilidades requerem formas de planejamento e gerenciamento costeiro para manter o equilíbrio e conservação dessas áreas, que não exigem, exclusivamente, como nos vem à primeira instância, a utilização de técnicas e recursos tecnológicos, apenas, pois são nas práticas vistas, geralmente, como rudimentares, que pode está à “chave” da manutenção da dinâmica natural e conservação ambiental, e é neste contexto que os povos tradicionais litorâneos exercem papel relevante na possibilidade de contribuir de forma efetiva para implementação de ações de manutenção e/ou reequilíbrio ambiental visando ações de planejamento e gestão territorial

### **Marco teórico-metodológico**

O presente trabalho possui como base os aportes teórico-metodológicos de Ribeiro (2012), a qual propõe o estudo geomorfológico sob um novo olhar, pautado na perspectiva etnocientífica. A autora buscou a compreensão acerca das formas de relevo e processos morfoesculturadores a partir do conhecimento local de comunidades tradicionais.

Uma categoria de análise geográfica atrelada a essa investigação é a de paisagem, sustentada na perspectiva geossistêmica de Sotchava (1977), como um conjunto de elementos integrados e indissociáveis em constante evolução. No entanto, procurou-se trabalhar este conceito em uma perspectiva cultural, buscando inserir os valores das culturas locais com suas visões de mundo, organização de conhecimentos e classificações ambientais, tendo como ênfase os conhecimentos etnogeomorfológicos.

A escolha das comunidades de comunidades de Atapuz, Barra de Catuama e Carne de Vaca foi realizada baseada em suas localizações na área costeira, ou seja, ambientes que se constituem em zonas de contato entre terra, mar e dinâmica climática com ecossistemas diferentes, incluindo os manguezais. Ademais, foi considerada a base econômica das comunidades voltada para a atuação pesqueira, que muitas vezes é praticada de forma precária pelos pescadores, onde os mesmos buscam formas diversas para adaptar o seu trabalho à dinâmica natural desses ambientes aquáticos.

Pós a escolha das áreas de pesquisa foi realizada a primeira atividade de campo no dia 11 de dezembro de 2015, nos locais escolhidos em cada comunidade para reconhecimento do ambiente físico/natural, onde, posteriormente, seriam realizadas as entrevistas.

O retorno a campo ocorreu na data de dia 1º de abril de 2016 para aprofundamentos dos dados levantados na primeira ida a campo e para elaboração do roteiro de entrevista de caráter qualitativo, com questões que objetivaram identificar etnoconhecimentos tradicionais das comunidades de pescadores relacionados com formas e processos geomorfológicos costeiros.

Os momentos voltados para as entrevistas foram os períodos de 27 a 29 de junho e 1º de julho de 2016, objetivando identificar e analisar os conhecimentos dos(as) pescadores(as) sobre as formas e funções do relevo e como eles classificam e manejam o ambiente físico/natural em que vivem,

quando foram aplicadas 15 entrevistas, sendo cinco para cada comunidade, com questões referentes aos seguintes tópicos:

- Percepção de mudanças no nível relativo do mar e mudanças na paisagem;
- Percepção de influências naturais e sazonalidade sobre a atividade pesqueira;
- Dinâmica hidrológica e processos modeladores da paisagem geomorfológica;
- As formas geomorfológicas.

As entrevistas foram gravadas em áudio e depois transcritas, o que possibilitou analisar e compreender de forma mais minuciosa os dados coletados em campo e como os pescadores entendem as formas e funções do relevo, como classificam e manejam o ambiente costeiro em que vivem.

Por fim, em compilações e análises de gabinete, foram correlacionados os etnoconhecimentos sobre o relevo costeiro com a geomorfologia costeira acadêmica, buscando similaridades entre os conceitos das duas “comunidades”.

## **Resultados**

Nas atividades de campo foi aventado de forma recorrente pelos pescadores que o ambiente costeiro vem sofrendo degradação em decorrência do aparecimento de pontos de erosão marinha, segundo eles por questões naturais, influenciadas pelas mudanças climáticas, mais também antrópicas, como construções irregulares que avançam sobre áreas de influências das marés. Acerca de mudanças perceptíveis em áreas costeiras por moradores devido a mudanças nas formas de usos ocupacionais, tem-se que:

A percepção de que o litoral é um ambiente sujeito a mudanças se estabelece à medida que aumenta a ocupação da orla costeira de modo que efeitos erosivos que antes da ocupação eram ignorados por não causarem prejuízos, passam a ser vistos como fator de risco, implicando em questões econômicas e sociais (MUEHE, 2006).

A cada relato dos pescadores entrevistados, percebia-se a importância e a validade dos conhecimentos e experiências que os mesmos possuem

acerca do ambiente em vivem, e que estes se firmamem suas práticas sociais e labutais, mas também em relação aos limites e mudanças do meio ambiente, levando-os a “se aproximar” de conhecimentos usados no meio científico visando necessidades, conforme atestam Lopes e Pereira (2014, p.3171 *apud* Toledo e Barrera-Bassols, 2009):

O conhecimento das populações tradicionais é holístico, porque resulta das necessidades de uso e manejo dos recursos naturais, dessa forma elas detêm um detalhado catálogo de conhecimento acerca da estrutura, elementos, processos, dinâmicas e potenciais da natureza. Assim os indivíduos reconhecem informações sobre espécies de plantas, animais, fungos, e alguns microorganismos, além de diversos tipos de minerais, solos, água, neve, vegetação e paisagens.

Informações e percepções de pescadores e pescadoras relativas à mudanças no nível relativo do mar, influências de elementos naturais e da sazonalidade sobre a atividade pesqueira, dinâmica hidrológica e processos modeladores da paisagem geomorfológica, e as formas geomorfológicas identificadas foram reveladas através das entrevistas realizadas que, em síntese, apresentaram os resultados que seguem nos próximos tópicos.

### **Percepção de mudanças no nível relativo do mar e mudanças na paisagem**

Para Davidson-Arnott (2010) não é tão simples determinar variações do nível relativo do mar ao longo do tempo, já que a história real dessas mudanças ao longo de qualquer costa específica também irá variar em razão de outros fatores tais como a elevação isostática e fatores tectônicos locais.

As mudanças nos níveis relativos do mar têm continuado a influenciar a evolução morfodinâmicas zonas costeiras, no entanto estas também têm sido influenciadas e modificadas pelos efeitos de várias atividades antrópicas ocorridas não só ao longo da linha de costa mas também no interior do continente (Bird, 2008).

As atividades antrópicas ao longo da linha de costa ou em suas proximidades podem surgir a partir da construção de portos, ocupação indevida de setores da costa que deveriam estar protegidos e, inclusive, das próprias obras de engenharia costeira, quando mal projetadas, pois essas

ações podem alterar o fluxo de sedimentos entre continente e oceano e vice-versa, além de influenciar sobre a dinâmica das ondas e marés e a orientação da deriva litorânea causando erosão da costa em determinados locais e sedimentação em outros. No interior do continente, a retirada de sedimentos dos cursos fluviais pode causar um déficit sedimentar na desembocadura do canal fluvial causando também a erosão em ambientes estuarinos ou deltaicos (Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010).

Em relação à variação do nível no mar, os pescadores de Goiana relataram percepções diversas, pois para 9 dos entrevistados há indícios de avanços e recuos, e outros 6 não perceberam diferenças, pois entendem que continua no mesmo nível há anos.

Os que perceberam que o mar avançou, relatam vários motivos, como: a ação dos ventos e das ondas, que fazem com que os bancos de areia “desçam” para a área costeira, não mais permitindo a presença de pescado, dificultando, assim, a presença dos mangues e cobrindo rochas, onde antes os peixes se alimentavam. Estes também relataram como causas os aterros e ocupações próximas da linha de costa, fazendo com que o mar, dentro de sua dinâmica, venha a atuar modificando o meio ambiente costeiro local, e mesmo atuando na gênese de prejuízos materiais quando atingem estruturas próximas a linha de costa (figura 2).

Outros ainda acreditam na influencia de um provável aquecimento global, e alguns que a questão é natural, relacionada com a dinâmica costeira. Muitos disseram que o relativo avanço do nível do mar influencia na atividade de pesca, diminuindo as espécies e quantidades, pois onde antes era “berçário” dos peixes virou “croá” (banco de areia). Ademais, as mudanças na dinâmica da linha de costa modificaram áreas de acesso à pesca, e mesmo destruiu algumas edificações/estruturas.

**Figura 2:** Ocupação residencial de pescadores na linha de costa - comunidade de Atapuz.



Fonte: Os autores (2016).

A partir do relato dos que acreditam que está ocorrendo modificações no nível do mar, percebe-se que estes possuem entendimento sobre variações sazonais e mesmo como formas de uso e ocupação podem influenciar sobre a percepção de variações na linha de costa.

### **Percepções da sazonalidade climática e cobertura vegetal natural sobre a atividade pesqueira**

Para os 15 entrevistados há interferências das estações do ano na pesca, pois esta varia de dependência da época do ano. Para muitos entrevistados, o inverno (junho a setembro) é um período ruim para a pesca porque chove recorrentemente, há uma queda relativa de temperatura e os

ventos são fortes, mas, em contrapartida, as chuvas ao escoar com carga de sedimentos para os rios “suja” a água, facilitando a pesca para alguns tipos de pescado, como a Tainha (*Mugil brasiliensis*) e a Carabepa (*Diapterus rhombeus*), porque o peixe “desce” e não vê a rede. Já para outros pescadores, o inverno é ruim porque afastam os peixes do mar que entram para o estuário superior do rio Megaó, em busca de água doce e temperaturas menores que a do mar. Para muitos, durante o verão é bom para a pesca porque o mar está mais calmo, e o vento não é muito forte.

O vento é outro fator considerado importante e de forte influência na prática da pesca considerando a sazonalidade, pois, segundo os pescadores, existem ventos de norte, nordeste, sul, sudeste, vento “terror” ou brando, vento “de fora” ou “gerar”, que vem do mar. Os ventos de sudeste e sul são considerados fortes, ocorrendo na época de inverno entre julho e setembro, sendo os chamados Alísios de Sudeste. No verão, entre dezembro e janeiro, os pescadores mencionaram o chamado vento “de fora”, alusão aos Alísios de Nordeste, considerados de intensidade forte a moderado, sendo também considerado brando e bom para a atividade da pesca.

Fica evidente que os ventos Alísios de Sudeste são mais atuantes e intensos no litoral em questão no período de outono-inverno (março-setembro), enquanto Alísios de Nordeste atuam de forma amena durante a primavera-verão (setembro-março).

Quanto à pluviosidade, os períodos de maior e menor intensidade desta, localmente denominados de “inverno” e “verão”, respectivamente, influenciam a dinâmica da paisagem e da atividade de pesca, segundo os pescadores, pois nos períodos de maiores precipitações, que corresponde, na verdade, ao outono-inverno (março a setembro), o peixe vai para a “cabeceira” dos rios, e é bom para a pesca de crustáceos. No entanto, grande parte dos pescadores reclama que com a chuva a água fica fria e “grossa”, ou seja, fica suja, devido à carga de sedimentos lançadas dos interflúvios nos rios, e mesmo da porção emersa na linha de costa, de modo que a pescaria se torna difícil por conta da turbidez da água.

Ainda segundo os pescadores, quando a chuva cai sobre a superfície aquosa, faz barulho sobre a água e o peixe “afunda”, ou seja, mergulha para as porções mais profundas. Além disso, há a influência da grande descarga de água doce sobre a salinidade local, porque quando há o lançamento de

água nova no mar, e com a queda da salinidade, o peixe se afasta e permanece no que eles denominam de “mar de fora”, distante da costa.

Deste modo, para a maioria dos pescadores, o verão é considerado a melhor época, porque a água fica mais quente e limpa, e aliada ao vento que é mais brando, promove a incidência de uma maior diversidade e quantidade de peixes que se aproximam da costa.

Quanto à vegetação natural, existente nas comunidades pesquisadas, há referências a diversos tipos de mangue, como: botão ou bolota (*Comacarpuserectus*), bravo ou gaiteiro (mangue vermelho - *Rhizophoramangle*) e mangue tinteiro ou manso (mangue branco - *Laguncularia racemosa*).

Tais vegetações são importantes para a prática da pesca, pois como relataram os pescadores, é através destas que há oxigênio, permitindo que os peixes venham desovar, e de onde eles, os pescadores, também podem aproveitar-se de recursos para sobrevivência, como na prática do extrativismo de ostras, siris, mariscos e caranguejos.

Além do extrativismo animal, há uma relativa atividade de extrativismo vegetal, apesar dos pescadores terem consciência de que é proibido retirar madeira do manguezal, mas muitos disseram que só extraem a madeira “morta” (galhos caídos) para utilizar como lenha para cozinhar os mariscos, pois o custo de cozinhar em fogão a gás é considerado alto. Outros retiram lenha para construção de telhados, e para usar na atividade de pesca, em embarcações.

### **Processos modeladores da paisagem geomorfológica e dinâmica hidrológica**

As marés ocorrem em um ciclo diário alternante de seis em seis horas. Assim, elas passam um período de seis horas de fluxo (para alcançar a preamar), e seis horas de refluxo (para alcançar a baixa-mar), de modo que em um dia lunar (24h 50m 28s) há duas preamares e duas baixa-mares. É justamente por causa da diferença de tempo entre o dia solar (24h) e o dia lunar que as marés possuem uma variação de aproximadamente 50 minutos de um dia para o outro (Davidson-Arnott, 2010; Lopes, 2017).

Além das variações diárias, as marés possuem variações mensais, relacionadas aos astros, como a Lua e o Sol, que irão definir os diferentes tipos de marés existentes identificados pelos pescadores, os quais são muito importantes na prática de pesca.

As oscilações diárias das marés através do processo de fluxo e refluxo são classificadas por eles como “maré de enchente”, quando o nível da maré está subindo e “maré de vazante” quando o nível esta descendo. Denominam de “maré alta” quando está em seu nível máximo, ou seja, na preamar, e “maré baixa” em seu nível mínimo, ou seja, baixa-mar, quando evidencia-se as chamadas planícies de maré com o recuo na baixa-mar (figuras 3 e 4).

Para Lopes (2017), a dinâmica das marés interfere e influencia na prática da pesca, existindo vários tipos de marés, que os pescadores nomeiam e se baseiam por elas para saber qual é a melhor maré para se pescar.

A “maré cheia”, grande ou de lançamento, para uns, é bom para a pesca de rede de fundo, e para outros é ruim por conta da correnteza que a mesma promove, que é maior. A “maré de vazante”, baixa, ou baixa-mar, também denominada de maré de quebramento, é quando a maré está secando que, dependendo da pesca, é melhor para se conseguir determinados recursos como o marisco.

Os pescadores denominam de “maré de fevereiro”, ou de Carnaval, a maré mais alta (maré de sizígia); outra forma de maré é a de mosquito, ou maré de renovação, quando não há uma forte subida do nível, mas o suficiente para “lavar” o mangue, retirando resíduos e atraindo peixes e crustáceos, melhorando a atividade de pesca.

**Figura 3:** “Maré de lançamento” quase na fase de “maré grande” na Praia Carne de Vaca. momento de refluxo dessa maré onde se pode observar a sua amplitude, tanto pela linha de preamar como pelas embarcações que na imagem aparecem sobre a areia



**Fonte:** Os autores (2016).

**Figura 4:** Planície de maré na área do porto da comunidade de Atapuz.



**Fonte:** Os autores (2016).

A oscilação dessas diversas formas de marés é importante para a pesca, pois vai depender dela a decisão dos pescadores de irem pescar determinados tipos de espécies. Essa dinâmica vai determinar a ida e a volta dos pescadores, e os tipos de pescado que eles podem conseguir.

Outro fator que influencia na pesca é a dinâmica das ondas sobre a linha de costa, que se constituem um dos processos marinhos mais efetivos na modelação das áreas costeiras, pois atuam no selecionamento e redistribuição dos sedimentos depositados nas regiões costeiras e plataforma continental interna (Bird, 2008).

As ondas são impulsionadas pela ação do vento, que ao soprar exerce variação de pressão que provoca uma oscilação vertical na superfície da água, que se torna rugosa. O vento empurra essa ondulação ao mesmo tempo que cria depressão por turbulência, a sotavento de cada ondulação. Esse processo gera a configuração das ondas de gravidade. Uma vez geradas as ondas mantém sua trajetória mesmo fora da área de ação do vento, quando passam a ser denominadas de “marulho”. A topografia de fundo exerce grande influência sobre as ondas alterando a sua propagação e velocidade (Muehe, 1994; Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010). A forma como a onda arrebenta em frente a praia depende do gradiente do fundo marinho e geometria da onda. Depois da arrebentação a onda atravessa a zona de surfe até atingir a face da praia, onde se espraia e depois reflui.

Muitos pescadores relataram que as ondas, quando fortes, também chamadas de “cabeço” por muitos, atrapalham na hora do lance da rede, porque causa “repuxo”, ou seja, quando a rede é jogada na água, a rede enrola e eles não conseguem pescar. Outros disseram que a onda pode ser boa para a pesca, porque quando elas quebram nos bancos de areia, denominados por eles de “croas”, atraem os peixes.

Também percebem que as ondas vêm modificando a paisagem, criando croas, onde antes era mangue e zonas de berçário dos peixes, e mesmo causando destruição de casas e caiçaras, sendo necessária, para minimizar esse processo, a colocação de sacos de areia, fragmentos rochosos e troncos de madeira para diminuir a força da onda e mesmo acumular areia. Outros acreditam que além dessas contenções feitas para minimizar a ação do mar, existem formas naturais que também protegem a ação marinha, como: pedras de laje e arrebentações, denominações locais para arrecifes e croas.

Com relação a dinâmica hidrológica no litoral de Goiana, a percepção que os pescadores têm em relação à diferença da água do rio para a água do mar é que a do rio é doce, limpa, mais “avermelhada” e “pesada”, devido à presença de matéria orgânica nas margens e que são lançadas para o rio Mageó e o canal de Santa Cruz, e a presença de mais peixes nas desembocaduras derivada do lócus de desova que estas representam.

Já a água do mar é mais suja, quente, salgada e é boa para a pesca. Também relatam a diferença do “mar de dentro” para o “mar de fora”, delimitado pelo que eles chamam de canal ou pelos arrecifes. Dizem que o mar de dentro tem menos espécies, e é “manso”, raso, a água é mais escura e próxima de estuários. No “mar de fora” existem corais, é “brabo” (agitado), mais fundo e perigoso, pesado e limpo.

Também frisaram a importância que o rio Megaó e o canal de Santa Cruz possuem para as comunidades e para a manutenção do meio ambiente, pois estes preservam os viveiros para que os peixes entrem, desovem, cresçam e voltem para o mar, tornando os ambientes estuarinos com maior concentração de peixes e maior variedade de espécies.

### **As formas geomorfológicas**

Conforme a correlação das nomenclaturas observa-se que a classificação etnogeomorfológica apresenta correlações pertinentes com a classificação e conceituação geomorfológica acadêmica, levando-se em consideração os elementos altimétricos, paisagísticos, litológico, deposicional e erosivo.

O Quadro 1 apresenta uma correlação da nomenclatura etnogeomorfológica com nomenclatura geomorfológica de cunho acadêmico para os três ambientes costeiros-estuarinos aqui considerados.

A partir das entrevistas realizadas foi possível notar que a relação com elementos e processos naturais, tecida através da pesca, não se dá de forma agressiva e degradante para a dinâmica físico-natural, mas firmada no reconhecimento da importância do ambiente natural, em seus aspectos bióticos e abióticos, tanto para a manutenção da comunidade local, garantindo a sua segurança alimentar e reprodução sociocultural, como para a dinâmica paisagística, que embasa certa atividade turística recreativa atrelada aos ambientes costeiro e estuarino.

**Quadro 1:** Correlação de nomenclaturas etnogeomorfológica e geomorfológica de caráter costeiro-estuarino (continuação).

Nomenclatura Etnogeomorfológica	Nomenclatura Geomorfológica	Conceituação	Funcionalidade das formas
Aquarema	Zona de saca	Quando da proximidade com a linha de costa a onda adquire uma face íngreme e sua crista desaba para a depressão adiante, gerado a linha de arrebatentação das ondas, que é a zona sublitorânea interna. O fluxo da água que chega a uma zona de praia pós a arrebatentação constitui a <i>saca</i> (fluxo de vai-vém) (Muehe, 1998).	Final da Zona de <i>Surf</i> , onde as ondas alcançam de um a um metro e meio, espraiando-se sobre a linha de costa, permitindo o início do desembarque dos pescadores.
Arrecifes, Pedras, Rochas, Pedra do Celeiro ou Pedra de Galé	<i>Beachrocks</i> ou Arrecifes de arenito	Feições formadas por areias e cascalhos depositados em zona de intermaré e posteriormente cimentados por carbonato de cálcio que reflete a variação do nível relativo do mar mais alto do que o atual durante o Holoceno, e por atuar como proteção à erosão costeira (Bird, 2008; Cabral Neto, 2011).	Linha ou zona de arrebatentação responsável pela proteção da costa e pela divisão entre “mar de dentro” e o “mar de fora”, que fica emersa durante a baixa-mar, tendo como principal característica a pedregosidade.
Bacia de reprodução ou rio Corrente	Canal de estuário	Reentrância de mar em um vale fluvial, estendendo-se até ao limite da propagação das marés, e divisível em três setores: a) o baixo estuário, ou zona marítima, com ligação aberta com o mar; b) o estuário médio, onde ocorre mistura intensa de água doce e salgada; e c) o estuário superior ou fluviomarítimo, com água doce, mas sujeito à influência da dinâmica da maré (Fairbridge, 1980).	Considerando os três setores, o baixo estuário, ou zona marinha, é utilizada para a pesca, enquanto o médio estuário e estuário superior são locais de extrativismo de crustáceos.
Barra, Boca de rio, Remanso, Canal ou Encontro de água doce e salgada	Foz de um rio	Ambientes de transição entre os meios marinho, terrestre e fluvial, sendo um sistema de vale afogado, semi-incluso, que possui livre conexão com o mar aberto e, portanto, estando sujeito a variações das marés e mistura de águas fluviais e marinhas, assim como susceptível ao recebimento de sedimentos interfluviais e costeiros (Bird, 2008).	Descrita como o local de transição entre rio (estuarino) e mar (costeiro), marcado pela sua profundidade e penetração da água salgada sobre o domínio estuarino, havendo predomínio de pescado marinho.

Nomenclatura Etnogeomorfológica	Nomenclatura Geomorfológica	Conceituação	Funcionalidade das formas
Canal	Canal de Corrente	São depressões submersas que separa uma barra da praia ou duas barras entre si paralelas a praia, tendo como principal característica a sua profundidade (Masselink, Hughes e Knight, 2011).	São utilizados como acesso entre as barras marinhas para a chegada a praia.
Costa, Praia, Beira da Maré, Preamar, Beira Mar ou Areal	Praia	Ecossistema costeiro que depende do acúmulo de areia, pedras, seixos ou conchas, que são depositados nas regiões baixas do terreno, na interface terra-água. Seus limites estendem-se desde a linha da maré baixa até o ponto mais alto da maré, delimitados por mudança de material formador ou por expressão fisiográfica, como uma falésia ou linha de vegetação permanente (Correia e Sovierzoski, 2005).	Apesar da sua expressividade territorial da forma, esta não foi referendada como área de atividade pesqueira, sendo utilizada para atividades de recreação e lazer, assim como para o desembarque do pescado.
Croa	Banco de areia ou barras marinhas ou fluviais	São formados em decorrência da assimetria no transporte de sedimentos em cada um de seus lados, devido ao escoamento reversível da maré. Se desenvolvem de forma circular e evoluem para uma forma mais alongada. A morfologia dos bancos é resultado de uma interação não linear entre correntes de maré, transporte de sedimentos e a batimetria (Fernandes, 2010). A origem e os aspectos sedimentológicos diferem, sendo de “areia branca” para croas marinhas, e “areia escura” para as de origem fluvial.	Bancos de areia, emersos na baixa-mar que apresentam dinamicidade e ciclicidade a partir da influência das precipitações na formação e destruição destas formas. Estas formas influenciam na dinâmica das ondas, pois são obstáculos ao deslocamento das ondas, tornando as águas agitadas. Contudo, é um local de coleta de mariscos e de pesca de algumas espécies de pescados.

Nomenclatura Etnogeomorfológica	Nomenclatura Geomorfológica	Conceituação	Funcionalidade das formas
Prainha, Areal, Salina ou Salgado	Apicum	Zonas de solos arenosos às margens de estuários, sendo desprovidas de cobertura vegetal (apicuns vivos) podendo estar cobertos por eflorações salinas, em períodos de estação seca, ou abrigando uma vegetação herbácea incipiente (apicuns herbáceos) ocorrendo normalmente na porção interna do manguezal (Pellegrini, 2000).	Local correspondente ao limite entre manguezal e a terra firme, desprovido de vegetação de mangue por desmate e composto de material arenoso inundado somente pelas marés de sizígia. Contudo, é possível um processo de regressão do apicum com a conseqüente regeneração do manguezal.
Morro de Pedra, Barreira Alta, Paredão Ou Arrebentação	Falésia	Ambientes costeiros que apresentam um ângulo de inclinação > 40°, sendo caracterizadas por encostas íngremes crescentes e abruptamente da água para o topo de uma plataforma, sendo o sopé da inclinação afetada por ação das ondas, que são intensificadas durante as tempestades, mas também durante períodos de marés altas (Bird, 2008).	Locais de observação das condições marinhas. Estão afastadas da linha de costa, sofrendo processos erosivos remontantes quando das marés altas.

O quadro de correlação de formas etnogeomorfológicas e geomorfológicas exprime entendimentos e classificações acerca de formas de relevo emersas e submersas dos ambientes costeiro e estuarino, bem como, em tópicos anteriores, sobre processos de caráter geomorfológico e hidrodinâmico atuantes em ambos.

No que concerne às formas de relevo, emersas e submersas, observou-se que os pescadores reconhecem a diversidade, a similaridade, a sazonalidade, a dinamicidade, a universalidade – no sentido de ocorrência em dimensão global - e a influência das formas sobre a pesca e os processos hidrodinâmicos locais.

Ao longo deste estudo, de caráter preliminar, constatou-se que o pescador tem a plena consciência de que a atividade humana, independentemente de sua cultura, tem dependência da natureza. Justamente por reconhecer essa importância, para Diegues (1996, Apud Alves e Nishida, 2002) essas comunidades são marcadas de maneira geral pelo respeito aos ciclos naturais e exploração dentro da capacidade de recuperação das espécies consideradas como recursos pesqueiro e/ou extrativista.

Os relatos demonstraram que a vida cotidiana do pescador artesanal está atrelada ao tempo e dinâmica da natureza do ambiente costeiro, por isso ele aprendeu a traduzí-la, construindo um rico conhecimento sobre formas, processos e as espécies que habitam as águas que fornecem matéria biótica em recursos para seu sustento, sendo este conhecimento necessário para sua reprodução social, econômica e cultural.

Ao considerar o reconhecimento do etnoconhecimento geomorfológico como forma de contribuição das populações tradicionais para ações de planejamento e gestão ambiental e territorial, vislumbra-se formas de estimular práticas coerentes com o conhecimento de formas e processos costeiros para a plena manutenção, e mesmo ampliação, das potencialidades locais relativas aos recursos naturais (Lopes, 2017).

Desta forma, compreender os conceitos e práticas desenvolvidas nos ambientes costeiros e estuarinos pelos pescadores das comunidades estudadas, assim como para o levantamento dos conhecimentos locais necessários às comunidades relativos às formas e processos costeiros e estuarinos de cunho etnogeomorfológico, embasam suas ações a partir da dinâmica do meio ambiente em que vivem.

O conhecimento etnogeomorfológico dos pescadores é diverso, amplo e coerente, pois aprendendo e apreendendo acerca dos elementos e processos físicos os pescadores se apropriam da natureza e constroem seus saberes. Assim sendo, como tantas outras comunidades tradicionais, o conhecimento dos pescadores artesanais é um recurso valioso e consistente o suficiente para ser considerado nos planos de desenvolvimento e em estudos de manejo de meio ambiente local.

Assim, a etnogeomorfologia, enquanto uma abordagem acadêmica, pode contribuir não somente à geomorfologia, mas a outras ciências ambientais ao contribuir com conhecimento da relação de comunidades com o ambiente natural em que habitam, podendo propiciar a adequabilidade e melhor execução de projetos ambientais e de ordenamento territorial de intervenção local, que levem em consideração não somente a dinâmica geomorfológica e ecológica, mas também os valores, conhecimentos e práticas socioculturais locais correlacionadas com estes campos de conhecimento, mas com uma visão de caráter etno, pois a necessária participação dos povos locais para buscar uma maior visibilidade e estabelecer ações e práticas de gestão de desenvolvimento cultural, econômico e socioambiental junto ao Estado e demais parcerias de caráter não-governamentais, possibilita o pensar e agir a partir de uma perspectiva de conhecimentos locais que podem ampliar as potencialidades locais relativas aos recursos naturais atreladas aos recursos culturais.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/UFPE/CNPq – Edital 2015-2016) pelo apoio relativo à disponibilidade de bolsa-PIBIC para a primeira autora.

### **Referencias**

- Alves, R. R. N. & Nishida, A. K. (2002). A Ecdise do Caranguejo-Uçá, *Ucides Cordatus* L. (Decapoda, Brachyura) na visão dos caranguejeiros. In: *Interciência*, 27(3), 110-117.
- Bird, E. (2008). *Coastal geomorphology: An introduction*. Chichester, West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd.
- Cabral, C. J., Silva, W. F. & Girão, O. (2013). Impactos ambientais derivados do uso e ocupação da linha de costa em trechos das praias de

- Pau Amarelo e Maria Farinha – município de Paulista/PE: Estudo preliminar. In: *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS), Sobral-CE, 16(1)*, 74-88.
- Cabral-Neto, I. (2011). Beachrocks do Rio Grande do Norte: Correlação entre os depósitos costeiros e os de zona costa-afóra com base na faciologia, petrografia e diagênese. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Brasil. (pp.145).
- Correia, M. D. & Sovierzoski, H.H. (2005). Ecosistemas marinhos: Recifes, praias e manguezais. Maceió, Brasil: EDUFAL – Série Conversando sobre ciências em Alagoas.
- Carvalho-Neta, M. L., Ribeiro, S. C., Marcal, M. S. & Lima, G.G. (2014). Mapeamento Etnogeomorfológico do Distrito de Arajara, Barbalha/CE. In: *Revista Geonorte, 4*, 208-212.
- Companhia Pernambucana DO Meio Ambiente-CPRH. (2003). Diagnóstico socioambiental do Litoral Norte de Pernambuco. Recife, Brasil: CPRH. (pp. 214).
- Davidson-Arnott, R. (2010). An Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. New York, Estados Unidos: Cambridge University Press.
- Diegues, A. C. S. (1996). O mito moderno da natureza intocada. São Paulo, Brasil: HUCITEC.
- Fairbridge, R. W. (1980). “The Estuary: Its definition and geodynamic cycle”. Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries. Nova York, Estados Unidos: John Wiley and Sons. (pp. 1-35).
- Fernandes, R. D. (2010). Formação e evolução dos bancos de areia na foz do rio Amazonas. Tesede Doutorado. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil. (pp. 113).
- Folhes, M. T. E. & Donald, N. (2007). Previsões tradicionais de tempo e clima no Ceará: O conhecimento popular a serviço da ciência. In: *Sociedade e Natureza, 19(2)*, 19-31.
- Fuentes, M. C., Bastos, S. B. & Santos, N. M. (2015). Estudo do conhecimento climático popular na região semiárida do estado da Bahia. In: *Revista de Ciências Humanas– Viçosa, 15(2)*, 349-365.
- Gascón, M. (2014). Etnoclimatología en la Araucanía y las Pampas. Clima y relaciones interétnicas entre los siglos XVI y XIX. In: *Dimensión Antropológica, 60*, 37-60.

- Gascón, M. & Caviedes, C. (2014). Etnoclimatologia en las Pampas: el remonte térmico en la frontera Sur. In: *TEFROS*, 12(2), 140- 154.
- Laraia, R. B. (2009). *Cultura: Um conceito antropológico*. 23 ed. Rio de Janeiro, Brasil: Jorge Zahar Ed.
- Lopes, V. M., Pereira, C. E. G. (2014). O homem, o relevo e a cultura: etnogeomorfolgia sertaneja na região sul do Ceará-Brasil. In: *Anais do Congresso Iberoamericano de Estudios Territoriales Y Ambientales*, São Paulo, Brasil (pp. 3164- 3181).
- Lopes, V. M. (2017). *Etnogeomorfolgia costeira e estuarina em comunidades de pescadores artesanais do litoral de Goiana, Pernambuco*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Geográficas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco. Brasil. (pp. 188).
- Manso, V. A. V., Coutinho, P. N., Guerra, N. C., & Junior, C. F. A. S. (2006). “Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro/Pernambuco”. *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Brasília, Brasil: Ministério do Meio Ambientes. (pp.179-196).
- MAsselink, G, Hugues, M. G. & Knight, J. (2011). *Coastal Processes & Geomorphology*. 2 ed. London, Inglaterra: Hodder Education.
- Medeiros, N., Pinto, A. & Rozendo, C. (2014). Profetas da chuva do Sertão Potiguar, Brasil. In: *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Humanas*, 9(3), 773-795.
- Muehe, D. (1994). “*Geomorfologia Costeira*”. *Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro, Brasil: Bertrand Brasil. (pp.253-308).
- Muehe, D. (2006). *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília, Brasil: Ministério do Meio Ambiente.
- Nasuti, S., Curi, M., Medeiros, N., Pinto, A., Ibiapina, I., Rozendo, C. & Hiroo, C. (2013). Conhecimento tradicional e previsões meteorológicas: Agricultores familiares e as “experiências de inverno” no Semiárido Potiguar. In: *Revista econômica do Nordeste*, 44, nº especial, 383-402.
- Oliveira, L. T. (2003). *Aspectos Hidrogeológicos da Região Costeira Norte de Pernambuco (Paulista a Goiana)*. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Brasil. (pp. 119).

- Pellegrini, J. A.C. (2000). Caracterização da planície hipersalina (Apicum) associada a um bosque de mangue em Graratiba, Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro-RJ. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade Federal de São Paulo. Brasil. (pp. 101).
- Ribeiro, S. C. (2012). Etnogeomorfologia sertaneja: Proposta metodológica para a classificação das paisagens da sub-bacia do rio Salgado/CE. Tese de Doutorado. Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil. (pp. 278).
- Silva, F. A. N. (2012). Análise do comportamento sedimentológico e hidrodinâmico da desembocadura norte do Canal de Santa Cruz-PE. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Brasil. (pp. 115).
- Sotchava, V. B. (1977). O estudo de geossistemas. Tradução de Carlos Augusto Figueiredo Monteiro e Dora de Amarante Romariz. São Paulo: Universidade de São Paulo - Instituto de Geografia.
- Toledo, V. M. & Barrera-Bassols, N. A. (2009). Etnoecologia: uma ciência pós-normal que estuda as sabedorias tradicionais. In: *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 20, 31-45.

## **Geoprocessamento aplicado a análise geoambiental no Município De Vitória da Conquista-Bahia**

### **Geoprocessing applied to geo-environmental analysis in the Municipality Of Vitória da Conquista-Bahia**

*Débora Paula de Andrade-Oliveira*<sup>1</sup>

*Juliete Barros-Santos*<sup>2</sup>

*Meirilane Rodrigues-Maia*<sup>3</sup>

*Edvaldo Oliveira*<sup>4</sup>

*Espedito Maia-Lima*<sup>5</sup>

*Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil*

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.12>

#### **RESUMO**

O objetivo da pesquisa foi analisar as características geoambientais do município de Vitória da Conquista por intermédio do geoprocessamento, especialmente com o emprego do sensoriamento remoto e do SIG, com o propósito de apresentar possíveis subsídios ao planejamento ambiental para o município. No plano metodológico, realizou-se, uma discussão teórica e, paralelamente, a

- 1 Mestranda do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (PPGEO/UESB) Bolsista UESB. E-mail: [deborapaulageografia@gmail.com](mailto:deborapaulageografia@gmail.com)
- 2 Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) E-mail: [julieteb@hot.com](mailto:julieteb@hot.com)
- 3 Professora Doutora do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (PPGEO/UESB) E-mail: [meire.rmaia@gmail.com](mailto:meire.rmaia@gmail.com)
- 4 Professor Doutor do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (PPGEO/UESB) E-mail: [edvaldocartografia@gmail.com](mailto:edvaldocartografia@gmail.com)
- 5 Professor Doutor do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (PPGEO/UESB) E-mail: [espeditomaia@gmail.com](mailto:espeditomaia@gmail.com)

Fecha de recepción: 3 de julio de 2017  
Fecha de aceptación: 8 de setiembre de 2017

concepção e elaboração do projeto cartográfico e as análises empíricas. Os dados geográficos utilizados foram as bases vetoriais em formato *shapefile* e os dados *rasters*, com imagens do satélite Landsat 8 e do radar SRTM, ambos inseridos e processados no software livre de Sistema de Informações Geográficas QGIS, o sistema de referência de coordenadas adotado foi o SIRGAS 2000 UTM 24S. Os ambientes apresentam potencialidades e fragilidades específicas, que precisam ser consideradas no processo de uso e ocupação do solo, o que requer um planejamento municipal mais efetivo e coeso com a realidade local.

**Palavras-chave:** Análise Geoambiental. Geotecnologia. Planejamento Municipal.

#### **ABSTRACT**

The purpose of this study was to analyze the geoenvironmental characteristics in the city of Vitória da Conquista through geoprocessing, especially with the use of remote sensing and SIG, in order to present potential subsidies to environmental planning for the municipality. At the methodological level, we performed a theoretical discussion and, in parallel, the design and preparation of the project chartplotter and the empirical analysis. The geographical data used was the basis vector *shapefile* format and the data *rasters*, with images of the Landsat 8 satellite and the SRTM radar, both entered and processed in the free software of Geographic Information System QGIS, and the coordinate reference system used was the SIRGAS 2000 UTM 24S. The environments have potential and specific weaknesses that need to be considered in the process of land use and occupation, which requires a city planning that is more effective and consistent with local reality.

**Keywords:** Geoambiental analysis. Geotechnology. City Planning.

### **Introdução**

Os notáveis avanços no Geoprocessamento têm possibilitado sua maior aplicação em diversos segmentos da sociedade, especialmente, nas questões de natureza territorial como o planejamento territorial em suas diversas escalas e dimensões. Isso porque as técnicas que envolvem o geoprocessamento permitem uma análise integrada e minuciosa das características do território, constituindo-se, então, num conhecimento estratégico, sobretudo para os gestores municipais, no processo de decisão espacial. Sobre essa discussão, Veiga (2001) destaca a que “[...] A construção de uma base digital eficiente fornece informações relevantes ao processo de gestão do território, pois, otimiza o monitoramento do ambiente e permite adoção de políticas públicas coerentes, podendo evitar com isso, problemas de ocupação territorial desordenada” (Veiga, 2001, p.1). Desse modo, destaca ainda a relevância do geoprocessamento para o planejamento territorial.

No entanto, as ações do planejamento em escala municipal perderam importância nos últimos decênios, quer pela postura dos gestores municipais na busca de uma gestão de curto prazo, quer pela ausência de uma

cultura que envolve a formação de um *staff* e absorção de profissionais especializados, principalmente, nos pequenos e médios municípios. Isso se dá apesar dos avanços das Geotecnologias, com os *softwares* livre (*open source*) de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e, sobretudo, a disponibilidade de bases cartográficas e de produtos do Sensoriamento Remoto (SR), de baixo custo ou mesmo sem ônus para os municípios.

Embora os avanços da Constituição Federal de 1988 tenham dado autonomia aos municípios, reconhecendo-os como ente federado e da legislação pertinente aos mesmos, como a Lei Orgânica e o Estatuto das Cidades (Lei 10. 257/02), além de programas para o planejamento ambiental como Agenda 21 entre outras, observa-se que estes, no geral, não reverteram para uma melhor eficiência e eficácia no planejamento municipal, principalmente, no âmbito ambiental.

No caso do planejamento ambiental, muitos têm aplicado apenas no contexto da elaboração do Plano Diretor, quase sempre para atender às demandas da legislação, tornando-se muitas vezes um instrumento apenas burocrático e distante da realidade. Além disso, os planos diretores dispõem, na maioria das vezes de mapeamentos compilados, mesmo diante da oferta de *softwares* livres, bases cartográficas vetoriais, imagens de satélite e de radar para a elaboração dos mapeamentos, que poderiam, caso elaborados com o critério científico e rigor metodológico, dar suporte ao planejamento e ao processo de tomada de decisão, dado o seu caráter estratégico. Convém mencionar, ainda, que nos estudos aplicados ao planejamento que envolve, principalmente, a morfologia urbana, os aspectos geoambientais, como a geologia, a pedologia e a geomorfologia pouco têm sido considerados nos planejamentos.

Diante desse quadro, o objetivo da pesquisa consiste em analisar as características geoambientais do município de Vitória da Conquista por meio da aplicações do geoprocessamento, envolvendo o sensoriamento remoto e o SIG, tendo em vista apresentar subsídios ao planejamento ambiental do município.

No plano metodológico, foi realizada uma discussão teórica, articulada ao projeto cartográfico e os trabalhos realizados em campo. Apresentam-se, assim, os mapeamentos das variáveis geomorfométricas e a carta de uso do solo, além das análises empíricas pertinentes a área de estudo.

Assim, espera-se que os resultados apresentados possam dar suporte a um planejamento municipal efetivo que, alicerçado no conhecimento científico, se torne mais coeso com a realidade local.

### **Marco teórico conceitual**

O que se discute no âmbito do planejamento ambiental com repercussões no município, deve remeter não somente ao traçado das vias e as morfologias, mas principalmente, ao uso da terra e sua dimensão social, cuja correlação tem sido pouco apontada nos mais diversos trabalhos. Correlacionar o planejamento municipal no campo dos estudos do meio ambiente com a estrutura da natureza física, aqui entendida como os aspectos da formação geológica, geomorfológica a partir do modelado pelos fatores climáticos, pressupõe um entendimento do aporte teórico que permita viabilizar os resultados do mapeamento, indicando, de forma clara, como esse planejamento ocorre.

O Geoprocessamento constitui-se numa vertente da Ciência Geomática que engloba as técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial nas esferas da coleta, do armazenamento, do processamento e da análise, com vistas ao estudo integrado desses dados geográficos (Oliveira, 2015). De modo mais amplo, convencionou-se denominar essas técnicas de Geotecnologias. Nesse contexto, Silva (2000) defende que as técnicas de Geoprocessamento, sobretudo, os Sistemas de Informações Geográficas, constituem-se como um viés muito profícuo para as análises espaciais na contemporaneidade.

Desse modo, compreende-se que o emprego de técnicas do geoprocessamento permite uma análise mais acurada desses fatores, que numa perspectiva sistêmica de interpretação torna possível uma maior aproximação com a dinâmica territorial que os rege. Assim, o geoprocessamento é definido, segundo Câmara (2001), pela utilização de técnicas matemáticas e computacionais com a finalidade de tratar informações geográficas.

As tecnologias livres em Geoprocessamento podem ser consideradas um divisor de águas no setor. Os *softwares livres* potencializaram o uso dessas tecnologias em diversos segmentos, uma vez que, ao contrário dos *softwares* comerciais, não prescindem de aquisição da licença para a utilização e distribuição. Nesse sentido, Pinho (2011) relata as principais vantagens do emprego dos *softwares* livres:

- Sem restrições de instalação e atualização do software de licenciamento fechado.
- Sem limites de utilização, de número de usuários, número de instalações, etc.
- Permite qualquer tipo de uso: pessoal, estudante, comercial, empresarial o institucional.
- Variedade de aplicativos, desde os completos GIS Desktop, passando pelas base de dados, servidores Web-GIS e bibliotecas de processamento e edição de dados (Pinho, 2011, p.15).

Entre os principais softwares livre em Geotecnologia estão: QGIS, gvSIG, Kosmo Gis, (tecnologias de âmbito internacional) Terra View e Spring (tecnologias nacionais).

Com esse entendimento, considera-se que os recursos cartográficos configuram-se como uma ferramenta com muitas potencialidades para o planejamento em diversas escalas territoriais. Dentre as formas de mapeamento, nas últimas décadas, têm sido utilizado os Sistemas de Informações Geográficas, composto basicamente por dados alfanuméricos, selecionados e organizados em uma base de dados relacional e dados espaciais, com feições de geometria pontual, linear e zonal, passíveis de serem visualizadas e editadas para a elaboração do mapeamento digital.

De acordo com Cintrão e Cintrão (2000) todas as feições existentes no SIG devem relacionar-se a um espaço geográfico, sendo o princípio essencial, “[...] em função da natureza das informações que pretendemos obter da análise desses dados” (Cintrão & Cintrão, 2000, p.6).

Câmara et al (1996) defendem que os dados geográficos representam fatos, objetos e fenômenos associados a uma localização sobre a superfície terrestre, num certo instante ou período de tempo. Esses dados apresentam metadados, que se caracterizam “[...] como dados sobre os dados, informações estruturadas e utilizadas para descrever um recurso ou parte dele. Metadados Geoespaciais (MG) representam uma classe particular de metadados que permite caracterizar informações geoespaciais” (Daltio et al. 2012, p.3). Os autores diferenciam ainda os dados geográficos nas estruturas vetorial e *raster*, ao apontar que:

[...] dados matriciais (*raster*) utilizam um conjunto de pixels para representar entidades espaciais sob uma forma numérica, sendo comumente representados em arquivos nos formatos. *geotiff*, *tiff*, *jpg* ou *.bmp*, entre outros. Os dados vetoriais identificam dados singularmente como pontos, linhas ou polígonos e podem ser representados em arquivos nos formatos *shape file* (SHP) ou *keyhole markup language* (KML), por exemplo (Daltio et al. 2012, p.8).

O SIG é estruturado a partir da integração desses dados que, por intermédio do processamento, torna possível a obtenção de múltiplas informações sobre o território em análise. Florenzano (2008) relata que as aplicações das Geotecnologias, como o sensoriamento remoto, permitem a obtenção de dados referentes à superfície da Terra, indispensáveis para representação cartográfica do relevo. Nesse contexto, Moraes define o Sensoriamento Remoto como:

[...] um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos [...] Essas atividades abrangem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos (Moraes, 2002, p.7).

Florenzano observa, ainda, que os sensores do tipo *Radar* (*Radio Detection an Ranging*) são os mais indicados para a obtenção dos dados referentes ao relevo terrestre, uma vez que a radiação de micro-ondas é capaz de penetrar o dossel vegetal (FLORENZANO, 2008). Dessa forma, a disponibilização dos dados do *Radar Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) para o Brasil tem possibilitado um maior conhecimento topográfico do território. Nesse sentido, Crepani e Medeiros afirmam que

O Projeto SRTM representa a primeira experiência de interferometria a bordo de uma nave espacial. No período de 11 a 22 de fevereiro de 2000 a bordo do Space Shuttle Endeavour, numa altitude de vôo de 233 km e uma inclinação de 57°, um conjunto composto por duas antenas coletou 14 Terabytes de dados que permitiram a avaliação do perfil de altitude para criação de modelo digital tri-dimensional da Terra entre as latitudes 60°N e 58°S (Crepani & Medeiros, 2004, p.13).

Os dados SRTM foram disponibilizados para a América do Sul em 2003, com resolução espacial de 90 metros (3 arc-segundos) posteriormente refinados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e disponibilizado em 2014, com 30 metros (1 arc-segundo) de resolução espacial. Esse procedimento revelou significativo avanço na qualidade desses dados o que possibilitou uma maior acurácia nos mapeamentos, sobretudo, na obtenção de Modelos Digitais de Elevação (MDE), especialmente em escalas de análise mais detalhadas. Sobre esse aspecto, Valeriano (2008) aborda as possibilidades interpretativas do MDE para a análise ambiental:

Embora os MDE sejam um insumo fundamental ao conhecimento do relevo, muito de sua utilização numérica recai sobre variáveis derivadas da altimetria, como a declividade, o exemplo mais imediato. No entanto, deve-se lembrar que uso direto da elevação como fator analítico tem grande importância para espacialização de dados de temperatura, bem como estudos que envolvem hidrologia superficial, inundações e processos envolvendo movimentos gravitacionais. Como base para interpretação qualitativa, os dados altimétricos são tradicionalmente aplicados a incontáveis fins (Valeriano, 2008, p.22).

No campo da pesquisa geomorfológica, Florenzano (2008) evidencia o relevo como principal objeto de estudo dessa ciência, tendo em vista suas especificidades e a sua interação com os grandes domínios da natureza. Sobre esse aspecto, destaca a Geomorfologia como a ciência que analisa as formas de relevo, bem como sua gênese, composição e os processos que nelas atuam. Assim, “[...] o relevo da superfície terrestre é o resultado da interação da litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, ou seja, dos processos de energia e matéria que se desenvolvem nessa interface, no tempo e no espaço” (Florenzano, 2008, p.11).

O modelado terrestre é produto da dinâmica geomorfológica em processos complexos e contínuos. Apesar da influência dos mecanismos antigos nas configurações dos sistemas ambientais, principalmente no substrato rochoso, a organização dos elementos de maior dinamismo tem idade relativamente recente. A premissa amplamente utilizada na Ciência Geomorfológica, de que a maior parte das formas de relevo tem uma idade que não vai além do Pleistoceno, sendo exígua a topografia anterior ao

Terciário conforme Thornbury (1954), se aplica, também, as outras variáveis da dinâmica das paisagens, tais como solos, drenagem e vegetação.

A partir dessa compreensão, Florenzano (2008) discute, ainda, a relevância da análise do relevo e o entendimento de suas formas e processos para as atividades humanas, uma vez que estas podem se configurar tanto como potencialidades, quanto limitações para o uso do território. Destaca que “[...] Dependendo de suas características, o relevo favorece ou dificulta a ocupação de ambientes terrestres pelo homem. De um lado, pode ser um obstáculo ao uso da terra e dificultar, além de encarecer, a construção de grandes obras de engenharia” (Florenzano, 2008, p.11). Compreende-se que o relevo e a rede hidrográfica podem se tornar um suporte para o estabelecimento de limites políticos entre municípios, Estados e países, ressaltando o valor da paisagem para a exploração do turismo, como aporte estratégico para fins militares.

Na mesma direção, Guerra (2008), destaca que o relevo terrestre é o principal alvo de investigação da Geomorfologia pois examina as diversas tipologias do relevo, a gênese, estrutura, natureza das rochas, cronologia entre outros aspectos da análise geomorfológica. Nessa vertente, para a sua efetivação, Florenzano observa que os estudos geomorfométricos referem-se ao registro de aspectos quantitativos do relevo, como as variáveis relacionadas as altura absoluta e relativa, declividade, curvatura, orientação, densidade e frequência de suas formas (Florenzano, 2008).

No campo da representação dessas variáveis geomorfométricas, aspectos referentes à elaboração cartográfica apresentam princípios da semiologia gráfica específica. Dessa forma, a hipsometria refere-se às medidas altimétricas do relevo. Para Guerra:

[...] a hipsometria é a representação altimétrica do relevo de uma região no mapa, pelo uso de cores convencionais. De acordo com as normas cartográficas, as cores verdes representam as áreas mais baixas, e as de tom marrom e avermelhado, as das grandes altitudes (Guerra, 2008, p. 340).

Guerra aborda, ainda, o conceito de declividade que trata das variações na inclinação do relevo em relação ao horizonte. Nesse caso, a partir da representação em curvas de nível infere-se que “[...] quanto maior for à inclinação tanto mais próximas se encontram as curvas de

nível e inversamente elas serão tanto mais afastadas quanto mais suave for o declive [...]” (Guerra, 2008, p.183). Esse processo dá origem ao gradiente definido pela declividade de uma encosta ou de um rio e expressa em graus ou em percentagem.

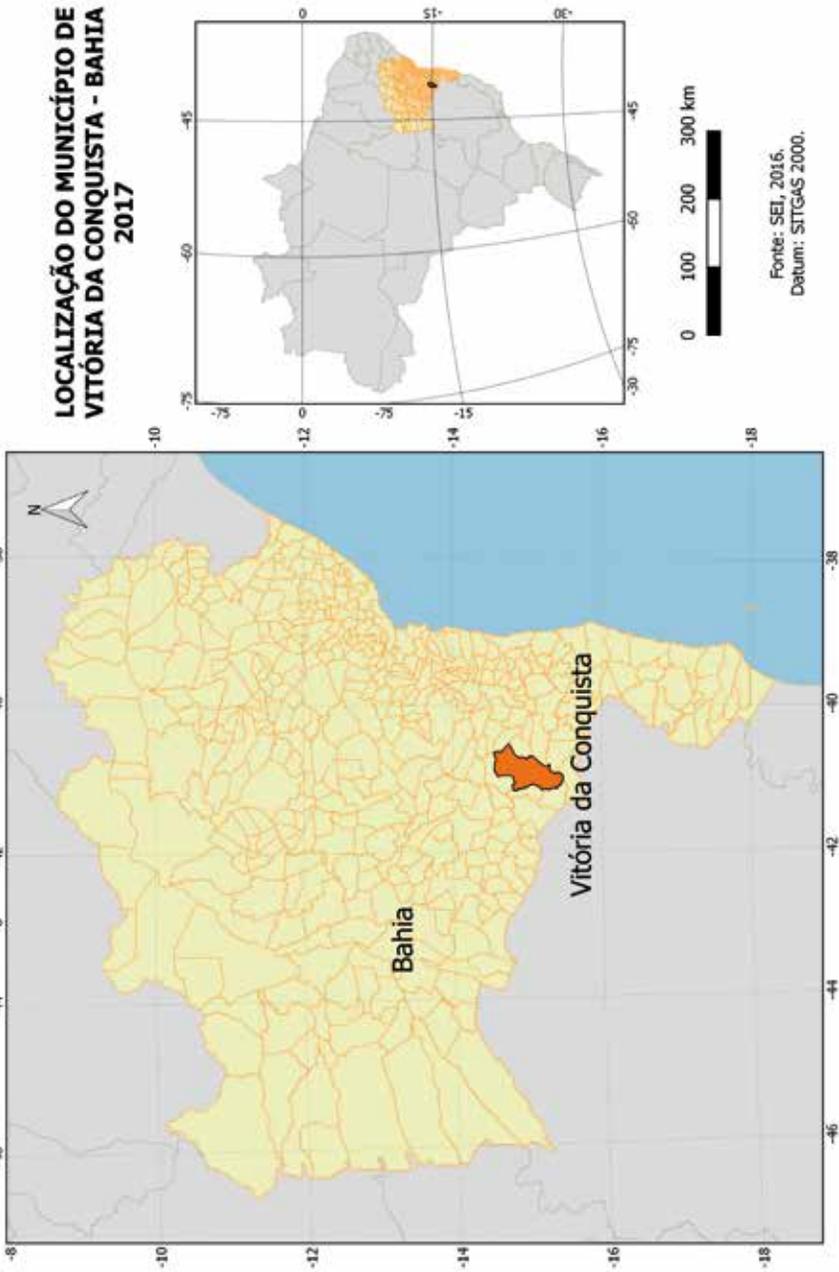
Dessa forma, compreende-se que a declividade configura-se numa variável geomorfométrica de fundamental importância para o planejamento ambiental. Diante disso, Valeriano (2008) considera que em decorrência da relação entre a declividade com processos de transporte gravitacional de matéria, podem ocorrer eventos como escoamentos, erosões e deslizamentos.

No campo das geotecnologias, a articulação entre as aplicações do Geoprocessamento na representação das formas do relevo permite uma abordagem mais completa e integrada dos ambientes terrestres. Nessa perspectiva, Guerra (2008) argumenta que por intermédio do Geoprocessamento, a análise geomorfológica, “[...] apoiando-se nos Sistemas de Informações Geográficas, pode, de forma mais rápida e precisa, analisar e classificar as formas de relevo, bem como os processos geradores dessas formas, ou seja, das várias unidades territoriais[...]” (Guerra, 2008, p.321). Desse modo, tais unidades constituem-se em cenários ambientais, que podem ser classificados e analisados por meio do geoprocessamento.

### **Aspectos metodológicos**

Os procedimentos metodológicos adotados para a realização da pesquisa foram compartimentados em cinco etapas distintas. A etapa inicial pautou-se na definição do recorte territorial de estudo, o município de Vitória da Conquista, localizado na região sudeste da Bahia (Figura 1). Em seguida, optou-se discussão do referencial teórico e paralelamente, na terceira etapa, primou-se pela aquisição dos dados, processamento e sistematização do SIG. Na quarta etapa foram produzidos os documentos cartográficos e na última etapa foram realizadas as análises empíricas.

**Figura 1** - Localização do município de Vitória da Conquista, 2017



**Fonte:** Oliveira et al., 2017.

Na estruturação do SIG, foram utilizados dados geográficos de arquitetura vetorial e *raster*, organizados na base de dados no formato de SIG. Em relação aos dados *raster*, foram inseridas quatro folhas do projeto SRTM, com 30 metros de resolução espacial. O moiscamento das folhas permitiu a cobertura da área de estudo, delimitada pelo polígono do município de Vitória da Conquista, em formato *shapefile*. Os dados foram inseridos no software QGIS, em que foi feita a composição do mosaico, para posterior reprojeção, com o sistema de referência de coordenadas SIRGAS 2000 UTM 24S e isolamento da área de estudo com o limite vetorial do município. Posteriormente, por intermédio dos algoritmos de geoprocessamento *raster* foram extraídas as cartas clinográfica, hipsométrica e a carta de sombreamento do relevo.

Ainda em relação aos dados *raster*, utilizou-se três cenas do satélite Landsat 8, para o imageamento da área de estudo. Esse satélite possui órbita circular, heliosíncrone, descendente, 98,2° de Inclinação, com altitude de 705 km. As cenas utilizadas correspondem as órbitas/pontos 217/70; 217/71 e 216/70 referentes ao mês de janeiro do ano de 2017.

As imagens do satélite Landsat 8 possuem originalmente 30 metros de resolução espacial, com possibilidade de conversão para 15 metros, a partir da fusão da banda 8 pancromática. A resolução temporal marca o tempo de revisitação do satélite é de 16 dias e a resolução espectral consiste em 11 bandas espectrais além de trazer a resolução radiométrica de 16 bits, com possível conversão para 8 bits. As cenas foram obtidas junto ao serviço geológico norte americano (USGS) e processadas no software QGIS.

O tratamento das cenas utilizadas foram processadas de acordo com os parâmetros do Processamento Digital de Imagens (PDI), envolvendo a composição RGB pseudo-cor com a banda 6 no canal *Red*, banda 5 no canal *Green* e banda 6 no canal *Blue* (R6G5B4). As cenas foram mosaícaadas, reprojctadas para o Sistema de Referência Universal Transversa de Mercator e Datum SIRGAS 2000 24S.

No processo de elaboração da carta de uso do solo pautou-se na execução do processo de segmentação multiresolução e a classificação orientada a objeto, no software *Ecognition Developer 8.9*. A base vetorial oriunda da classificação foi exportada para o formato *shapefile* e processada no software QGIS, em que foi feita também uma auditoria cartográfica

para avaliar a acurácia do mapeamento do uso do solo, considerando a verdade terrestre.

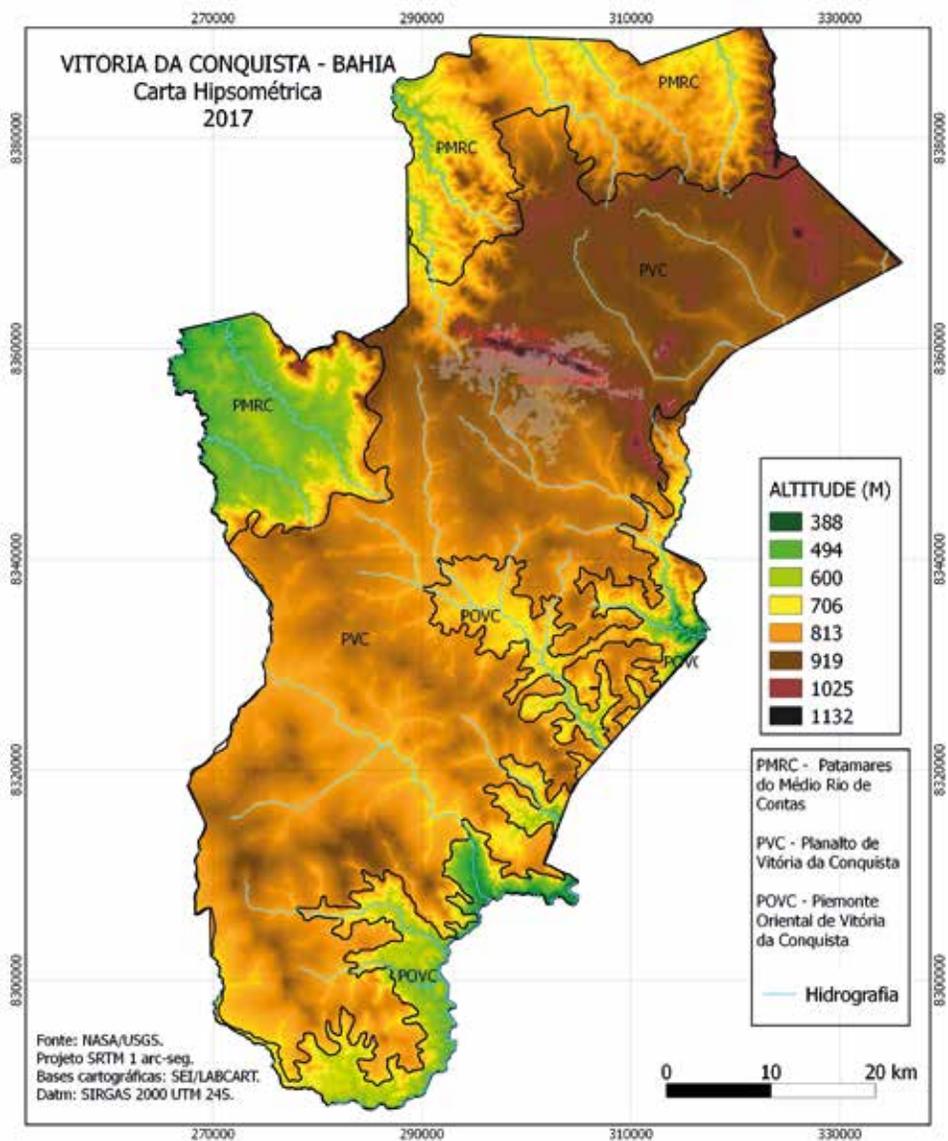
O projeto estruturado sob a arquitetura de um SIG permanece passível de alimentação para a posterior inserção de outras informações, com o intuito de gerar um banco de dados geográficos, com informações pertinentes às características geoambientais do município.

### **Análises geoambientais do Município De Vitória da Conquista, Bahia em suas compartimentações**

O município de Vitória da Conquista abrange um território que pode ser compartimentado em três unidades geoambientais distintas: a) Planalto de Vitória da Conquista (PVC); b) Piemonte Oriental de Vitória da Conquista (POVC); c) Patamares do Rio de Contas (PMRC). Essas unidades geoambientais foram inseridas no SIG de acordo com a sua distribuição espacial no município. Desse modo, optou-se por sobrepor essa informação ao mapeamento das variáveis geomorfométricas para viabilizar sua melhor interpretação.

A Figura 2 apresenta a carta hipsométrica com a inserção da rede de drenagem do município contando com a rede hidrográfica, uma vez que o processo de entalhamento do relevo pelos corpos hídricos auxilia na compreensão da dinâmica morfogenética, que vem atuando sobre o território em análise.

**Figura 2** - Mapa Hipsométrico do município de Vitória da Conquista, 2017.



Fonte: OLIVEIRA et al, 2017.

O município está localizado quase inteiramente sobre o Planalto de Vitória da Conquista, atravessando a região no sentido NE/SE, com uma altitude média de 800 metros, onde se destaca a Serra do Peri-Peri, com a crista residual quartzítica situada ao norte da cidade onde se registra a altitude mais elevada (1132m) do município. A serra está localizada no perímetro urbano e, apesar de integrar uma Área de Proteção Ambiental (APA) atualmente encontra-se, em grande parte, ocupada pela população.

O Planalto de Vitória da Conquista é caracterizado pela ocorrência do relevo tabular, que compõe uma área geomorfologicamente estável, composta também por amplos planos inclinados, rampeados em sentidos diversos e moldados por vales de fundo chato e extremamente alargados (MAIA, 2005). Os limites entre o Planalto de Vitória da Conquista e as unidades vizinhas se dão quase sempre por vertentes abruptas. Na vertente oriental verifica-se a Serra (Escarpa) do Marçal e na vertente oeste, em direção à depressão sertaneja situa-se a Serra dos Pombos. No Planalto, predomina, em razão da forma tabular e baixa declividade, as pastagens, a eucaliptocultura e as culturas temporárias.

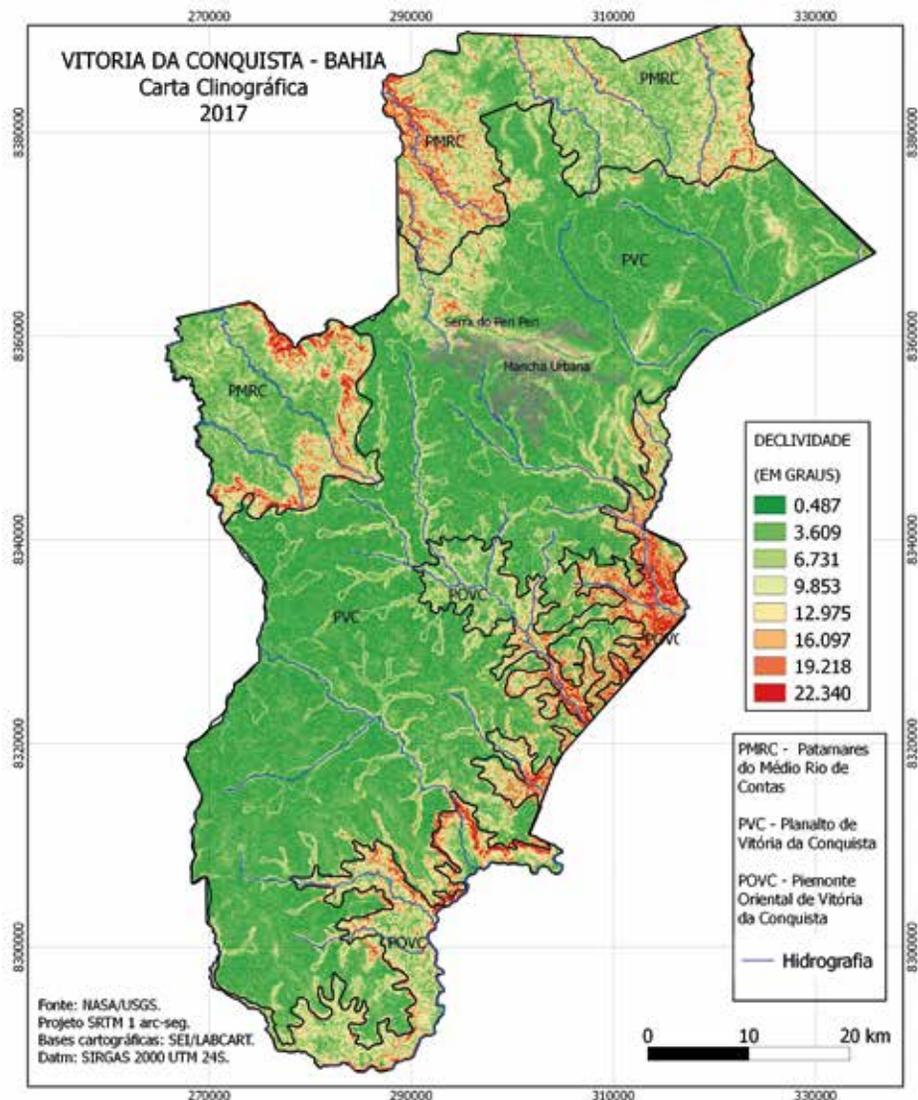
A unidade geoambiental denominada Piemonte Oriental de Vitória da Conquista está situada na direção NE/SE do município. Esse ambiente representa um nível intermediário entre as regiões do planalto e da depressão de Itapetinga, na vertente sudeste. A morfodinâmica local apresenta traços característicos de um processo de morfogênese muito ativo, com fortes movimentações na topografia, com altimetria oscilando entre 300 a 800 m.

No que tange à utilização da terra, essa área é muito utilizada para a agricultura visto que, comparada a outras regiões do município, apresenta uma maior pluviometria. Tais condições se devem a disposição do relevo que se configura de forma perpendicular à orientação da maioria das massas de ar que se deslocam do litoral em direção ao interior do Estado, o que provoca as frequentes precipitações orográficas nessa área.

No tocante à degradação ambiental, a área abrangida pelo Piemonte Oriental corresponde a uma das unidades geoambientais mais degradadas pela influência das ações da sociedade. Devido às condições geoambientais, com chuvas orográficas abundantes e clima quente, a evolução morfogenética é predominantemente química, uma vez que ocorre a intensa decomposição das rochas e a ação incisiva da drenagem, conferindo à mesma uma topografia bastante irregular. Assim, o modelado de

dissecação com altos gradientes de declividade são predominantes nessa unidade e pode ser observado na Figura 3 que apresenta a carta clinográfica do município.

**Figura 3** – Carta clinográfica do município de Vitória da Conquista, 2017.

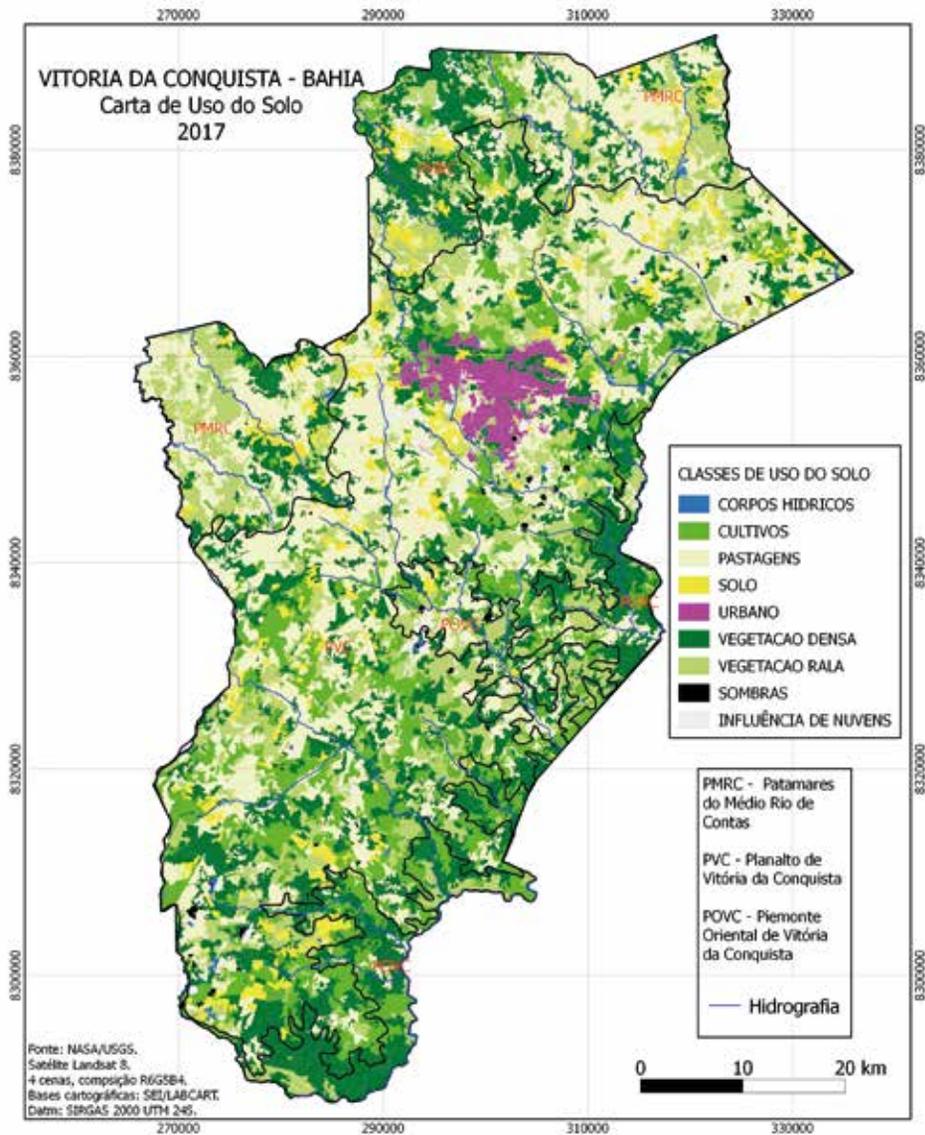


Fonte: OLIVEIRA et al, 2017.

Os Patamares do Médio Rio de Contas corresponde a uma área de transição entre o Planalto de Vitória da Conquista e a Depressão Sertaneja, apresentando altitudes médias entre 388 e 900 metros, com alguns picos de maior elevação com 1.132 m. Essa área é caracterizada pela intensa dissecação uniforme do relevo, apresentando incisão profunda da rede de drenagem e, ocorrência de dissecação, compondo sucessões de amplas lombadas e colinamentos rebaixados, onde predomina o escoamento superficial difuso e concentrado, que imprime suas marcas sob a vegetação da Caatinga, quase sempre rala, que recobre a unidade.

A rede de drenagem é regida pelos tributários da margem direita do Rio Gavião, onde o regime intermitente caracteriza a paisagem. Quanto ao uso do solo, predomina culturas temporárias com pastagens naturais típicas da caatinga com manchas de caatinga arbórea aberta e caatinga arbórea densa. A exploração agrícola tem provocado à devastação das paisagens naturais nesse recorte, com danos muitas vezes irreversíveis, uma vez que o ambiente da caatinga revela-se se de difícil resiliência quando degradado para além do seu limiar de recuperação natural. A carta de uso do solo (Figura 4) constitui-se num importante instrumento para a análise do território, por torna possível conhecer e quantificar seus usos.

**Figura 4 – Carta de uso do solo do município de Vitória da Conquista, 2017.**



Fonte: OLIVEIRA et al, 2017.

No caso da área leste, correspondente ao Piemonte Oriental, o alto índice de declividade constitui-se em um fator limitante de uso do solo. Contudo, é predominantemente utilizado com pastagens e diversos cultivos, especialmente, o plantio de café nas encostas, plantados em curvas de nível.

Na parte central, correspondente à área cimeira do Planalto, o uso da terra por pastagens e plantios temporários, com inserções de plantios de ciclo longo, como o eucalipto, mostram fragilidades quanto ao uso da área interferindo na estabilidade do ambiente. Ressalta-se, também, a expansão da malha urbana da cidade, que avança para além do distrito sede, ocupando vastas áreas onde predominava florestas típicas como a subcaducifólia, além de interferir na qualidade da rede hidrográfica. Esse avanço marca a ineficiência do planejamento territorial urbano e por conseqüência, ambiental, que não leva em consideração os compartimentos geomorfológicos e as especificidades das unidades geoambientais.

No recorte dos Patamares do Médio Rio de Contas, nas áreas de caatinga, com predomínio da vegetação rala, apresenta um limiar de resiliência baixo, onde as atividades de ocupação do solo, embora apresente outra forma de uso em relação às outras duas unidades geoambientais, predomina a exploração mineral e a pastagem extensiva. Contudo, necessita de um planejamento, em função de sua fragilidade dada as características ambientais.

### **Considerações finais**

A combinação dos agentes naturais endógenos, relativos à formação *in situ*, do ambiente, juntamente com as forças exógenas, marcadas pelas intempéries oriundas da dinâmica atmosférica aliadas às forças da ação da sociedade contribui para a configuração de diversas unidades de paisagens no município. Nesse sentido, considera-se que o fator geomorfológico assume grande relevância no processo de organização do espaço geográfico, uma vez que a diversidade das formas de relevo pode possibilitar ou limitar a utilização do ambiente pela sociedade, implicando, também, no planejamento ambiental.

A partir dessa compreensão, entende-se que os recursos cartográficos são indispensáveis ao planejamento e análise ambiental, uma vez que o mapeamento permite um maior conhecimento acerca do território, favorecendo, assim, a compreensão dos processos morfogenéticos, entre outros, que atuam na configuração do modelado.

No que se refere ao planejamento ambiental do município, os fatores geoambientais e de uso da terra são fundamentais na análise, em razão das especificidades de cada ambiente, que podem se constituir como fatores limitantes ou potencializadores para os múltiplos usos e ocupação do solo, bem como pelas ações da sociedade e que se revelam na ausência de planejamento.

Nesse contexto, as preocupações remetem ao acelerado processo de exploração do ambiente, sem levar em conta às características das unidades geoambientais, resultando em problemas ambientais, que poderiam ser minimizados pelo conhecimento do território e que podem subsidiar o planejamento.

Nesse sentido, as aplicações do Geoprocessamento dão suporte a uma análise mais integrada da área do município, viabilizando o processo de tomada de decisão espacial e o ordenamento territorial.

O mapeamento permitiu conhecer melhor as características das unidades geoambientais do município, que se constitui como um dos instrumentos imprescindíveis à compreensão dos processos morfogênicos que atuam na transformação das paisagens. Os procedimentos utilizados foram considerados eficazes para o desenvolvimento da pesquisa, permitindo desdobramentos futuros.

### Referências

- Câmara, G., Casanova, M. A., Hemerly, A. S., Magalhães, G. C. & Medeiros, M. B. C. (1996). *Anatomia de sistemas de informações geográficas*. Campinas: Unicamp.
- Cinirão, L. & Cinirão, L. (2000). *Geotecnologia Aplicada: planejamento Urbano GIS Brasil*: Salvador.
- Crepani, E. & Medeiros, J. S. (2004). *Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia*. INPE: São José dos Campos.
- Daltio, J. Spadotto, C. A. Santos, B. B. O. Fois, N. S. Martinho, P. R. R. Trajano, S. R. Holler, W. R. (2012). *Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais –Aspectos Computacionais*. Comunicado Técnico: Campinas. Disponível em:< <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84963/1/Comun-Tecnico-1-Gestao-Territorial-Infraestrut-Nac-Dados-Espac-ed01-2013.pdf>> Acesso em dezembro de 2016.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (1979). *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos*. Rio de Janeiro, Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos.
- Florenzano, T. G. (Org) (2008). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de textos.
- Guerra, A. T. (2008). *Dicionário Geológico-Geomorfológico*. (6ª Ed). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- IBGE. (2010). *Censo Demográfico*. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/137#resultado>>. Acesso em: 20/003/2017
- Lage, C. S. (1996). Evolução Geomorfológica do Curso do Vaza-Barris. *Cadernos de Geociências da Universidade Federal da Bahia*, 5. Salvador: GEO, UFBA.
- Maia, M. R. (2005). *Zoneamento Geoambiental do Município de Vitória da Conquista - Ba: um Subsídio ao Planejamento*. Dissertação (Mestrado em Geografia -Universidade Federal da Bahia, Salvador).
- Moraes, E. C. de. (2002). *Fundamentos de sensoriamento remoto*. DSR/INPE.
- Oliveira, D. P.A. (2015). *Cartografia urbana e memória da cidade: um olhar sobre as representações sociais dos bairros de Vitória da Conquista- Ba*. (Monografia de graduação) UESB: Vitória da Conquista.
- Satélite Landsat 8*. Disponível em <<https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>> Acesso em fevereiro de 2017.
- Silva, J. X. da. (2000). Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, I, p.48-58.
- Ross, J. L. S. (1996). *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. São Paulo: Contexto.
- Thornbury, W. (1954). *Principles of geomorphology*. New York: John Wiley & Sons.
- Valeriano, M. (2008). *Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais*. INPE: São José dos Campos.



**NOTAS Y DOCUMENTOS**

**NOTES AND DOCUMENTS**



## **NORMAS DE PUBLICACIÓN**

### **PUBLICATION GUIDELINES**

#### **1. ADMISIÓN**

- Se admiten artículos originales e inéditos relacionados con temáticas y problemas geográficos de índole teórico-metodológica o estudios de caso.
- El autor debe remitir su artículo 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)) o la Mag. Consuelo Alfaro Chavarría ([calfaro@una.cr](mailto:calfaro@una.cr)).
- Junto con el documento que será sometido a revisión, el autor debe enviar una carta manifestando expresamente que el documento es inédito y original, y que no está en proceso de revisión en otra revista.
- El documento original debe tener las páginas debidamente enumeradas.
- Durante el proceso de evaluación las editoras estarán en constante comunicación con los autores para las respectivas incorporaciones de mejora en el artículo. Una vez que el artículo ha sido aceptado e incorporadas las sugerencias de la evaluación cuando corresponda, una versión final será enviada a los autores para su respectiva aprobación; mismo que será el documento final a incorporar en el número respectivo.

#### **2. NORMAS DE PRESENTACION 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 la bibliografía.

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.

Las ilustraciones (mapas, gráficos, fotos, etc.), las tablas y los cuadros (estadísticos) deben ser enumerados según su orden de aparición en el texto (numeración arábica); 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 bibliográficas deben estar citadas en el texto, ordenarse alfabéticamente, y seguir el formato internacional de la American Psychology Association (APA).

El artículo debe contemplar los siguientes elementos: resumen, introducción, área de estudio, características generales, marco teórico-conceptual, marco metodológico, resultados, discusión de resultados y bibliografía.

### **3. 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 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 y en inglés:** máximo 10 líneas, enunciando los aspectos principales del texto, objetivos de la investigación, metodología y principales hallazgos.

**Palabras clave:** En el idioma vernáculo y en inglés: máximo 5 palabras.

**Texto:** El texto inicia con la Introducción (Introducción), diferenciando la jerarquía de títulos y subtítulos utilizando tamaños de letra y uso de la negrita. Con letra Times New Roman a espacio y medio.

**Referencias bibliográficas:** deben estar citadas en el texto, ordenarse alfabéticamente, y seguir el formato internacional de la American Psychology Association (APA).

#### 4. 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 de 2,54 cm.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

Dispuesta en orden alfabético, según el apellido del autor. Siguiendo los criterios de la APA.

##### Ejemplos

##### **Libro:**

Gómez, D. M. y 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*. La Naturaleza del Espacio. Barcelona, España: Editorial Ariel. (pp. 221-234)

##### **Revista:**

Murai, S. (1999). Libro de trabajo SIG. Volumen 1: Curso básico. En *Revista SELPER*, 15(1), 8-66.

**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. (pp.320).

**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. San José, Costa Rica. (p.5)

## **6. CUADROS Y TABLAS**

Las tablas y los cuadros deben estar enunciados explícitamente en el documento y ubicados dentro del texto, con números arábigos.

## **7. 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.

## **8. MATERIAL CARTOGRÁFICO: (mapas y planos)**

Todos deben llevar numeración, título y fuente. Deben estar debidamente referidos 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 itálica) [Designación del tipo de material por ejemplo: plano]: subtítulo (opcional y en cursiva). Escala numérica. Edición. Lugar de publicación: año.

**Ejemplo:**

Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Costa Rica). *Istarú*. [Hoja topográfica]. Escala 1:50,000. San José, Edición 2, 1981.

## 9. 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.

## GUIDELINES FOR AUTHORS

### 1. ADMISSION

- Only Original and Unpublished Documents May be Submitted for Review
- Submitting a Document
- Articles should be submitted by email to the Central American Geographic Magazine at [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr). Articles may also be submitted to the magazine direction-editor, Ms. Lilliam Quiros Arias, MSc., at [lquiros@una.cr](mailto:lquiros@una.cr) or to editor Ms. Consuelo Alfaro Chavarría, Mag., at [calfaro@una.cr](mailto:calfaro@una.cr).
- In addition to this document, the author must also submit a letter stating explicitly that the document is new and original, and is not under review by another journal.
- All original articles must be submitted in proper page order and have the pages numbered correctly.
- If, after review, the document is accepted for publication, the author must submit the final document in digital format, with corrections and pages duly numbered. Documents can be articles or notes/documents.

### 2. ARTICLES

Articles must be related to geographic issues or problems of a theoretical or methodological nature, or a case study.

### 3. NOTES AND DOCUMENTS

These can be official results of institutions, events, conclusive scientific or professional processes or dynamics or results from a step or process. They can mention plans of study at Universidad Nacional, conclusions of scientific meetings or workshops, summaries of high-impact projects, documents formulating official policy or geographical impact programs, among others. Such submissions should be three to ten pages.

#### 4. RULES FOR SUBMITTING ARTICLES

The documents must be sent electronically by email in Spanish, English or Portuguese with a summary, or abstract, of no more than 10 lines, in the vernacular language or English, with a maximum of five key words in both English and Spanish/Portuguese. Maximum article size should be no more than 25 pages, including figures, graphics and bibliography.

The text must be in Word format, in Times New Roman 12 point type, half space with 2.5cm of margin top and bottom and 3.0cm of margin on the left and right sides.

Include the following elements: introduction, area of study, general characteristics, theoretical and conceptual framework, methodological framework, results, discussion of the results and bibliography.

The illustrations (maps, graphics, photos, etc.), tables and charts, should be numbered in the order that they appear in the text. Maps can be in color or black and white and in jpg, tiff, wmf or bmp format. No gif files, please. All illustrations should be properly placed in the text and submitted in separate files.

Bibliographic references should be cited in the text, ordered alphabetically and follow the international format of the American Psychology Association (APA).

#### 5. ORDER OF PRESENTATION OF THE WORK

**Title:** Brief, clear and relative to the content, centered in bolded capital letters. Titles should be in both the vernacular and in English. Times New Roman 12pt.

**Author:** First and last names, right justified. Author's academic/profession credentials, work address and email address should appear as a footnote on page 1. Times New Roman 10pt.

**Abstract:** The abstract or summary should be submitted in the vernacular and in English. It should be a maximum of 10 lines and clearly summarize the principal aspects of the submission. Times New Roman 10pt

**Keywords:** Submit both in the vernacular and English. Maximum of five words. Times New Roman 10pt

**Text:** Begin with the introduction, differentiating the hierarchy of headings with font types and use of bold. Times New Roman 12pt double spaced.

**Bibliography:** Should be cited in the text and not in footnotes at the bottom of the page.

## 6. NOTES AND QUOTES

To the extent possible, limit the use of notes. Footnotes should be used solely for clarification or explanatory purposes or to guide the reader to sources of further information.

When quoting directly from another's work, follow the quote with a parenthesis citing the author's last name, year of work and page number.

Quotations of less than 40 words should be included in the text with quotation marks.

Quotations of more than 40 words should be treated as a separate block of text, without quotation marks, and an indentation of 2.54cm.

## 7. BIBLIOGRAPHY

The bibliography should be arranged in alphabetical order by the author's last name, following the criteria of the APA.

### Examples:

#### Book

Gómez, D. M. y Barredo, C. J. I. (2004). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España: RAMA.

#### Chapter of 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, Vol. 15, N° 1. (pp. 8-66)

### **Newspaper**

Loaiza, N. V. (24 de enero, 2008). Incendios forestales provocados arrasaron 32.000 hectáreas. La Nación. San José, Costa Rica. (p.5)

### **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)

### **Website:**

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).

## **8. TABLES AND CHARTS**

Tables and charts should be stated explicitly in the document and placed within the text using Arabic numerals.

## **9. FIGURES (Graphics, Diagrams, Photographs, Etc.)**

Figures must be explicitly stated in the document and located within the text.

Figures may be up to 13cm wide and 18cm long, in order to conform to the format of the journal.

All figures must include number, title, legend and font and be properly referenced in the text.

## 10. CARTOGRAPHIC MATERIAL (Maps and Plans)

Maps and plans should be numbered, titled and sourced and be properly referenced in the text.

### References:

Last name, first name (author/s, initial or name; if many authors, separate by ;) or name of the responsible entity. Year of Publication: Title (in italics) [Designation of the type of material, eg., 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 document is published, authors will receive two complimentary copies of the journal.

## SISTEMA DE ARBITRAJE

Los documentos serán sometidos al proceso de juicio de los evaluadores/as externos, mediante el sistema de revisión por pares (*peer review*); quienes emplean la “Guía de criterios para la evaluación de artículos” establecida por la revista, la cual incluye además de las normas formales, la calidad, la pertinencia y el grado del aporte científico de los artículos. Los evaluadores no conocerán el nombre del autor. Los nombres de los evaluadores tampoco serán revelados. Se guarda, de manera explícita, el anonimato y la confidencialidad de estas personas.

Los evaluadores cuentan con un plazo no mayor a 30 días naturales para evaluar y entregar el dictamen pertinente a la secretaría de la Revista.

En caso de que el evaluador no estuviera de acuerdo con la publicación del documento, este será sometido a revisión por parte de un segundo evaluador, cuyo dictamen servirá para tomar una decisión al respecto.

Si el evaluador del documento recomienda correcciones, el autor será el responsable de hacerlas y entregar el documento final en formato digital, en un plazo no mayor a 30 días naturales.

La última decisión para la publicación o rechazo de un documento corresponde al Consejo Editorial de la Revista Geográfica de América Central.

## **PEER REVIEW PROCESS**

All document submissions are subject to the judgment of a team of external evaluators who employ a guide to critical evaluation of 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 rests with the Editorial Board of the Geographic Magazine of Central America.

Esta Revista se imprimió en el año 2018 en el Programa de Publicaciones e Impresiones de la Universidad Nacional; consta de un tiraje de 150 ejemplares, en papel bond y cartulina barnizable.

E-008-18-PUNA

