







ISSN 1011-484X  
e-ISSN 2215-2563

---

# REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL

## 67 (2)

Julio-diciembre 2021

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





# CONTENIDO

## CONTENTS

Pág.

### PRESENTACIÓN

#### PRESENTATION

*Lilliam Quirós Arias*

*Consuelo Alfaro Chavarría* .....9

### TEORÍA, EPISTEMOLOGÍA Y METODOLOGÍA

#### THEORY, EPISTEMOLOGY AND METHODOLOGY

#### **Aplicación del método Persistent Scatterer Interferometry (PSI) en la ciudad de Limón, Costa Rica**

Application of Persistent Scatterer Interferometry method (PSI) in Limón, Costa Rica

*Diana Paniagua-Jiménez*

*José Valverde-Calderón*

*Paula Molina-Calderón*

*Gustavo Barrantes-Castillo* .....23

#### **Interpretación geológica de las leyendas del cerro o volcán Santa Lucía al oeste del valle de Ujarrás, Paraíso, Cartago, Costa Rica y su relación con los elementos particulares de su contexto fisiográfico**

Geological interpretation of the folk legends of the Santa Lucía peak/volcano west of the Ujarrás Valley, Paraíso, Cartago, Costa Rica, and its relationship with particular elements of its physiographic context

*Iván J. Sanabria-Coto, Maureen A.*

*Bonilla-Hidalgo* .....53

#### **Estimación del período de construcción de las edificaciones del cantón de San José por medio de análisis de fotografías aéreas**

Estimation of the construction period of the buildings (construction period) in the canton of San José by analysis of aerial photographs

*Silvia Blanco-Sáenz*

*Luis Carlos Esquivel-Salas* .....85

## ESTUDIO DE CASO

### CASE STUDIES

#### **Identificación y caracterización de potenciales sistemas acuíferos en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa, República de Panamá**

Identification and characterization of potential aquifer systems in the middle and lower part of the La Villa River basin, Republic of Panama

*Valentina Opolenko de Arjona* ..... 109

#### **Morfometría de la subcuenca hidrográfica del río Páez, Cartago, Costa Rica**

Morphometry of the Páez River hydrographic sub-basin, Cartago, Costa Rica

*Pablo Ramírez-Granados*

*Kevin Alfaro-Jiménez*

*María Álvarez-Jiménez*

*Ligia Dina Solís-Torres*

*José Castro-Solís*..... 147

#### **Estudio de capacidad de acogida del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, Costa Rica**

Study of soil bearing capacity in the Río Torres Interurban Biological Corridor, Costa Rica

*Oswaldo Navarro-Ceciliano* ..... 169

#### **Aspectos biofísicos y socioeconómicos de la subcuenca del río Páez, Cartago, Costa Rica**

Biophysical and socioeconomic aspects of the Páez river sub-basin, Cartago, Costa Rica

*María Álvarez-Jiménez*

*Pablo Ramírez-Granados*

*José Castro-Solís*..... 195

**Vulnerabilidad de la población de Guerrero, México, ante las epidemias de COVID-19 y dengue**

Vulnerability of the population of Guerrero state, Mexico, to COVID-19 and dengue epidemics

*Norma Ivone Peña-Galeana*

*Ricardo Peña-Galeana*

*Pedro Vidal Tello-Almaguer*.....219

**A pesca artesanal no baixo rio Araguaia em Araguatins, Tocantins, Brasil**

La pesca artesanal en el bajo rio Araguaia en Araguatins, Tocantins, Brasil

Artisanal fishing in the low river Araguaia in Araguatins, Tocantins, Brazil

*Eliseu Pereira de Brito, Matheus*

*Miranda Shimasaki* .....247

**Factores generadores de la disminución del turismo y afectaciones posteriores, zona costera Acapulco, México**

Factors causing a decrease in tourism in the Acapulco coastal zone, Mexico, and subsequent effects

*Oscar Daniel Rivera-González* .....269

**Normas de publicación** .....303





## PRESENTACIÓN

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

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

En esta oportunidad, corresponde a la publicación No.67 de la Revista Geográfica de América Central del II semestre de 2021 (julio-diciembre). Incluye 10 artículos ubicados en las diferentes secciones de la revista: teoría, epistemología, metodología y estudios de caso.

**El primer artículo** aplica el método Persistent Scatterer Interferometry (PSI) en la ciudad de Limón, Costa Rica, con el fin de estimar la velocidad de deformación de la superficie. La investigación es de tipo descriptiva y el enfoque que se utilizó es el uso de imágenes de Radar de la misión Sentinel-1, las cuales fueron preprocesadas en el programa SNAP de la Agencia Espacial Europea y luego usando el programa StaMPS se

estimó la velocidad en la línea de vista (LOS) y series de tiempo. Como resultado se tiene que las velocidades estimadas en LOS están en el rango de -11 mm/yr hasta +20 mm/yr. Se concluye que el método tiene un potencial para ser usado en Costa Rica en investigaciones que requieren conocer información sobre la dinámica de la superficie y en la cual no se cuenta con información provista por otros métodos como los GNSS.

**El segundo artículo** propone proponer una interpretación geológica acerca de las leyendas recabadas en el libro de Prado (1921), denominado: “Nuestra Señora de la Virgen de Ujarrás” vinculadas con la aparente existencia y actividad del supuesto cerro o volcán Santa Lucía, también llamado: “El Picacho”. El área de estudio de esta investigación se ubica a 4 km al SE de la ciudad de Paraíso de Cartago y al oeste del Valle de Ujarrás. Para lo anterior fue necesario, una compilación de información histórica, y una recolección, en campo de evidencias particulares del contexto fisiográfico asociado; posteriormente se procedió a una análisis e integración de los resultados de las muestras recolectadas en campo; así como de los insumos geoespaciales necesarios para la presentación de los resultados. Se concluye que el tectonismo identificado en el área y sus posibles interacciones naturales permiten sustentar una interpretación geológica, de carácter no volcánico, sobre el posible origen de las leyendas vinculadas con el supuesto cerro o volcán Santa Lucía en el valle de Ujarrás.

**El tercer artículo** presenta un estudio en el cual se estimó un periodo de construcción aproximado para las 84 000 edificaciones de San José, analizando fotografías aéreas disponibles en el Instituto Geográfico Nacional (IGN) de Costa Rica de forma manual. Se expone su valor y utilidad en el contexto de un estudio de riesgo sísmico físico del cantón de San José en desarrollo por parte del Laboratorio de Ingeniería Sísmica del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica. Se encontró que la mayor cantidad de estructuras, en términos absolutos, se construyó en el periodo de 1989-2004, para un total de 18 399, mientras que la tasa de construcción promedio por año más alta fue de 2 675 para el periodo de 1974-1979. Un 38 % de las edificaciones se construyeron previo a la existencia del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR), un 60 % utilizando las versiones de CSCR de 1974 y 1986, mientras que solamente un 2 % utilizaron las versiones más modernas del código (2002 y 2010).

Este dato puede ser utilizado para varios fines, entre ellos evaluaciones de riesgo ante amenazas naturales.

**El cuarto artículo** se plantea con el objetivo de determinar las condiciones geológicas en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa, con el fin de identificar nuevas reservas explotables de aguas subterráneas, revelando zonas perspectivas donde existen acuíferos cuya geometría y características hidráulicas no se conocen en forma precisa. Para esto, se realizó el levantamiento geológico complementado con la exploración geofísica, que comprendió un conjunto de trabajos de campo y la generación de los respectivos mapas y perfiles litológicos. Como resultado, en el área investigada fueron delimitadas y caracterizadas las zonas acuíferas Borrola-La Colorada y Pesé, ambas perspectivas para potenciar las futuras explotaciones de agua subterránea. Con la ejecución de este proyecto piloto, se han sentado por primera vez en el país las bases metodológicas para adquirir los conocimientos necesarios encaminados a la detección de sitios óptimos para la ubicación de futuras perforaciones con la aplicación de criterios técnicos apoyados en la ciencia hidrogeológica. Estos criterios están orientados hacia los tomadores de decisiones y gestores de los recursos hídricos para que puedan aprovecharlos de manera sostenible, abandonando el esquema existente de simple extracción no sólo en la cuenca del río La Villa, sino a nivel nacional.

**El quinto artículo** tiene como objetivo determinar los parámetros morfométricos en la subcuenca del río Páez, Cartago necesarias para planificación de las actividades de la cuenca y para un apropiado manejo. La construcción de la morfometría se basó en las curvas de nivel del Gran Área Metropolitana, escala 1:10000, y utilizando los Sistemas de Información Geográfica, se realizó la digitalización de las curvas de nivel, los drenajes y el parteaguas. Resultado del análisis morfométrico, se obtiene un área de 28,34 km<sup>2</sup> y un perímetro de 47,4270 km. Está compuesta por 22 microcuencas, un factor de forma de 0,1171 indicando una subcuenca alargada. Un coeficiente de compacidad de 2,4942, indicando que es una cuenca elongada. Muestra una curva hipsométrica de tipo cóncava, donde el pico de la distribución altimétrica corresponde con las altitudes entre los 3315 m y los 980 m. El parámetro pendiente con un valor de 29,3% de pendiente promedio. Es evidente la función que cumple la subcuenca para

el desarrollo de las actividades productivas y para el abastecimiento de agua potable en algunos sitios Cartago.

**El sexto artículo** plantea la capacidad de acogida del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, este se calculó por medio de tres variables superficiales (pedregosidad, profundidad efectiva y pendiente), el resultado mostró que las categorías de agricultura sin limitaciones y tierras forestales para protección son las más predominantes. Seguidamente, se definió el uso del suelo en el corredor a través de la clasificación supervisada de imágenes satelitales, donde 53,62% pertenece al uso zonas urbanizadas, 25,7% a cobertura forestal, 19,91% a ganadería y pastos. Los resultados de capacidad de acogida y uso del suelo permitieron identificar las áreas con uso óptimo y sobreuso, estas últimas representan un 15,21% del corredor, para las cuales se le definieron buenas prácticas relacionadas al sector forestal, buscando disminuir la degradación del suelo. Por último, se evaluó la fragmentación de la cobertura forestal, demostrando que existe un alto nivel de segmentación, por lo que se recomendaron estrategias para restablecer la conectividad entre los fragmentos aislados.

**El séptimo artículo** consiste en una caracterización de variables biofísicas y socioeconómicas de la subcuenca del río Páez, Cartago con el propósito de generar una línea base de la cuenca en el sector norte de Cartago para la toma decisiones por parte de diferentes actores y para proponer lineamientos de manejo de recursos hídricos en un eventual manejo. Se utilizó técnicas de investigación cuantitativas y cualitativas entre ellos la aplicación de una encuesta a 178 personas en 10 poblados de la subcuenca distribuidos en la parte alta, media y baja. La subcuenca tiene un área de 28,34 km<sup>2</sup>, se ubica en los cantones de Oreamuno y Paraíso aproximadamente más del 50% del territorio se dedica a actividades agropecuarias, un 16% posee cobertura forestal como los usos más importantes, presenta problemáticas importantes de vulnerabilidad, contaminación ambiental, gobernabilidad, diversificación de opciones de empleo en la zona. Se evidencia el papel que cumple la subcuenca del río Páez como parte fundamental para el abastecimiento agua potable y el desarrollo de actividades productivas, la caracterización planteada brinda una base para determinar el estilo de manejo que requiere la cuenca.

**El octavo artículo** analiza la situación del COVID-19 y el Dengue en los municipios del estado de Guerrero (en México), así como los grupos

poblacionales afectados clasificados por edad y sexo. Se analiza también la situación de los factores asociados con las medidas de prevención y control de ambas epidemias, incluyendo entre estos: la disponibilidad de agua entubada, la suficiencia alimentaria de menores y adultos, y la afiliación a servicios de salud. Asimismo, con base en los factores antes mencionados, se realiza una clasificación de los municipios de Guerrero según el nivel de vulnerabilidad de su población ante ambas epidemias en conjunto (vulnerabilidad entendida como la susceptibilidad de la población a ser afectada por Dengue o COVID-19, dada la situación de los factores en estudio).

**El noveno artículo** retrata la pesca artesanal en el bajo río Araguaia, delimitando una escala espacial del municipio de Araguatins, en el norte del Estado de Tocantins, en la Amazonia Legal. Se trata de un ambiente de selva amazónica y cerrado en las áreas de transición pertenecientes a la cuenca hidrográfica Araguaia-Tocantins. Para realizar el estudio, utilizamos el método de investigación exploratoria cualitativa con estudio de campo. Los resultados señalaron que la modernización del territorio fue demandada por la introducción técnica-científica en la pesca y en el territorio. Modernizó los objetos de la pesca artesanal y, al mismo tiempo, modificó la forma en que los pescadores ribereños lidian con el río, introduciendo nuevos contenidos en la concepción de producción y preservación del ambiente.

**El décimo artículo** analiza la disminución del turismo nacional e internacional a lo largo de la zona Costera de Acapulco, originándose adversidades para los pobladores que sostienen su economía con base en dicha actividad y en la derrama económica del mismo. Actualmente con base en la teoría y empiria de la investigación existe una disminución considerable del turismo el cual que va en aumento, dicha información es ratificada y cuantificada con base en entrevistas formales a los habitantes y turistas, puntualizando que el crecimiento urbano desmedido y no regulado en las primeras fases del mismo es uno de los desencadenantes de dicha problemática, lo cual da como resultado aumento de basura, contaminación, inseguridad, violencia y diversas causas que se mencionan a lo largo del artículo. La inacción e indiferencia en mayor parte del Gobierno Municipal de Acapulco y del Estatal de Guerrero, mismos que incentivan las problemáticas antes mencionadas, por lo anterior se proponen medidas urgentes a dicha disminución en el puerto de Acapulco, aplicarse de manera

urgente y eficaz siempre tomando en cuenta a la población ya que de lo contrario será muy probablemente en un futuro cercano un puerto olvidado y poco visitado.

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

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

Saludos cordiales,

MSc. Lilliam Quirós Arias  
Mag. Consuelo Alfaro Chavarría



## PRESENTATION

The **REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL** (translated as **GEOGRAPHICAL JOURNAL OF CENTRAL AMERICA**) is a publication of School of Geographical Sciences of the Faculty of Earth and Sea Sciences of the Universidad Nacional (UNA), Costa Rica, published periodically by the Editorial de la Universidad Nacional (EUNA) since 1974.

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

On this occasion, it corresponds to publication N°67 of the *Revista Geográfica de América Central* of the second semester of 2021 (July-Dicember). It includes 10 articles distributed in the different sections of the *Journal*: theory, epistemology, methodology and case studies.

**The first article** applies the Persistent Scatterer Interferometry (PSI) method in the city of Limón, Costa Rica, in order to estimate surface deformation velocity. The investigation is of descriptive nature and use is made of radar imagery from the Sentinel-1 mission pre-processed with SNAP software of the European Space Agency. Line-of-sight (LOS) velocity and time series were estimated using the StaMPS software resulting in velocities in

the range of -11 mm/yr to +20 mm/yr. It is concluded that the method has practical potential in Costa Rica for surface dynamics research and instances where no data is available from other methods such as GNSS.

**The second article** proposes a geological interpretation about the folk legends collected in Prado's book *Nuestra Señora de la Virgen de Ujarrás* (1921) (translated as *Our Lady of the Virgin of Ujarrás*) linked to the alleged existence and activity of a peak or volcano known as *Santa Lucía* or *El picacho*. The study area of the present investigation is located 4 km southeast of the city of Paraíso de Cartago and west of the Ujarrás Valley. For this endeavor, it was initially necessary to perform a compilation of historical information as well as field collection of particular evidence of the associated physiographic context; next, field collected data and geospatial inputs were analyzed and integrated for the preparation of results. From the identified tectonism in the immediate geographical area and its possible natural interactions, it is feasible to support an assertive geological interpretation, of non-volcanic nature, regarding the origin of the folk legends in connection to the alleged existence of the *Santa Lucía* peak/volcano in the Ujarrás Valley.

**The third article** presents a study wherein the approximate construction period was estimated for the 84,000 buildings present in the canton of San José by visual non-automated analysis of aerial photographs available from the *Instituto Geográfico Nacional (IGN)* (translated as *National Geographic Institute*) of Costa Rica. The value and usefulness of the present investigation is exposed in the context of the risk assessment evaluation on physical damage caused by seismic activity in the canton of San José undertaken by the *Laboratorio de Ingeniería Sísmica del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica* (translated as *Seismic Engineering Laboratory of the Engineering Research Institute of the University of Costa Rica*). In absolute terms, it was found that the majority of structures were built in the period 1989-2004 and amounted to a total of 18,399 buildings; the highest average annual construction rate was 2,675/yr for the period 1974-1979. 38% of the buildings were built prior to the existence of the Costa Rican Seismic Code (CSCR), 60% of the buildings adhered to CSCR Codes in its past versions of 1974 and 1986, while only 2% complied with the newer versions of 2002 and 2010. This data can be used for various purposes including risk assessments of natural hazards.

**The fourth article** is presented with the objective of determining the geological conditions in the middle and lower part of the La Villa River basin, in order to identify new exploitable groundwater reserves and to reveal prospective zones housing aquifers whose geometry and hydraulic characteristics are not known precisely. Thus, a geological survey was carried out and complemented with geophysical exploration which included field work and the creation of maps and lithological profiles. As a consequence of our research, the *Borrola-La Colorada* and *Pesé* aquifers zones were delimited and characterized in the investigated area and both deemed prospective for future groundwater exploitation. With the execution of this pilot project the methodological foundations have been established, for the first time in Panama, for obtaining the necessary knowledge involved in the detection of optimal future drilling sites based on technical criteria leveraged on hydrogeological science. These criteria are made available to decision makers and water resource managers for the sustainable exploitation of water resources thus promoting the departure from the existing irrational scheme of simple extraction applied not only in La Villa River basin but other basins throughout the nation.

**The fifth article** aims to determine the morphometric parameters in the sub-basin of the Páez River, located in the province of Cartago, Costa Rica, necessary for land use planning within the basin and its proper management. Morphometric construction was based on the 1:10,000 scale contour lines available for the Gran Area Metropolitana (translated as the Greater Metropolitan Area) and geographic information systems utilized to digitalize contour lines, drainages and watersheds. Resulting from the morphometric analysis, a sub-basin area of 28.34 km<sup>2</sup> and perimeter distance of 47.4270 km were estimated. The sub-basin is comprised of 22 micro-basins and overall exhibits a form factor value of 0.1171, thus indicating an elongated sub-basin. A compactness coefficient value of 2.4942 indicates an elongated basin. It sub-basin exhibits a concave hypsometric curve, where the peak of its altimetry distribution corresponds to altitudes between 3315 m and 980 m. The slope parameter has an average value of 29.3% slope. It is evident the role played by the Páez River sub-basin for the development of productive activities and water supply of some localities in the province of Cartago.

**The sixth article** discusses the soil bearing capacity in the Río Torres Interurban Biological Corridor and its estimation employing three surface variables (stoniness, effective depth and slope), the result indicated unrestricted agricultural and conservation forestland as the predominant categories. Next, land use types existing throughout the corridor were identified by means of the supervised classification of satellite images, which evidenced 53.62% of total area as occupied by urban activities, 25.7% forest coverage and 19.91% destined to livestock grazing and pastures. Soil bearing capacity data and land use visualization allowed the identification of areas with optimal and overexploitation, the latter amounted to 15.21% of the corridor's total land area. For both types of areas, good forestry practices were defined in order to reduce soil degradation. Finally, forest coverage fragmentation was evaluated and found to exhibit a high degree of segmentation, thus strategies were recommended to reestablish connectivity between isolated fragments.

**The seventh article** consists of a characterization of biophysical and socioeconomic variables of the Páez River sub-basin, located in the norther sector of the city of Cartago, Costa Rica, with the purpose of generating baseline knowledge aimed at facilitating actors with decision-making tools and to propose water resource management guidelines for their eventual implementation. Quantitative and qualitative research techniques were used, including the application of a survey to 178 people in 10 localities geographically distributed in the upper, middle and lower sections of the sub-basin. The Páez River sub-basin covers an area of 28.34 km<sup>2</sup> in the cantons of Oreamuno and Paraíso and over 50% of the territory is dedicated to agricultural activities and 16% to forest coverage. This geographical region presents important problems such as climatic vulnerability, environmental pollution, governance issues, deficient diversification of economic activities, and thus poor diversity of employment opportunities in the region. The role of the Páez River sub-basin as a fundamental component for the supply of potable water and water for the development of productive activities is evidenced, the proposed characterization provides a baseline for determining adequate basin management methodologies.

**The eighth article** analyzes the situation of COVID-19 and dengue in the municipalities of the state of Guerrero, Mexico, as well as the situation of affected population groups classified by age and sex. Factors

associated with prevention and control measures of both epidemics is also analyzed, including: availability of potable piped water, food sufficiency for minors and adults, and affiliation to health care services. Likewise, based on the aforementioned factors, a classification of the municipalities comprising the state of Guerrero is made according to the population's level of vulnerability to both epidemics as a whole. Vulnerability is defined as the susceptibility of the population to be affected by COVID-19 and dengue given the situation of the studied factors.

**The ninth article** portrays artisanal fishing in the lower Araguaia River, delimiting a spatial scale of the municipality of Araguatins to the north of the State of Tocantins, in the area denominated Legal Amazon (BLA). It is an Amazon forest environment closed at the transition areas belonging to the Araguaia-Tocantins hydrographic basin. To carry out the research we used the qualitative exploratory research method with in-field research. The results showed that the modernization of the territory was demanded as a consequence of the previous introduction of technical-scientific fishery in said territory. The modernization of artisanal fishing at the same time, modified the way in which fishermen who live near rivers managed it, introducing new content in the conception of production and preservation of the environment.

**The tenth article** analyzes the decrease in national and international tourism along the Acapulco coastal zone, causing adversities for inhabitants who sustain their economy on said activity and its economic contribution. Currently, based on theoretical and empirical research, a considerable decrease in tourism activity has been evidenced. This finding is ratified and quantified based on formal interviews with residents and tourists that point to excessive and unregulated early-stage urban growth as one triggering causative factor as it increases the generation of municipal solid waste, pollution, insecurity, violence and many other negative consequences mentioned throughout the article. The inaction and indifference of the authorities, mainly that of the Municipal Government of Acapulco and the Government of the State of Guerrero, encourage the progression of the aforementioned damaging issues. In view of the above, urgent measures are proposed to counter the deceleration of tourism in the port of Acapulco, which are to be applied urgently and effectively, with main consideration of the population, since otherwise it will become a forgotten and scantily visited port in the near future.

In this way, we invite all parties to visit the *Journals*'s electronic site (<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>) to access all articles in PDF, HTML and EPUB formats. Additionally, it is with great pleasure that we inform you that as of 2019 the *Revista Geográfica de América Central* has been indexed in SCIELO, in addition to LATINDEX, REDALYC, DIALNET, DOAJ, REDIB, among others.

We hope that this number will be of great use to all those interested in geographic studies and we invite you to send your contributions.

Best regards,

MSc. Lilliam Quirós Arias  
Mag. Consuelo Alfaro Chavarría



# **TEORÍA, EPISTEMOLOGÍA Y METODOLOGÍA**

**THEORY, EPISTEMOLOGY  
AND METHODOLOGY**





## Aplicación del método Persistent Scatterer Interferometry (PSI) en la ciudad de Limón, Costa Rica

### Application of Persistent Scatterer Interferometry method (PSI) in Limón, Costa Rica

*Diana Paniagua-Jiménez<sup>1</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

*José Valverde-Calderón<sup>2</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

*Paula Molina-Calderón<sup>3</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

*Gustavo Barrantes-Castillo<sup>4</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

#### Resumen

El objetivo de esta investigación fue aplicar el método Persistent Scatterer Interferometry (PSI) en la ciudad de Limón, Costa Rica, con el fin de estimar la velocidad de deformación de la superficie. La investigación es de tipo descriptiva y el enfoque que se utilizó es el uso de imágenes de Radar de la misión Sentinel-1, las cuales fueron preprocesadas en el programa SNAP de la Agencia Espacial Europea y luego usando el programa StaMPS se estimó la velocidad en la línea de vista (LOS) y series de tiempo. Como resultado se tiene que las velocidades estimadas en LOS están en el rango de -11 mm/yr hasta +20 mm/yr. Se concluye que el método tiene un potencial para ser usado en

1 Máster, Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Universidad Nacional. Correo electrónico: [diana.paniagua.jimenez@una.ac.cr](mailto:diana.paniagua.jimenez@una.ac.cr)  <https://orcid.org/0000-0003-2834-5310>

2 Máster, Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Universidad Nacional. Correo electrónico: [jose.valverde.calderon@una.ac.cr](mailto:jose.valverde.calderon@una.ac.cr)  <http://orcid.org/0000-0003-3926-1761>

3 Estudiante, Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Universidad Nacional. Correo electrónico: [paulaamc727@gmail.com](mailto:paulaamc727@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0002-6446-3253>

4 Doctor, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: [gbarrantes@una.ac.cr](mailto:gbarrantes@una.ac.cr)  <http://orcid.org/0000-0003-2130-8883>

Costa Rica en investigaciones que requieren conocer información sobre la dinámica de la superficie y en la cual no se cuenta con información provista por otros métodos como los GNSS.

**Palabras clave:** InSAR, PSI, deformación

### Abstract

The objective of the present research was to apply the *Persistent Scatterer Interferometry (PSI)* method in the city of Limón, Costa Rica, in order to estimate surface deformation velocity. The investigation is of descriptive nature and use is made of radar imagery from the Sentinel-1 mission pre-processed with SNAP software of the European Space Agency. Line-of-sight (LOS) velocity and time series were estimated using the StaMPS software resulting in velocities in the range of -11 mm/yr<sup>5</sup> to +20 mm/yr. It is concluded that the method has practical potential in Costa Rica for surface dynamics research and instances where no data is available from other methods such as GNSS.

**Keywords:** InSAR; PSI; Surface deformation.

## Introducción

La teledetección es el proceso de detectar las características físicas de un área midiendo y analizando el comportamiento de la radiación emitida desde una plataforma como un satélite o un avión y reflejada por los elementos en la superficie terrestre. Como resultado, se obtiene imágenes que ayudan a los investigadores a monitorear objetos de interés como incendios forestales, actividad volcánica, tormentas de polvo, crecimiento de una ciudad y cambios en tierras de cultivo o bosques, durante varios años o décadas, entre otras aplicaciones .

El Radar de Apertura Sintética (Synthetic Aperture Radar, SAR por sus siglas en Inglés) es una herramienta de observación de la Tierra que utiliza frecuencias de microondas en el rango de longitudes de onda de 2 cm hasta 1 m. Los sistemas SAR se operan desde aviones o plataformas satelitales en órbita (Cho *et al.*, 2006) y proporcionan imágenes de terreno. Una de las ventajas de las imágenes SAR es que almacenan la información de la fase, dato que puede ser luego usado para aplicaciones como cuantificar la deformación de la superficie (Homer *et al.*, 1996).

Algunas de las aplicaciones de imágenes SAR con gran auge en la actualidad son:

5 Con el objetivo de ser consistentes en la versión en español se recomienda usar “-11 mm/año” y “+20 mm/año” o “-11 mm/a”...etc.

- Mapeo de la cobertura forestal: Se ha usado imágenes para el monitoreo de la cobertura boscosa de grandes extensiones de bosques de difícil acceso en el terreno. Los sensores ópticos solo pueden detectar la cubierta superior, donde se produce la absorción y reflexión de partes del espectro de luz visible e infrarroja mientras que los sensores de radar se han utilizado para el mapeo de bosques. Debido a la longitud de onda más larga de un sensor de radar, la radiación penetra en la capa superior de la vegetación hasta cierto punto y se dispersa por tallos, ramas, hojas o agujas (Balzter, 2001).
- Mapeo de cuerpos de agua: SAR se puede utilizar para obtener información sobre las tasas de arrastre del suelo o para general mapas de inundaciones, aun en condiciones meteorológicas desfavorables. Los patrones espaciales de erosión por inundación y sedimentación se pueden mapear a través de la interferometría y, en algunos casos, se pueden determinar sus volúmenes. SAR es utilizado por los hidrólogos como una herramienta para monitorear el agua superficial debido a su capacidad para obtener imágenes de alta resolución en condiciones climáticas adversas y de poca iluminación natural.

Esta característica es útil, por ejemplo, cuando se observan inundaciones durante los períodos de nubosidad constante o se acorta la luz del día. Este enfoque se ha utilizado con éxito para obtener mapas precisos de las inundaciones de los ríos en Siberia y el sur de Francia (Smith, 2002).

En el caso de Costa Rica, tras la revisión bibliográfica, se determinó que hay pocas publicaciones o información acerca del uso de imágenes de radar en el país. Una aplicación es el caso del mapeo de cobertura forestal en la Península de Osa, donde la NASA realizó un inventario forestal en el Parque Nacional Corcovado y en el manglar de Bahía Drake, utilizando el sensor EcoSAR (NASA, 2014).

Otra aplicación fue la realizada también por la NASA, en colaboración con el Programa de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos (PRIAS) para el mapeo de zonas volcánicas en Costa Rica usando el sensor UAVSAR, donde se mapeo los volcanes Turrialba, Irazú, Poas y Arenal. Más información sobre este proyecto se puede consultar en el sitio <https://uavsar.jpl.nasa.gov/>

La técnica Radar de Apertura Sintética Interferométrica (InSAR) se basa en la comparación de las diferencias de fase entre dos o más imágenes SAR separadas ya sea por tiempo o espacio. InSAR tiene aplicaciones prácticas que van desde medir la deformación de la superficie hasta monitorear procesos geomorfológicos. Usando InSAR, por ejemplo, los científicos han podido medir con precisión los efectos posteriores de los terremotos, mapear el flujo de glaciales y corrientes oceánicas, monitoreo de sitios mineros y deslizamientos de tierra, y tiene un valor potencial en cualquier área donde existan riesgos de desplazamiento natural (Uys, 2016).

En los últimos 20 años, InSAR han demostrado una gran capacidad para mapear la deformación de la superficie de la Tierra inducida por varios mecanismos geofísicos (Samieie-Esfahany *et al.*, 2009). Ejemplo de esto es el trabajo de Delgado-Blasco *et al.*, (2019) quienes utilizaron imágenes de radar para la determinación de la subsidencia en el área urbana de Roma, Italia o el trabajo de (Yhokha *et al.*, 2018) quienes utilizaron InSAR para el monitoreo de deslizamientos en la zona de Nainital, India.

La Interferometría de Dispersión Persistente (PSI, por sus siglas en Inglés) es una técnica basada en radar que representa una clase específica de las técnicas de Radar de Apertura Sintética Interferométrica Diferencial (DInSAR, por sus siglas en Inglés). Dichas técnicas usan la información contenida en la fase de la señal de al menos dos imágenes SAR, adquiridas en diferentes momentos sobre la misma área, que se utilizan para formar un interferograma (Crosetto *et al.*, 2016).

Otro de los resultados que se pueden obtener con InSAR es la generación de series de tiempo. Estas técnicas se pueden dividir en aquellas que se basan en el análisis de interferogramas, todo con respecto a la misma imagen maestra, comúnmente conocida como métodos de dispersión persistente (Hooper, 2010).

Las series temporales de deformación representan el producto PSI más avanzado. Proporcionan el historial de deformación durante el período observado. Las medidas de deformación con PSI se refieren a la Línea de Vista (LOS, por sus siglas en inglés) del sensor SAR, es decir, la línea imaginaria que conecta el sensor con el objeto en la superficie (Crosetto *et al.*, 2016).

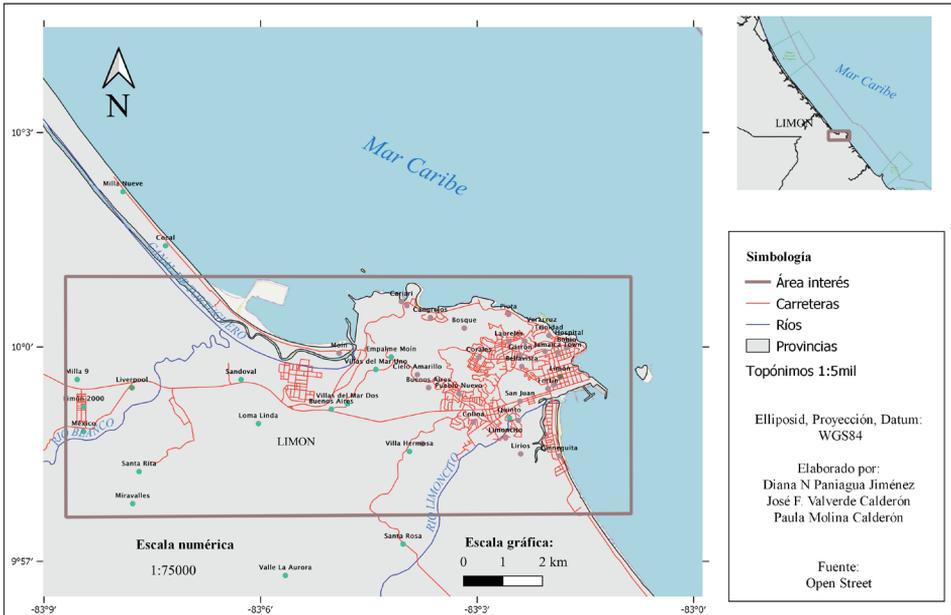
Con esta técnica es posible observar detalladamente la morfodinámica costera a largo plazo (Sajinkumar *et al.*, 2020), determinación de la

subsistencia de la superficie (Osmanoğlu *et al*, 2011), estudios de la atmósfera como en (Haghighi, 2017).

### Área de estudio

El presente caso de estudio se enmarca en el Caribe Sur (provincia de Limón), entre las coordenadas geográficas 9°44'18.28" - 10° 0'6.57" latitud norte y 82°47'27.54" - 83°11'32.24" de longitud oeste. En la Figura 1 se puede observar cuál es el área de estudio.

**Figura 1. Área de estudio**  
**Localización geográfica del área de estudio**



Fuente: Elaboración propia.

### Características Generales

El Caribe Sur de Costa Rica está geográficamente ubicado en la provincia de Limón y de acuerdo con la división que realiza el Ministerio de Planificación y Política Económica (MIDEPLAN), corresponde con la región Huetar Caribe. En esta región, el Índice de Desarrollo Social (IDS) de 2017 indica que de los 29 distritos que conforman la región Huetar Caribe,

el 86% ocupa las posiciones de mayor desventaja social, destacándose los altos niveles de desempleo en comparación con la media del país (MIDEPLAN, 2018).

El clima de la región se caracteriza por no presentar una estación seca definida, mostrando dos periodos en que disminuyen las precipitaciones, el primero de febrero a marzo y el segundo entre setiembre y octubre (IMN, 2017).

El sistema fluvial del cantón de Limón corresponde a la subvertiente Caribe de la vertiente Caribe, el cual pertenece a las cuencas de los ríos Estrella, Matina, Banano, Moín y Bananito

En el tema económico, el turismo es una de las principales actividades del Caribe Sur destacando entre los lugares más atractivos algunas playas como Cahuita, Manzanillo y Puerto Viejo, lo que permite un turismo de naturaleza, el ecoturismo y el turismo rural (Morera-Beita & Miranda-Alvarez, 2016; Trejos & Chiang, 2009).

Desde un punto de vista socio-natural, la región Caribe Sur se encuentra expuesta a riesgos relacionados con amenazas naturales como lo son la sismicidad, las inundaciones, la erosión costera y los oleajes severos, entre otros aspectos que repercuten en su dinámica local y en su condición socioeconómica (Barrantes-Castillo *et al.*, 2019).

En cuanto a la geología y la geomorfología, la costa Caribe puede dividirse en dos sectores: el norte y el sur. La parte norte presenta características de un margen continental pasivo y un régimen tectónico extensivo (fallas normales) mientras que el sur presenta un régimen compresivo con ocurrencia de terremotos importantes (Alvarado & Cárdenas, 2016), como el ocurrido en 1991 con epicentro en el Valle de la Estrella, el cual tuvo una magnitud de 7.7 Mw (Montero *et al.*, 1994) el cual provocó un levantamiento máximo 1.85 m según se indica en (Denyer *et al.*, 1994).

El origen de la ciudad de Limón comienza después de dos siglos de la llegada de Cristóbal Colón a la isla Uvita en 1502, cuando el 6 de junio de 1870 se decretó la creación de la comarca de Limón; un año después inician los trabajos de construcción del ferrocarril al Atlántico que unió a San José con Puerto Limón, con el fin de facilitar las exportaciones a Europa del café costarricense. Con la construcción de las obras del ferrocarril llegaron los primeros inmigrantes jamaquinos, quienes aportaron su lengua, cultura, religión y gastronomía.

En la actualidad, la ciudad de Limón tiene una población aproximada de 105000 habitantes, posee el puerto de mayor importancia del país y se encuentra ubicada en el litoral Caribe de Costa Rica.

### **Marco teórico-conceptual**

Para comprender cómo trabaja los radares de imágenes por satélite, primero se debe entender el concepto de un sensor remoto activo. Un sensor de microondas activo es un sensor que emite un patrón directo de energía que ilumina una porción de la superficie terrestre y luego recibe esta porción de vuelta al instrumento; estos sensores generan su propia energía, por lo que su uso es limitado por pocas restricciones y puede ser utilizado bajo una gran variedad de condiciones operacionales. Por otro lado, los sensores pasivos son sensibles a las variaciones de la iluminación solar, su uso es determinado por la hora del día y el clima (Campbell & Wynne, 2011).

Debido a la capacidad de los radares para teledetección, se pueden adquirir imágenes aun cuando no hay luz solar, a través de nubes y durante eventos climatológicas, lo que provee la capacidad de observar áreas de interés, que con otros tipos de sensores serían inobservables debido a su lejanía y condiciones atmosféricas (Campbell & Wynne, 2011).

El Radar Interferométrico (InSAR) utiliza dos imágenes SAR de la misma región adquirida en dos posiciones diferente. La figura 2 muestra el fundamento conceptual: se tiene una imagen obtenida en un tiempo  $t_1$  y una imagen en el tiempo  $t_2$ . Se conoce para  $t_1$  y  $t_2$  la distancia entre el satélite y el objeto en la superficie de la Tierra ( $R_1$  y  $R_2$  respectivamente). A partir de la diferencia  $\Delta R$  (siendo esta  $R_1 - R_2$ ) se puede obtener alturas del terreno o determinar deformaciones verticales (Campbell & Wynne, 2011; Kerle, Janssen, & Huurneman, 2004; Soergel, 2010).

La técnica InSAR tiene grandes capacidades sin embargo, una de sus mayores limitaciones es la falta de coherencia de la imagen debido a la decorrelación espacio - temporal. La decorrelación espacial es el resultado de aumentar la línea base espacial (elemento B en la Figura 2), que es la línea que une las posiciones del sensor en dos tomas distintas mientras que la decorrelación temporal ocurre cuando las propiedades de dispersión de la superficie de la Tierra dentro de una celda cambian de una imagen a otra

esto como consecuencia de que las tomas se hacen en momentos distintos (Zebker & Villasenor, 1992).

Como solución a estas limitaciones, se desarrollaron una variedad de propuestas de diferentes métodos basados en InSAR, en los cuales se utiliza objetos coherentes (objetos que no presentan cambios en el tiempo siendo estos objetos llamados dispersores persistentes (PS, por sus siglas en inglés) (Osmanoğlu *et al.*, 2011). Esto ha llevado al uso de las técnicas Persistent Scatterer Interferometry (PSI), en particular el conocido algoritmo StaMPS, desarrollado en la Universidad de Stanford (Hooper *et al.*, 2010).

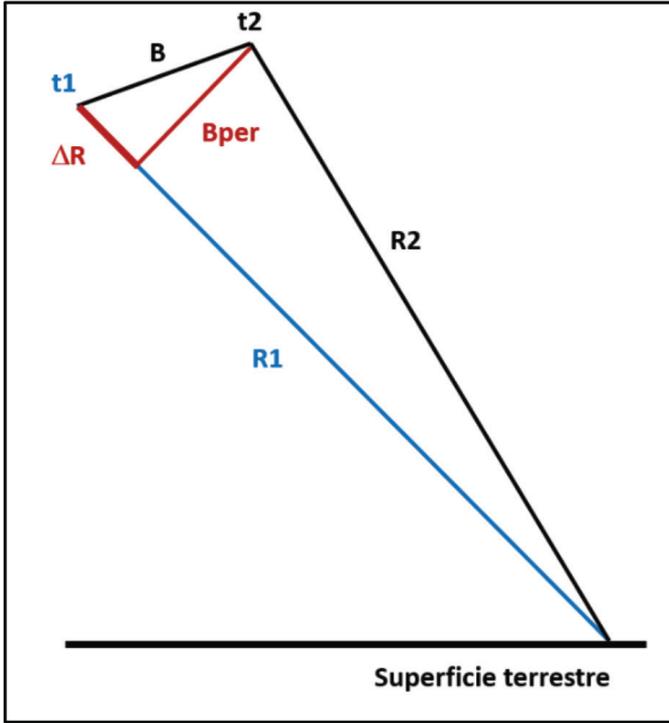
A diferencia de InSAR, donde comúnmente solo se tiene un interferograma, PSI proporciona una serie temporal que representa el desplazamiento promedio de los objetos contenidos en el pixel, permitiendo así investigar la variación temporal en el patrón de subsidencia o levantamiento de la superficie.

Esta técnica se ha aplicado con éxito en diferentes estudios de deformación de la superficie, incluida la deformación de volcanes, sobreexplotación de aguas subterráneas, deformación en áreas de deslizamientos de tierra, análisis de presas y movimiento tectónico (Osmanoğlu *et al.*, 2011; Crosetto *et al.*, 2016).

Para el análisis PS-InSAR, las imágenes se corregistran conjuntamente con una imagen llamada imagen maestra. La imagen maestra se elige de modo que minimice los efectos de decorrelación espacial y temporal, minimizando entre el conjunto de imágenes la magnitud de las líneas base perpendiculares ( $B_{per}$  en la figura 2) y teóricamente hablando, maximizando la coherencia entre los interferogramas (Kampes, 2005). Luego, se generan los interferogramas y se eliminan la influencia de la topografía (fase topográfica) mediante el uso de un modelo de elevación.

La coherencia es una medición del grado de correlación entre un pixel en dos imágenes distintas. Este valor fluctúa entre 0 y 1. Si el valor de la coherencia es menor a 0.3, se considera que el interferograma está afectado por ruido, lo que impedirá aislar la señal de deformación (Kampes, 2005).

**Figura 2.** Geometría básica de una adquisición SAR



**Fuente:** Elaboración propia.

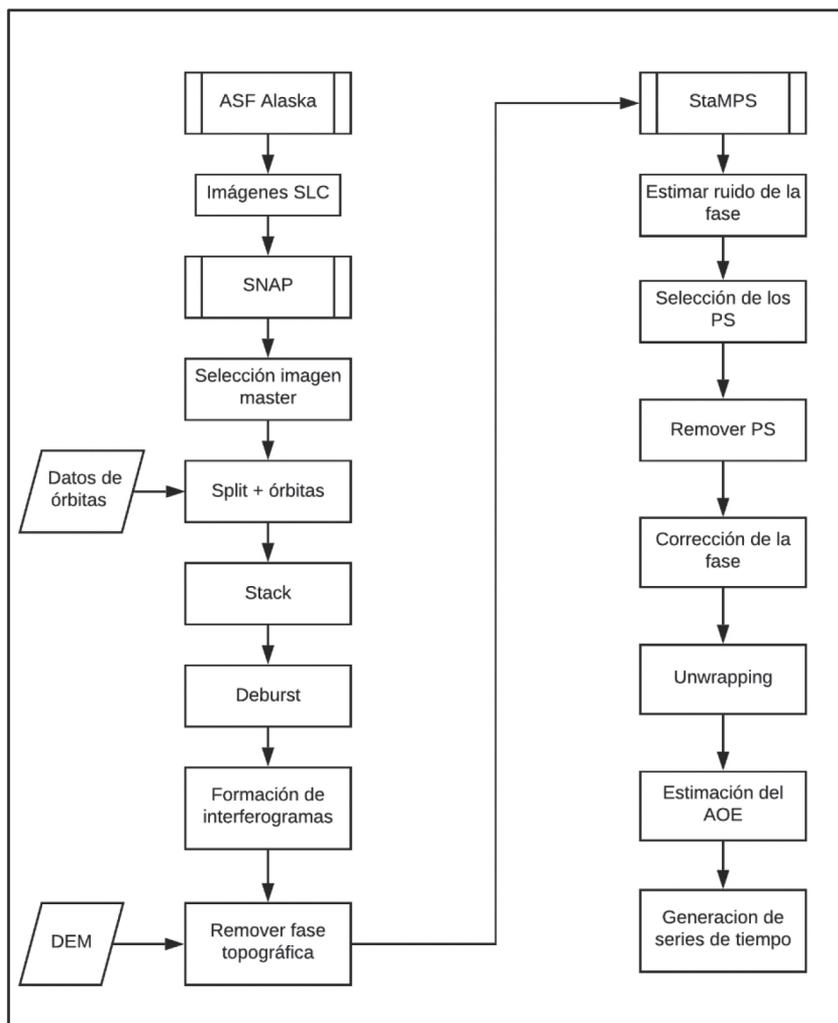
Dentro de un interferograma, la fase de cada píxel depende de los retornos de fase de todos los *scatterers* en el elemento correspondiente en el suelo. Algunos píxeles contienen objetos estables cuyo retorno en fase permanece constante a lo largo del tiempo a pesar de los cambios el área circundante (Hooper *et al.*, 2007).

### Marco metodológico

La metodología para estimar la velocidad en LOS de los PS se puede agrupar en tres conjuntos de procesos: descargar las imágenes, el preprocesamiento de estas y procesamiento final para la estimación de la velocidad. Para los fines del presente trabajo, el procesamiento de las imágenes se realizó en el programa SNAP, de la ESA, el cual es un programa de acceso libre y el proceso final se realizó usando StaMPS, consiste en un

conjunto de scripts ejecutados desde el software Matlab. En la Figura 3 se muestra el esquema de procesos que se llevó a cabo.

**Figura 3.** Procedimiento seguido para la estimación de la velocidad en LOS



Fuente: Elaboración propia.

Previo a aplicar la metodología indicada anteriormente y debido a la inexistencia de información bibliografía sobre el uso de la técnica PSI en Costa Rica y a la curva de aprendizaje por parte de los autores, se realizó

una prueba de sensibilidad del algoritmo, en específico se analizó la influencia de dos variables de cálculo que son:

- a) La amplitud de dispersión (DA), parámetro que condiciona la cantidad de PS preliminares que serán considerados en el procesamiento. El DA está asociado con la calidad de la fase de cada PS
- b) El “*densityrand*”, el cual regula la cantidad de PS por kilómetro cuadrado. Entre mayor sea este valor, mayor cantidad de PS se seleccionarán.

Con el fin de realizar la prueba, se hicieron cuatro procesamientos, cada uno con los mismos 29 interferogramas. Los resultados se muestran en el apartado de resultados en la Tabla 1.

Se describe a continuación el procedimiento mostrado en la Figura 3: el primer proceso consiste en la descarga de las imágenes SLC (estas imágenes son las que contienen la información de la fase y por ende las requeridas para interferometría). Actualmente hay varios servicios Web desde los cuales se puede descargar las imágenes.

El oficial es el Data Hub de Copernicus, sin embargo, para este trabajo las imágenes se obtuvieron desde el servidor espejo gestionado por el ASF Alaska, por cuanto, después de varias pruebas, se determinó que el tiempo de descarga es menor en comparación con el servidor oficial.

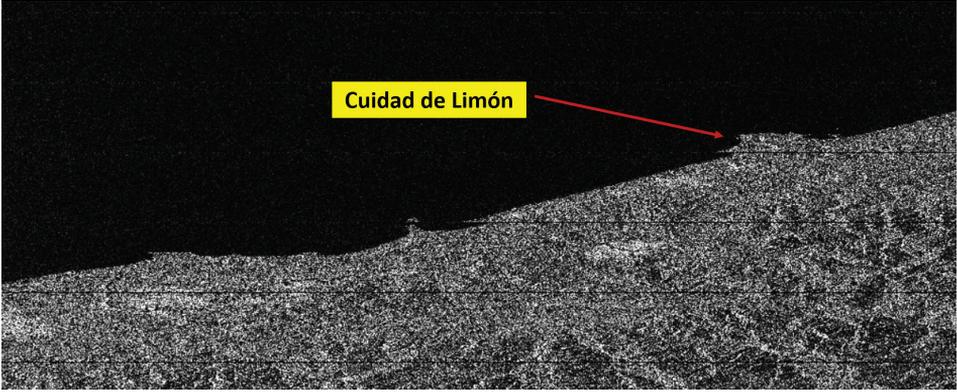
Se descargaron las imágenes disponibles para los años 2016, 2017 y 2018; esto dio como resultado que se obtuvieron 62 imágenes con órbita descendente. El periodo que cubren las imágenes es desde el 06 de octubre de 2016 hasta el 25 de diciembre de 2018. Se inició con las imágenes desde octubre de 2016 por cuanto imágenes anteriores a esta fecha fueron adquiridas con geometría distintas (tipo de órbita y área de cobertura).

Tras analizar el procedimiento que se debe seguir, se decidió trabajar solamente con 30 imágenes, ya que el procesamiento de imágenes de Radar es un procesamiento intensivo desde un punto de vista computacional, se consideró que no se dispone de una computadora con la capacidad requerida para trabajar con las 62 imágenes.

Una vez descargadas las imágenes y seleccionadas cuales se procesarían, se procedió a preprocesar las en el programa SNAP. Este preprocesamiento se describe a continuación:

- a) Se procede a seleccionar la imagen máster, usando para este fin la herramienta “*Stack Overview*”. Como resultado, se obtiene que la imagen máster es la imagen del 11 de enero de 2018
- b) El siguiente proceso es aplicar el *split* a las imágenes y corregirlas por el efecto de desviaciones entre la órbita teórica y la órbita real del satélite. Con el *split* se reduce la imagen al área de interés, por cuanto una imagen SLC completa cubre 250 km por 250 km, así con el *split* se selecciona para trabajar únicamente el área de interés. En cuanto a las órbitas, este proceso se realiza para corregir el efecto de las perturbaciones de la órbita del satélite, las cuales son causadas principalmente por el campo de gravedad de la Tierra. Para aplicar esta corrección se requiere de conexión a Internet, por cuanto hay que descargar los archivos con la información de la órbita real seguida por el satélite
- c) Una vez seleccionada el área de trabajo y corregido el efecto de las órbitas, se genera un *stack*. Esto consiste en generar un solo archivo que contiene a la imagen máster y el resto de las imágenes (hasta este paso cada imagen es un archivo individual). Debido a las limitaciones computacionales ya comentadas, se decidió dividir este proceso en tres, es decir, generar tres archivos: dos contienen las imágenes master y diez imágenes más, mientras que uno contiene la imagen master y nueve imágenes
- d) Al resultado del proceso anterior se le aplicó un *deburst*. Este proceso se debe llevar a cabo por la forma como el sensor en el satélite realiza el barrido de la superficie, mismo que depende del modo de escaneo. Este efecto se observa en la Figura 4 y consiste en las franjas horizontales. Una vez aplicada esta corrección, dichas franjas no se observan más en las imágenes.

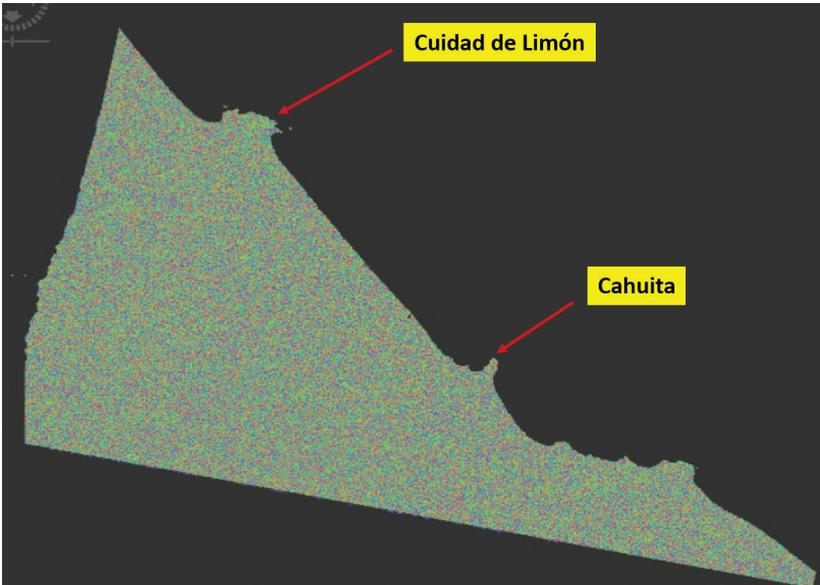
**Figura 4.** Ejemplo previa aplicación del *deburst*



**Fuente:** Elaboración propia a partir del procesamiento de una imagen SLC en el programa SNAP.

- e) El siguiente proceso es generar los interferogramas. En la figura 5 se muestra un ejemplo de un interferograma.

**Figura 5.** Ejemplo de interferograma



**Fuente:** Elaboración propia a partir del procesamiento del programa SNAP.

Como se desprende de la Figura 5, el interferograma no muestra ningún patrón evidente de deformación. Esto se debe a que típicamente en presencia de patrones de deformación lentos y por la longitud de onda del satélite, no es posible separar la señal de deformación del ruido. Es por ello que se recurre a métodos de DInSAR para generar series de tiempo, ya que de esta forma si es posible obtener información sobre la deformación de la superficie. El interferograma de la Figura 5 fue realizado con las imágenes del 23 de noviembre de 2016 y el 11 de enero de 2018.

- f) El último paso del preprocesamiento es remover la llamada fase topográfica. Esta fase se denomina así, debido a que está relacionada con el efecto de la topografía en el barrido que hace el sensor, por lo que para removerla se requiere de un modelo de elevación. En este trabajo y para este fin, se usó el modelo de la misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) con una resolución de 3 segundos de arco. Una vez removida la fase topográfica, se considera que la fase interferogramétrica contiene la señal de deformación.

Una vez realizados los pasos anteriores, se procede a preparar la información para procesar la con StaMPS. El programa SNAP tiene incorporada la opción de exportar los resultados al formato requerido por StaMPS, por lo que se utilizó esta opción. Una vez se dispone de la información, se realiza el procesamiento, mismo que consiste en siete procesos, los cuales se describen a continuación:

- a) Estimar el ruido de la fase: Este es un paso iterativo que estima el valor del ruido de la fase para cada píxel candidato en cada interferograma.
- b) Selección de los PS: Los píxeles son seleccionados en base a sus características de ruido. En este paso también se estima el porcentaje de píxeles aleatorios (no-PS) en una imagen del cual la densidad por kilómetro cuadrado pudo ser obtenida. El fundamento para este paso es que los píxeles ruidosos pueden causar dificultades en el procesamiento y dadas sus características, la contribución no puede ser suavizada usando píxeles de bajo ruido (con fase estable). En este paso se tiene la opción de descartar los píxeles ruidosos si estos exceden un umbral definido por el usuario.

- c) **Remover los PS:** Este paso toma como información de entrada el resultado del paso anterior. Los píxeles que se han identificado como ruidosos son eliminados, de forma que tras este paso quedan los píxeles que cumplen con la calidad definida por el usuario.
- d) **Corregir la fase:** La fase de los píxeles resultantes del paso anterior son corregidos por el error asociado al modelo de elevación, denominado SULA. Este error está asociado a que la fase esta correlacionada con la topografía, por lo que se estima este efecto y se elimina de la fase.
- e) **Unwrapping de la fase:** Una de las limitaciones de InSAR es que la fase se mide en ciclos desde  $-\pi$  hasta  $+\pi$  o desde 0 hasta  $+2\pi$  según la convención. Sin embargo, para estimar la deformación real, se debe sumar la cantidad de ciclos en el interferograma. Este proceso se denomina *unwrapping* y para este caso se utilizó el programa Snaphu.
- f) **Estimación del AOE:** Finalmente, el último paso es estimar el error de la atmósfera y órbita (AOE) de la imagen máster.
- g) **Generación de las series de tiempo:** una vez concluido el procesamiento StaMPS, se exportan los resultados a un archivo formato csv separado por comas. Para la visualización de las series de tiempo, se usó la aplicación Stamps-Visualizer, la cual es una aplicación que se ejecuta en el programa R.

## Resultados

Para facilitar la lectura, los resultados están divididos en bloques: el primero hace referencia a una prueba de sensibilidad del algoritmo, donde se modificaron dos parámetros con el fin de determinar la influencia de estos en los resultados. El siguiente punto, muestra la forma como se estimó la velocidad en LOS de la estación LIMN, única estación GNSS dentro del área de estudio, la cual aporta un valor para identificar un punto de referencia. Finalmente, se muestran los principales resultados del procesamiento.

### Prueba de sensibilidad del algoritmo

En la tabla 1 se muestran los resultados de la prueba de sensibilidad del algoritmo.

**Tabla 1.** Sensibilidad del algoritmo

Parametro	Calculo_1	Calculo_2	Calculo_3	Calculo_4
PS_candidates	929315	929315	636484	636484
PS_selected_initially	523793	495093	512403	486303
PS_after_reestimation_coherence	154447	124982	147187	121375
PS_kept_after_dropping_noisy_pixels	44174	41421	37855	35997
ref_PS_selected	44174	41421	37855	35997

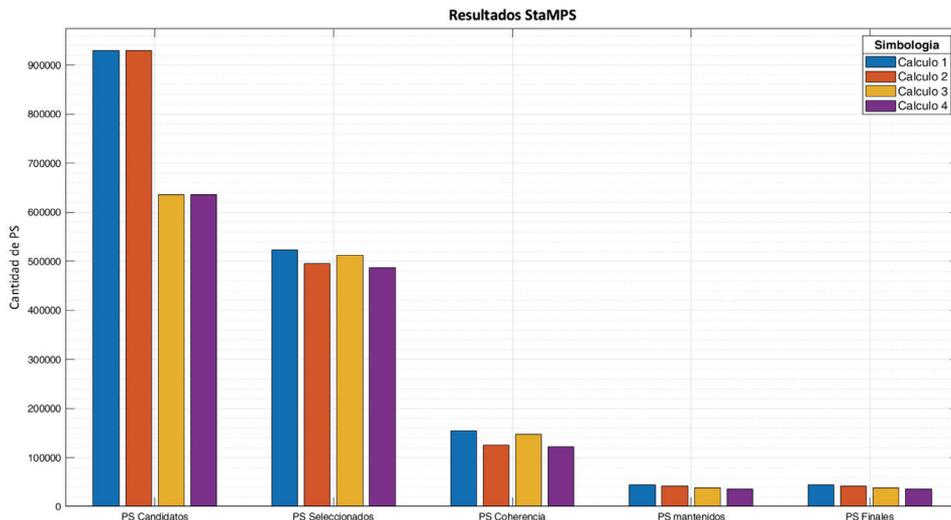
Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 1:

- PS\_candidates* es el número de PS candidatos
- PS\_selected\_initially*: es la cantidad de PS seleccionados luego del paso 2 en StaMPS
- PS\_after\_reestimation\_coherence*: es la cantidad de PS seleccionados luego del paso 3 en StaMPS
- PS\_kept\_after\_dropping\_noisy\_pixels*: es la cantidad de PS seleccionados luego del paso 4 en StaMPS
- ref\_PS\_selected*: es la cantidad de PS seleccionados luego del paso 5 en StaMPS

El Gráfico 1 muestra los resultados de los valores dados en la Tabla 1. Se observa cómo tras cada paso en el procesamiento, la cantidad de PS disminuye.

**Gráfico 1.** Resultados de la prueba de sensibilidad del algoritmo



Fuente: Elaboración propia.

### Estimación de la velocidad en LOS de la estación GNSS LIMN

PSI es un método relativo, por lo que, para la estimación de las velocidades, se le debe indicar al algoritmo un punto el cual se considera estable o al menos del cual se conoce su variación en el tiempo. Para el presente estudio se usó la estación GNSS LIMN, la cual está ubicada en las instalaciones del Banco de Costa Rica en Limón. De esta estación se conoce los componentes de la velocidad (Valverde-Calderón, 2020). La velocidad geocéntrica fue proyectada a LOS aplicando la fórmula dada en (Hanssen, 2001):

$$d_r = d_u \cos(\theta_{inc}) - \sin(\theta_{inc}) \left[ d_n \cos\left(\alpha_h - \frac{3\pi}{2}\right) + d_e \sin\left(\alpha_h - \frac{3\pi}{2}\right) \right]$$

Donde:

dr: velocidad en LOS

du: velocidad en up

de: velocidad en este

dn: velocidad en norte

$\theta_{inc}$ : ángulo de incidencia

$\alpha_h$ : azimut del satélite.

Para el cálculo se usaron los siguientes valores:

- $\theta_{inc} = 33.94^\circ$ , obtenido del archivo `ps1.mat`, generado por StaMPS
- $\alpha = -167.98^\circ$ , obtenido de los metadatos de la imagen master
- Latitud:  $9.9930920^\circ$  N
- Longitud:  $-83.0263684^\circ$  W

Como resultado se obtuvo una velocidad en LOS de  $+3.0290$  mm/yr.

### **Aplicación del método PSI en Limón y estimación de las velocidades en LOS**

Una vez se analizaron los resultados de la prueba de sensibilidad del algoritmo y se estimó la velocidad de la estación LIMN, se procedió a aplicar el método PSI usando el algoritmo StaMPS.

En el cálculo inicial, se trabajó con 30 imágenes, lo que permite la formación de 29 interferogramas. En la Tabla 2 se muestra la información de cada interferograma (identificado con la fecha) en relación con la imagen master:  $B_{perp}$ , que es la magnitud de la línea base perpendicular (según se explicó en el apartado del marco conceptual),  $B_{temp}$ , que es la cantidad de días entre la adquisición de la imagen  $i$  y la imagen master y  $\rho$  que es un estimado de la coherencia entre la imagen  $i$  y la imagen master.

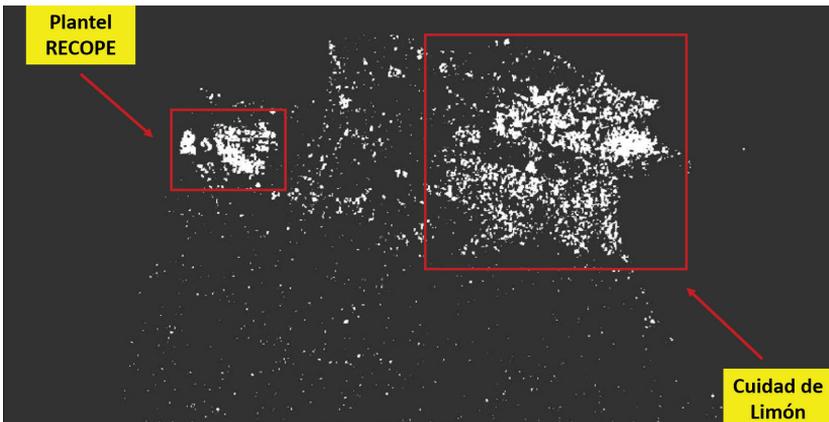
**Tabla 2.** Información de cada interferograma

Fecha	B <sub>perp.</sub> (m)	B <sub>temp.</sub> (días)	$\rho$	Fecha	B <sub>perp.</sub> (m)	B <sub>temp.</sub> (días)	$\rho$
2016-11-23	-35.07	414.0	0.60	2018-02-04	54.37	-24.0	0.93
2017-01-10	47.17	366.0	0.64	2018-02-28	43.28	-48.0	0.92
2017-02-09	67.22	336.0	0.65	2018-03-24	-95.01	-72.0	0.86
2017-03-05	-84.28	312.0	0.66	2018-04-17	-30.24	-96.0	0.89
2017-04-10	72.71	276.0	0.70	2018-05-11	59.16	-120.0	0.85
2017-05-04	78.46	252.0	0.72	2018-06-04	-65.59	-144.0	0.82
2017-05-28	-42.72	228.0	0.76	2018-06-28	20.44	-168.0	0.83
2017-06-21	35.68	204.0	0.79	2018-07-22	11.65	-192.0	0.82
2017-07-15	-24.40	180.0	0.82	2018-08-15	-18.10	-216.0	0.79
2017-08-08	33.20	156.0	0.83	2018-09-08	33.31	-240.0	0.76
2017-09-01	22.50	132.0	0.86	2018-10-02	-33.12	-264.0	0.74
2017-09-25	21.01	108.0	0.88	2018-10-26	14.68	-288.0	0.73
2017-10-19	-11.82	84.0	0.91	2018-11-19	4.37	-312.0	0.71
2017-11-12	-4.82	60.0	0.94	2018-12-13	-62.47	-336.0	0.66
2017-12-06	-54.83	36.0	0.92				

Fuente: Elaboración propia.

La coherencia cambia de píxel a píxel y de interferograma a interferograma, por lo que se generó la banda de coherencia, aplicando un filtro que deje los pixeles con coherencia mayores a 0.6, esto con el fin de identificar interferogramas ruidosos. En la Figura 6 se muestra la banda de coherencia para el interferograma formado con las imágenes del 23 de noviembre de 2016 y el 11 de enero de 2018 (esta es la imagen master).

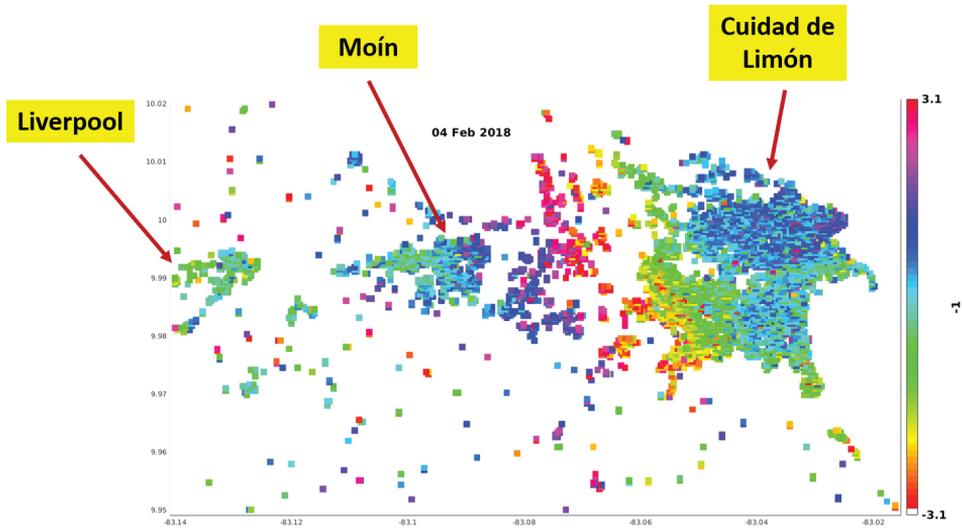
**Figura 6.** Ejemplo de coherencia en el casco urbano de Limón



Fuente: Elaboración propia a partir del procesamiento en el programa SNAP.

Otro de los resultados son los interferogramas. Estos son una representación del cambio de fase entre la imagen usada y la imagen máster. Se llama interferograma enrollado cuando la fase está en el rango de  $-\pi$  a  $+\pi$ . En la figura 7 se muestra un ejemplo de un interferograma enrollado elaborado con las imágenes del 04 de febrero de 2018 y la imagen máster, como se observa en la simbología la escala va de -3.1 a 3.1 siendo estos valores la fase de cada PS.

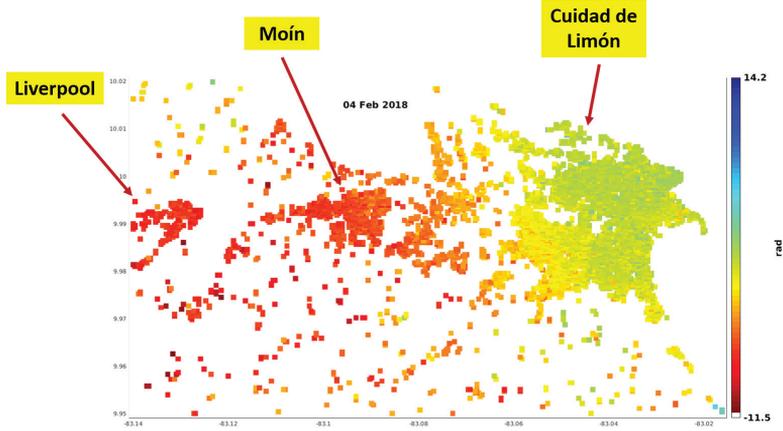
**Figura 7.** Ejemplo de interferograma enrollado



**Fuente:** Elaboración propia a partir del procesamiento en StaMPS.

Se llama interferograma desenrollado cuando la fase está en el rango de  $-n*\pi$  a  $+n*\pi$ , donde  $n$  es un número entero. Este número hace referencia a la cantidad de ciclos completos acumulados. En la Figura 8 se muestra el interferograma desenrollado para las imágenes del 04 de febrero de 2018 y la imagen máster, donde los valores en la escala de colores representan la cantidad de ciclos acumulados para ese PS.

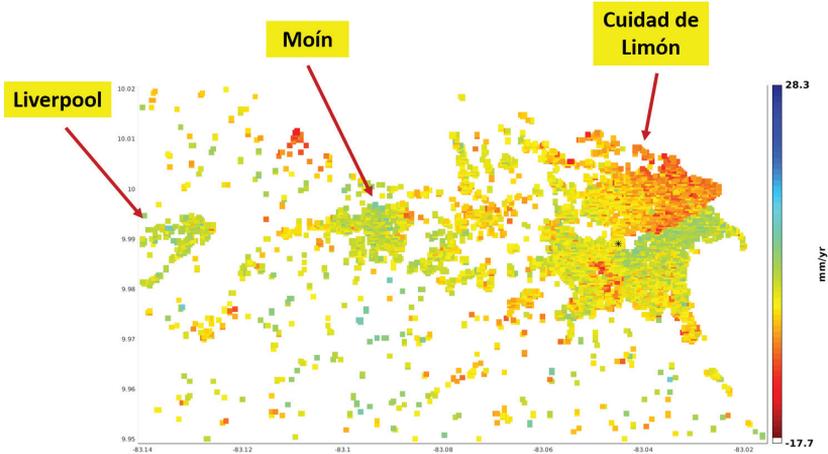
**Figura 8.** Ejemplo de interferograma desarrollado



**Fuente:** Elaboración propia a partir del procesamiento en StaMPS.

Tras aplicar el procesamiento comentado en el marco metodológico, el resultado principal es el mapa que muestra la velocidad en LOS para los PS en el área de trabajo, en milímetros por año (ver Figura 9). De la anterior figura las áreas de interés en tonos amarillos representan velocidades negativas en LOS, mientras que los valores que tienden al azul son velocidades positivas en LOS.

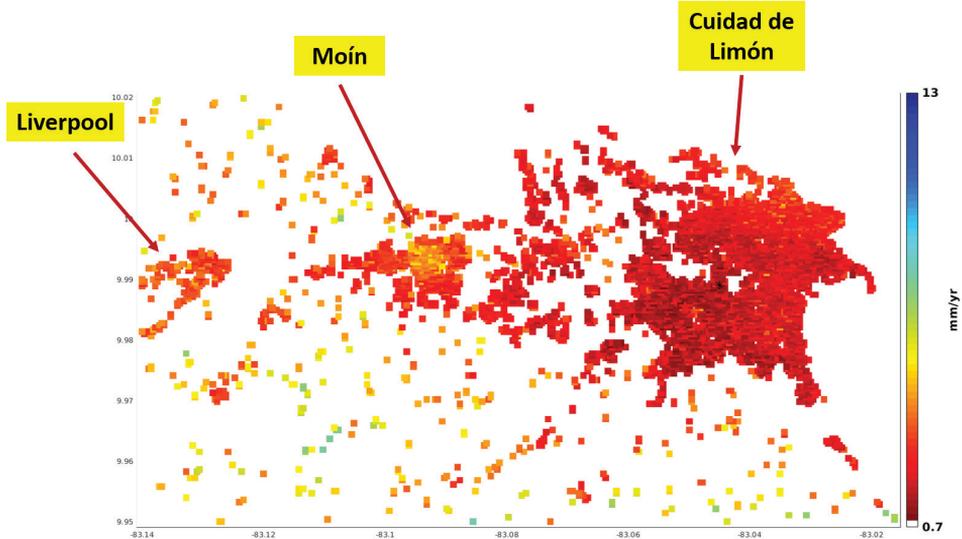
**Figura 9.** Velocidad en LOS



**Fuente:** Elaboración propia a partir del procesamiento en StaMPS.

En la Figura 10 se muestra el error en la velocidad en LOS, también en milímetros por año. En este caso los PS en color rojo son los que tienen menor error y conforme cambia el color hacia los tonos azules el error crece.

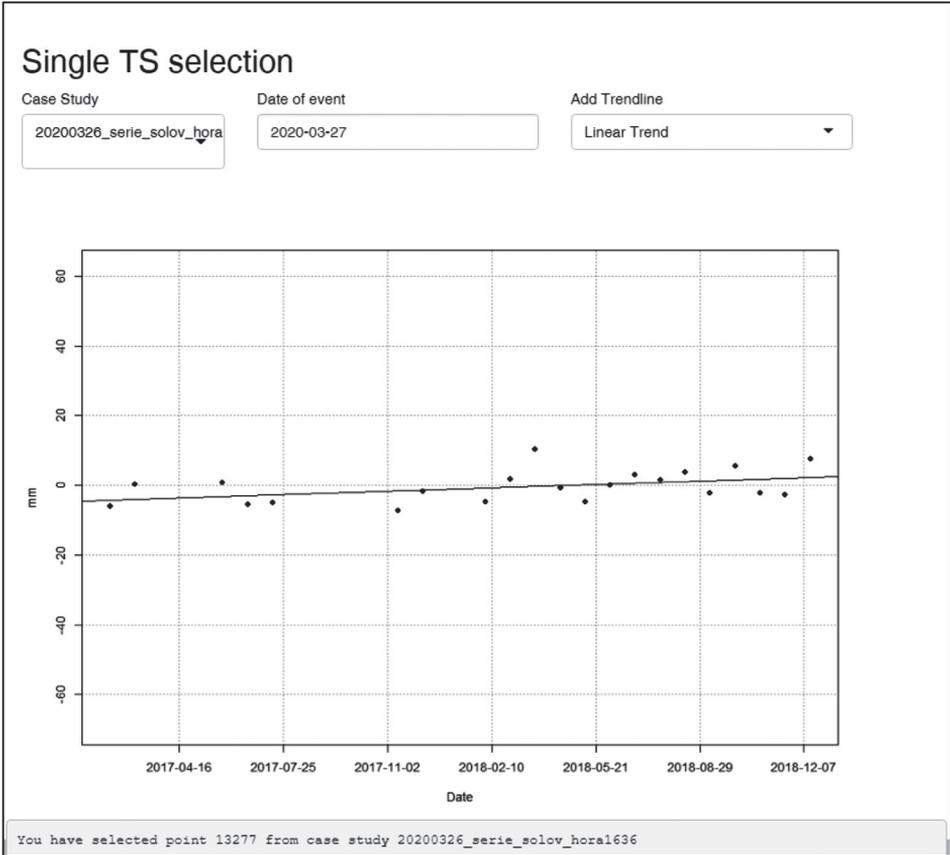
**Figura 10.** Error de la velocidad en LOS



**Fuente:** Elaboración propia a partir del procesamiento en StaMPS.

Finalmente, junto con las velocidades para el área de trabajo, se pueden generar la serie de tiempo para cada PS de interés. En la Figura 11 se muestra un ejemplo de la serie de un PS, generada usando la aplicación StaMPS-Visualizer (Höser, 2018).

**Figura 11.** Ejemplo de serie de tiempo de un PS



**Fuente:** Elaboración propia a partir del uso de la aplicación StaMPS-Visualizer.

### Discusión de resultados

El presente artículo busca compartir la primera experiencia en el país en el uso de imágenes de radar para determinar deformaciones de la superficie. La determinación y el análisis de las deformaciones de la superficie han sido realizados en varios proyectos, como por ejemplo en Valverde-Calderón (2020) pero, se ha limitado al uso de estaciones GNSS, con las limitaciones de estos métodos relacionados con la densidad espacial de las estaciones y la disponibilidad de datos.

Se logró estimar la velocidad en LOS para el área de interés. El rango de velocidades va desde -11 mm/yr hasta +20 mm/yr (recordar que es

la velocidad en LOS, no la velocidad vertical), con errores que van desde los 0.7 mm/yr hasta los 13 mm/yr.

Al inicio se trabajó con 30 imágenes y 29 interferogramas, sin embargo, conforme se fue avanzando en el flujo de trabajo, se fueron descartando los interferogramas con más ruido, por lo que los resultados mostrados son los generados a partir de 22 interferogramas, que cubren el periodo desde el 10 de enero de 2017 hasta el 18 de noviembre de 2018.

Luego del procesamiento, se identificaron las bondades y limitaciones de la técnica. Teóricamente la técnica permite determinar deformaciones de áreas de interés con un gran detalle sin la necesidad de colocar instrumental en la superficie terrestre y con una precisión comparable a los métodos geodésicos disponibles, sin embargo, se hace necesario disponer de información de otras técnicas como los métodos GNSS, a efectos de tener información para la validación de los resultados; en este proyecto se utilizó como estación de referencia la estación LIMN, sin embargo, no se dispone de otras estaciones GNSS para la validación de los resultados, lo que supone un desafío para futuras aplicaciones.

La meta original del proyecto es obtener a partir de la técnica PSI desplazamientos verticales; sin embargo, debido a que solo se procesaron imágenes con órbitas descendentes, solo se pudo estimar la velocidad en LOS. Para futuros trabajos, se debe procesar imágenes de órbita ascendente y descendente y combinar los resultados de estos procesamientos para obtener la velocidad de la deformación de la superficie en el componente altura y en la dirección este – oeste.

En el presente proyecto no se corrigió el efecto la Pantalla de Fase Atmosférica (*Atmospheric Phase Screen* o APS, por sus siglas en inglés). Este efecto consiste en el error que introduce la atmósfera sobre la señal emitida por el satélite y depende del contenido de vapor de agua en la atmósfera. En una segunda etapa del proyecto que dio origen a esta investigación se corregirá dicho efecto.

De acuerdo con Barrantes-Castillo *et al.*, (2019) en el Caribe sur de Costa Rica se presenta un proceso extendido de erosión costera. De acuerdo con estos autores la geodinámica local puede ser una de las causas de este fenómeno al sumarse al ascenso de nivel del mar, similar al que juega en la costa de la Península de Nicoya. En el caso del Caribe Sur, aunque la geodinámica y tectónica de este margen no se corresponde con una zona

de subducción propiamente, no se ha estudiado con el detalle el mecanismo de acumulación de esfuerzos que podrían producir la subsidencia de la costera en los periodos entre grandes sismos que levantan la costa. En este sentido la técnica utilizada puede contribuir en la compresión de la geodinámica local o al menos cuantificar su posible contribución al proceso de erosión costera.

## Conclusiones

Se logró estimar la velocidad en LOS para el área de interés, lo que permite generar una primera aproximación sobre el comportamiento de la superficie terrestre en el área de interés. Sin embargo, debido a que el mayor movimiento de la corteza es en el componente horizontal, no es posible con estos resultados estimar la velocidad en el componente vertical. Para estimar la velocidad vertical, es necesario el combinar resultados de procesamientos donde se usen imágenes con órbita ascendente y descendente (Hu *et al.*, 2014).

A pesar de que la bibliografía recomienda que se debe usar mínimo 20 interferogramas, tras el procesamiento y siendo una posibilidad el tener que descartar información durante el proceso de los datos, se concluye que se debe procesar la mayor cantidad posible de imágenes.

Sin embargo, esto representa un desafío desde el punto de vista computacional, ya que entre más imágenes se usen en el proceso, se requiere de mayor cantidad de recursos, como memoria y espacio en el disco duro. Por ejemplo, para este proyecto se usó una computadora con 16 GB de memoria RAM, cantidad que en algunos procesos resultó ser el valor mínimo de operación, de forma que los cálculos se pudieran realizar.

El uso de estos métodos tiene un potencial para ser usados en Costa Rica, particularmente por la dinámica de la superficie. En este aspecto, la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, junto con la Escuela de Ciencias Geográficas, a través del proyecto FIDA 0433-18 “Erosión costera, geodinámica regional y gobernanza para la gestión del riesgo socioambiental en el Caribe Sur de Costa Rica” aplicarán este método con el fin de generar insumos para el entendimiento del proceso erosivo en el Caribe Sur de Costa Rica.

## Referencias bibliográficas

- Alvarado, G. & Cárdenas, G. (2016). Chapter 3 Geology, Tectonics, and Geomorphology of Costa Rica: A Natural History Approach. En M. Kappelle, *Costa Rican Ecosystems* (p. 744). London.
- Balzter, H. (2001). Forest mapping and monitoring with interferometric synthetic aperture radar (InSAR). *Progress in physical geography*, 25(2), pp. 159-177.
- Barrantes-Castillo, G., Arozarena-Llopis, I., Sandoval-Murillo, L. F., & Valverde-Calderón, J. F. (2019). Playas críticas por erosión costera en el caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005-2016. *Revista Geográfica de América Central*, 1(64), pp. 95-122. <https://doi.org/10.15359/rgac.64-1.4>
- Campbell, J. B. & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press. Chicago Press.
- Cho, B. L., Kong, Y. K., Park, H. G., & Kim, Y. S. (2006). Automobile-based SAR/InSAR system for ground experiments. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(3), pp. 401-405.
- Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthery, N., & Crippa, B. (2016). Persistent scatterer interferometry: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, pp. 78-89.
- Delgado-Blasco, J. M., Foumelis, M., Stewart, C., & Hooper, A. (2019). Measuring urban subsidence in the rome metropolitan area (italy) with sentinel-1 snap-stamps persistent scatterer interferometry. *Remote Sensing*, 11(2), p. 129. <https://doi.org/10.3390/rs11020129>
- Denyer, P., Arias, O., & Personius, S. (1994). Efectos tectonicos del terremoto de Limon, Costa Rica. *Rev. Geol. Amer. Central, Volumen especial*, pp. 39-52.
- Haghighi, M., & Motagh, M. (2017). Sentinel-1 InSAR over Germany: Large-scale interferometry, atmospheric effects, and ground deformation mapping. *ZfV: Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 2017(4), 245-256.
- Hanssen, R.F. (2001). *Radar interferometry: data interpretation and error analysis* (Vol.2). Springer Science & Business Media.
- Homer, J., Longstaff, I. D., & Callaghan, G. (1996). High resolution 3-D SAR via multi-baseline interferometry. In *IGARSS'96. 1996*

- International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Vol. 1, pp. 796-798). IEEE.
- Hooper, A. (2010). A statistical-cost approach to unwrapping the phase of InSAR time series. In *Proceedings of the International Workshop on ERS SAR Interferometry, Frascati, Italy* (Vol. 30).
- Hooper, A., Bekaert, D., & Spaans, K. (2010). StaMPS/MTI manual. *Delft Institute of Earth Observation and Space Systems Delft University of Technology, Kluyverweg, 1*, p. 2629.
- Hooper, A., Segall, P., & Zebker, H. (2007). Persistent scatterer InSAR for crustal deformation analysis, with application to Volcán Alcedo, Galápagos. *Journal of Geophysical Research*, 112(B07407), p. 19.
- Höser, Thorsten. (2018). *Analysing the Capabilities and Limitations of InSAR using Sentinel-1 Data for Landslide Detection and Monitoring*. <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.35085.59362>
- Hu, J., Li, Z. W., Ding, X. L., Zhu, J. J., Zhang, L., & Sun, Q. (2014). Resolving three-dimensional surface displacements from InSAR measurements: A review. *Earth-Science Reviews*, 133, pp. 1-17.
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (2017). *Clima de Costa Rica: el clima y las regiones climáticas de Costa Rica*. Recuperado el 07 de noviembre de 2017, de Instituto Meteorológico Nacional: <https://www.imn.ac.cr>
- Kampes, B. M. (2005). *Displacement Parameter Estimation using Permanent Scatterer Interferometry*, Ph.D. thesis, Delft University of Technology.
- Kerle, N., Janssen, L. L., & Huurneman, G. C. (2004). Principles of remote sensing. *ITC, Educational textbook series*, 2, p. 250.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. [MIDEPLAN]. (2018). *Área de Análisis del Desarrollo. Índice de desarrollo social 2017 / Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica*. -- San José, CR: MIDEPLAN, 2018.
- Montero, W., Pardo, M., Ponce, L., Rojas, W., & Fernández, M. (1994). Evento principal y replicas importantes del terremoto de Limón. *Revista Geológica de América Central. Vol. espec. Terremoto de Limón*, pp. 93-102.
- Morera-Beita, C. & Miranda-Álvarez, P. (2016). De la geografía del turismo al análisis territorial del turismo: el rastro en Costa Rica.

*Revista Geográfica de América Central*, 1(54), 15-43. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-54.1>

- Municipalidad de Limón. (2019). *Municipalidad del Cantón Central de Limón*. Obtenido de Historia: <http://www.municlimon.go.cr/index.php/mn-conozcanos/mn-micanton/mn-historiacanton>
- NASA. (2014). EcoSAR. Recuperado el 29 de Enero de 2019, de <https://ecosar.gsfc.nasa.gov/campaigns/costa-rica>
- Osmanoğlu, B., Dixon, T. H., Wdowinski, S., Cabral-Cano, E., & Jiang, Y. (2011). Mexico City subsidence observed with persistent scatterer InSAR. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(1), pp. 1-12.
- Sajinkumar, K. S., Bincy, H. S., Bouali, E. H., Oommen, T., Vishnu, C. L., Anilkumar, Y. & Keerthy, S. (2020). Picturing beach erosion and deposition trends using PSInSAR: an example from the non-barred southern west coast of India. *Wetlands Ecology and Management*, pp. 1-14.
- Samieie-Esfahany, S., Hanssen, R., van Thienen-Visser, K., & Munten-dam-Bos, A. (2009). On the effect of horizontal deformation on InSAR subsidence estimates. In *Proceedings of the Fringe 2009 Workshop, Frascati, Italy* (Vol. 30).
- Smith, L. C. (2002). Emerging applications of interferometric synthetic aperture radar (InSAR) in geomorphology and hydrology. *Annals of the Association of American Geographers*, 92(3), pp. 385-398.
- Soergel, U. (2010). Review of radar remote sensing on urban areas. In *Radar remote sensing of urban areas*. Springer, Dordrecht, pp. 1-47.
- Trejos, B. & Chiang, L. H. N. (2009). Local economic linkages to community based tourism in rural Costa Rica. *Singapore journal of tropical geography*, 30(3), pp. 373-387.
- U.S. Geological Survey. (2019). *USGS science for a changing world*. Obtenido de Mapping, Remote Sensing, and Geospatial Data: [https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products)
- Uys, Duan. (2016). *InSAR: an introduction*. Preview. 182, 43-48 <https://doi.org/10.1071/PVv2016n182p43>

- Valverde-Calderón, J. (2020). Estudio del efecto de un terremoto sobre un marco geodésico de referencia. *Uniciencia*, 34 (1), 1-2019, pp. 1-19. <http://dx.doi.org/10.15359/ru.34-1.1>
- Yhokha, A., Goswami, P.K., Chang, CP. *et al.* (2018). Application of Persistent Scatterer Interferometry (PSI) in monitoring slope movements in Nainital, Uttarakhand Lesser Himalaya, India. *J Earth Syst Sci* 127, 6 <https://doi.org/10.1007/s12040-017-0907-y>
- Zebker, H., & Villasenor, J. (1992). Decorrelation in interferometric radar echoes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 30 (5), pp. 950-959.





## Interpretación geológica de las leyendas del cerro o volcán Santa Lucía al oeste del valle de Ujarrás, Paraíso, Cartago, Costa Rica y su relación con los elementos particulares de su contexto fisiográfico

Geological interpretation of the folk legends of the Santa Lucía peak/volcano west of the Ujarrás Valley, Paraíso, Cartago, Costa Rica, and its relationship with particular elements of its physiographic context

*Iván J. Sanabria-Coto<sup>1</sup>*

*Investigador independiente, Costa Rica*

*Maureen A. Bonilla-Hidalgo<sup>2</sup>*

*Instituto Costarricense de Electricidad, Costa Rica*

### Resumen

El área de estudio de esta investigación se ubica a 4 km al SE de la ciudad de Paraíso de Cartago y al oeste del Valle de Ujarrás, el objetivo fue el de proponer una interpretación geológica acerca de las leyendas recabadas en el libro de Prado (1921), denominado: “Nuestra Señora de la Virgen de Ujarrás” vinculadas con la aparente existencia y actividad del supuesto cerro o volcán Santa Lucía, también llamado: El Picacho. Para lo anterior fue necesario, inicialmente, una compilación de información histórica, y una recolección, en campo de evidencias particulares del contexto fisiográfico asociado; posteriormente se procedió a una análisis e integración de los resultados de las muestras recolectadas en campo; así como de los insumos geoespaciales necesarios para la confección de

1 Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Licenciado en Geología de la Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: [isanac81@gmail.com](mailto:isanac81@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-8281-298X>

2 Licenciada en Geología de la Universidad de Costa Rica. Centro de Servicio Exploración Subterránea del Instituto Costarricense de Electricidad. Correo electrónico: [MBonillaH@ice.go.cr](mailto:MBonillaH@ice.go.cr)  <https://orcid.org/0000-0003-0680-626X>

los resultados. Se concluye que el tectonismo identificado en el área y sus posibles interacciones naturales permiten sustentar una interpretación geológica, de carácter no volcánico, sobre el posible origen de las leyendas vinculadas con el supuesto cerro o volcán Santa Lucía en el valle de Ujarrás.

**Palabras Clave:** volcán, cerro, Santa Lucía, Ujarrás, Costa Rica.

### **Abstract**

The study area of the present investigation is located 4 km southeast of the city of Paraíso, de Cartago and west of the Ujarrás Valley, the objective was to propose a geological interpretation of the folk legends collected in Prado's book *Nuestra Señora de la Virgen de Ujarrás* (1921) (translated as *Our Lady of the Virgin of Ujarrás*) linked to the alleged existence and activity of a peak or volcano known as *Santa Lucía* or *El Picacho*. For this endeavor, it was initially necessary to perform a compilation of historical information as well as field collection of particular evidence of the associated physiographic context; next, field collected data and geospatial inputs were analyzed and integrated for the preparation of results. From the identified tectonism in the immediate geographical area and its possible natural interactions, it is feasible to support an assertive geological interpretation, of non-volcanic nature, regarding the origin of the folk legends in connection to the alleged existence of the *Santa Lucía* peak/volcano in the Ujarrás Valley.

**Keywords:** Santa Lucia peak/volcano; Ujarrás; Costa Rica.

## **Introducción**

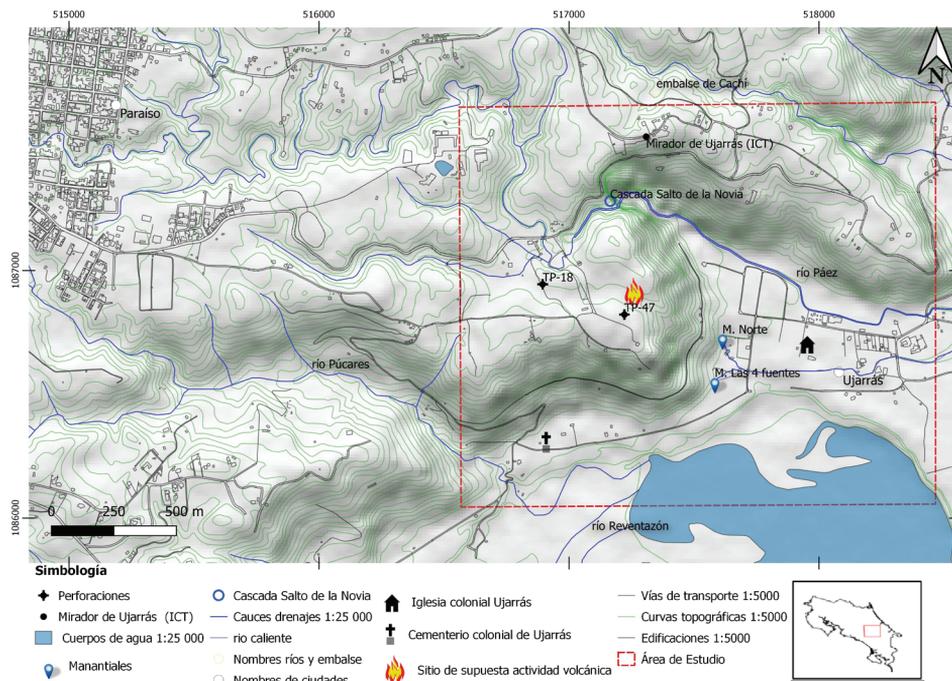
El presente trabajo se basa en una interpretación geológica de una serie de narraciones asociadas con las leyendas descritas por Prado (1921), sobre la existencia del cerro o volcán Santa Lucía, al oeste del valle de Ujarrás, Paraíso, Cartago y de su correlación con los elementos particulares que componen su contexto fisiográfico.

Las narraciones señalan el desarrollo de una serie de aparentes sucesos de origen natural, el mayor vinculado con una supuesta actividad volcánica; lo anterior, cuando la Villa de Ujarrás era un centro colonial ubicado al este de la ciudad de Cartago, dándose su traslado en el año 1832 a la Villa del Paraíso (ciudad de Paraíso). Seguidamente, se detallan los resultados de la compilación de la información, integración, análisis e interpretación geológica derivada de esta investigación.

## **Área de estudio**

La zona de interés se localiza a 4 kilómetros al SE de Paraíso, Cartago (Figura 1), al oeste del antiguo emplazamiento colonial de la Villa de Ujarrás dentro del valle que preserva el mismo nombre.

**Figura 1.** Área de interés ligada al supuesto cerro o volcán Santa Lucía, al SE del distrito central de Paraíso de Cartago y al extremo oeste del valle y poblado de Ujarrás.



Fuentes: JAXA (2011), SNIT (2020) y elaboración propia.

## Características generales

### Elementos geográficos e históricos importantes sobre la población de Ujarrás

Para Valenzuela (2011): “El valor geográfico de las leyendas no sólo consiste en que forman parte de la cultura, sino que la mayoría de las narraciones ocurren en un espacio localizable, como también son localizables algunas referencias naturales (ríos, montañas, lagos) o sociales (iglesias, plazas, calles), (...) a través de las leyendas mitológicas se explica el origen de los fenómenos naturales o de la formación del relieve, de los mares o de la flora y la fauna” (Valenzuela, 2011, pag.8).

Geográficamente el denominado cerro o volcán Santa Lucía por Prado (1921) y por una parte de los lugareños, se encuentra vinculado con un

fuerte contraste topográfico propio del límite geográfico al oeste, noroeste y norte franco del valle de Ujarrás (Figura. 1).

De acuerdo con Mora (1998), durante las décadas de 1560 y 1570 se fundaron en la parte oriental del graben central del país: la ciudad de Cartago y las doctrinas indígenas de Cot, Quircot, Tobosi, Orosi, y Ujarrás; donde el plan estratégico era agrupar población indígena alrededor de un centro de dominación española, la fundación de Ujarrás, como otros pueblos indígenas, también para Mora (1998) implicaba la coexistencia de un cura doctrinero y de un colonizador español, con lo cual en 1568 se asignó el repartimiento al Sargento Mayor Francisco Destrada para la jurisdicción del “*valle de Ujarraci*”.

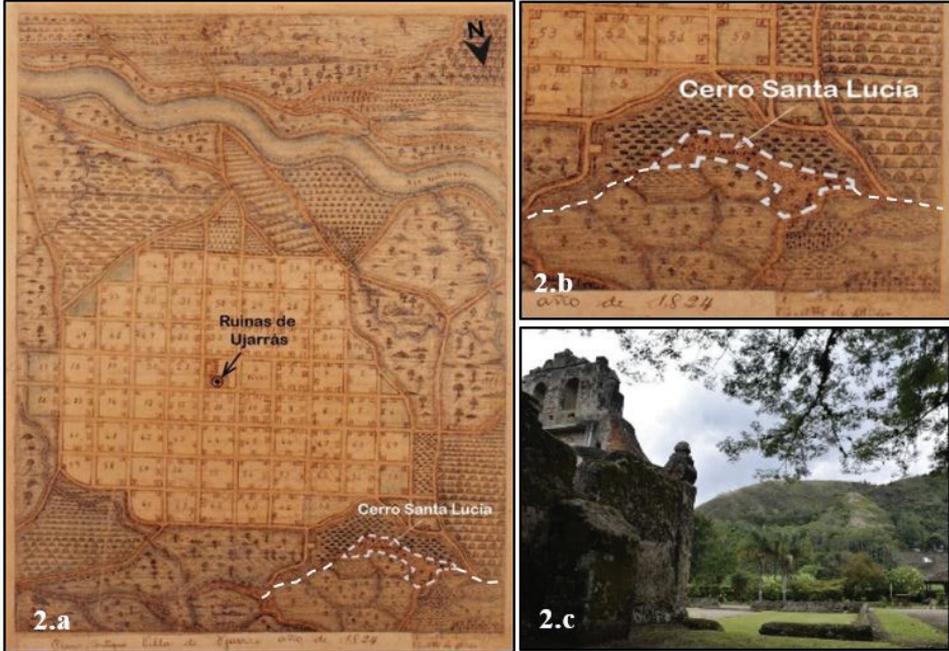
Adicionalmente según Mora (1998), esta ubicación geográfica de Ujarrás determinaba que se trataba de un sector intermedio entre el territorio de dominio español, que abarcaba desde Cartago hasta los márgenes del río Reventazón y las partes inferiores de la cordillera Talamanca que desde entonces ha permanecido bajo el dominio indígena hasta la actualidad.

Por otra parte, para Bolaños *et al.*, (1993) el asentamiento colonial de Ujarrás se dio a partir del año 1570, tiempo en que los españoles forzaron a los naturales a quedarse allí fundándose allí la parroquia de Ujarrás. Por su parte Campos & Orozco (2011), indican que dentro de la llamada Villa de Ujarrás los frailes franciscanos que vivían y trabajaban lograron establecer de forma “permanente” una misión religiosa para controlar a la población indígena existente en la zona a la llegada de los europeos.

También Campos & Orozco (2011) indican que en el cuadrante central estaba la plaza que a la vez servía de mercado, en dirección este se encontraba la ermita, mientras que en dirección norte se localizaba la representación del gobierno español.

En la figura 2.a se aprecia un bosquejo cartográfico de Archivo Nacional de Costa Rica (ANCR), (2020) basado en el álbum de Figueroa de 1824, el cual muestra la aparente distribución de la antigua población del valle de Ujarrás, donde se incluye la existencia del supuesto cerro o volcán Santa Lucía (Figura 2.b). Por otra parte, hoy en día todavía conservan restos coloniales como el cementerio y las ruinas de la iglesia de la Virgen de Ujarrás construida, según Benavides (1999), entre 1680 y 1683 por el gobernador Miguel Gómez de Lara, siendo esta parte del patrimonio histórico costarricense (Figura 2.c).

**Figura 2.** Bosquejo cartográfico de la Villa de Ujarrás en 1824 (2.a), en detalle visualización del supuesto cerro (2.b), y estado actual del templo colonial frente al supuesto cerro/volcán (2.c).



Fuente: ANCR (2020) y fotografía cortesía de Melina Sanabria.

Campos & Orozco (2011), señalan que las características históricas y socio productivas en el valle de Ujarrás eran de una situación económica de pobreza casi generalizada, a pesar de existir personas con poder adquisitivo notable; sin embargo, la población de Ujarrás jugaba un papel importante, inclusive como un fortín oriental de la colonia española ya que desde allí se organizaron diversas campañas hacia la región de Talamanca.

Finalmente, Campos & Orozco (2011) agregan que Ujarrás servía de defensa contra invasiones de piratas y zambos mosquitos hasta que posteriormente se dio el traslado de una buena parte de su población al actual Paraíso en el año 1832.

## Marco teórico-conceptual

### Valor geográfico y descripciones de las narraciones en la leyenda del cerro o volcán Santa Lucía

Según la clasificación de Valenzuela (2011), las narraciones en la leyendas de Prado (1921), se pueden relacionar, mayoritariamente, con el tipo de leyendas de fenómenos y sucesos, donde esta categoría: *proporciona o brinda una interpretación sobre diversos fenómenos astrales, celestes o naturales: eclipses, sucesión del día y la noche, cambio de estaciones, auroras boreales, tempestades, truenos, huracanes, erupciones volcánicas, sismos, inundaciones, entre otros* (Valenzuela, 2011, p.12). Como parte de lo anterior se exponen, textualmente, los aspectos más importantes de las leyendas de Prado (1921), a continuación:

*Terminando el valle de Ujarrás, hacia el oeste, se levanta un Cerro de poca vegetación y un tanto precipitado. Ese Cerro que aún hoy en día tiene en agitación constante la imaginación de los vecinos, los cuales afirman que para los terremotos de 1910, las fuentes que nacen en sus faldas corrían blancas como leche, y que, tanto antes como después de los terremotos, el Cerro, cuando menos piensa, se pone a bailar; tiene, pues, hacia la cumbre, un enorme hueco o concavidad, en el cual, si se echa a rodar una piedra, se oye por largo rato el ruido que hace al caer el ruido que va debilitándose poco a poco hasta escucharse como un eco muy lejano, que se pierde sin causar fondo alguno* (Prado, 1921, p.17).

Este aspecto morfológico de una concavidad existente en la cumbre y de una profundidad desconocida también es mencionado en las narraciones, de algunas personas de la tercera edad, en el cantón de Paraíso; adicionalmente se indica que: *El Cerro viene a ser como la última depresión, por ese lado, del gran macizo cuya cúspide domina el Irazú. (...) también me decían con cierta malicia un viejo descendiente de Ujarrás que me contó la historia en una de mis vistas a las pintorescas ruinas (...) que una mañana, cuando el Padre Guardián terminaba el santo sacrificio de la misa, al volverse al pueblo para dar la bendición, vio que el Cerro que esta frente a frente de una derruida iglesia, se alcanzaba en llamas (...) Muchos ujarraceños habían visto las llamas. Pronto estuvieron lo más con el Padre Cura. A medida que aumentaba el fuego, aumentaba el temor en las sencillas gentes. El Padre Guardián trato de tranquilizarlas, sin conseguirlo, proponiéndoles, entonces, subir con ellos al Cerro para bautizarlo,*

*pues estaba sin cristianizar y no cabía duda de que a esto se debía su furor (Prado, 1921, p.17).*

Además, sobre el nombre de volcán Santa Lucía, la narración señala que:

*Se acercaron lo más que pudieron a las llamaradas (...) el Padre bendijo el Cerro en todas sus direcciones, empezando por el lugar de la erupción que roció bastante con agua bendita. En estos momentos el Cerro empezó a temblar que daba miedo y, tragándose las llamas reventó en cuatro fuentes. El Cerro, que también llaman volcán, recibió el nombre de Santa Lucía, porque en tal día se celebraba la fiesta de esta santa (Prado, 1921, p.17).*

Un aspecto de mucho interés está asociado con las características físicas o de carácter organoléptico asociadas con las aguas manantiales ubicados en la base del supuesto cerro o volcán: *Las fuentes son las quebradas de Ujarrás, llamadas también aguas calientes, aunque el agua que arrastra es fría, pero según el pensar de los vecinos, “son calientes al estómago” hacen daño según unos, y son medicinales según el sentir de otros. Yo las he tomado, son pesadas; el sabor que dan es amarroso, posiblemente deben contener mucho mineral. Son aguas cristalinas, pero son raras y contados los vecinos que toman de ellas por el miedo que les tienen (Prado, 1921, pp.17-18).*

Adicionalmente Quirós (1981) señala que: *“Chismosos y malas lenguas, decían que don Lorenzo había muerto de que ella, por celos, le dio a beber agua de “Las Cuatro Fuentes”. Al pie del cerro desde el cual cae una catarata, brotan en diferentes lugares “Las Cuatro Fuentes”, cuyas aguas, según los vecinos, son frías pero cálidas, porque, aunque, heladas, son calientes al estómago de quien las toma; y recogidas a cierta hora y de cierta manera, las aguas de Las Cuatro Fuentes resultan veneno mortal” (Quirós, 1981, p.26).*

Para finalizar hay un dato histórico/geográfico particular expuesto por Benavides (1999), acerca de las acciones políticas y aparentes problemas que justificaron el proceso de traslado de la Villa de Ujarrás a la Villa del Paraíso en 1832, el cual se refiere a lo siguiente: *“ En el planteamiento del ejecutivo hay un dato nuevo que no se ha podido averiguar su procedencia ni cuál fue la fuente que lo respalda, pero ese dato sirvió como base para decir que el problema era causado por gases sulfúreos producidos*

*por la no ventilación y por encontrarse la villa entre minerales. Lo que sí se aprecia es que fue un argumento contundente durante el proceso” (Benavides, 1999, p.159).*

No obstante, se debe prestar atención en lo indicado por Benavides (1999), sobre las intenciones del traslado de los actores político/económicas de entonces, al señalar que “*Para lograrlo manipularon la realidad acerca de los sucesos en Ujarrás y sobre las cualidades de los nuevos terrenos a que fueron trasladados” (Benavides, 1999, p.18).*

### **Marco metodológico**

El marco metodológico de la presente investigación comprendió en una primera etapa lo siguiente:

- Recopilación de insumos de percepción remota sobre la ubicación de caminos y senderos públicos para realizar el eventual trabajo de campo. Seguidamente se procedió al levantamiento de cortes del terreno con exposición de materiales geológicos en caminos, taludes naturales en ríos y quebradas con fines de observación y descripción de afloramientos de sedimentos y rocas.
- Posteriormente con la toma de muestras, para descripción macroscópica de campo, de rocas y sedimentos, así como de muestras para análisis de laboratorio (petrografía) usando varios senderos públicos de descenso al valle. Los cuales atraviesan toda el área geográfica de interés, para esto se dispuso a realizar un trayecto de campo (sendero A-Z), usando dos senderos públicos conocidos como: *Del Picacho* que desciende al valle y de la “La Palma” que comunica nuevamente la base del valle con el relieve superior hacia la ruta N° 224, que es la actual carretera a Ujarrás.
- Además, mediante botellas de polietileno de 500 ml de alta densidad (HDPE), se dio la recolección de muestras de las aguas presentes en los manantiales ubicados en la base de supuesto cerro o volcán para efectos del estudio químico de laboratorio de sus iones mayoritarios principalmente como parte del proyecto de investigación en geotermia del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) durante los años 2007 a 2014.

- Luego se realizó la caracterización fisicoquímica del agua de los manantiales, *in situ*, por medio de la medición de su temperatura, grado de acidez (pH) y conductividad eléctrica, para tal efecto se utilizó un instrumento multiparamétrico portátil modelo WTW pH/Cond 340i, con un porcentaje de exactitud de  $\pm 0.5$  %.
- Por último, con los resultados del reporte de los iones mayoritarios en las aguas de los manantiales se procedió al uso de plantillas electrónicas tal como la denominada como “*Liquid chemistry plotting spreadsheet versión 1*”, realizada por Powell & Cumming (2010) y softwares libres para el procesamiento hidrogeoquímico como que es un software de uso libre, como “*EASY\_QUIM v.5.0*” creado por Vázquez & Serrano (2012).

En una segunda etapa se desarrolló una revisión exhaustiva de datos históricos asociados con el área geográfica de interés, los cuales pudieran brindar fundamentos históricos sobre detalles explícitos y adicionales a lo publicado por Prado (1921), en los registros históricos de las siguientes instituciones: Archivo Nacional de Costa Rica (ANCR), Biblioteca Nacional de Costa Rica, Biblioteca Municipal de Paraíso, Biblioteca Carlos Monge Alfaro de la Universidad de Costa Rica (UCR) y Biblioteca Luis Demetrio Tinoco de la UCR.

Sin embargo, cabe destacar que la obtención de información histórica sobre los supuestos sucesos naturales fue muy escasa a nula, este aspecto es reforzado por Brenes (2018), al señalar que la obra de Prado (1921), se concentra en la historia de la imagen de la Virgen de Ujarrás, las leyendas y milagros atribuidos, sin embargo, no se problematiza acerca de los datos que presenta ni indica sus fuentes para sustentar la información que expone.

Así mismo el historiador M. Benavides indica que: “las fuentes históricas que quedan sobre Ujarrás y Paraíso de la primera mitad del siglo XIX hacia atrás están muy dispersas, y el problema del pueblo de Ujarrás es que no tiene continuidad histórica a nivel demográfico, pues la población original desapareció por la viruela a finales del siglo XVII” (comunicación personal, 23 de junio, 2020).

Por estas razones, es que no se aportan mayores detalles históricos que puedan dar registro de tales eventos señalados en las narraciones de

Prado (1921) o que directamente describan la relación entre la población y el denominado cerro/volcán Santa Lucía. Finalmente, en una tercera etapa se procedió con la recolección, clasificación y análisis de insumos de percepción remota la cual incluye:

- La búsqueda y compilación de información geoespacial, formato ráster y vectorial, en repositorios tanto nacionales como internacionales y la recopilación de estudios tectónicos asociados al fallamiento tectónico comprobado y/o inferido. Además de la revisión de estudios geológicos/geomorfológicos y compra de información de pozos de agua (TP-47) en el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA).
- Finalizado todo lo anterior, se procedió a la etapa final de integración sistemática de la información geoespacial usando el software libre en Sistemas de Información Geográfica denominado como: QGIS, para su respectivo análisis y consecuente confección los resultados, discusión y conclusiones obtenidas dentro de la presente investigación.

## Resultados

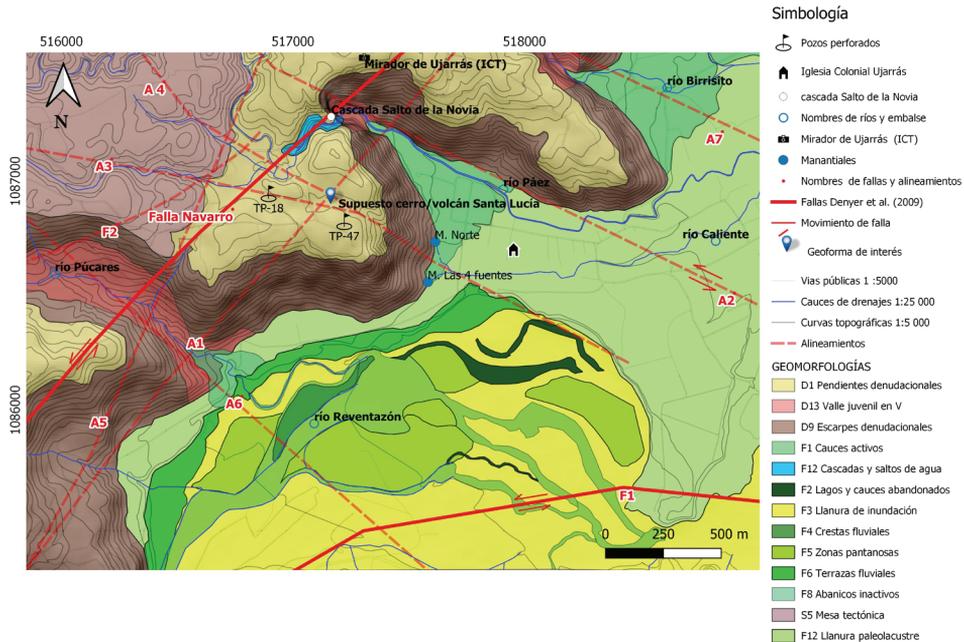
### Principales características geomorfológicas y tectónicas del área de interés

El área de estudio presenta una fuerte geodinámica interna y externa que es reflejada por diferentes evidencias geomorfológicas de origen volcánico y tectónicas (Figura 3).

La clasificación de las principales características geomorfológicas del área, están basadas en Zuidam (1986), ligadas principalmente con el control estructural o fallamiento tectónico local del relieve, también con el resultado de geformas producto de una actividad volcánica, de un origen muy distal, tal como Sojo et al., (2017) y por Krushensky (1972) describen y con aspectos geomorfológicos observados por Bergoing & Malavassi (1981a, b).

Adicionalmente en el área de estudio se evidencian fuertes procesos de erosión y sedimentación como resultado de la hidrodinámica fluvial local activa (F1) en el contraste de los relieves topográficos, mismos que son mayormente representados por el río Reventazón en su tránsito sobre la planicie de inundación que lleva al embalse de Cachí. También por la

**Figura 3.** Mapa geomorfológico asociado con el área de interés



**Fuentes:** Bergoeing & Malavassi (1981a, b), Denyer et al. (2009) JAXA (2011), Sojo et al. (2017), SNIT (2020) y elaboración propia.

formación de terrazas fluviales producto en parte del socavamiento de la llanura superior paleo-lacustre (F13), que existió en el valle, así como de la presencia de zonas pantanosas (F5), lagos y cauces abandonados (F2), así como crestas fluviales (F4) observables en la figura 3.

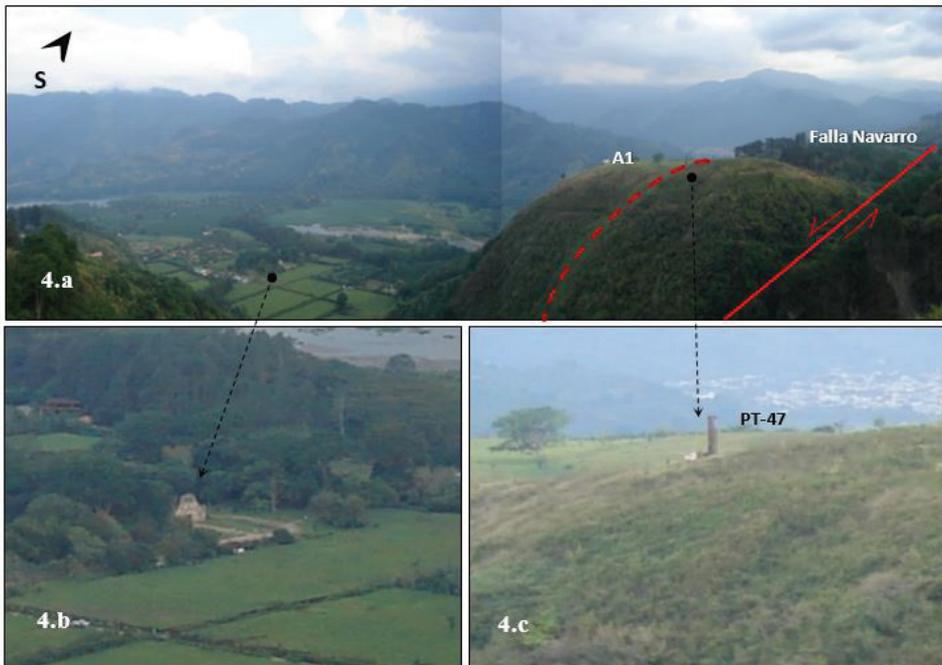
Los procesos erosivos/sedimentarios se relacionan también con las geomorfologías propias de los ríos Púcares, Páez y Birrisito caracterizados por estrechos valles juveniles, en forma de V, con sus respectivos alineamientos: A6, A2 y A7, además de la presencia de cascadas de agua (F12) como la cascada Salto de la Novia, y sus consecuentes abanicos coluviales actualmente inactivos (F8) como parte de la transición del relieve hacia el fondo del valle (Figura.3).

Debido a todo lo anterior, la geoforma aislada mencionada en las leyendas de Prado (1921), ha sido confundida con una morfología de un aparente cerro o cono volcánico (Figura.1), la cual realmente en la figura 3, se visualiza como un relieve caracterizado por pendientes y escarpes denudaciones: D1 y

D9 respectivamente, asociados directamente por Krushensky (1972) con la unidad superior de la formación geológica Reventado.

El evidente escarpe denudacional (D9), el cual conforma un alto porcentaje de la aparente geoforma cónica del cerro/volcán Santa Lucía, se encuentra asociado con un frente de rocas de lava volcánica que se levantan casi 200 m desde del fondo del valle; conservando una homogeneidad e integridad lateral de la pendiente, fuera de la aparente geoforma, al suroeste, noroeste y al norte del valle de Ujarrás (Figuras 3 y 4.a).

**Figura 4.** Alineamiento tectónico A1 y la traza de la falla Navarro (F.N) en el aparente cerro/volcán Santa Lucía (4.a), ubicación de las ruinas del templo colonial de Ujarrás (4.b) y la perforación del pozo PT-47 durante el año 2010 (4.c).



Fuente: Elaboración propia.

La morfología D9, presenta un fuerte contraste de topográfico superior del escarpe respecto tanto a la llanura paleo-lacustre (antiguo lago) y a la planicie de inundación actualmente activa estando asociada con el

patrón meándrico del río Reventazón en su paso a el embalse de Cachí como se aprecia en la figura 3.

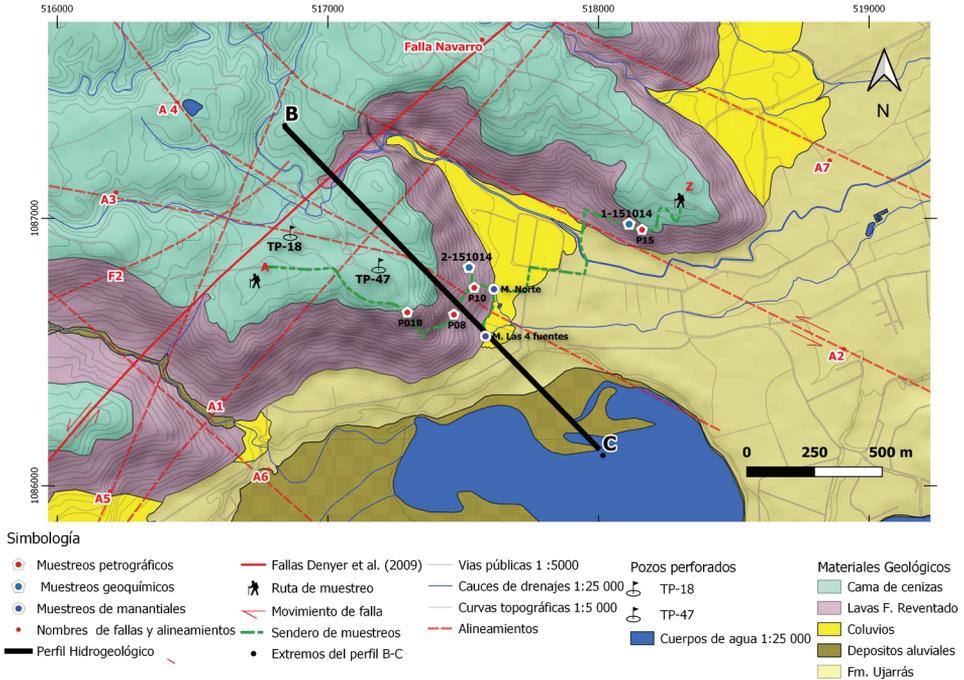
Cabe destacar que esta morfología D9 es afectada por posibles fallas tectónicas que se presentan como alineamientos topográficos del relieve (A5, A1 y F2), con rumbos: noreste/suroeste, siendo el más importante el asociado con la traza de la falla Navarro (F.N) o también denominado Sistema de Fallas Navarro (Montero *et al.*, 2016). Estos alineamientos están caracterizados por fuertes disectaciones del terreno, que han sido potenciados por la meteorización y continua erosión.

Adicionalmente con una orientación casi perpendicular se encuentran los alineamientos tectónicos: A6 y A2 con direcciones: sureste/noroeste, los cuales están ligados con los valles juveniles de los ríos Púcares y Páez respectivamente. En definitiva, todos estos elementos geomorfológicos/tectónicos, en su conjunto, propician en el relieve resultante una aparente geoforma aislada que observada desde varios sitios, especialmente del fondo del valle, parece ser de tipo cónica con una depresión cuspidal, derivada de los procesos tectónicos (alineamientos A3 y A4) y erosivos antes mencionados, pero que ha sido erróneamente interpretada como un cráter.

### **Principales características geológicas asociadas con el área de interés**

Como resultado de los estudios de cartografiado, informes geológicos, descripciones de perforaciones de pozos y de los resultados del trabajo de campo (perfil de muestreo A-Z), se logró conformar el siguiente mapa geológico local para el área de estudio (Figura 5) con especial énfasis en el sector del supuesto cerro/volcán Santa Lucía.

**Figura. 5.** Mapa geológico del área de estudio



**Fuente:** Krushensky (1972), Denyer *et al.* (2009), Sojo *et al.*, (2017) y elaboración propia.

En el mapa geológico local de la figura 5, se describen las siguientes formaciones del área de estudio asociada al aparente cerro/volcán Santa Lucía:

- Cenizas café rojizas de la formación Reventado

Estos materiales denominados por Krushensky (1972), como cama de cenizas meteorizadas, son observables dentro de la Figura.5 en la parte superior del denominado cerro o volcán Santa Lucía (Figura. 6.a), siendo caracterizados por cenizas color café/rojiza de texturas medias a gruesa, con espesores métricos no superior a 20 m aprox; las cuales poseen una continuidad geográfica lateral en otros puntos geográficos en la localidad de Paraíso (Dondoli & Torres, 1954, Krushensky; 1972). No obstante, para Sojo *et al.*, (2017) y Sojo (2018) son interpretadas como posibles frentes de meteorización de las lavas subyacentes (Figura.6.b) propias de la

formación Reventado (Miembro Paraíso), denominándolas como: *Capa de Laterita El Rincón*, siendo un término que engloba la ubicación de la localidad tipo y el material (Sojo, 2018).

**Figura 6.** Cenizas rojas en la parte superior del denominado cerro Santa Lucía, al fondo el río Reventazón, (6.a) y las lavas sanas y fracturadas subyacentes que componen gran parte de la aparente geoforma cónica (6.b).



**Fuente:** Elaboración propia durante trabajo de campo.

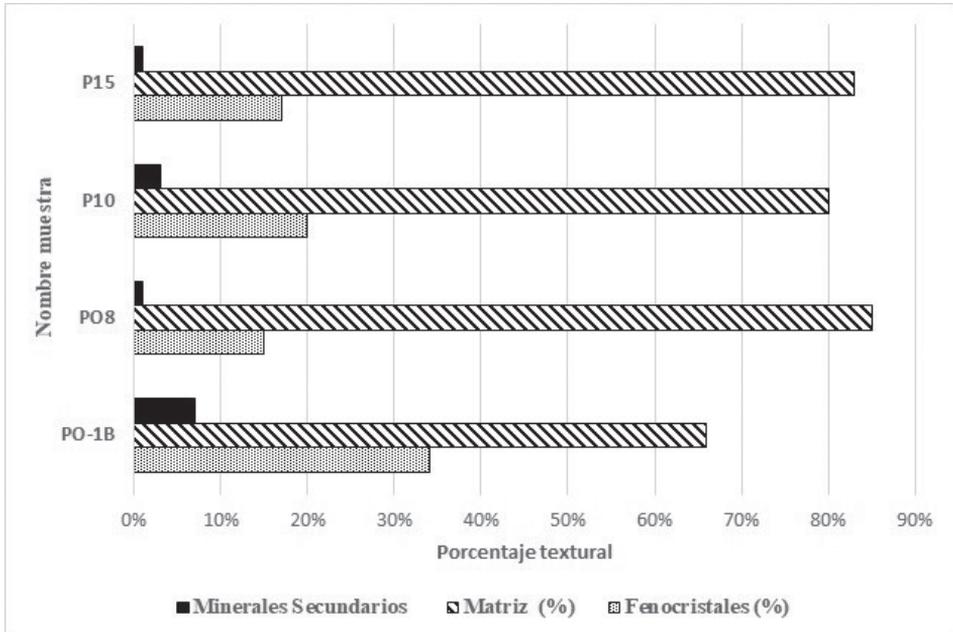
- Lavas del Miembro Paraíso (Formación Reventado)

Conforme se desciende por el sendero denominado *Del Picacho*, y asociado con el perfil de muestreo A-Z (Figura 5), las anteriores cenizas dan paso a numerosos afloramientos rocosos, siempre con diferentes grados de fracturamiento, compuestos por rocas volcánicas (lavas), con espesores decamétricos masivos siendo relativamente meteorizadas a bastante sanas (Figura.6.b), estas se encuentran asociadas directamente con el Miembro Paraíso de la Formación Reventado (Krushensky, 1972), teniendo composiciones andesíticas/basálticas masivas (Krushensky; 1972 & Sojo *et al.* 2017).

Mediante la recolección de muestras de roca P01B, P08, P10 y P15 y los respectivos resultados petrográficos (Figura 7), obtenidos por Barrantes (2011) se deduce su correspondencia geoespacial, con la geomorfología de

escarpe (D9) de las figuras 3 y 4, además que existe una evidente correlación litológica entre sí con las lavas del Miembro Paraíso (Krushensky, 1972), para todos los afloramientos rocosos a lo largo del descenso del sendero de muestreo A-Z (Figura 5).

**Figura 7.** Resultados generales en los porcentajes texturales para las muestras petrográficas analizadas por Barrantes (2011).



**Fuente:** Elaboración propia con base en resultados petrográficos de Barrantes (2011).

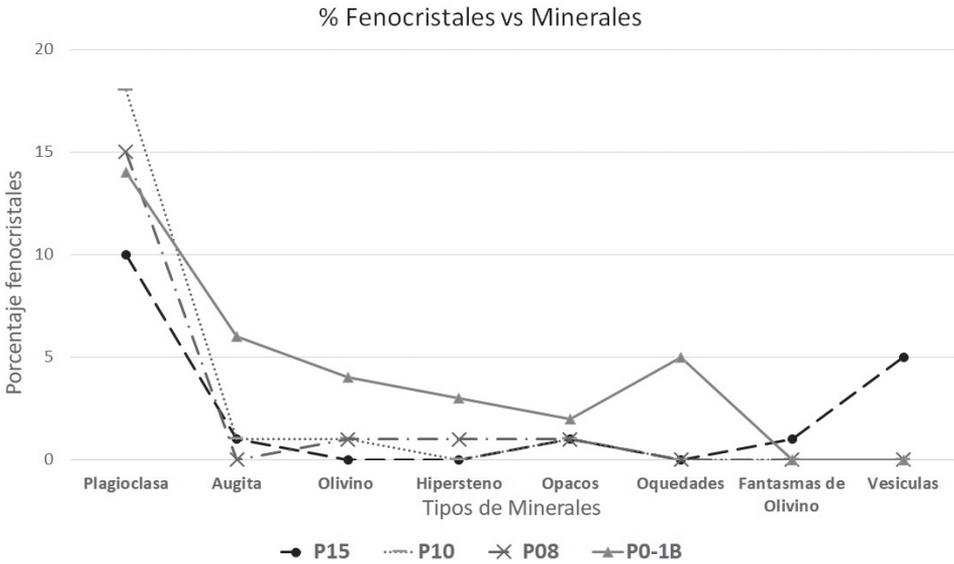
Según los resultados de Barrantes (2011), los nombres petrográficos asociados para todas las muestras de roca analizadas corresponden con andesitas/basálticas, solo en el caso de la muestra PO-1B, se hace la leve diferenciación textural por andesita/basáltica con dos piroxenos.

Lo anterior permite una correlación geoespacial (textural y composicional) de las lavas del Miembro Paraíso, de un origen distal, con estas muestras asociadas al aparente cerro/volcán Santa Lucía, así como con otros sectores geográficos y de alto relieve topográfico circundantes al valle específicamente al oeste y norte de ese lugar, evidenciado con la muestra de roca P15 y las muestra geoquímicas: 2-151014 y 1-151014 de

Sojo *et al.*, (2017). Con todo esto se descarta una composición litológica diferente, específica o propia de una posible actividad volcánica “in situ” en la formación o construcción de la aparente geoforma volcánica aislada descrita por Prado (1921).

Sumado a lo anterior y como parte del análisis de los resultados Barrantes (2011), se infiere (Figura 8), la similitud composicional en el porcentaje de fenocristales entre las muestras de roca obtenidas en el sendero *Del Picacho* para las muestras: P0-1B, P08, P10 ubicadas en la aparente geoforma volcánica, así como al norte de esta en el sendero “*De la Palma*” (muestra: P15), ambas rutas pertenecientes al sendero de muestreo A-Z (Figura 5).

**Figura 8.** Análisis sobre los resultados generales de los porcentajes mineralógicos composicionales en los fenocristales para las muestras petrográficas analizadas.



**Fuente:** Elaboración propia con base en resultados petrográficos de Barrantes (2011).

- Depósitos coluvio/aluviales y fluvio lacustres en la base del denominado cerro/volcán Santa Lucía

En la base del supuesto cerro, se verifica la existencia de materiales de naturaleza coluvial producto de la meteorización, erosión y respectiva

acumulación de las lavas superiores, con presencia de clastos de roca angulares centimétricos a métricos que conforman un perfil de transición topográfica al sector plano (piso del valle).

Adicionalmente, en el sector topográficamente plano, se presentan características fluvio/lacustres, de bloques de conglomerados decimétricos en contactos flotantes dentro de una matriz de arena gruesa, conformando los depósitos paleo lacustres de la Formación Ujarrás y en los cauces fluviales activos se da la presencia de depósitos aluviales cuaternarios o recientes observados durante el trabajo de campo y previamente por [Krus-hensky \(1972\)](#) así como [Montero et al., \(2016\)](#).

Finalmente, cabe señalar, que en el respectivo informe de perforación de [Chaves \(2010\)](#) para el pozo: código TP-47 (Figuras 4 y 5) ubicado en la parte superior del aparente cerro/volcán Santa Lucía y con una profundidad de 220 m, se describen una serie de litologías que guardan una estrecha relación con las observaciones geológicas de campo realizadas durante esta investigación. No obstante, Un aspecto de bastante interés es que [Chaves \(2010\)](#), indica textualmente, que durante la perforación en el sitio denominado como cerro o volcán Santa Lucía: “A los 78 m de perforación, se presentó una gran fractura o caverna, lo que impidió que la salida del material que se perforó, se presume la continuidad de estas lavas” ([Chaves, 2010, p.3](#)).

### **Características hidrogeoquímicas e hidrogeológicas asociadas al área estudio**

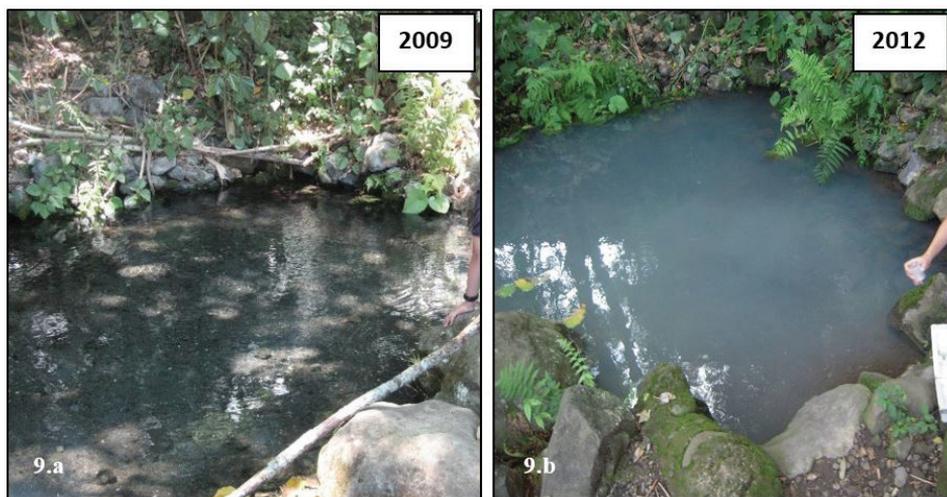
En mediciones de campo realizadas, a mediados del año 2012, mediante un instrumento multiparamétrico portátil, en los manantiales: norte y de Las Cuatro Fuentes, se observaron temperaturas de 23,9°C, y 25,7°C respectivamente.

De acuerdo con [Ortiz & Montoya \(2014\)](#) la temperatura promedio anual para la estación meteorológica más cercana a 4 km al este aprox. (plantel del ICE en Cachi), es de 20,2°C entre los años 1973 al 2001; por lo cual se logra inferir, según la clasificación de [Schoeller \(1962\)](#), que las aguas del manantial norte se catalogan , preliminarmente, como aguas frías; no obstante, las del manantial llamado “Las Cuatro Fuentes” son clasificables como aguas levemente termales, siendo casualmente este último

manantial, uno de los que aporta un considerable caudal para la conformación del llamado “río Caliente”.

Adicionalmente, para un periodo de observación que abarcó desde el año 2009 (figura 9.a) hasta el año 2012 (figura 9.b), se pudieron apreciar cambios en la coloración de las aguas de los manantiales, especialmente en el manantial norte con la coloración blanquecina asociada a una aparente sustancia disuelta (liquida y/o gaseosa).

**Figura 9.** Condiciones observadas en manantial norte en el año 2009(9.a) y en el año 2012(9.b).



**Fuente:** Elaboración propia durante trabajo de campo entre los años 2009 y 2012.

A la convergencia de caudales de las aguas de ambos manantiales: norte y de “Las Cuatro Fuentes”, se les denomina como: “río Caliente” por parte de los pobladores y por Prado (1921), el cual discurre a 100 m aprox. al sur de la antigua iglesia colonial de Ujarrás (Figura 1 y 3).

Adicionalmente mediante la interpretación de resultados para los iones mayoritarios de los análisis de aguas en ICE (2011-2012) de las muestras: Las Cuatro Fuentes (muestra BE-42b) y el norte (muestras: BE-42 y BE-40b), se obtiene un primer diagrama de tipo Piper (Figura. 10.a), mismo que según Custodio & Llamas (2001), permite observar que las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas; por

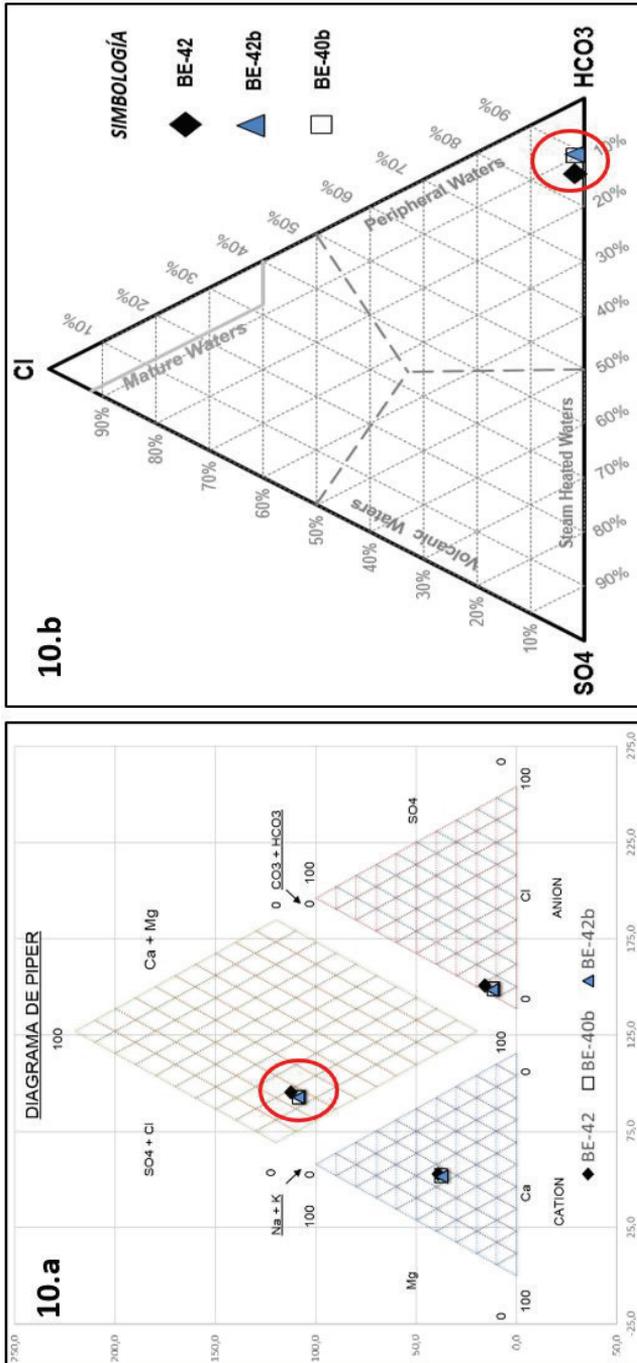
otra parte mediante un segundo diagrama de tipo ternario (Figura 10.b) de iones de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  (Giggenbach, 1988; Giggenbach & Goguel, 1989), se puede ubicar las muestras dentro de un posible sistema geotermal/volcánico posiblemente distal, ya que la cantidad relativa de estos componentes varían con la evolución de las aguas en dicho sistema.

En los gráficos asociados con el análisis de los resultados de ICE (2011-2012) para las aguas los manantiales en la base del aparente cerro/volcán Santa Lucía, se infiere dentro de la figura 10.a, que ambos manantiales pertenecen a un mismo sistema acuífero subterráneo, vinculados al grupo de las aguas Bicarbonatadas Magnésico-Cálcicas (Custodio & Llamas, 2001), las cuales denotan la presencia de aguas superficiales, posiblemente de origen meteórico y/o de aportes influentes al acuífero (ríos), con una poca evolución o de circuito subterráneo corto de acuerdo con *la secuencia de Chebotarev*, desde su infiltración en superficie hasta su salida en los precitados manantiales.

Por otra parte, dentro el gráfico ternario de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  de la figura 10 b, se aprecia un comportamiento hidrogeoquímico propio de aguas superficiales y/o meteóricas, dentro de un posible sistema geotérmico distal a el área, caracterizado por una leve influencia química, mezcla o tendencia sulfatada (< 20%), lo cual es correspondiente con los rangos de las conductividades eléctricas y de acidez (pH) de 200-206  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y de 6,52-7,76 obtenidos respectivamente para las muestras de agua en ambos manantiales.

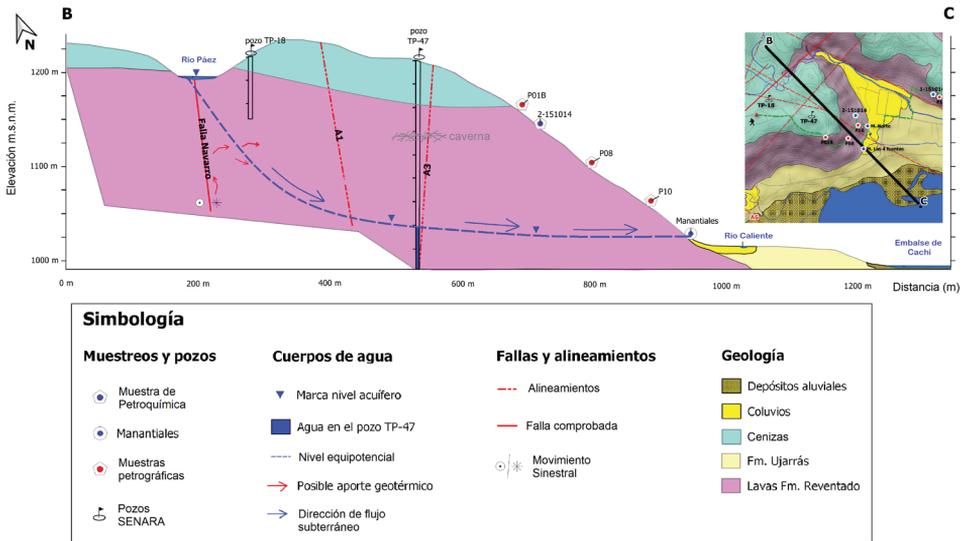
Una de las razones de los posibles aportes sulfatados observados las aguas, puede deberse a la mezcla resultante entre el acuífero formador de los manantiales mayoritariamente de aguas superficiales y/o meteóricas más el aporte leve o difuso de líquidos o gases de orígenes geotérmicos profundos y/o lejanos (Figura 11).

**Figura 10.** Diagrama Piper y (10.a) y diagrama ternario Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (10.b), para manantiales norte y Las Cuatro Fuentes



**Fuente:** Elaboración propia con base en resultados químicos de aguas de ICE (2011-2012).

**Figura.11.** Modelo hidrogeológico conceptual del perfil B-C ubicado en la Figura. 5.



Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto y de acuerdo con la teoría expuesta por Nicholson (1993), se logra interpretar el comportamiento hidrogeoquímico del manantial de “Las Cuatro Fuentes”, como propio del resultado de la circulación de aguas meteóricas o superficiales que han infiltrado en los márgenes de un posible sistema geotérmico existente, evidenciando una posible interacción distal del mismo con aportes de quimismo y temperatura, lo cual se representa en el perfil hidrogeológico conceptual (Figura.11).

## Discusión

### Materiales geológicos asociados con la formación del aparente cerro/volcán Santa Lucía

Se concluye que los materiales geológicos observados en la conformación geológica del supuesto cerro/volcán Santa Lucía se vinculan directamente con la existencia de litologías geológicas regionales, previamente definidas y cartografiadas por Krushensky (1972) como Miembro Cama de Ceniza y las lavas del Miembro Paraíso; ambas pertenecientes a la Formación Reventado, mismas que tiempos recientes han tenido algunas

redefiniciones por parte de Sojo *et al.*, (2017) y Sojo (2018); no obstante, por sus características macroscópicas, petrográficas y geoquímicas son claramente identificables en otros sectores del área de estudio, fuera de la aparente geoforma volcánica.

La Formación Reventado guarda un carácter regional y representativo directamente en el sitio de interés (Sojo, 2018); por lo que no fue posible observar considerables espesores de otros materiales de índole volcánico que fueran, geológicamente, más recientes a las fechas definidas por Sojo *et al.*, (2017) en el orden 0.6 Ma, para las lavas fracturadas del Miembro Paraíso, siendo estas preponderantes en la formación del supuesto cerro/volcán Santa Lucía. Todo lo anterior permite descartar una local y reciente expulsión así como consecuente acumulación de materiales volcánicos poco consolidados, derivados un foco eruptivo dentro del área de estudio, además de pocas evidencias de diferentes grados de hidrotermalismo en los materiales existentes por una fuente de calor “in situ”.

Sumado a lo anterior se encuentran los resultados de las muestras petrográficas de roca: P0-1B, P8, P10 analizadas por Barrantes (2011), las cuales revelan una correlación mineralógica/textural y geoespacial entre sí; permitiendo correlaciones con materiales geológicos (lavas) fuera de la aparente geoforma de cerro/volcán Santa Lucía, específicamente al norte del área de estudio, tal como lo revela la muestra petrográfica P15 analizada por Barrantes (2011), así como las correlaciones geoquímicas derivadas de Sojo *et al.*, (2017) entre las muestras: 2-151014 ubicada en la base de la aparente geoforma del cerro/volcán Santa Lucía y la muestra 1-151014 al norte de la misma.

### **Características geomorfológicas asociadas al tectonismo en el área de estudio del cerro/volcán Santa Lucía**

Por otra parte, con el respectivo análisis de percepción remota, no se identificaron elementos geomorfológicos propios de una estructura o cuerpo cónico asociado con el supuesto cerro o volcán Santa Lucía, tales como patrones hídricos locales de carácter radial mencionados por Obando, (2004), los cuales se podrían asociar con una morfología de cráter monogenético o bien del tipo “cono de ceniza o escoria”. Tampoco se logró corroborar características morfométricas volcánicas cónicas básicas y bien definidas; tales como las descritas por Bemis *et al.*, (2011) sobre: diámetro

basal, altura, y su diámetro superior o bien del tipo morfométrico volcánico señalado por [Villa \(2013\)](#).

En contraposición se aprecia que la pseudogeofoma cónica asociada con el supuesto cerro o volcán Santa Lucía, es resultado o producto directo de la disectación del relieve y materiales circundantes (Formación Reventado), por diferentes alineamientos y fallas tectónicas (Figuras 3, 4.a y 5) propias del contexto geomorfológico local, principalmente, al norte y sur del denominado cerro o volcán Santa Lucía las cuales sumadas a los procesos de meteorización erosión han propiciado una delimitación lateral del frente de las geomorfologías denudacionales D1 y sobretodo de escarpe (D9) que asemejan un cerro aislado o una pseudofoma volcánica con características cónicas y/o cratéricas.

### **Condiciones tectónicas y su relación con características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas en el área de estudio del cerro/volcán Santa Lucía**

Todas las estructuras tectónicas (fallas) comprobadas e inferidas como alineamientos en el área de estudio, contribuyen en menor o mayor medida con sus esfuerzos y deformación, a la aparición de amplias zonas de interacción y fracturamiento sobre la roca, provocando el daño de los materiales geológicos existentes e implicando la formación de grietas o fracturas, que sumadas al flujo de aguas subterráneas y su erosión pueden facilitar la formación de amplios sectores de permeabilidad acuífera ([Curewitz & Karson, 1997](#)).

Lo anterior puede facilitar la conformación de pasos o flujos de agua complejamente interconectados hasta la formación de posibles cavernas, las cuales podrían tener dimensiones desconocidas en la profundidad del aparente cerro/volcán tal como se evidencio con la perforación TP-47 (Figuras 4.c y 11), favoreciendo la acumulación y el flujo de las aguas subterráneas; así como la formación de manantiales específicamente debido al fuerte contraste topográfico del valle (Figura 12).

Por otra parte, los cambios de tonalidad de tipo blanquecinas o “lechosas” observadas y semejantes a una sustancia (liquida o gaseosa) disuelta en las aguas del manantial norte, durante una visita al campo en el año 2012, concuerdan con lo mencionado en relatos de [Prado \(1921\)](#), así como con los relatos verbales de pobladores del valle de Ujarrás, los

cuales los han relacionado con fuertes periodos lluviosos en el área y/o de actividad sísmica.

No obstante, cabe señalar que estos cambios reportados, no son un fenómeno aislado de esta área, ya que autores como [González \(1910\)](#), [Linkimer \(2002\)](#) previamente han mencionado situaciones similares después de una fuerte actividad sísmica, con cambios en las coloraciones en manantiales, quebradas, ríos y hasta existe un caso documentado por [Vargas \(2016\)](#) con cambios en el comportamiento hidrogeológico de acuíferos seguidamente a eventos sísmicos fuertes a nivel nacional.

Por lo tanto, estos cambios en las aguas podrían guardar relación con la interacción entre el flujo y el medio poroso o fracturado de la roca debido al aporte químico/mineralógico de las paredes en los conductos preferentes o bien como un resultado netamente físico por fuertes cambios en la hidráulica del medio rocoso vinculados con estrechamientos o nuevas aperturas asociadas implicando una evidente complejidad en los sistemas acuíferos locales del área de estudio.

Por otra parte, el posible leve hidrotermalismo identificado en las aguas del manantial de las “Las Cuatro Fuentes” dentro de la interpretación geológica propuesta, implicaría la posibilidad de una leve interacción local de flujos geotérmicos o hidrotermales profundos y/o distales que pueden ascender por convección térmica debido a la permeabilidad secundaria (fracturamiento) por el fuerte tectonismo en el área de estudio (ej. Sistema de Fallas Navarro). Lo anterior no solo aportaría masa o quimismo si no también energía traducida en leves aumentos de temperatura para la mezcla final de aguas surgentes en los manantiales ubicados en la base del supuesto cerro/volcán Santa Lucía.

Lo antes mencionado explicaría el enriquecimiento químico (ej. con sulfatos) de las aguas y por tanto su sabor así como el leve termalismo las aguas en el manantial precitado (Figura 11), siendo un aspecto previamente observado por [Sanabria \(2014\)](#), como una condición geológica regional que permite la aparición de procesos geotérmicos de baja entalpía tales como los existentes, no muy lejos del área de estudio, en el sector del valle de Orosí, Aguacaliente de Cartago y lugares aledaños.

## **Tectónica y sismicidad asociadas con posibles procesos lumínico/calóricos en los alrededores del supuesto cerro o volcán Santa Lucía**

Como se mencionó anteriormente las estructuras tectónicas (fallas) o alineamientos asociados, como los observados en el área de estudio, pueden propiciar condiciones geológicas especiales de fuerte compresión o esfuerzos así como de deformación de diferente grado en los materiales litológicos, lo cual bajo condiciones y características geológicas, físicas y composicionales, muy particulares, podrían haber permitido la aparición de fenómenos naturales, poco observados, pero que el [United States Geological Survey \(USGS\) \(2019\)](#) define como luces de terremoto o también conocidas, en inglés, como “Earthquake Lights” (*EQL en inglés*).

Para [Thériault et al., \(2014\)](#), un rasgo característico de las luminosidades sísmicas o luces de terremoto es que la mayoría de estas se ven antes y/o durante un terremoto, pero raramente después de la liberación y disipación de la energía del estrés sísmico en la corteza, lo cual concuerda muy bien con el relato de [Prado \(1921\)](#) en la “Leyenda de las Cuatro Fuentes”.

Adicionalmente [Fidani \(2010\)](#), incluye como parte de estos fenómenos naturales la aparición de columnas de fuego, flamas, bolas de fuego, pequeñas flamas, vapores/ nubes luminosas difusas y rayos de fuego con colores que iban del amarillo, naranja y el rojo además de presencia, en algunos casos, de descargas eléctricas, descripciones muy similares a lo indicado por [Prado \(1921\)](#) en sus relatos.

Por otra parte, en una experiencia narrada por la señora M. Coto en compañía de otras personas, se describen características parecidas a las citadas en el libro de [Prado \(1921\)](#), sobre fenómenos lumínicos muy similares, para un día del mes de octubre de 1964 aproximadamente a las 5 am a un kilómetro al NO del supuesto cerro, en un sector de posible correlación neotectónica; no obstante, sin sismicidad reportada (comunicación personal, 10 de noviembre, 2015).

Bajo esta suposición sobre el posible sismo o terremoto, con un posible epicentro cercano al valle de Ujarrás, que pudo ocasionar estos fenómenos, se puede considerar todos aquellos eventos históricos con un registro dentro de la época colonial de Costa Rica, tomando como referencia a [Peraldo & Montero \(2007\)](#), los cuales señalan los sismos fuertes o terremotos, con intensidades sísmicas aproximadas en paréntesis, que tuvieron afectación directa en la ciudad colonial de Cartago en los años:

1678 (VII), 1715 (VI+), 1727 (VI+), 1728 (VI+), 1756 (VII-VIII?), 1794 (VI+-VII) y 1821 (VI+), mismos que pueden servir como una posible referencia de la actividad sísmica colonial y geoespacialmente cercana al área de estudio.

En resumen, es mediante la integración coherente y el análisis de las características del contexto fisiográfico en su conjunto (Figura.11), que se logra identificar, de forma convergente, un factor común ligado con el tectonismo local como el elemento fisiográfico medular de la presente interpretación geológica vinculada con las leyendas de Prado (1921) sobre el aparente cerro/volcán Santa Lucía.

Por lo tanto, mediante la presente interpretación geológica se descarta una actividad volcánica histórica y localmente reciente en el área de estudio, como la causa principal de los aparentes fenómenos descritos por Prado (1921) para las leyendas del cerro/volcán Santa Lucía en el valle de Ujarrás; no obstante, cabe resaltar que todas estas leyendas aportan el valor geográfico necesario dentro de la parte narrativa de fenómenos y sucesos, para facilitar la formulación de la presente interpretación geológica así como de las siguientes investigaciones que se puedan derivar en el futuro.

## Referencias

- Archivo Nacional de Costa Rica (ANCR). (2020). *Álbum de Figueroa con la Cuadrícula de la Villa de Ujarrás, 1824* [[https://www.archivonacional.go.cr/index.php?option=com\\_phocagallery&view=category&id=56:59-74&Itemid=144](https://www.archivonacional.go.cr/index.php?option=com_phocagallery&view=category&id=56:59-74&Itemid=144)]. CR-AN-AH-JMFIGOR-ALBUM. Plano de la villa de Ujarrás en 1824. 1-063f.
- Barrantes, M. (2011). Reportes de análisis petrográfico de rocas ígneas de las muestras: P0-1B, P08, P10 y P15. Instituto Costarricense de Electricidad. [reporte interno]. 8 págs
- Benavides, M. (1999). *De Ujarrás a Paraíso: análisis del traslado de una población 1821-1850*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, p. 387.
- Bemis, K., Walker, J., Borgia, A., Turrin, B., Neri, M. & Swisher, C. (2011). The growth and erosion of cinder cones in Guatemala and El Salvador: Models and statistics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201, pp. 39–52.

- Bergoeing, J. & Malavassi, V. (1981a). *Carta geomorfológica del valle central de Costa Rica*. Hoja Tapantí 1:50 000 Map 3445 –III. Ed. Inst. Geof. Nac. Costa Rica.
- Bergoeing, J. & Malavassi, V. (1981b). *Carta geomorfológica del valle central de Costa Rica*. Hoja Istarú # 3445 IV, escala 1:50000. Ed. Inst. Geof. Nac. Costa Rica.
- Bolaños, R., Quirós, M., Alvarado, S., Quirós, E., Orozco, C., Solano, J. & Rojas, C. (1993). Ayer Ujarrás, hoy Paraíso. Ed Servitex Flores, Universidad de Texas, p. 299.
- Brenes, V. (2018). La devoción a Nuestra Señora de la Pura y Limpia Concepción del Rescate de Ujarrás: Un estudio de la mentalidad religiosa en Costa Rica: 1593-1852. Universidad de Costa Rica. Tesis sometida a consideración de la Comisión del Programa de Posgrado en Historia para optar por el título de Maestría Académica en Historia, p. 340.
- Campos, M. & Orozco, D. (2011). *Villa de Ujarrás: una propuesta desde la arqueología para analizar la dinámica socioeconómica en Costa Rica desde finales del siglo XVI hasta inicios del siglo XIX*. Universidad de Costa Rica. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Antropología con énfasis en Arqueología, p. 260.
- Chaves, R. (2010). *Informe de perforación del Pozo TP-47*. Empresa Santos Limitada, p. 8.
- Curewitz, D. & Karson, J. (1997). Structural settings hydrothermal outflow: Fracture permeability maintained by fault propagation and interaction. *Journal of volcano logy and geothermal research* 79, pp. 148-168.
- Custodio, E. & Llamas, M. (2001). *Hidrología Subterránea*. Ed. Omega, Barcelona, España. 2350 págs.
- Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G. (2009). *Atlas Tectónico de Costa Rica*. Costa Rica: Ed. Universidad de Costa Rica. 81 p.
- Dóndoli, C. & Torres, A. (1954). Estudio Geoagronómico de la Región Oriental de la Meseta Central.- Min. Agricultura e Ind., San José. 180 págs.
- Fidani, C. (2010). The earthquake lights (EQL) of the 6 April 2009 Aquila earthquake, in Central Italy Nat. *Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, pp. 967–978, [[www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/967/2010/](http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/967/2010/) doi: <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-10-967-2010>].

- Giggenbach; W. (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca. ge indicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W. & Goguel, R. (1989). *Collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas discharges*. Report No. CD 2401. Department of Scientific and Industrial Research. Chemistry Division. Petone, New Zealand.
- González, C. (1910). *Temblores, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas en Costa Rica 1608-1910*. 239 págs., San José: Tipografía de A. Alsina, 1910. Reimpresión Editorial Tecnológica, Cartago, Costa Rica 1994.
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2011-2012). Reporte de resultados químicos de muestras de agua BE-42. BE-40b y BE-42b. [reporte interno] 2 p.
- JAXA/METI. (2011). *ALOS PALSAR Hi-Res Terrain Corrected 2011* (AP 26652 FBS F0190 RT1). Accedido a través de ASF DAAC [https://www.asf.alaska.edu] el 3 febrero 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA>.
- Krushensky, R. (1972). Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica. *Geological Survey Bulletin 1358*. – 46 p.
- Linkimer, L. (2002). *Intensidades del sismo de Bijagua de Upala (mw= 5,4), 27 de enero del 2002*. Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Laboratorio de Ingeniería Sísmica, Universidad de Costa Rica, 10 p.
- Montero, W., Linkimer, L. & Rojas, W. (2016). El Sistema de Falla Navarro: desplazamientos izquierdos a lo largo del cinturón deformado del centro de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central* 55, 71-100, 2016 DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v55i0.27062> ISSN: 0256-702.
- Mora, G. (1998). Ujarrás de doctrina indígena a Villa Mestiza. Compiladores: Bozzoli de Wille, M. E., Barrantes, R., Obando, D., & Rojas, M. (1995). *Memorias de I Congreso científico sobre pueblos indígenas de Costa Rica y sus fronteras*. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica. 504 págs.
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal fluids- Chemistry and exploration techniques*. - 263 págs. Springer-Verlag Berlín Heidelberg New York.

- Obando, L. (2004). Mega-rasgos geomorfológicos del modelo de elevación digital, asociados al Volcán Barva. *Revista Geológica de América Central*, 3, 81-86, ISSN: 0256-7024.
- Ortiz, E. & Montoya, C. (2014). *Atlas Digital de Costa Rica 2014* [CD-ROM]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal.
- Peraldo, G. & Montero, W. (2007). Temblores documentados para el periodo colonial de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 36 Especial, 25-47.
- Powell, T. & Cumming W. (2010): Spreadsheets for geothermal water and gas geochemistry In: Proceedings of Thirthy-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 1-3, 2010.
- Prado, E. (1921). Nuestra Señora de la Virgen de Ujarrás. 3 ed. San José, Costa Rica: Costa Rica.
- Quirós, T. (1981). Ujarrás. San José: Editorial Costa Rica.págs.80
- Sanabria, I. (2014). Propuesta de modelo conceptual geotérmico de baja entalpia para el Valle de Orosí, Paraíso, Cartago, Costa Rica - San José, Costa Rica: Escuela de Geología-UCR, 2014 - 146 páginas.
- Schoeller, H. (1962). Hydrologie dynamique et chemique, Recherche, Exploitation et evaluation des resources. - 642 págs Manson et cie editeurs.
- Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). (2020). Infraestructura Nacional de Datos Espaciales de Costa Rica. Recuperado de: [www.snitcr.go.cr](http://www.snitcr.go.cr).
- Sojo, D., Denyer, P., Gazel, E. y Alvarado, G. (2017). Geología del cuadrante Tapantí (1:50 000), Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 56: 83-116, Doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v0i56.29238>.
- Sojo, D. (2018). Geología de la hoja Paraíso (1:10 000), Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 59, 101-124, 2018 doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v59i0.34161> ISSN: 0256-7024.
- Thériault, R., ST-Laurent, F., Freund, F. T., And Derr, J. S. (2014). Prevalence of Earthquake Lights Associated with Rift Environments. *Seismological Research Letters*, 85, no. 1, 159–178. doi: <http://dx.doi.org/10.1785/0220130059>.
- United States Geological Survey. (USGS) (2019). *What are earthquake lights?* Accedido a través de <https://www.usgs.gov/faqs/>

[what-are-earthquake-lights?qt-news\\_science\\_products=0#qtnews\\_science\\_products](#) el 24 de febrero de 2019.

- Valenzuela, E. (2011). La leyenda: un recurso para el estudio y la enseñanza de la Geografía. *I Revista de Investigación de la Universidad Simón Bolívar*, ISSN-e 1665-692X, N°. 10.
- Vargas, A. (2016). Influencia del sismo de golfito del 30 de julio de 2002 (Mw 6,2) sobre una prueba de bombeo en el acuífero confinado del sitio de presa del P.H. Pirrís, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central* 54, 143-153, 2016 DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v54i0.21151> ISSN: 0256-7024.
- Vázquez, E. & Serrano, A. (2012). *Software EASY\_QUIM v.5.0 del Grupo de Hidrología Subterránea (GHS) del Departamento de Ingeniería del Terreno de la Unidad Politécnica de Catalunya (UPC)*. <https://h2ogeo.upc.edu/es/investigacion-hidrologia-subterrania/software/42-easy-quim> el 20 de mayo de 2019.
- Villa, V. (2013). *Morfología de estructuras volcánicas cenozoicas de los andes centrales entre los 25° y 26° s, Chile*. Memoria para optar al título de geólogo. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología. Universidad de Chile 97 págs.
- Zuidam, R. (1986). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping; with contributions from F.I. van Zuidam-Cancelado and other members of the International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC)*, 442 págs.





## Estimación del período de construcción de las edificaciones del cantón de San José por medio de análisis de fotografías aéreas

Estimation of the construction period of the buildings (construction period) in the canton of San José by analysis of aerial photographs

*Silvia Blanco-Sáenz<sup>1</sup>.*

*Universidad de Costa Rica, Costa Rica*

*Luis Carlos Esquivel-Salas<sup>2</sup>*

*Universidad de Costa Rica, Costa Rica*

### Resumen

La fecha de construcción es una característica de suma importancia para las edificaciones, ya que permite, entre varias aplicaciones, el determinar de manera general su desempeño o comportamiento ante terremotos. Este dato es generalmente difícil de obtener para grandes grupos de estructuras, el cual es el caso del cantón de San José. Se presenta entonces un estudio en el cual se estimó un periodo de construcción aproximado para las 84 000 edificaciones de San José, analizando fotografías aéreas disponibles en el Instituto Geográfico Nacional (IGN) de Costa Rica de forma manual. Este dato puede ser utilizado para varios fines, entre ellos evaluaciones de riesgo ante amenazas naturales. Se expone su valor y utilidad en el contexto de un estudio de riesgo sísmico físico del cantón de San José en desarrollo por parte del Laboratorio de Ingeniería Sísmica del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica. Se encontró que la mayor cantidad de estructuras, en términos absolutos, se construyó en el periodo de 1989-2004, para un total de 18 399, mientras que la tasa de construcción promedio por año más alta fue de 2 675 para el periodo de 1974-1979. Un 38 % de las edificaciones se construyeron previo a la existencia del Código Sísmico

1 Bachiller en Geografía, de la Universidad de Costa Rica, correo: [silvia.25.10.95@gmail.com](mailto:silvia.25.10.95@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0002-3583-7412>

2 Máster en Ingeniería Estructural, Universidad de Costa Rica. Investigador del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS-UCR). Correo: [luiscarlos.esquivel@ucr.ac.cr](mailto:luiscarlos.esquivel@ucr.ac.cr)  <https://orcid.org/0000-0003-4208-6482>

de Costa Rica (CSCR), un 60 % utilizando las versiones de CSCR de 1974 y 1986, mientras que solamente un 2 % utilizaron las versiones más modernas del código (2002 y 2010).

**Palabras clave:** fecha de construcción, fotografías aéreas, cantón de San José, edificaciones.

### Abstract

The construction period is a very important characteristic of buildings, since it allows, among various applications, to determine, in a general way, their performance or behavior in the event of seismic activity. Construction period data is generally difficult to obtain for large groups of structures, as is the case in the canton of San José. A study is thus presented in which the approximate date of construction was estimated for the 84,004 buildings present in the canton of San José by visual non-automated analysis of aerial photographs available from the *Instituto Geográfico Nacional (IGN)* (translated as *National Geographic Institute*) of Costa Rica. Construction period data can be used for various purposes including risk assessments of natural hazards. The value and usefulness of the present investigation is exposed in the context of the risk assessment evaluation on physical damage caused by seismic activity in the canton of San José undertaken by the *Laboratorio de Ingeniería Sísmica del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica* (translated as *Seismic Engineering Laboratory of the Engineering Research Institute of the University of Costa Rica*). In absolute terms, it was found that the majority of structures were built in the period 1989-2004 and amounted to a total of 18,399 buildings; the highest average annual construction rate was 2,675/yr for the period 1974-1979. 38% of the buildings were built prior to the existence of the Costa Rican Seismic Code (CSCR), 60% of the buildings adhered to CSCR Codes in its past versions of 1974 and 1986, while only 2% complied with the newer versions of 2002 and 2010.

**Keywords:** Construction period; Aerial photographs; Canton of San José; Buildings.

## Introducción

La fecha de construcción es una característica de suma importancia para las edificaciones, porque permite, por ejemplo, determinar de manera general su desempeño o comportamiento ante terremotos. Esto es especialmente importante en evaluaciones de riesgo sísmico físico, las cuales generalmente se llevan a cabo considerando un gran número de estructuras, del orden de miles. Ejemplos a nivel mundial de estas evaluaciones son Hazards US Multi-Hazard, conocido como HAZUS-MH (FEMA, 2013) y *An Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios With Application to Different European Towns*, conocido como RISK-UE (Mouroux *et al.*, 2004).

Generalmente, este dato no se encuentra disponible y tampoco es sencillo de obtener o generar para miles de estructuras al mismo tiempo, lo cual conlleva a dos acciones: (1) utilizar periodos de construcción en lugar de fechas de construcción y (2) valorar utilizar métodos alternativos para obtener este dato de manera aproximada. En este trabajo se expone uno de

estos métodos alternativos, el cual consiste en la estimación del periodo de construcción de edificaciones a partir del análisis de fotografías aéreas y ortofotos, aplicado al cantón de San José.

La estimación del periodo de construcción para las 84 000 edificaciones del cantón de San José es una actividad importante del proyecto en desarrollo del Laboratorio de Ingeniería Sísmica del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica (LIS-UCR), titulado “Estimación del riesgo sísmico en el cantón de San José, Costa Rica” (Esquivel-Salas, 2020). En este proyecto se consideran los tres componentes necesarios para realizar una evaluación de riesgo sísmico físico, a saber: amenaza, exposición y vulnerabilidad (Simpson *et al.*, 2014).

El LIS-UCR identificó que en evaluaciones anteriores de riesgo sísmico para este cantón (Calderón, 2016; Calderón & Silva, 2019; Cardona *et al.*, 2009a, 2009b, 2009c, 2009d; Evaluación de Riesgos Naturales y Antropogénicos, 2014; Miyamoto Internacional Inc., 2016), los componentes menos estudiados en nuestro país eran exposición y vulnerabilidad. La vulnerabilidad describe el comportamiento estructural de las edificaciones, su estudio y descripción se salen del alcance de este artículo y se tratarán en artículos posteriores en revistas de las disciplinas correspondientes.

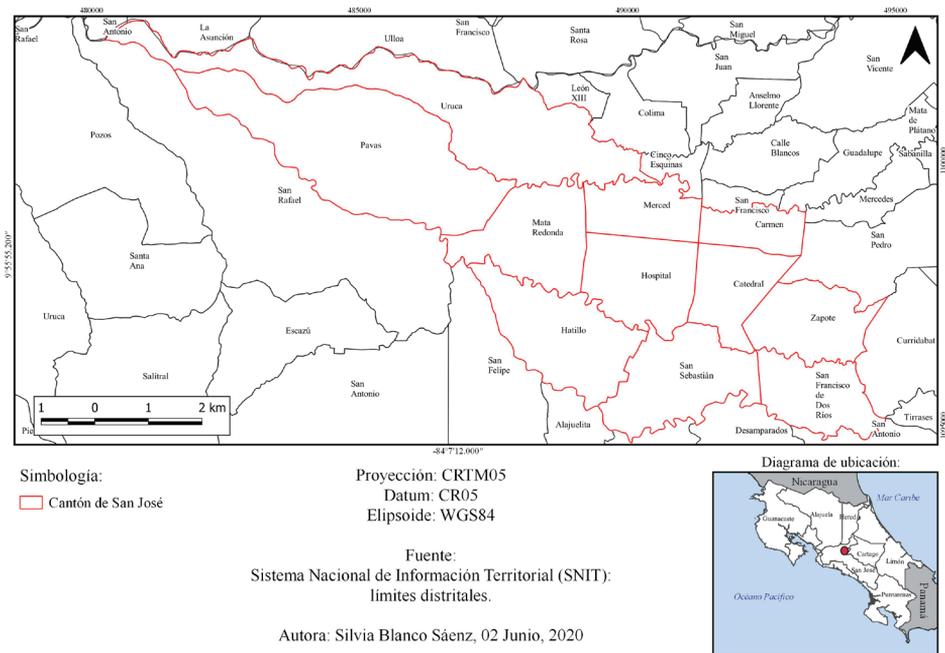
La exposición, a su vez el menos estudiado de estos dos componentes, consiste en la descripción de los bienes expuestos a la amenaza natural, pudiendo incluir, por ejemplo, población, edificaciones, carreteras, tuberías de agua potable, cosechas, entre muchos otros. Es precisamente por esta razón que el LIS-UCR enfoca los esfuerzos del estudio mencionado en el componente de exposición, incluyendo este una descripción estructural de las edificaciones del cantón, la cual se basa en siete atributos clave, uno de ellos siendo el periodo de construcción. Es aquí donde destaca la importancia del poder estimar un periodo de construcción, aunque sea aproximado, para cada una de las 84 000 edificaciones de San José.

El contar con este periodo de construcción aproximado para cada edificación permite asignar, con las limitaciones del caso (e.g. asumiendo que la construcción siguió la normativa vigente), la versión del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR) aplicable para cada una de ellas. Esto se traduce en una caracterización más precisa de su desempeño estructural ante terremotos, ya que, por ejemplo, las estructuras diseñadas con versiones más recientes del CSCR deberían tener un mejor desempeño que las más antiguas.

## Zona de estudio

La zona de estudio fue el cantón de San José (ver figura 1), esta es la sede de la capital del país y representa el 0.09% del territorio y cuenta con 11 distritos. Según la Municipalidad de San José (MSJ, 2011), al año 2011 el uso de las edificaciones se distribuía de la siguiente manera: un 24.65% a residencias, un 9.77% a industria y comercio, mientras que el 6.72% eran áreas verdes con un 7.45% de zonas con alguna categoría de protección es decir, no urbanizadas, entre otras.

**Figura 1.** Mapa de ubicación del cantón de San José.



## Materiales y Métodos

Los materiales empleados para la realización de la investigación fueron una serie de fotografías aéreas y mosaicos de ortofotos del cantón de San José brindadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) de Costa Rica, que cuenta con una serie de archivos fotográficos de todo el país. Previo al año 1989 solo se hallan fotos aéreas, sin embargo para los siguientes

años, existe una serie de proyectos de mosaicos de ortofotos realizados por la misma institución. Las fotos aéreas utilizadas se describen en la tabla 1:

**Tabla 1.** Fotografías aéreas utilizadas.

Año	Proyecto	Escala	Fotos
1945	732 4M	1:40000	126, 128, 130.
1963	AF61-8	1:20000	430, 432, 434, 436, 471, 473, 475.
1974	Puriscal - Parrita	1:30000	102, 111, 119, 205, 210.
1980	La Guácima - Tres Ríos	1:35000	21952, 21954, 21956, 21958.
1989	Jica	1:20000	992, 996, 1177, 1179, 1181, 1183, 1185.
2005	PRCR	1:25000	39, 40, 41, 42, 43, 44.
2014	Actualización	1:6000	337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282.

Fuente: IGN.

Además, el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) cuenta con una serie de servicios *Open Geospatial Consortium* (OGC), entre los que se halla un proyecto de mosaico de ortofotos de vuelos realizados entre los años 2014 al 2017, el mismo se utilizó para clasificar los polígonos correspondientes al año de estudio 2017.

También, se contó con una capa *shape* brindada por la Municipalidad de San José (MSJ), que contenía los polígonos de las huellas constructivas de las edificaciones del cantón. Es capa se generó con base en fotografías aéreas del Proyecto de Catastro Municipal del año 2002, se creó un mapa fotogramétrico con las ortofotos y a partir de ahí se generaron las huellas constructivas. La capa ha sido actualizada pero en general la base se mantiene (Obando, 2018). Finalmente, se utilizó la herramienta *Q Geographic Information System* (QGIS), la cual es un software libre y de código abierto para la visualización y manejo de datos (Lizano, 2017, p. 3).

### Depuración de la capa shape

Una vez obtenida la capa shape es necesario su respectiva depuración, esto significa la realización de una revisión cruzada entre las edificaciones pertenecientes al shape de la MSJ y la versión más reciente de las ortofotos del SNIT. En este proceso los mayores arreglos corresponden

a la creación de polígonos debido a que el original abarcaba más de una edificaciones, se eliminaron estructuras demolidas, además de polígonos que no representaban como tal una edificación, sino paredes individuales u otros objetos.

Además, se generó una digitalización de lo que respecta a la zona de La Carpio, partiendo de huellas constructivas incluidas en *Open Street Map* y completando el resto de forma manual. El producto final consistió en 3 759 huellas para este barrio, las cuales fueron agregadas a la capa *shape* original de la MSJ.

### **Tratamiento de fotos aéreas y ortofotos**

El procedimiento utilizado, que es la base para la datación de los años pertenecientes a las edificaciones, se fundamentó en el análisis de fotos aéreas para los años de 1945, 1963, 1980, 1989 y ortofotos de los años, 2005 y 2014.

Con respecto al tratamiento dado a las fotos aéreas, constituyó en la georeferenciación de cada imagen. En muchos casos, datos raster como lo son las fotos aéreas, no poseen ningún Sistema de Referencia Espacial (SRE), por lo que su geometría, es decir, su plano de ubicación, será distinta al resto de los datos que sí posean un SRE, por lo que por medio de la georeferenciación se les asigna las coordenadas correspondientes (Lizano, 2017, p. 37).

Importante mencionar que, las fotos no se ortorectificaron, al no contarse con los datos correspondientes de las cámaras con las que se realizaron los vuelos. El proceso de georeferenciación no fue necesario realizarlo con las ortofotos de los años 2005 y 2014 porque estos productos ya poseen una georeferenciación y ya han sido corregidas sus distorsiones generadas por la inclinación de las cámaras, al proyectar las imágenes de forma ortogonal, y colocando el mosaico en una misma escala (Gutiérrez, 2005, p. 144).

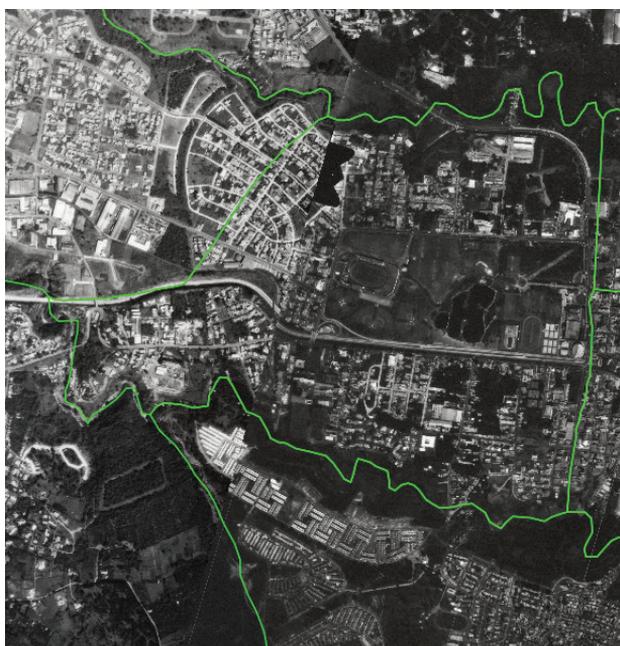
Una vez georreferenciadas y luego de cortar los lados adyacentes de las imágenes porque se reflejan en datos sin coordenadas en forma de bordes oscuros, se obtiene un mosaico lineal como se observa en la figura 2, de las fotos que forman al cantón. Sobre las fotos, se coloca la capa *shape* de edificaciones y por medio de una fotointerpretación, es decir, de una observación y análisis de la información fotográfica, se datan los años

de construcción. También en la figura 3 se ve reflejada una de las uniones entre las fotos, que se caracteriza por el cambio en la luz.

**Figura 2.** Mosaico de fotos aéreas 1980.



**Figura 3.** Mosaico de fotos aéreas 1980.



### Clasificación de períodos de construcción

El proceso de clasificación de periodos de construcción es manual, consistiendo en el análisis visual de las áreas por cada año correspondiente a la fotografía aérea u ortofoto y seleccionar los polígonos que hacen referencia a edificaciones halladas en el respectivo período.

Es importante según se cambian los periodos de las fotos, que la capa *shape* se encuentre correctamente categorizada para que los polígonos previamente datados no sean confundidos ni equivocadamente re-datados con polígonos aún sin clasificar, para finalmente obtener un producto como el de la figura 4, en el que se observan polígonos con su adecuado periodo de construcción, que corresponden a los periodos antes de 1944, 1945 a 1962, 1963 a 1973, 1974 a 1979, 1980 a 1988, 1989 a 2004, 2005 a 2013 y 2014 a 2017. Su respectiva representación se muestra en la figura 4.

**Figura 4.** Recuadro del distrito de Mata Redonda y simbología de los períodos de construcción, ortofoto, 2017.



## Asignación de la versión de Código Sísmico de Costa Rica

Una vez que se clasificaron las edificaciones por periodos de construcción, se procedió a asignar una versión del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR) aplicable basado en este. Con ello la información generada es directamente utilizable y aplicable a la evaluación de riesgo sísmico del cantón de San José en desarrollo por el LIS-UCR.

Costa Rica cuenta con cuatro versiones de código sísmico, los cuales son la guía para un adecuado diseño y construcción de obras civiles, estos fueron publicados en los años 1974, 1986, 2002, 2010, y el último posee una actualización realizada en el año 2014 (Villalobos, 2020). Los años de publicación de los códigos sísmicos fueron la primera opción para la definición de los periodos de construcción a utilizar en este trabajo, más el IGN no contaba con fotos completas del cantón para los mismos, por lo que los años utilizados eran los más cercanos a estos y contaban con fotografías que cubrían en su totalidad el cantón.

La asignación de la versión código sísmico se realizó según lo mostrado en la tabla 2, que se muestra a continuación:

**Tabla 2.** Asignación de código sísmico.

ID	Período de construcción		Versión del CSCR aplicable
	Año inicial	Año final	
1	--	1944	Pre - Código
2	1945	1962	Pre - Código
3	1963	1973	Pre - Código
4	1974	1979	1974
5	1980	1988	1974
6	1989	2004	1986
7	2005	2013	2002
8	2014	2017	2010

## Resultados y análisis

Los resultados presentados se generan a partir de los datos obtenidos siguiendo la metodología anteriormente descrita. Se debe tener claro que, aunque para la mayoría de estructuras se considera que el periodo de construcción asignado es acertado, hay dos aspectos que la metodología no incluye debido a que las 84 004 edificaciones se observaron desde un plano aéreo: (1) las estructuras que han sido adecuadas sísmicamente para cumplir con versiones modernas del Código Sísmico de Costa Rica y (2)

las edificaciones demolidas y que en su lugar se construyeron otras cumpliendo normas constructivas más recientes. Por esta razón, se deben tener en cuenta estas limitaciones a la hora de analizar los resultados.

### **Rendimientos**

El tiempo que se tardó en la estimación del periodo de construcción para las 84 000 edificaciones es relevante para poder hacer proyecciones de su duración en otros estudios semejantes, ya que debe ser realizable dentro del periodo de desarrollo de una evaluación de riesgo sísmico físico.

Para la obtención, revisión y producción de los datos fueron necesarias alrededor de cuatrocientas horas de trabajo. Dependiendo de la resolución y claridad de las fotos aéreas la respectiva georeferenciación sería más ajustada a la realidad, para los primeros años se necesitó hacerla dos o más veces por la dificultad de ajustar la foto a la capa de polígonos, en promedio por foto este procedimiento tomaba de 20 a 30 minutos según la facilidad de hallar puntos de control, ya sean edificios, intersecciones o esquinas.

Con respecto a la clasificación del año de construcción, para algunas imágenes fotográficas el error residual que resultaba de la georreferenciación no se lograba disminuir lo suficiente por lo que era necesario mover bloques de polígonos y acomodarlos sobre su respectivo bloque estructural en la foto, de esta forma facilitar y reducir los errores de posibles inadecuadas clasificaciones temporales. Al tener que realizar tales movimientos, en muchos casos con miles de polígonos, se genera un evidente aumento de trabajo no observado cuando se utilizan las ortofotos, por lo que en promedio por mosaico de fotos aéreas eran necesarias aproximadamente entre 15 y 20 horas de trabajo para la calificación.

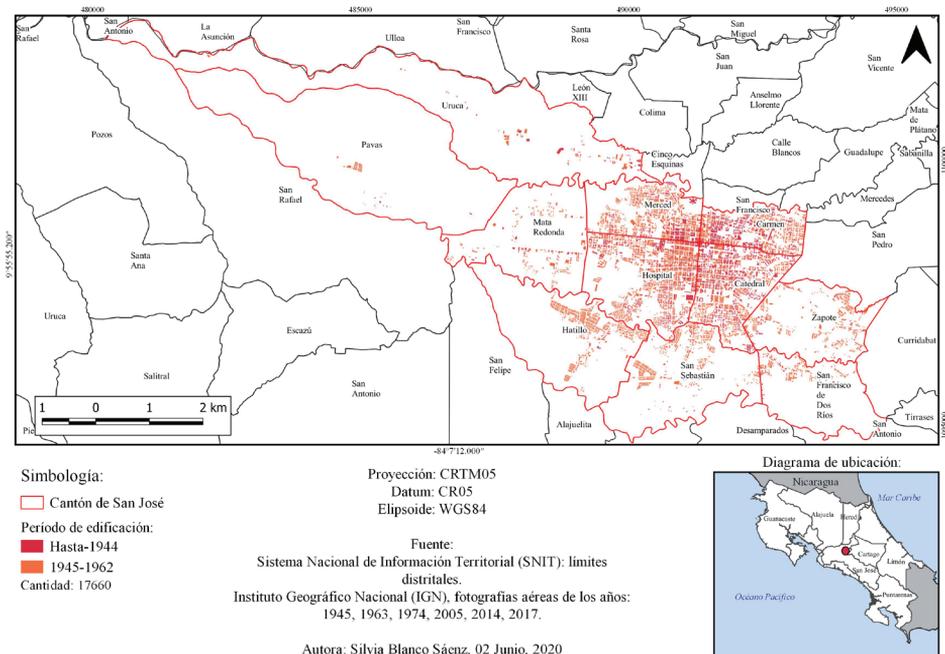
Importante tomar en cuenta los diferentes obstáculos que se presentan con la dificultad de la visualización por baja resolución de las fotos más antiguas y también que no todos los mosaicos poseen la misma cantidad de fotos aéreas. Por ejemplo, las fotos aéreas de 1945 fueron las más difíciles de georeferenciar y clasificar debido a la escala y baja resolución, mas eran solo tres fotos. Sin embargo, para el año 1989 el mosaico constaba de seis fotos pero la existencia de edificaciones clasificadas y la localización de otros puntos de referencia, junto con una escala que permitía una mayor visualización, facilitó la clasificación de polígonos para ese período de construcción.

## Expansión de la mancha urbana

En la figura 5 se muestra un mapa que representa el crecimiento urbanístico generado desde las infraestructuras construidas antes de 1944 hasta el año 1962, con una cantidad de 17 660 inmuebles a lo largo del cantón, correspondientes al 21% de total de edificaciones. Para 1944 los cuatro distritos más poblados eran la Merced, el Carmen, Hospital y Catedral, siendo Hospital el más urbanizado con 1 282 estructura, para el periodo de periodo de 1945 a 1962 que es la segunda etapa más antigua analizada en la investigación, se construyeron otros 12 863 inmuebles, que representan un 15.3% del total cantonal.

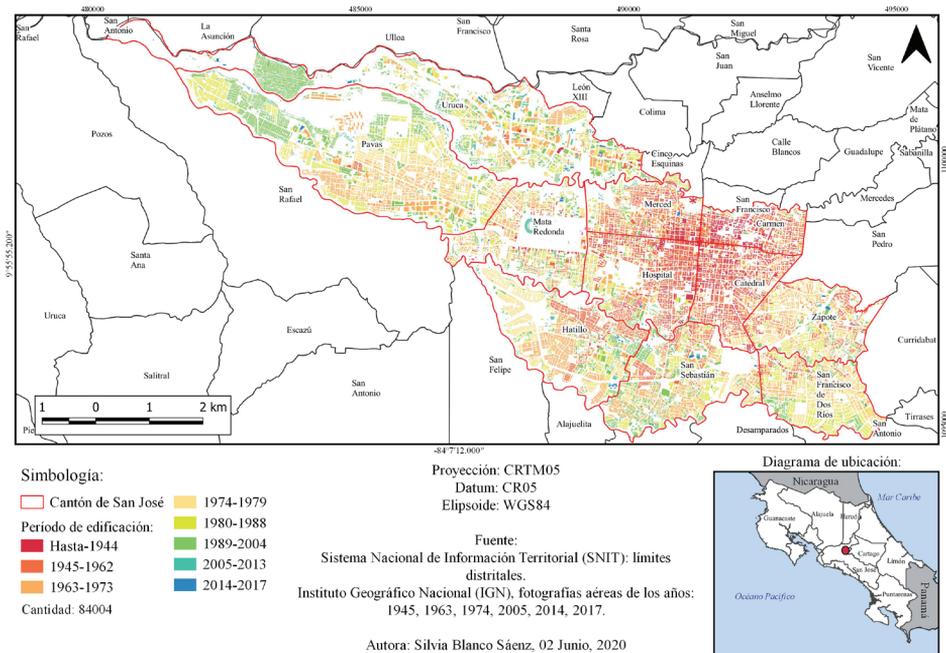
La figura 5 permite comprobar cuáles espacios territoriales fueron los primeros en empezar a habitarse y urbanizarse, los cuatro distritos se mantienen y continúa siendo el mayor poblado el distrito de Hospital con 3091 edificaciones nuevas, para un total de alrededor de 4 373. Los distritos de la Uruca y Pavas, fueron los que más tardaron en iniciar un proceso de urbanización, pues solo para el periodo de 1945 a 1962 ambos contaban con un total de 282 construcciones.

Figura 5. Mapa periodos “antes de 1944” y 1945-1962.



La figura 6 es un mapa que contiene las 84 004 edificaciones que conforman el cantón de San José para el año 2017, clasificadas según el periodo de construcción, para ese momento el distrito con mayor cantidad de edificios es el de Pavas con aproximadamente 19 685 estructuras. Importante destacar que como se mencionó en el párrafo anterior, este fue uno de los más tardíos en desarrollarse a nivel estructural pero esto se debe a que es en kilómetros cuadrados (9.34 km<sup>2</sup>) el distrito más grande y representa un 20.93% del total de territorio (MSJ, 2011, p.12), el distrito de Hatillo es el siguiente con 12 895 inmuebles en un espacio de 4.27 km<sup>2</sup>.

**Figura 6.** Mapa edificaciones 1944-2017.



Es significativo mencionar que para el censo del año 2011 Pavas contenía al 32.1% de la población cantonal y sumando al distrito de la Uruca, San Sebastián y Hatillo albergan alrededor del 70% de la misma. Algo que también hay que destacar es el hecho de que como ya se mencionó Pavas no solamente es el distrito con mayor población sino

que es el más grande y por ese mismo hecho se hallan la mayor cantidad de estructuras, pero el siguiente en expansión territorial es la Uruca con 8.35 km<sup>2</sup>, y este espacio alberga solo un 15.2% de la población siendo el cuarto más poblado y el cuarto en cantidad de estructuras con un aproximado de 9 101 inmuebles, lo previo se puede deber a que este es un distrito industrial.

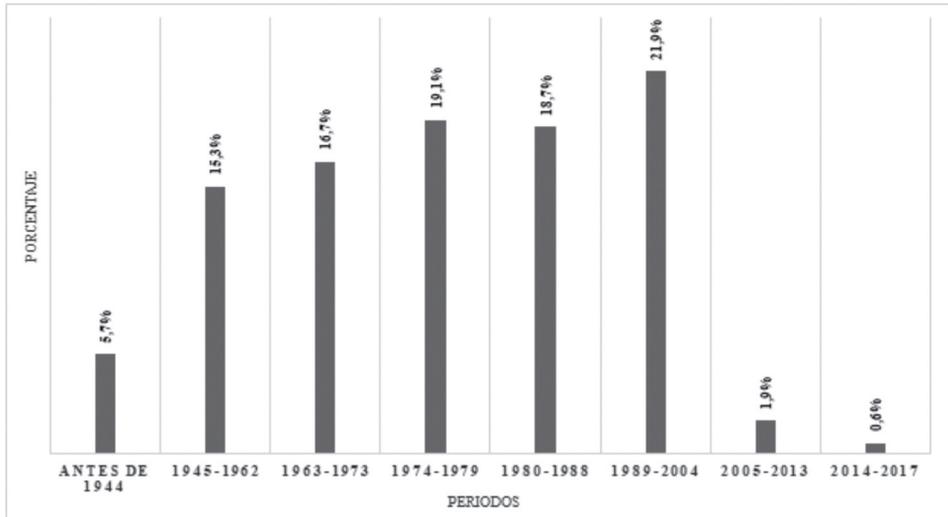
También se halla que los distritos que fueron los primeros en ser poblados como la Merced, el Carmen, Hospital y Catedral, son los que menor cantidad de estructuras poseen en la actualidad, junto con Mata Redonda, siendo el distrito del Carmen el que menos cantidad detenta en todo el cantón con alrededor de 1 802 edificios. Esto se puede deber a que son espacios donde la mancha urbana no puede avanzar más debido a que no hay espacios terrestres para continuar su expansión.

### **Relacionado al Código Sísmico de Costa Rica**

Se tiene que el 38% de la edificaciones del cantón de San José fueron construidas previo a la existencia de cualquier Código Sísmico de Costa Rica (CSCR), es decir antes del año 1974, como se observa en el gráfico 1 y tabla 3. Además, el 60% de las edificaciones se construyeron utilizando las versiones del CSCR de los años 74 y 86, previos a la versión del 2002, donde se incluyeron importantes requisitos para aumentar la ductilidad en las uniones y regiones de rótulas plásticas, dejando solamente un 2% de las estructuras construidas con las versiones más recientes del CSCR, 2002 y 2010.

Asimismo, con respecto a las proporciones de construcción se analiza que los periodos con menor construcción corresponde a los años actuales, pues desde el 2005 el cantón solo ha experimentado el crecimiento de un 2.5% aproximadamente. La mayor etapa de expansión urbana del cantón fue en el periodo de 1989 al 2004, con un aumento de estructuras de 21.9% que en cantidad de estructuras se traducen en 18 399 inmuebles, como se observa en la tabla 3.

**Grafico 1.** Porcentaje de edificaciones por periodo de construcción



**Tabla 3.** Resultados de cantidad de estructuras construidas según periodo de construcción.

Periodos	Antes de 1944	1945 - 1962	1963 - 1973	1974 - 1979	1980 - 1988	1989 - 2004	2005 - 2013	2014 - 2017	Total:
Cantidad de estructuras	4 767	12 893	14 040	16 048	15 683	18 399	1 680	494	84 004
Porcentaje de estructuras	5.7%	15.3%	16.7%	19.1%	18.7%	21.9%	1.9%	0.6%	100%
Tasa de construcciones promedio por año	--	716	1 276	2 675	1 743	1 150	187	124	--
Códigos sísmicos (CSCR)	Pre - Código			1974	1986	2002	2010	Total	
Total de edificaciones por versión de CSCR	31 700			31 731	18 399	1 680	494	84 004	
Porcentaje	37.7%			37.8%	21.9%	1.9%	0.6%	100%	

### Validación de resultados

Como un medio de validación o contraste de resultados, se buscó en la literatura las fechas de fundación de barrios de San José. Este tipo de información resultó ser difícil de encontrar, por lo que se obtuvo para 40 barrios de distintos distritos. En la tabla 4 se resume esta información.

**Tabla 4.** Contraste de periodos de construcción y fechas de fundación o expansión urbana de 40 barrios de San José.

Distrito	Barrio	Período de construcción según este estudio	Según literatura		Referencias	Coincidencia
			Año de fundación según literatura	Año de mayor expansión urbana		
Carmen						
	Amón	Previo 1944	1892	---	(Zamora, 2009, p.13)	Si
	Aranjuez	Previo 1944	1894	---		Si
	Otoya	Previo 1944	1906	---		Si
	Escalante	Previo 1944	---	1920-1940	(Moreira y Murillo, 2014, p. 37)	Si
	California Sur	Previo 1944	1855	1889	(Álvarez & Gómez, 2000, p. 59)	Si
Catedral						
	Lujan	1945-1962	Inicios del siglo XX	1936	(Zamora, 2013, p. 9)	Si
	La Cruz	Previo 1944	Década de 1940	---	(Álvarez & Gómez, 2000, p. 63)	Si
	Mil Flor	1945-1962	Década de 1940	---	(Zamora, 2013, p. 9)	Si
	Dos Pinos	1945-1962	Década de 1940	---	(Zamora, 2013, p. 9)	Si
	San Cayetano	1945-1962	Década de 1940	---	(Zamora, 2013, p. 9)	Si
	Güell	Previo 1944	1925	---	(Álvarez & Gómez, 2000, p. 74)	Si
	González Lahmann	1945-1962	Década de 1920	1960	(Zamora, 2013, p. 10-11)	Si
	Soledad	Previo 1944	1851	1892	(Álvarez & Gómez, 2000, p. 60)	Si
	Dolorosa	Previo 1944	1876	1910	(Álvarez & Gómez, 2000, p. 64)	Si
	González Víquez (Colección)	Previo 1944	1903	1910	(Álvarez & Gómez, 2000, p. 73)	Si
	Pacífico (El Laberinto)	Previo 1944	---	1905	(Álvarez & Gómez, 2000, p. 79)	Si
Hospital						
	Colon (parte)	Previo 1944	---	1940	(Zamora, 2011, p. 21)	Si
	San Francisco	Previo 1944	1940	---	(Zamora, 2011, p. 21)	Si
	San Bosco	Previo 1944	1940	---	(Zamora, 2011, p. 21)	Si
	Cristo Rey (barrio Keith)		1871 a 1875	---	(Moreira & Murillo, 2014, p. 37)	Si

Distrito	Barrio	Período de construcción según este estudio	Según literatura		Referencias	Coincidencia
			Año de fundación según literatura	Año de mayor expansión urbana		
Merced						
	Pitahaya	1945-1962	---	1951 a 1955	(Zamora, 2011, p. 19)	Si
Hatillo						
	15 de Setiembre (Ciudadela o Colonia 15 de Setiembre)	1945-1962	Década de 1960	---	(Blanco, 2015)	Si
La Uruca						
	La Carpio	1989-2004	1993 y 1994	---	(Rojas, 2009, p. 35)	Si
San Sebastián						
	Paso Ancho	Previo 1944	1914	1940	(Valverde, 2018)	Si
	Santa Rosa	1963-1973	1952	1964	(Valverde, 2018)	Si
Zapote						
	Quesada Duran	1945-1962	1890	1940	(Montero. A, y Marín. J, 1995, p.25)	No
	Córdoba	1945-1962	1890	1940	(Montero. A, y Marín. J, 1995, p.25)	No
	Moreno Cañas	1945-1962	1950	---	(Montero. A, y Marín. J, 1995, p.28)	Si
	La Gloria	1945-1962	---	1957	(Montero. A, y Marín. J, 1995, p.35)	Si
	Las Luisas	1963-1973	1960	---	(Montero. A, y Marín. J, 1995, p.35)	Si
	Trébol	1974-1979	1960	---	(Montero. A, y Marín. J, 1995, p.35)	No
	Yoses Sur	1963-1973	1960	---	(Montero. A, y Marín. J, 1995, p.35)	Si
	San Dimas	1963-1973	1960	---	(Montero. A, y Marín. J, 1995, p.35)	Si

Distrito	Barrio	Período de construcción según este estudio	Según literatura		Referencias	Coincidencia
			Año de fundación según literatura	Año de mayor expansión urbana		
Pavas						
	Bribri	1980-1988	1984	---	(Vargas. M, 2013, p. 22)	Si
	Metrópolis	1989-2004	1988	---	(Vargas. M, 2013, p. 22)	Si
	San Pedro	1989-2004	1987	---	(Vargas. M, 2013, p. 23)	Si
Mata Redonda						
	Colon (parte)	Previo 1944	---	1940	(Zamora, 2011, p. 21)	Si
	Sabana	Previo 1944	1894	1915	(MSJ, s.f.)	Si
	Rohrmoser	1963-1973	1851	---	(Hilje. , 2010, p. 29)	No
San Francisco de Dos Ríos						
	San Francisco	1963-1973	1801	1950	(MSJ, s.f.)	No

De los 40 barrios a los cuales se logró encontrar una fecha de fundación en literatura, solamente en cinco de ellos no hubo coincidencia entre esta y el período de construcción asignado en este estudio. De ellos, dos tienen una diferencia de apenas cinco años, mientras en los tres se presentan diferencias de mayor cantidad de años.

Es importante aclarar que las razones por las cuales en algunos de los barrios no hay una compaginación entre fecha de clasificación por foto aérea y fecha bibliográfica puede deberse a aspectos como que se dató la fecha de llegada de la familia fundadora como lo que en el caso del barrio Rohrmoser, o primeros arribos como en los barrios de Trébol y San Francisco, más se desconoce de posibles procesos de migración que llevaron a un aumento de población por ende de la edificación de asentamientos.

Quesada Dura y Córdoba también presentan desplazamiento temporal, de aproximadamente cinco años, lo cual no es una disidencia muy amplia pues los datos bibliográficos pueden haberse enfocado en asentamientos iniciales a la hora de datar las fechas de fundamentación y consolidación ignorado otro procesos de movimiento poblacional/ comercial.

## Conclusiones

Se presenta un estudio que consistió en la estimación de periodos de construcción aproximados para las 84 000 edificaciones del cantón de San José por medio del análisis de fotografías aéreas y ortofotos. Se demostró que estos insumos, disponible en el Instituto Geográfico Nacional (IGN) de Costa Rica, pueden ser utilizados con este fin, logrando un nivel de precisión adecuado tomando en cuenta la cantidad de estructuras trabajadas. Así mismo, se documentó la duración del proceso para posibilitar proyecciones para otros estudios similares.

El período con mayor cantidad de estructuras desarrolladas fue el de 1989-2004, en el que se construyeron 18 399 estructuras, representando un 22 % del total de edificaciones presentes al 2017. El periodo con menor edificaciones construidas fue el de 2014-2017, con 494 estructuras representado solamente un 0.6%. Se calculó una tasa de construcción promedio, la cual tuvo su valor más alto para el periodo de 1974-1979, con 2 675 edificaciones construidas por año, seguida del periodo 1980-1988 con 1 743.

El 38% de las edificaciones se construyeron previo a la existencia del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR), el 60% utilizando las versiones del CSCR de los años 1974 y 1986. Solamente un 2% de las estructuras corresponden a las versiones más recientes del CSCR, 2002 y 2010, las cuales incluyeron requisitos esenciales para la seguridad de la edificación, como lo serían el aumento de la ductilidad en las uniones y regiones de rótulas plásticas.

Se hace un contraste de los resultados obtenidos con fuentes bibliográficas, logrando obtener información para 40 de los 196 barrios que componen el cantón de San José. Solamente en cinco de ellos no hubo coincidencia entre el periodo de construcción determinado por medio de la fuente bibliográfica y el asignado en este estudio. De ellos, dos tienen una diferencia de apenas cinco años, mientras en los tres se presentan diferencias de mayor cantidad de años. Esto se considera una medida de la precisión de los resultados, siendo bastante aceptable.

Finalmente, el dato del periodo de construcción para edificaciones puede ser útil para distintos fines, entre ellos los estudios de riesgo ante amenazas naturales, no limitándose exclusivamente a la amenaza sísmica. En este trabajo se expone su gran valor y utilidad en el contexto de evaluaciones de riesgo sísmico físico.

## Financiamiento

Esta investigación se financió con fondos provenientes del Transitorio I de la Ley Nacional de Emergencias (N° 8488) de la República de Costa Rica.

## Reconocimientos

A los estudiantes de la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica: Brayna Ruiz, quien colaboró con el proyecto en el año 2018 y generó los polígonos de las huellas constructivas del barrio de La Carpio; Kevin Cordero, quien colaboró durante el periodo 2020 en la clasificación de años de construcción.

## Referencias

- Álvarez, Y. y Gómez, D. (2000). *San José de Antaño, Distrito Catedral (1890-1940)*. Ministerio de Cultura y Juventud: Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural. [http://www.patrimonio.go.cr/biblioteca\\_digital/publicaciones/San\\_Jose\\_de\\_Antano.html](http://www.patrimonio.go.cr/biblioteca_digital/publicaciones/San_Jose_de_Antano.html)
- Blanco, R. (2015). “Los del Sur de la Ciudad Capital”: Control Social y Estigmatización en los Barrios del Sur de San José, 1950-1980. *Diálogos Revista Electrónica*. Vol. 16 (2). <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/dialogos/article/view/17880/19531>
- Calderón, A. (2016). Probabilistic Earthquake Loss Assessment for Costa Rica. In *Masters Thesis*. Earthquake and Seismology Engineering. Instituto Universitario di Studi Superiori di Pavia.
- Calderón, A., & Silva, V. (2019). Probabilistic seismic vulnerability and loss assessment of the residential building stock in Costa Rica. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(3), pp. 1257–1284. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0499-1>
- Cardona, O., Yamín, L., Bernal, G., Ordaz, M., Reinoso, E., Barbat, A., & Carreño, M. (2009a). T2-2 Recursos de información disponibles. *Informe de CAPRA Costa Rica*, pp. 39. <https://www.ecapra.org/documentos/documentos-capra-costa-rica>
- Cardona, O., Yamín, L., Bernal, G., Ordaz, M., Reinoso, E., Barbat, A., & Carreño, M. (2009b). T2-3 Modelación probabilista de amenazas naturales. *Informe de CAPRA Costa Rica*, pp. 93. <https://www.ecapra.org/documentos/documentos-capra-costa-rica>

- Cardona, O., Yamín, L., Bernal, G., Ordaz, M., Reinoso, E., Barbat, A., & Carreño, M. (2009c). T2-4 Inventario de elementos expuestos. *Informe de CAPRA Costa Rica*, pp. 1–42. <https://www.ecapra.org/documentos/documentos-capra-costa-rica>
- Cardona, O., Yamín, L., Bernal, G., Ordaz, M., Reinoso, E., Barbat, A., & Carreño, M. (2009d). T2-5 Caracterización local de la vulnerabilidad de edificaciones. *Informe de CAPRA Costa Rica*, pp. 1–66. <https://www.ecapra.org/documentos/documentos-capra-costa-rica>
- Esquivel-Salas, L. (2020). Avance del modelo de exposición del cantón de San José para evaluaciones de riesgo sísmico. *Revista Ingeniería*, 30(2), pp. 103–119. <https://doi.org/10.15517/RI.V30I2.40469>
- Evaluación de Riesgos Naturales y Antropogénicos. (2014). *Valoración de la vulnerabilidad física y riesgo ante sismos en distritos clave del Cantón de San José*. ERN, 153.
- FEMA. (2013). Hazus–MH 2.1: Earthquake Model Technical Manual. In *FEMA*. [www.fema.gov/plan/prevent/hazus](http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus)
- Gutiérrez, J. (2005). *Topografía para las Tropas. Coronel (I.P.M):* N° 149.227. Consultado el 26 de mayo de 2020, de <http://cartomap.cl/utfsm/Texto-Topograf%EDa/Cap%2009%20Ortofoto.pdf>
- Hilje, L. (2010). La Vida En San Josea Mediados Del Siglo Xix.Remembranzas De Don Chico Rohmoser. *Revista Herencia Vol. 23* (2), pp. 29-30, <https://maritzacartin.files.wordpress.com/2019/01/la-vida-en-sj-a-mediados-del-siglo-xix-chico-rohmoser.pdf>
- Lizano, M. (2017). *Curso de Sistemas de Información Geográfica* utilizando QGIS.
- Miyamoto Internacional Inc. (2016). Assessment of Earthquakes Risks. *The USAID / OFDA PREPARE Program. Phase I, December*, pp. 1–59.
- Montero, A. y Marin, J. (1995). *Zapote y su Historia*. Universidad de Costa Rica.
- Moreira, J., y Murillo, P. (2014). *Convivencia urbana en San José. Un estudio sobre las prácticas cotidianas, las representaciones y proyecciones de las y los habitantes de barrio Cristo Rey y Escalante (2011-2013)*. CLACSO: CICDE-UNED. [http://biblioteca.clacso.edu.ar/Costa\\_Rica/cicde-uned/20170628054956/pdf\\_858.pdf](http://biblioteca.clacso.edu.ar/Costa_Rica/cicde-uned/20170628054956/pdf_858.pdf)
- Mouroux, P., Bertrand, E., Bour, M., Le Brun, B., Depinois, S., & Masure, P. (2004). The European RISK-UE project: an advanced approach

- to earthquake risk scenarios. *13th World Conference on Earthquake Engineering, paper No. 3329*, 14.
- Municipalidad de San José (MSJ). (s.f.). *Breve historia del Distrito Mata Redonda*. Municipalidad de San José. Consultado el 28 de junio de 2020, de: [https://www.msj.go.cr/MSJ/Capital/SiteAssets/distritos/Bcas\\_historia%20mata%20redonda.pdf](https://www.msj.go.cr/MSJ/Capital/SiteAssets/distritos/Bcas_historia%20mata%20redonda.pdf)
- Municipalidad de San José. (MSJ). (s.f.). *Breve historia del Distrito. Municipalidad de San José*. Consultado el 28 de junio de 2020, de: [https://www.msj.go.cr/MSJ/Capital/SiteAssets/distritos/Bcas\\_historia%20san%20francisco.pdf](https://www.msj.go.cr/MSJ/Capital/SiteAssets/distritos/Bcas_historia%20san%20francisco.pdf)
- Municipalidad de San José. (MSJ). (2011, agosto). *Diagnóstico Cantonal*. [https://www.msj.go.cr/informacion\\_ciudadana/SiteAssets/DIAGN%C3%93STICO%20CANTONAL.pdf](https://www.msj.go.cr/informacion_ciudadana/SiteAssets/DIAGN%C3%93STICO%20CANTONAL.pdf)
- Obando. (2018). Comunicación Personal, 20 de mayo 2020.
- QGIS. (s.f.). *Acerca de QGIS*. Consultado el 04 de junio de 2020. <https://www.qgis.org/es/site/about/index.html>
- Rojas, T. (2009). *Espacios de Comercio para la Carpio: Reconquistando la Ciudad*. (Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica). Repositorio Institucional UCR. <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/75439>
- Simpson, A., Murnane, R., Saito, K., Phillips, E., Reid, R., & Himmelfarb, A. (2014). *Understanding risk. In GFDRR-World Bank. World Bank*. <https://doi.org/10.1136/bmj.329.7474.1086>
- Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). (s.f) *Ortofoto 2015-2018 1k*. Consultado el 04 de junio de 2020. [http://www.snitcr.go.cr/servicios\\_ogc\\_lista\\_capas?k=bm9kbzo6NjA=&nombre=Ortofoto%202015-2018%201k](http://www.snitcr.go.cr/servicios_ogc_lista_capas?k=bm9kbzo6NjA=&nombre=Ortofoto%202015-2018%201k)
- Valverde, E. (18 de enero de 2018). *Cr-Paso ancho San Sebastián. Algunas fechas importantes en la historia de Paso Ancho. Caminante del Sur*. Consultado 15 de mayo de 2020. <https://caminantedelsur.com/2018/01/18/cr-pasoancho-san-sebastian-algunas-fechas-importantes-en-la-historia-de-paso-ancho/>
- Vargas, M. (2013). *Una aproximación al desarrollo histórico y socioeconómico de la región de Pavas (1783-2013). Encuentro de Interculturalidad*. Consultado el 28 de junio de 2020, de <https://docs.google.com/file/d/0B2AJEdLISOWFMVRDNnhHUWdXMG8/edit>

- Villalobos. (2020). Comunicación Personal, 27 de mayo 2020.
- Zamora, C. (2009). *Distrito Carmen, Cantón de San José*. Ministerio de Cultura y Juventud: Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural. [http://www.patrimonio.go.cr/biblioteca\\_digital/publicaciones/Circuito%20El%20Carmen.html](http://www.patrimonio.go.cr/biblioteca_digital/publicaciones/Circuito%20El%20Carmen.html)
- Zamora, C. (2011). *Paseo Colón (Distrito Merced y Hospital)*, Ciudad de San José. Ministerio de Cultura y Juventud: Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural. [http://patrimonio.go.cr/biblioteca\\_digital/publicaciones/Paseo%20Colon.html](http://patrimonio.go.cr/biblioteca_digital/publicaciones/Paseo%20Colon.html)
- Zamora, C. (2013). *Distrito Catedral, Cantón de San José*. Ministerio de Cultura y Juventud: Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural. [http://patrimonio.go.cr/biblioteca\\_digital/publicaciones/2013/Circuito\\_turistico\\_Catedral.html](http://patrimonio.go.cr/biblioteca_digital/publicaciones/2013/Circuito_turistico_Catedral.html)



**ESTUDIOS DE CASO**

**CASE STUDIES**





## Identificación y caracterización de potenciales sistemas acuíferos en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa, República de Panamá

Identification and characterization of potential aquifer systems in the middle and lower part of the La Villa River basin, Republic of Panama.

*Valentina Opolenko de Arjona<sup>1</sup>*

*Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), Panamá*

### Resumen

La cuenca hidrográfica del río La Villa es considerada como cuenca prioritaria del país, por ser una de las más importantes en el ámbito nacional debido a su gran valor socioeconómico y, en contraste, la más degradada ambientalmente al enfrentar los mayores períodos de déficit hídrico y sequías. El objetivo de esta investigación fue determinar las condiciones geológicas en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa, con el fin de identificar nuevas reservas explotables de aguas subterráneas, revelando zonas perspectivas donde existen acuíferos cuya geometría y características hidráulicas no se conocen en forma precisa. Para esto, se realizó el levantamiento geológico complementado con la exploración geofísica, que comprendió un conjunto de trabajos de campo y la generación de los respectivos mapas y perfiles litológicos. Como resultado, en el área investigada fueron delimitadas y caracterizadas las zonas acuíferas Borrola-La Colorada y Pesé, ambas perspectivas para potenciar las futuras explotaciones de agua subterránea. Con la ejecución de este proyecto piloto, se han sentado por primera vez en el país las bases metodológicas para adquirir los conocimientos necesarios encaminados a la detección de sitios óptimos para la ubicación de futuras perforaciones con la aplicación de criterios técnicos apoyados en la ciencia hidrogeológica. Estos criterios están orientados hacia los tomadores de decisiones y gestores de los recursos hídricos

1 Doctora en Tecnología Ambiental y Gestión del Agua. Investigadora en Gestión del Agua del Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe, CATHALAC, Edificio 111, Ciudad del Saber, Clayton, Panamá, República de Panamá. Correo electrónico: [valentina.opolenko@cathalac.int](mailto:valentina.opolenko@cathalac.int)  
 <https://orcid.org/0000-0002-8734-9349>

para que puedan aprovecharlos de manera sostenible, abandonando el esquema existente de simple extracción no sólo en la cuenca del río La Villa, sino a nivel nacional.

**Palabras clave:** Cuenca hidrográfica, agua subterránea, acuífero, geofísica, sostenibilidad.

### **Abstract**

The La Villa River hydrographic basin is considered a priority basin in Panama due to its great socioeconomic value, however, its environmental degradation is notorious as consequence of having suffered from the greatest number of water deficiency periods and droughts. The objective of the present investigation was to determine the geological conditions in the middle and lower part of the La Villa River basin, in order to identify new exploitable groundwater reserves and to reveal prospective zones housing aquifers whose geometry and hydraulic characteristics are not known precisely. Thus, a geological survey was carried out and complemented with geophysical exploration which included field work and the creation of maps and lithological profiles. As a consequence of our research, the *Borrola-La Colorada* and *Pesé* aquifers zones were delimited and characterized in the investigated area and both deemed prospective for future groundwater exploitation. With the execution of this pilot project the methodological foundations have been established, for the first time in Panama, for obtaining the necessary knowledge involved in the detection of optimal future drilling sites based on technical criteria leveraged on hydrogeological science. These criteria are made available to decision makers and water resource managers for the sustainable exploitation of water resources thus promoting the departure from the existing irrational scheme of simple extraction applied not only in La Villa River basin but other basins throughout the nation.

**Keywords:** Watershed; Groundwater; Aquifer; Geophysics; Sustainability.

## **Introducción**

El cambio climático, que ya está en marcha con efectos adversos sobre los recursos hídricos que estamos obligados a mitigar, nos ocasionará en un futuro cercano una mayor dependencia de las aguas subterráneas como mecanismo de protección contra las sequías, dada la creciente incertidumbre respecto de la disponibilidad del agua superficial. Cada vez que nuestra sociedad enfrenta una situación de crisis como el fenómeno El Niño, surgen soluciones de emergencia, que obligan a tomar decisiones en busca de paliativos temporales. Sin embargo, los recursos hídricos como el agua subterránea para su exploración y explotación requieren métodos sistemáticos con base científica.

El agua subterránea permite cubrir las necesidades hídricas de gran parte de la población de Panamá en áreas rurales, en pequeñas y grandes aglomeraciones urbanas, aún en aquellas regiones con aguas superficiales en abundancia.

Actualmente, el conocimiento que se tiene a nivel nacional sobre el potencial de los acuíferos y la calidad de las aguas subterráneas es muy pobre, y no se cuenta administrativamente con los instrumentos de gestión necesarios

para ejercer un control sobre la explotación de los acuíferos, debido a que en el país todavía no existen los programas de regulación de extracción y protección de la calidad de las aguas subterráneas, dirigidos a los acuíferos, donde se definan restricciones de volúmenes de la demanda y de uso de la tierra frente a la vulnerabilidad de contaminación de los acuíferos.

En consecuencia, las políticas vigentes de concesión de recursos hídricos subterráneos pueden llevar a situaciones de sobreexplotación, con el enorme riesgo de dejar a la población sin esta fuente de abastecimiento de agua, más aún en aquellas zonas donde el agua subterránea es la única fuente de suministro para todos los usos.

Con el fin de identificar nuevas reservas de aguas subterráneas susceptibles de explotación en la cuenca hidrográfica del río La Villa de Panamá en el marco del proyecto *“Fortalecimiento de la Resiliencia de los Recursos Hídricos Frente al Cambio Climático en dos Ciudades de la Cuenca del Río La Villa en el Arco Seco de Panamá”* ejecutado por el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), con fondos del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC, Canadá) y del Ministerio de Ambiente de Panamá (MIAMBIENTE), se realizó un estudio denominado *“Identificación y caracterización de potenciales sistemas acuíferos en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa, República de Panamá”*.

Su objetivo principal fue determinar las condiciones geológicas en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa, con el fin de identificar nuevas reservas explotables de aguas subterráneas, revelando zonas perspectivas donde existen acuíferos cuya geometría y características hidráulicas no se conocen en forma precisa.

Es importante señalar que los alcances de los componentes del estudio, están estrechamente relacionados con las Metas del Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050: Agua para Todos (Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica, 2016). Este documento representa una hoja de ruta con cinco metas y retos específicos, alcanzables en un horizonte de 35 años, que son: acceso universal al agua de calidad y saneamiento básico; agua para crecimiento económico inclusivo; mantenimiento de 52 cuencas hidrográficas saludables; asegurar el funcionamiento de la infraestructura nacional de agua y saneamiento y finalmente garantizar la sostenibilidad hídrica.

Asimismo, hay vínculo directo con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas (ONU, 2015), ya que la metodología aplicada en la realización de este estudio está plasmada en la Evaluación de los Recursos Hídricos (ERH), que forman parte de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), cuyo enfoque se basa en cuatro “principios guía” que cubren aspectos ambientales, sociales, políticos y económicos (WWAP, 2016).

De esta manera, el modelo de gestión aplicado permitió durante la ejecución de la investigación la fusión de los aspectos científicos, técnicos con los sociales, integrando la gestión del agua superficial y subterránea en un sentido cualitativo, cuantitativo y ecológico desde una perspectiva multidisciplinaria y centrada en las necesidades y requerimientos de la sociedad en materia de agua.

Además, al finalizar este estudio los resultados alcanzados ofrecen herramientas tecnológicas que permiten a los usuarios de la cuenca minimizar la dependencia de las aguas superficiales mediante el uso racional del agua subterránea, creando así la resiliencia hídrica. Por otra parte, la investigación realizada logra sentar las bases para que los tomadores de decisiones y gestores de los recursos hídricos subterráneos puedan aprovecharlos de manera sostenible, abandonando el esquema existente de simple extracción.

### Área de estudio

La cuenca hidrográfica del río La Villa se localiza en la vertiente del Pacífico de la República de Panamá, en la península de Azuero, en la cual, según el último Censo Nacional de Población, habitan aproximadamente 95 mil personas (INEC, 2010). Es una extensa zona de 1,296 km<sup>2</sup> (IGNTG, 2007), donde el 59 % de la cuenca pertenece al llamado *Arco Seco* (Opolenko, 2016), una región que comprende las llanuras y colinas costeras orientales de las provincias de Los Santos y Herrera, así como el litoral Sur de la provincia de Coclé.

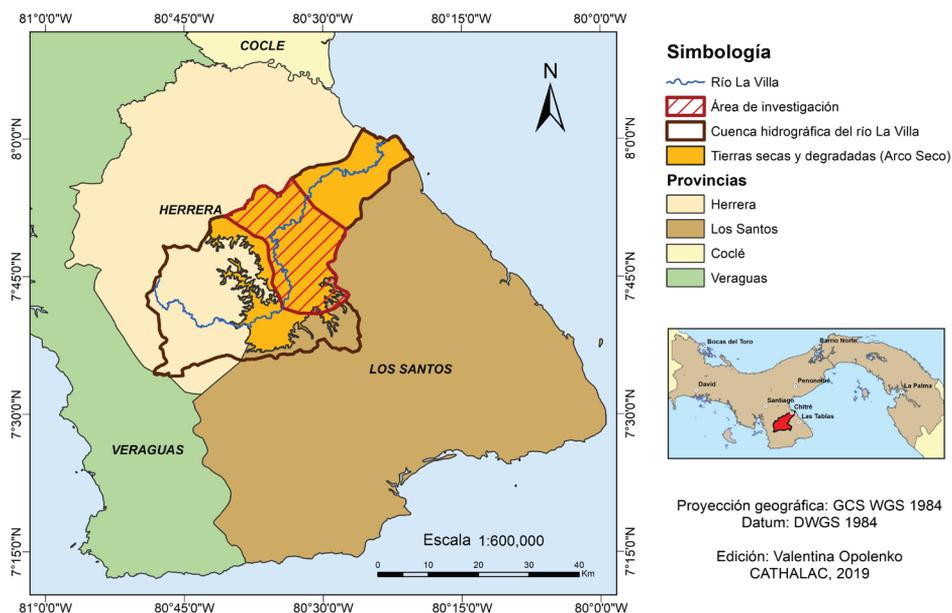
El área mencionada enfrenta los mayores periodos de déficit hídrico y sequías a consecuencia de la variabilidad climática natural de la zona y los eventos meteorológicos extremos (ANAM, 2009). También, según la Zonación de Regímenes Hídricos en América Latina y el Caribe, incluyendo a Panamá, la superficie de Arco Seco se clasifica como un territorio subhúmedo, con 5-6 meses secos (UNESCO, 2007), tiene clima tropical

seco con precipitaciones anuales inferiores a los 1500 mm (las menores del país, variando entre los 1000 y 1500 mm/año), y escasez de agua en comparación con el resto del territorio.

La cuenca del río La Villa es considerada como una de las más importantes en el ámbito nacional debido a su gran valor socioeconómico y, en contraste, la más degradada ambientalmente, lo que reflejan los Indicadores Ambientales para las tierras secas y degradadas de Panamá (ANAM, 2007).

Mientras tanto, el área de estudio, que comprende zonas parciales de la parte media y baja de la cuenca del río La Villa, es un extenso territorio de 349 km<sup>2</sup>, en la cual habitan unas 13 mil personas. Es un importante polo de desarrollo agroindustrial, a pesar que se ubica justamente en la región de Arco Seco (Figura 1).

**Figura 1.** Localización de la cuenca del río La Villa y el área de investigación.



**Fuente:** Elaboración propia, 2019.

La delimitación del área de estudio se realizó con un criterio geológico y geomorfológico, a fin de revelar nuevas zonas donde existen acuíferos perspectivas para su futura explotación, es decir, de manera independiente

de la división política provincial. Cabe destacar que esta área, como ya se mencionó, se ubica en la parte media y baja de la cuenca, razón por la cual algunos distritos y corregimientos solo están contemplados de manera parcial con respecto a su división territorial administrativa.

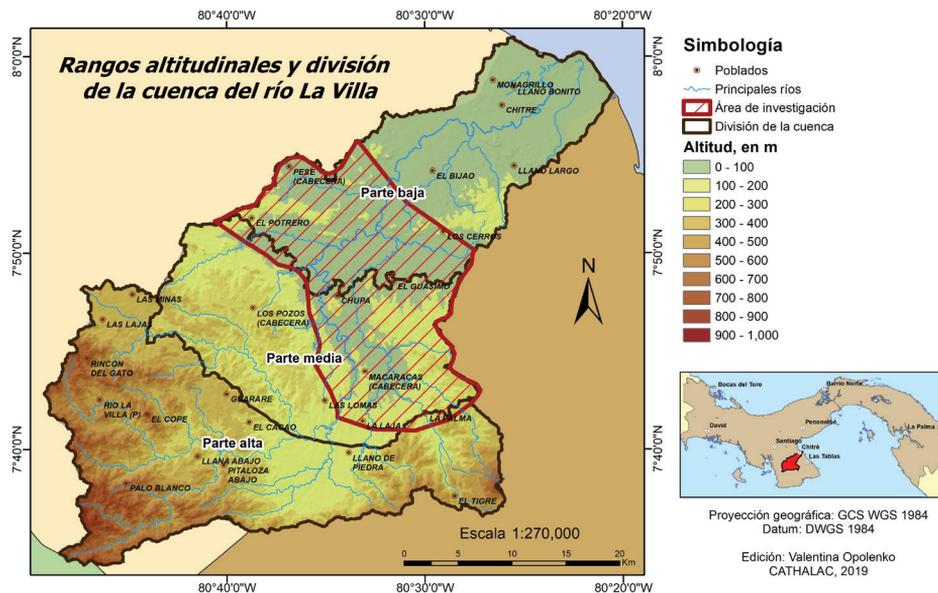
El relieve del área de estudio se caracteriza por la presencia de un amplio sector de llanuras y por tierras con colinas suaves, cuyos alineamientos muestran signos de avanzados procesos de erosión y efecto degradante de las actividades agropecuarias. La elevación media en esta zona es de unos 100 msnm. A nivel general, tomando en consideración los rangos altitudinales, la cuenca del río La Villa se divide en partes alta, media y baja.

Esta división se basa en rangos de elevación calculados a partir del modelo digital de elevación (MDE) de la cuenca y se estableció durante la ejecución del proyecto “Plan de Ordenamiento Territorial Ambiental de la Cuenca del Río La Villa”, realizado por la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) en el año 2008. Los límites altitudinales quedaron establecidos de la siguiente manera: la parte baja de la cuenca se extiende desde los 0 m hasta una elevación de 80 metros. La parte media se inicia en los 80 m hasta los 300 m y la parte alta desde los 300 m hasta la altura máxima de la cuenca, que sería el cerro Cacarañado con 957 m (Figura 2).

Geomorfológicamente la parte de la cuenca del río La Villa que constituye la zona de estudio, está representada por la unidad denominada como Regiones Bajas y Planicies Litorales en el área de Pesé, y la parte suroeste por la Región de Cerros Bajos y Colinas en sectores como Esqui-guita, Borrola y Quebrada El Potrero (IGNTG, 2007).

Con respecto a la cobertura y usos actuales del suelo, predomina el uso agropecuario con 63 % de la superficie total del área de estudio y 31.1 % del territorio está cubierto por rastrojos y matorrales. Sólo un 3.1 % de la superficie está ocupado por bosques primarios y secundarios o intervenidos. Prácticamente, las áreas de bosques están rodeadas por matorrales que parecen formar una zona de amortiguamiento o transición de cobertura boscosa a la actividad agropecuaria. El resto de la superficie de las partes media y baja de la cuenca está formado por otro tipo de cobertura como uso urbano y agua (Cuadro 1 y Figura 3).

**Figura 2.** Rangos altitudinales y división de la cuenca del río La Villa.



Fuente: Elaboración propia a partir de ANAM, 2008.

**Cuadro 1.** Cobertura y usos actuales del suelo en el área de estudio.

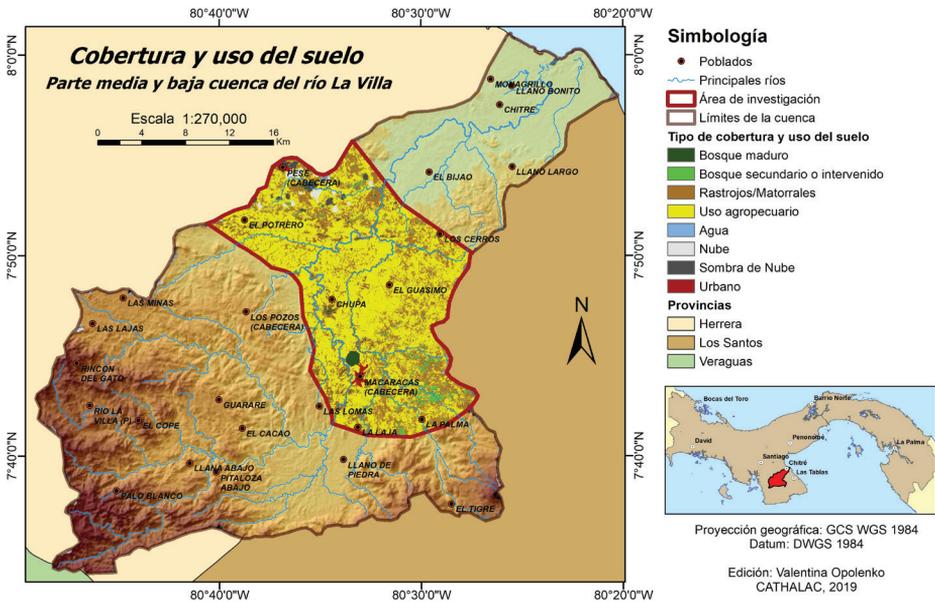
Tipo de cobertura	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de ocupación
Bosque maduro	3.43	1.0
Bosque secundario o intervenido	7.49	2.1
Rastrojos/ Matorrales	108.32	31.1
Uso agropecuario	219.72	63.0
Agua	0.33	0.1
Urbano	2.24	0.6
Otros (nube y sombra de nube)	7.04	2.0
<b>Total</b>	<b>348.57</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de ANAM, 2008

Los sistemas de producción que predominan en la zona investigada son la agricultura de subsistencia y la agricultura comercial. Bajo el sistema de agricultura de subsistencia se producen cultivos de granos básicos como arroz, maíz, frijoles y guandú; también se cultivan algunas hortalizas como tomates, pimentones, pepinos, cebollas; además se siembran raíces y tubérculos como ñame, yuca y oteo; frutales como piña, café y plátanos;

y otros como la caña de azúcar y el achiote. Mientras tanto, las principales especies que se cultivan bajo el sistema de la agricultura comercial son el maíz, la caña de azúcar, las cucurbitáceas (melón, sandía y zapallo), el tomate y pimentón (INEC, 2011).

**Figura 3.** Cobertura y uso del suelo en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa.



Fuente: Elaboración propia a partir de ANAM, 2008.

### Caracterización geológica

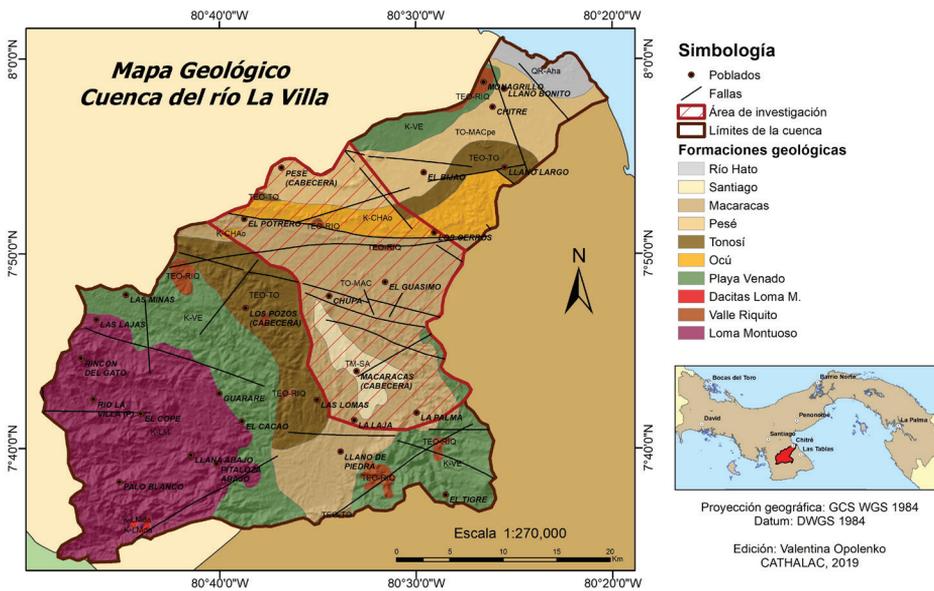
El marco geológico de la cuenca del río La Villa, así como de la zona de investigación, se desarrolla en un ambiente complejo por su evolución histórica de pequeño arco de islas y mares poco profundos a un istmo afectado por intensa actividad volcánica acompañada de emersiones, regresiones y movimientos tectónicos con vectores multidireccionales, erosión y sedimentación en el plano horizontal.

El conjunto litológico que constituye el área de estudio presenta rocas asociadas a la actividad volcánica de la península de Azuero, un elemento fundamental para entender cómo se formó el relieve, debido a que

muchos de los cambios que se dieron en esta parte de la cuenca dependen de la naturaleza de las rocas, ya que el comportamiento de estos relieves se producirá de una manera concreta ante los empujes tectónicos, los agentes de erosión y transporte, así como la variación del clima.

Según el Mapa Geológico de Panamá (DGRM, 1991), en la zona investigada afloran rocas de origen ígneo y sedimentario, cuyas edades de formación comprenden un amplio intervalo de tiempo (83.6 a 13.8 Ma) desde el período Secundario al Terciario (Figura 4 y Cuadro 2).

**Figura 4.** Mapa geológico de la cuenca del río La Villa y del área de investigación.



Fuente: Elaboración propia a partir de DGRM, 1991.

## Cuadro 2. Formaciones geológicas y la litología del área de estudio.

Periodo	Formación	Símbolo	Descripción
<i>Formaciones Sedimentarias</i>			
Terciario	Santiago	TM-SA	Arenisca, conglomerado
	Macaracas	TO-MAC	Tobas y areniscas tobáceas
	Pesé	TO-MACpe	Tobas continentales, areniscas, calizas
	Tonosí	TEO-TO	Lutitas, areniscas
Secundario	Ocú	K-CHAO	Calizas y tobas
<i>Formaciones Volcánicas (Extrusivas)</i>			
Secundario	Playa Venado	K-VE	Basaltos, pillow lavas
<i>Formaciones Plutónicas (Intrusivas)</i>			
Terciario	Valle Riquito	TEO-RIQ	Cuarzodioritas, noritas y gabros

Fuente: DGRM, 1991.

### Caracterización del sistema de fallamientos y principales estructuras geológicas

La evolución de la geología histórica de la zona investigada muestra un cuadro de intercalamientos de formaciones sedimentarias, ígneas efusivas e intrusivas, que posteriormente fueron afectadas por levantamientos y movimientos tectónicos que han moldeado con importantes fallas regionales su configuración actual.

Por ejemplo, a pesar de que se encuentran fuera del área de investigación, en las exploraciones con recuperación de núcleos como el del pozo en “Punta Búcaro” realizado por el proyecto “Catastro Rural de Tierras y Aguas” de la Comisión de Reforma Agraria, Geología (CARTAP, 1968) en Tonosí, provincia de Los Santos, se revelaron rocas sedimentarias con un espesor de unos 700 metros desde la superficie, con capas interestratificadas de calizas, calizas arenosas, lutitas, arenisca tobácea, hasta tocar el techo de una brecha volcánica que contenía una matriz limosa con fragmentos de fósiles.

Es notable que en el área de Macaracas se recuperaran también brecha y aglomerado fracturado con relleno de calcita, pero casi aflorando en un pozo de 310 m de profundidad (Pozo N° IDAAN MP2), perforado en 2017 con recuperación de núcleos, lo cual indica el amplio espectro del espesor de las capas sedimentarias y volcánicas en Azuero.

En lo que respecta a tectónica, la península de Azuero, donde se localiza la cuenca del río La Villa, tiene un marcado sistema de fallamientos asociados a los eventos tectónicos regionales emanados por la presión de

las placas tectónicas desde el sur, que tienen vectores de acción de oeste a este (Nazca y Cocos), relevantes durante el desarrollo del istmo de Panamá y actualmente activos con subducción a lo largo de Suramérica, que de manera diferencial se reflejan en el ascenso del istmo y sectores puntuales como la península de Azuero, lo que permitió movimientos progresivos del basamento oceánico en contraposición con la placa del Caribe.

Concretamente, en el área de la cuenca en el plano horizontal, la mayoría de tectolineales tienen la dirección este-oeste, pero también están interceptadas por una zona de fallas con dirección noroeste-sureste. Además de estos fracturamientos regionales, existen otros de menor dimensión, relacionados con el sistema de diaclasas o juntas más pequeñas, lo que refleja la topografía y composición de la red hidrográfica dentro de la cuenca, incluida la zona de investigación.

En el plano vertical son notorios los levantamientos por colisión de bloques o desplazamientos, a lo largo de una falla regional que va de este a oeste, denominada falla *Ocú-Parita* en el mapa Geológico Nacional escala 1:250,000. Los bloques desplazados luego fueron erosionados y pueden observarse al sur de Pesé en la zona investigada.

El evento tectónico indicado es relevante porque deja expuesta la formación más antigua de una secuencia de tres formaciones: la formación Ocú, Tonosí y Pesé. En la parte inferior se tiene la formación Ocú, del grupo Changuinola (K-CHAo) del Cretácico superior, siendo visibles afloramientos de calizas y tobas; sobre esta se superpone la formación Tonosí (TEO-TO) del Eoceno, con lutitas y areniscas. En la parte superior se presenta la formación Pesé (TO-MACpe) del Oligoceno con tobas continentales, areniscas y calizas.

La amplitud del levantamiento de las formaciones sedimentarias mencionadas, que tienen en su parte superior a la formación Pesé (TO-MACpe), concuerda con los buzamientos con dirección noreste con ángulos de 11 a 25° de inclinación. No obstante, hay dislocaciones donde afloran capas hasta 45°, como en el caso en la entrada de la ciudad de Pesé (Figura 5).

**Figura 5.** Corte de talud en la entrada a Pesé, con buzamiento de capas por el orden de 45°.



**Fuente:** Autora

Con respecto al desplazamiento de bloques, relacionado con esta falla regional, el proyecto de la Comisión de Reforma Agraria que generó mapas de *Geología y Geomorfología* escala 1:50,000 para el área de Pesé (CARTAP, 1968), indica que el bloque norte se desplaza en forma relativa hacia el oeste y el sector sur de la falla se ha desplazado hacia el este, siendo una información relevante, pues el mapa tiene referencia de rasgos geológicos a nivel de semidetalle. Por otra parte, esto coincide con la orientación noroeste de la propia península de Azuero que pudiera reflejar cierta rotación del bloque peninsular ante las fuerzas descritas.

La información de los mapas geológicos de la Comisión de Reforma Agraria (CARTAP, 1968) pone a disposición del usuario valiosa información sobre fallas secundarias que permiten delinear zonas productivas para la explotación de aguas subterráneas. Además, se registran intrusiones y diques que definen barreras de los eventuales acuíferos.

Se reflejan también en este material gráfico con buen detalle, estructuras como anticlinales y sinclinales. Por otra parte, también se definen con bastante claridad los detalles de capas geológicas inclinadas con buzamiento y dirección de los estratos, lo cual facilitó en el marco del estudio realizado la confección de un bloque modelo litológico de las zonas perspectivas para la explotación acuífera.

## Aguas subterráneas

En lo que se refiere a la *hidrogeología*, actualmente el país cuenta con el Mapa Hidrogeológico de Panamá escala 1:1 000,000, Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A (ETESA, 1999), que ofrece una visión general y resumida de los recursos hídricos subterráneos en Panamá. Este mapa ha podido inferir a nivel nacional a la presencia de tres principales grupos de acuíferos, subdivididos luego en diez unidades hidrogeológicas de aguas subterráneas, descritos a continuación:

- Grupo A: Acuíferos predominantemente intergranulares, continuos, generalmente no consolidados, con una producción estimada entre 3 y 50 m<sup>3</sup>/h, (representados gráficamente por un color azul con distintas tonalidades).
- Grupo B: Acuíferos predominantemente fisurados, discontinuos, con una producción estimada de 3 a 10 m<sup>3</sup>/h, (representados gráficamente por un color verde con distintas tonalidades).
- Grupo C: Áreas con acuíferos locales, intergranulares o fisurados, de productividad limitada o poco significativa, con una producción estimada menor a 5 m<sup>3</sup>/h, (representados gráficamente por un color chocolate con distintas tonalidades).

De estos tres grupos de acuíferos descritos, en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa están presentes solamente Grupos B y C, constituidos por tres tipos de acuíferos (B-1, C-1 y C-3), la determinación y localización de los cuales se basa en las características físicas de las rocas de diferentes formaciones geológicas existentes en la zona del estudio (Figura 6)

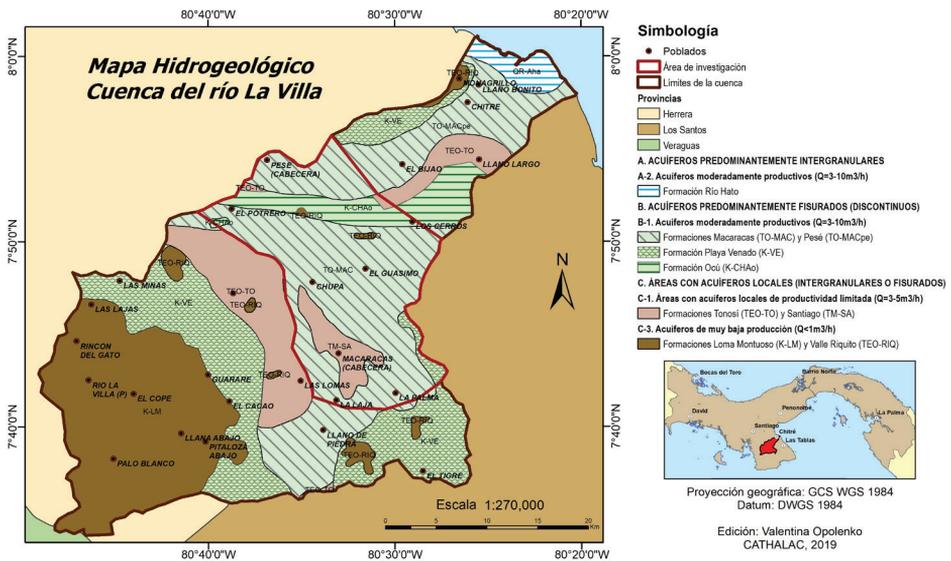
### **Grupo B. Acuíferos predominantemente fisurados (discontinuos)**

*B-1. Permeabilidad variable y moderadamente productivos ( $Q=3-10$  m<sup>3</sup>/h=13-44 gpm).*

- **Grupo geológico Macaracas (TO-MAC)**, constituido por tobas y areniscas tobáceas. Son acuíferos locales, restringidos a zonas fracturadas, conformados por una mezcla de rocas volcánicas fragmentarias, consolidadas y poco consolidadas, sobrepuestas a rocas ígneas consolidadas.

- **Grupo geológico Playa Venado (K-VE)**, constituido por basaltos y *pillow* lavas. Son acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, comprenden un conjunto de rocas efusivas, en su mayoría básicas, cuyas fisuras han sido en muchos casos selladas por la deposición de minerales secundarios.
- **Grupo geológico Changuinola (K-CHA)**, Formación Ocú, constituido por calizas y tobas. Acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, ampliados en ciertos tramos debido a la presencia de grietas, ensanchadas por efecto secundario de disolución por el agua a lo largo de los planos de estratificación.

**Figura 6.** Mapa hidrogeológico de la cuenca del río La Villa y del área de investigación.



Fuente: Elaboración propia a partir de ETESA, 1999.

### **Grupo C. Áreas con acuíferos locales (intergranulares o fisurados) de productividad limitada o poco significativa.**

*C-1. Áreas con acuíferos locales continuos o discontinuos. Permeabilidad baja y productividad limitada ( $Q=3-5 \text{ m}^3/\text{h}=13-22 \text{ gpm}$ )*

- **Grupo geológico Tonosí (TEO-TO)**, formación Santiago (TM-SA), constituidos por lutitas, areniscas y conglomerados. Son acuíferos constituidos por depósitos marinos, generalmente de naturaleza clásica. La granulometría predominante de estos materiales es del orden de limos y arcillas. En esta formación se encuentran intercalaciones de basaltos. Se puede obtener cierta producción en pozos individuales. La calidad química de las aguas es variable.

*C-3. Acuíferos de muy baja producción ( $Q < 1 \text{ m}^3/\text{h} < 4 \text{ gpm}$ ). Permeabilidad baja a muy baja.*

- **Grupo geológico Loma Montuoso (K-LM)**, constituido por cuarzo-dioritas, cuarzo, gabros, noritas, granodioritas y cuarzomonzonitas. Son cuerpos geológicos prácticamente con ausencia de acuíferos, con una estructura masiva, afectada por una serie fallas y una fisuración poco desarrollada. La ocurrencia de aguas subterráneas está limitada a la zona de meteorización o fracturación de rocas adyacentes.
- **Grupo geológico Valle Riquito (TEO-RIQ)**, constituido por cuarzo-dioritas, noritas y gabros. Son cuerpos geológicos prácticamente con ausencia de acuíferos, con una estructura masiva, afectada por una serie fallas y una fisuración poco desarrollada. La ocurrencia de aguas subterráneas está limitada a la zona de meteorización o fracturación de rocas adyacentes.

### **Marco teórico**

Disponer de la información confiable sobre los recursos hídricos seguros en cantidad y calidad, implica contar con una caracterización del sistema hídrico subterráneo. Para ello, es necesario poseer la información base o línea base de numerosas variables y procesos que permitan cuantificar la disponibilidad del agua subterránea, así como evaluar los potenciales efectos de actividades antrópicas sobre los acuíferos y sus ecosistemas asociados.

Las medidas de emergencia que deben tomarse para protección de la población en casos de falta de recurso hídrico a causa de la incidencia de eventos climáticos adversos como sequías, por lo general obligan a tomar decisiones sin el tiempo necesario para mitigar estos eventos, porque el caso así lo amerita. En contraparte, se debe planificar estas acciones preventivas con la debida anticipación a la hora de esbozar los planes de desarrollo en el uso del agua subterránea, con los siguientes principios metodológicos (Klimentov y Kononov, 1982):

- a) El *principio de la integralidad de la investigación* garantiza que todos los sectores de la cuenca hidrográfica deben ser cubiertos, independientemente si sus perspectivas de aprovechamiento de recurso hídrico son o no relevantes. Desde el punto de vista hidrogeológico, la integralidad también se refiere a la totalidad del acuífero en su plano horizontal y vertical, y a la interacción con obras civiles de desarrollo tales como obras hidráulicas, urbanizaciones, viales, etc.
- b) Otro pilar de las investigaciones de aguas subterráneas es el *principio de las aproximaciones sucesivas*. La esencia de tal método consiste en el incremento gradual de los conocimientos acerca de un acuífero a medida que este se estudia de un modo sucesivo, puesto que prácticamente es imposible estudiar en un tiempo perentorio todos los datos necesarios para concluir con el conocimiento del potencial de dichos acuíferos. Su aplicación sugiere mallas de investigación por etapas, siguiendo un patrón que va “*de lo general a lo particular*”, aumentando progresivamente los datos totales y la certeza de las propiedades de este recurso hídrico.
- c) El *principio de la uniformidad* de estudio de cada acuífero prevé investigaciones detalladas de las partes complejas, productivas y no productivas del acuífero, reveladas con la aplicación de otras técnicas. Se refiere a que sea uniforme la aplicación de métodos geofísicos, de perforaciones exploratorias, muestreos de calidad de agua, ensayos de bombeo, etc.
- d) El *principio de la eficiencia económica* de la investigación hidrogeológica es el que justifica la inversión para conocer lo que se tiene realmente en materia de recurso hídrico subterráneo. Se refiere de manera sintetizada a la necesidad de crear programas de

investigación hidrogeológica con la mayor cobertura, con tiempos y costos razonables.

También se considera de manera general, que para cumplir con todos los principios metodológicos descritos, es necesario desarrollar numerosas actividades tales como la recopilación e inventario de la información existente, su sistematización y normalización, evaluación e interpretación de la misma y síntesis final de datos.

Además de estos principios hidrogeológicos, los procedimientos que se utilizan para la realización de un estudio sobre los recursos hídricos en una cuenca, están fundamentados en la metodología desarrollada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la UNESCO (OMM; UNESCO, 1997), la cual está plasmada en Documentos Técnicos relacionados con la Evaluación de los Recursos Hídricos (ERH).

Para poder aspirar al aprovechamiento sustentable de las aguas subterráneas y la protección del medioambiente, de tal forma que este modelo de gestión permita preservar esos recursos para futuras generaciones, es importante la fusión de los aspectos científicos y técnicos con sociales, integrando la gestión del agua superficial y subterránea en un sentido cualitativo, cuantitativo y ecológico, desde la perspectiva multidisciplinaria y centrada en las necesidades y requerimientos de la sociedad en materia de agua.

## **Metodología**

Para efectos del desarrollo de la presente investigación sobre los recursos hídricos subterráneos en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa, los trabajos propuestos estuvieron divididos en dos etapas: recopilación, organización, clasificación y estandarización de la información existente en la primera etapa, y generación de la información faltante con los respectivos trabajos de campo, que se desarrollan en la segunda etapa.

Específicamente, el desarrollo metodológico que se aplicó en la Etapa I, ha sido compuesto por las actividades que comprendieron la recopilación y revisión preliminar de toda la información relevante existente de la cuenca del río La Villa y del área de estudio, tal como mapas topográficos, mapas geológicos, registros de pozos, informes y documentos hidrogeológicos, cartográficos, geológicos, de hidrología superficial y de suelos.

Además, con la colaboración de entidades gubernamentales, rectores de los recursos hídricos subterráneos, se realizó la sistematización y normalización de la información recabada. Entretanto, en la Etapa II, a pesar que en el área de estudio ya se contaba con una cantidad considerable de información técnica, fue necesario ejecutar distintos trabajos de campo enfocados a generar información geológica e hidrogeológica complementaria, así como verificar y validar la información existente, producto de las actividades desarrolladas en la Etapa I.

Con el fin de ejecutar las múltiples tareas enumeradas en la metodología, se realizó un estudio geológico complementado con la geología de superficie y exploración geofísica, que comprendió un conjunto de trabajos de campo e investigaciones.

Concretamente, se aplicaron las *observaciones visuales terrestres* tales como las observaciones geomorfológicas y observaciones geológicas y litológicas. La información que se obtuvo como resultado de estas observaciones en las zonas con mayores perspectivas para la existencia de acuíferos productivos, fue ampliada y corroborada luego con la exploración geoelectrica.

Durante las observaciones geomorfológicas se estudió la localización y las particularidades de diversas formas del relieve y sus relaciones con las aguas subterráneas y se logró revelar el carácter, la tendencia y la intensidad de los fenómenos físico-geológicos relacionados con la formación del relieve y su posible relación con la formación de eventuales reservorios subterráneos.

Para tal fin se observaron los trazados geomorfológicos principales que se disponen transversalmente a la dirección de los estratos de rocas y en dirección de los tipos básicos del relieve, describiendo las particularidades de este último no sólo en los puntos geomorfológicos espaciales, sino también en los afloramientos y taludes de los cursos de agua superficial.

Mientras tanto, durante el *levantamiento geológico* fueron estudiadas las particularidades litológicas y las propiedades físicas de las rocas, con el fin de establecer las condiciones de su saturación. Se realizó el análisis comparativo de la base geológica antes trazada, con el corte estratigráfico observado en la región estudiada, análisis que permitió conocer el carácter de los límites estratigráficos y estructurales, sus contactos asociados, así como correlacionar los horizontes y complejos acuíferos relacionados

o vinculados a determinadas series litólogo-estratigráficas, dando como resultado final la delimitación de zonas acuíferas perspectivas en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa.

La definición de acuífero es la de *una capa geológica con las características que le dan la capacidad de recibir, almacenar y entregar agua*. El acuífero propiamente dicho es la zona del reservorio, pero para que el mismo sea perspectivo, debe tener buena permeabilidad. La permeabilidad se define como la capacidad que tiene una roca de permitir el flujo de fluidos a través de sus poros o grietas interconectados.

La misma puede ser de tipo primaria si se trata de poros, y secundaria, si la roca es impermeable pero esta fracturada con grietas interconectadas. Por otra parte, también se necesita un gradiente hidráulico para mantener este flujo. Estos son los criterios básicos para la búsqueda de fuentes subterráneas.

Ante la necesidad de formar una imagen tridimensional del bloque modelo litológico que conforma el área de investigación, se realizó la *exploración geofísica*, apoyada por el análisis de los mapas geológicos e hidrogeológicos de la zona, así como por las observaciones de campo ejecutadas durante el levantamiento geológico.

La metodología de ejecución de los trabajos de exploración geofísica considera los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) como una herramienta pivote y vigente a la fecha, que permite correlacionar e integrar a su alrededor las mismas condiciones geológicas, definiendo de esta manera la unidad hidrogeológica de la cual forma parte. Para detectar con mayor detalle las condiciones de disposición espacial de las capas geológicas, se implementó el método geofísico electroresistivo, con el arreglo de electrodos tipo Schlumberger (Custodio y Llamas M, 1976).

En este método las resistividades aparentes de las capas litológicas se calculan a través de coeficientes propios de cada arreglo de electrodos interviniendo, además, los principios de cálculo de la conocida Ley de Ohm. La amplia gama de combinaciones de capas geológicas y sus propiedades electroresistivas responden a un patrón de comportamiento que puede expresarse en curvas con modelos matemáticos.

Finalmente, al analizar los datos de campo de los SEV, se genera la secuencia de capas geoeléctricas de cada sondeo realizado, las cuales proporcionan como resultado la respectiva interpretación geológica de dichas capas, consolidándolas en un bloque modelo litológico en tres dimensiones.

A pesar que existen diversas técnicas geofísicas eléctricas o electromagnéticas que miden la resistividad de los materiales y algunas de estas técnicas, son más modernas y mucho más precisas, se utilizó este método geoelectrónico debido a que previamente en 2010 la empresa consultora Nómadas de Centroamérica Panamá ejecutó para la Autoridad Nacional del Ambiente un proyecto denominado “*Delimitación de Acuíferos y establecimiento de zonas de recarga, para identificar su vulnerabilidad y el desarrollo de una estrategia para su protección y conservación en el Arco Seco del país*” (ANAM, 2010).

Esta consultoría desarrollada a escala regional, que comprendía también a la Península de Azuero, permitió estudiar la posibilidad de la explotación de acuíferos profundos mediante la prospección geofísica apoyada en la realización de 100 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), con el despliegue de electrodos tipo Schlumberger, de los cuales 5 SEV se localizan en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa.

Contando con esta valiosa información, el presente estudio, tuvo la oportunidad de ampliar la escala de investigación de conformidad con los recursos económicos asignados para tal fin, complementando los datos preexistentes a través de la realización de nuevos Sondeos Eléctricos Verticales, integrando y correlacionando los resultados obtenidos con la información previa. Los 12 SEV fueron distribuidos en tres zonas acuíferas delimitadas en la fase de levantamiento geológico, aplicando los criterios técnicos, así como socioeconómicos de la población usuaria del agua subterránea.

## Resultados

### *Delimitación de áreas perspectivas con un potencial acuífero*

La amplia gama de factores que permiten delinear una zona perspectiva como potencial acuífero, tienen su fuente en la metodología aplicada en esta investigación. En el caso concreto de la investigación geológica, que fue realizada en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa, se puede decir que se trata de rocas sedimentarias y las ígneas extrusivas, las que conforman acuíferos por porosidad y por fracturamiento.

De esta manera, adquiere relevancia las características hidrogeológicas (acuíferas) de las formaciones que están presente en la zona investigada. Además, en el área de investigación fueron inventariados 180 pozos existentes activos o sin uso, administrados por el sector público y privado, los cuales fueron clasificados por su rango de producción (Cuadro 3).

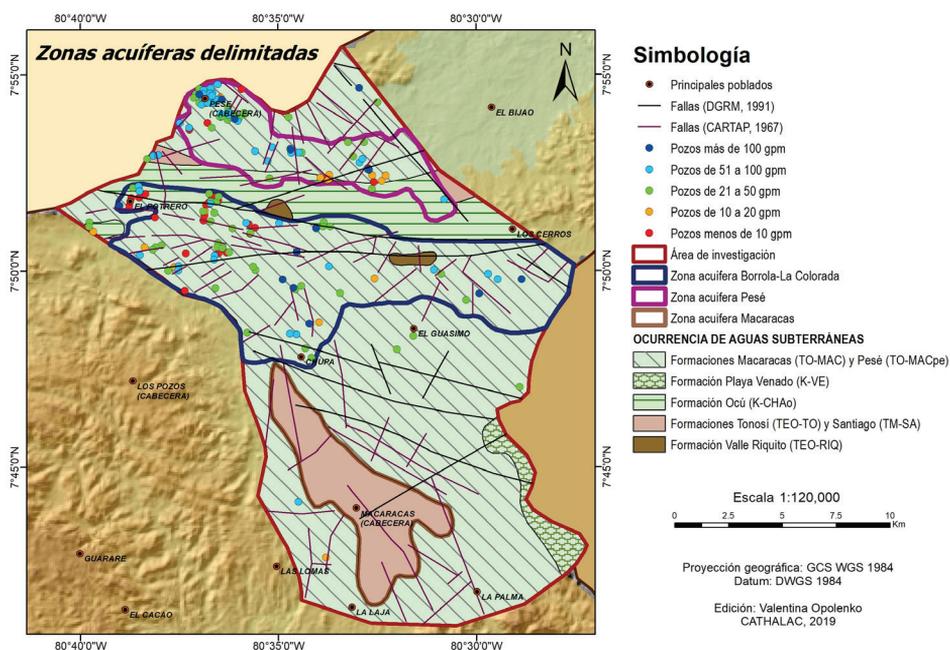
**Cuadro 3.** Clasificación de los pozos en el área de investigación (en galones por minuto)

Producción del pozo, gpm	Cantidad de pozos	%	Clasificación de pozos
Más de 100	14	8	Rendimiento muy bueno
51 a 100	52	29	Rendimiento bueno
21 a 50	66	37	Rendimiento medio
10 a 20	23	13	Rendimiento de bajo a moderado
Menos de 10	25	14	Pozos fallidos o de muy bajo rendimiento

Fuente: elaboración propia

En base al análisis geológico respectivo, se delimitaron tres zonas acuíferas: zona acuífera Borrola-La Colorada, zona acuífera Pesé y zona acuífera Macaracas (Figura 7).

**Figura 7.** Localización de pozos y zonas acuíferas en la parte media y baja de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

### ***Integración de la información geológica en el bloque modelo litológico***

Luego de delimitar las tres zonas acuíferas perspectivas que puedan utilizarse en futuro como nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa, en zonas seleccionadas se realizó la exploración geofísica con el fin de perfilar la morfología de cada embalse subterráneo descrito, así como cuantificar de manera estimada su capacidad de reserva de aguas subterráneas, determinando su espesor a través de sondeos geofísicos aplicados, así como definir los complejos procesos de alteración de la capa de suelo, las deposiciones sedimentarias, capas de material ígneo, coladas de lava y diferentes graduaciones de deposiciones piroclásticas que se dan en la zona evaluada.

Esto permitió un enfoque más amplio en el plano vertical y horizontal. Para procesar y plasmar los datos geofísicos obtenidos durante la presente investigación, se utilizaron software *WinSev 6.4* de W-GeoSoft y *RockWorks17*.

Con la aplicación de estas herramientas fue posible generar cuatro perfiles litológicos de los polígonos evaluados en el plano horizontal y vertical, así como el bloque modelo litológico, que sirvió como material de apoyo a la comprensión espacial del medio acuífero investigado, facilitando de esta manera la identificación de nuevas áreas con sitios óptimos para las futuras perforaciones profundas (Figura 8).

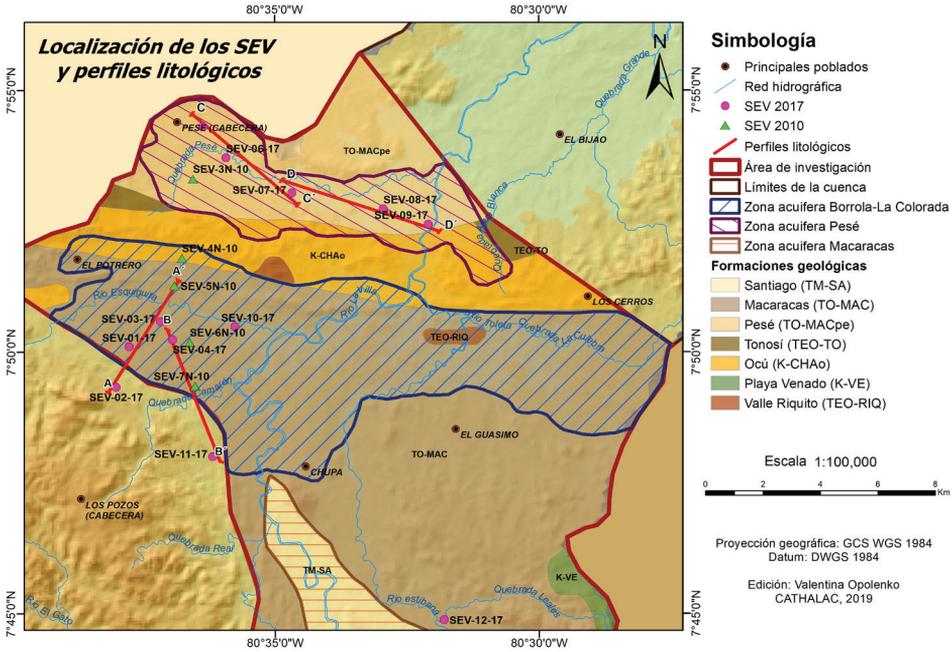
Cabe destacar que, con toda la información obtenida durante el desarrollo de la presente investigación, se brinda un panorama completo de la secuencia de las capas litológicas en tres dimensiones. Esta disposición de las principales capas geológicas en el área investigada mediante la aplicación de los respectivos SEV, puede ser observada en cuatro perfiles litológicos obtenidos a través del bloque modelo de las zonas acuíferas.

### ***Detalle de interpretación de capas litológicas de zonas acuíferas delimitadas***

#### **a) Zona acuífera Borrola-La Colorada**

Esta zona acuífera es bastante extensa y cuenta con amplias regiones de planicies en ambos márgenes del río La Villa. Tiene una longitud estimada de 20 km entre las comunidades de Esquiguita y Borrola al oeste, y El Ñopo al este de la zona investigada, en el nacimiento de la quebrada La Culebra. El ancho máximo de la zona acuífera fue estimado en unos 6 km en una configuración en forma triangular en el lado oeste, cuya base la

**Figura 8.** Localización de los SEV y perfiles litológicos de la zona de investigación.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

conforma el río La Villa. Mientras tanto, desde la margen derecha del río La Villa hasta el lado este (con dirección al El Ñopo) tiene una forma de ovalo. Tal orientación condiciona en cierta medida el flujo subterráneo que se mantiene con la orientación general de este importante drenaje natural.

Tanto en el sector oeste, como en la parte este de la zona acuífera, se encuentran asentados diferentes poblados rurales de relativa actividad económica en rubros como la ganadería y agricultura, los que se abastecen con 83 pozos.

En el oeste se distinguen Esquiguita, Borrola, El Cruce y Rincón Hondo. En la parte este son de importancia los poblados de La Colorada, La Colorada Abajo y Las Guabas. A lo largo de la parte norte de esta unidad acuífera corre una importante falla regional denominada *Ocú-Parita* que coincide con levantamientos de la formación Ocú (K-CHAO) al interactuar con la formación Macaracas (TO-MAC).

La formación Macaracas conforma casi en su totalidad el área de este acuífero de 81 km<sup>2</sup>, con amplias planicies que también son interrumpidas por colinas y cerros menores intercalados. En la parte central de la zona acuífera (Borrola y Rincón Hondo) y en la parte sur (quebrada El Potrero) están desplegadas fallas tectónicas regionales, que despiertan interés en calidad de zonas posibles de captación de agua subterránea.

Es importante resaltar que la zona acuífera Borrola-La Colorada tiene características geológicas diferentes de la zona acuífera de Pesé, independientemente a que sólo las separa la falla regional *Ocú-Parita*. Por ejemplo, sobre las elevaciones del área del poblado El Cocuyo se observan secuencias deposicionales diferentes de cada lado de esta falla geológica, con deslizamiento de grandes bloques de la corteza terrestre y también compresión entre ellos, lo que produjo un fracturamiento general de las capas litológicas y como consecuencia, la mayor incidencia en el área de pozos con rendimientos positivos.

#### **b) Zona acuífera Pesé**

La zona acuífera Pesé con un área de 30.4 km<sup>2</sup>, abastece por medio de 83 pozos profundos a la ciudad de Pesé, que cuenta con 2,565 habitantes (INEC, 2010) y otros lugares poblados. Además, a un importante sector industrial de la cuenca del río La Villa, siendo el factor clave en el bienestar económico y social para toda la región que comprende su influencia directa.

La morfología plana de la zona acuífera Pesé está rodeada de puntos elevados de colinas y cerros circundantes y tiene un largo de 13.5 km desde el límite oeste de la cuenca en Pesé a la altura del cerro de La Cruz, prolongándose al cerro Cebolla al sureste y con un ancho máximo de 4.0 km entre el sector de cerro Pelado al oeste y el límite noreste de la zona de investigación (cerro Cigualito). La configuración de la zona acuífera se torna estrecha, atravesando sectores como Cascajalillo y abre en forma de abanico o área triangular en el sector de Las Cabras, descargando en parte su caudal en el cauce del río La Villa, teniendo un pequeño sector en la margen derecha del mismo entre las comunidades de Atalayita y Llano del Guásimo.

Para una mejor comprensión de las características litológicas de la zona acuífera Pesé, se puede indicar que los dos perfiles litológicos trazados C-C' y D-D', presentados más adelante (Figura 12), están orientados de manera longitudinal en virtud de que esta zona acuífera tiene una forma

alargada como se ha descrito. En estos perfiles se puede apreciar que las capas litológicas tienen continuidad, manteniendo en esta extensión los espesores de capas, incluido su buzamiento.

### **c) Zona acuífera Macaracas**

Esta zona acuífera está conformada por las rocas de la formación sedimentaria Santiago (TM-SA), enmarcada por la formación Macaracas (TO-MAC) que conforma un relieve alto y que debiera actuar como amplia zona de recarga. La configuración de la zona acuífera es de forma triangular desplegada desde el sur de la comunidad de Chupá con orientación de noroeste a sureste (Los Higos). Tiene una longitud aproximada de 11.5 km. La parte más ancha de este triángulo, que sería su base, es de 5.7 km con orientación suroeste – noroeste, entre las quebradas El Faldar y Los Cortijos. El área estimada de esta zona acuífera es de unos 30 km<sup>2</sup> (Figura 7).

Esta zona acuífera, a pesar de que tiene características morfológicas de ser perspectiva como reservorio subterráneo, en la práctica no ha dado resultados significativos en materia de rendimiento de captadores, aceptable para el abastecimiento de acueductos rurales. De conformidad con el Mapa Hidrogeológico de Panamá (ETESA, 1999), la zona acuífera de Macaracas se clasifica como “Áreas con acuíferos locales continuos o discontinuos” de permeabilidad baja y productividad limitada ( $Q=3-5 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

A pesar de que en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa los recursos hídricos están en la actualidad bajo mucha presión por distintos usos y sin importar que se trata de una zona acuífera con escasas perspectivas de aprovechamiento, de acuerdo a los resultados no alentadores obtenidos durante la presente investigación, no se descarta que en el futuro con la aplicación de otras técnicas no convencionales para la extracción de agua subterránea, será posible aumentar parcialmente la oferta de este recurso hídrico en la zona de interés.

## **Discusión de los Resultados**

### ***Situación actual de uso de agua subterránea en Panamá***

Para gestionar recursos hídricos en forma sostenible ninguna solución tendrá éxito si no se reconoce que las aguas subterráneas forman parte del ciclo hidrológico. Este enfoque permitirá superar ciertos límites

frecuentemente impuestos en los esquemas de manejo del agua, que derivan de condicionamientos administrativos, políticos y sociales.

El proverbio popular “*Ojos que no ven, corazón que no siente*”, puede describir la real situación del agua subterránea en la República de Panamá al igual que en muchos países en desarrollo de la región, producto de su aprovechamiento fragmentado, poca planificación y control sobre el uso de este recurso hídrico.

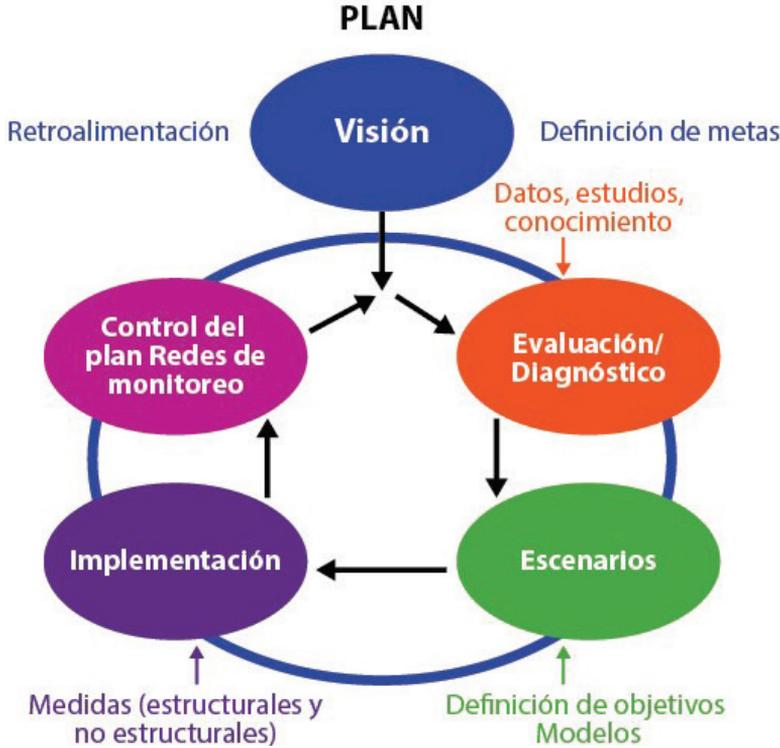
La situación descrita se debe a la falta de conocimiento apropiado de las características de los reservorios o acuíferos de agua subterránea tales como geología, hidrología, hidrogeología, hidrodinámica, calidad, capacidad, tasa de renovación, vulnerabilidad, sobredimensionamiento de la capacidad depuradora del suelo y zona no saturada, etc., además de un marco legal e institucional adecuado, así como la definición de lineamientos estratégicos de acción a distintos horizontes de tiempo.

Por lo tanto, para reducir la brecha hídrica existente en el manejo de agua subterránea y superficial en el país, se recomienda la implementación de un *Plan de Gestión Integrada de las Aguas Subterráneas*, que no debe ser solamente un conjunto de actividades cronológicamente ordenado (European Union, 2015).

Es una herramienta que articule y organice en forma evolutiva un conjunto de estrategias, decisiones, acciones y resultados. Luego de realizado el diagnóstico, se podrá ejecutar el planteo de escenarios en aquellas localidades más comprometidas, que permitan sumar criterios para definir cuáles son las prioridades de acción.

También es imprescindible que se definan indicadores para cada una de las acciones acordadas en el plan. Estos indicadores permitirán evaluar los resultados logrados por cada una de las estrategias y el plan en su conjunto, así como dan elementos para su retroalimentación, ajustes e identificación de nuevos problemas (Figura 9).

**Figura 9.** Plan de gestión integrada de las aguas subterráneas.



Fuente: European Union (EU), 2015.

Tomando en consideración los lineamientos expuestos, si se integrara el presente estudio a este *Plan de Gestión Integrada de las Aguas Subterráneas*, estaríamos ubicados solamente en la etapa de Evaluación/ Diagnóstico, como un paso inicial. Por otro lado, si se analiza la situación actual del uso de las aguas subterráneas en el área evaluada, así como a nivel nacional, en términos generales se pueden puntualizar las interrogantes siguientes, imprescindibles para cumplir las tareas de dicho Plan:

- Cuantos acuíferos hay (nacionales y transfronterizos), su extensión, potencial y reservas de agua subterránea.
- El número de pozos que existen, su profundidad, los niveles de acuíferos que interceptan, su calidad de agua, el caudal de agua que aportan, etc.

- La cantidad y ubicación de zonas de recarga de acuíferos para su protección.
- Los lugares que se deben proteger para garantizar agua no contaminada a futuro.

Por otra parte, es escaso el conocimiento que tiene la población sobre este recurso hídrico:

- Que las aguas subterráneas son fundamentales para el desarrollo económico y bienestar social.
- Tienen valor económico, social, cultural y monetario.
- Se están deteriorando en cantidad y calidad.
- Están escaseando en algunos sectores e incluso pueden desaparecer.
- Se deben proteger y aprovechar racionalmente.

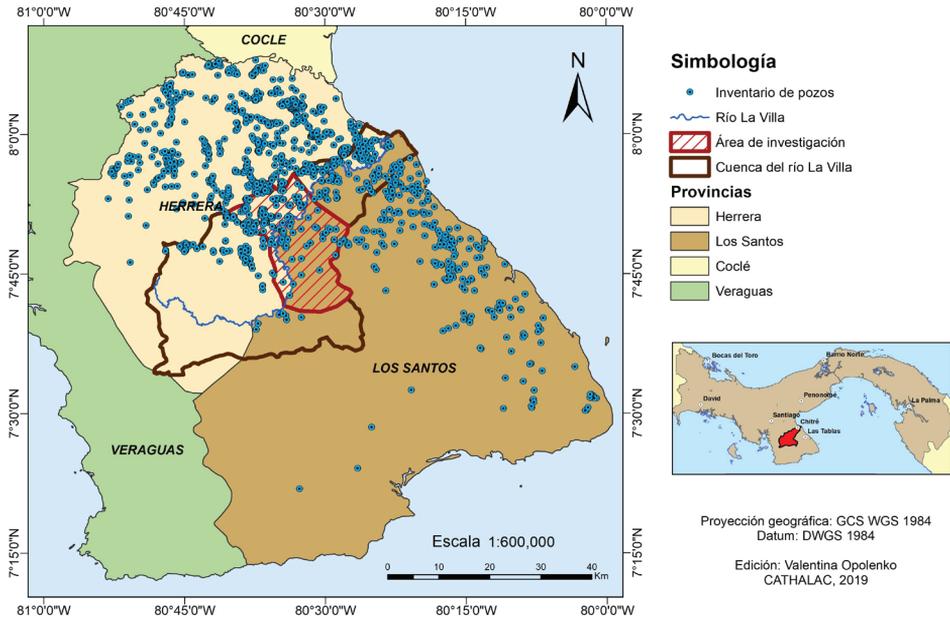
Concretamente y como una referencia, si se observa el mapa de las provincias de Herrera y Los Santos, donde aparecen los 1,587 pozos perforados por las distintas instituciones y el sector privado, será notoria la gran cobertura de las poblaciones abastecidas por esta importante fuente hídrica que pareciera pasar desapercibida (Figura 10).

A pesar de tener esta gran cantidad de pozos georreferenciados en ambas provincias, es muy escasa la información técnica que pueden aportar los mismos, tales como profundidad, diámetro de perforación, diseño del pozo, formaciones geológicas atravesadas y producción, entre otros.

### ***Criterios para la selección de los sitios óptimos para pozos profundos***

La base para revelar las zonas perspectivas de explotación de aguas subterráneas ha sido la definición del comportamiento de la geología regional y estructural del área, influenciada por la falla regional *Ocú-Parita*, con dirección preferencial de oeste a este, con vectores de incidencia en el sector norte de la falla, orientados al oeste y los del bloque sur en sentido contrario. Esta situación puede verificarse en algunos puntos indicados por el mapa geológico de la Reforma Agraria 1:50,000 (CARTAP, 1968), donde los fracturamientos secundarios en las capas geológicas tienen una definición de tectolinesales paralelas con ángulo agudo en las llanuras (noroeste-sureste) a cada lado de dicha falla en las zonas acuíferas Borrola-La Colorada y Pesé.

**Figura 10.** Localización de pozos profundos en las provincias de Herrera y Los Santos.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Estos fallamientos generan bloques rectangulares con fallas alineadas sistemáticamente, en un movimiento que ocasionó compresión de estos bloques y una zona de colinas y cerros que denota efectos de la colisión entre los mismos, como lo demuestran los inéditos cortes o perfiles litológicos generados por la presente investigación en la zona acuífera Borrola-La Colorada.

Cabe destacar, que como parte de los resultados de esta investigación fueron confeccionados mapas georreferenciados de las zonas acuíferas que ayudaron a definir los criterios a tomar en cuenta y su orden de prioridad para ubicación de nuevas fuentes de extracción de agua subterránea en estas perspectivas zonas acuíferas:

- En la ubicación de nuevos sitios para perforación de futuros pozos, se debe poner atención primaria al drenaje natural, las quebradas y ríos de estas áreas evaluadas, ya que los mismos tienen el patrón de

comportamiento influenciado por los fallamientos, siendo favorable el criterio de interceptar estas fallas cercanas a fuentes superficiales en la ubicación de los pozos a perforar. Esto ayuda a que el agua transportada de zonas aguas arriba, pueda recargar el área de influencia de eventuales nuevos pozos, dándoles mayores expectativas de sostener su producción durante la estación seca.

- El otro criterio que debe privar en la búsqueda de nuevos sitios para perforar, es el de poner atención a la estadística de pozos positivos del área debidamente identificados, y asociar a estos la vecindad del nuevo pozo, aunque no es recomendable sobresaturar estas zonas dedicadas a la extracción de aguas subterráneas. Lo recomendable es que debe guardarse una distancia radial no menor de 100 m entre cada pozo para evitar que los respectivos radios de influencia de ambos no se traslapen, bajando de este modo su capacidad real de producción.
- El agua que se busca en cada nuevo sitio de perforación está destinada a consumo humano, por lo tanto, las fuentes superficiales que sirven de recarga de las zonas acuíferas, no deben sufrir descargas, producto de actividades contaminantes como porcicultura, ganadería, botaderos de materia orgánica agroindustrial u otros.
- El factor económico también es importante a la hora de ubicar un nuevo pozo. La distancia de la fuente de energía eléctrica debe ser tomada en cuenta, la profundidad del pozo igualmente, pues si se trata de un pozo de más de 122 m (400 pies) de profundidad, requerirá herramientas especiales para instalar el equipo de bombeo y darle mantenimiento, lo que resulta poco práctico para un agricultor o ganadero. Además, las cargas hidráulicas de los respectivos equipos de bombeo equivalentes en distancia y elevación, si son muy grandes pueden generar un consumo de energía no financiable para comunidades (Juntas Administradoras de Acueductos Rurales, JAAR). El acceso del equipo de perforación en algunos casos también limita la efectividad de las perforaciones, al no poder situarlos sobre el sitio óptimo, lo que implica crear un camino de acceso cuando el caso amerite.

### **Particularidades de búsqueda de sitios óptimos para perforación en cada zona acuífera**

- **Zona acuífera Borrola-La Colorada**

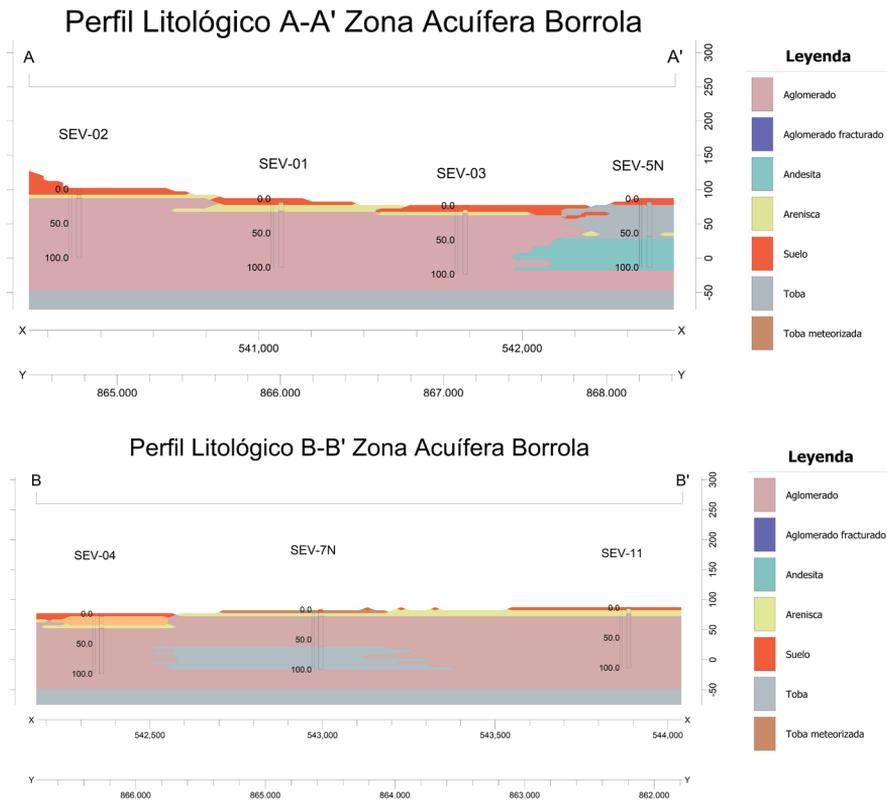
Con respecto a los sitios prospectivos de búsqueda, esta zona acuífera cuenta en el plano horizontal con varios sectores con fallamientos favorables al almacenamiento de agua subterránea. Existen fallas secundarias paralelas a la falla *Ocú-Parita*, como la que está asociada a la trayectoria del río Esquiguita y sus quebradas tributarias con características de alineamiento paralelo en forma diagonal (El Barrero, Camaroncito y Lombo), que es típico de bloques fracturados bajo compresión por el movimiento de la falla principal.

Durante un evento explosivo volcánico inicialmente se da expulsión de ceniza volcánica, que al depositarse genera una roca piroclástica de granulación fina (toba), que forma grandes extensiones con un comportamiento volcánico-sedimentario. Seguido, se pasa a expulsión de fragmentos piroclásticos mayores, generando capas de aglomerado.

Luego, el proceso de liberación de energía de este evento hace fluir lavas (basálticas o andesíticas), que al producirse un rápido enfriamiento, crean sistemas de diaclasas o grietas por el fenómeno de tracción diferencial dentro de las capas de lava. Esta última condición genera la permeabilidad de tipo secundaria en la masa rocosa, lo que hace a las mismas perspectivas como posible horizonte acuífero.

Mientras tanto, durante el período de reposo entre las actividades volcánicas, se dan las condiciones para la formación de rocas sedimentarias tales como areniscas en el ambiente de pobre circulación de agua superficial, las que se observan en las secciones litológicas o perfiles, A-A' y B-B' (Figura 11).

**Figura 11.** Secciones litológicas interpretadas de los perfiles geoelectrónicos A-A' y B-B'



**Fuente:** Elaboración propia

En ambos casos se trata de una capa de poca potencia y ubicada prácticamente en la superficie del área evaluada. Debido a esta condición, la mencionada capa de arenisca no representa mayor interés desde el punto de vista de explotación acuífera.

Las tobas en general, al tener granulometría fina no son perspectivas como depósitos de agua subterránea. Esta granulometría dificulta el flujo debido al número plural de granos, que hidráulicamente le hacen perder energía, dificultando así la entrega del agua ante un eventual bombeo.

Con respecto al aglomerado, al ser depositado y consolidado, por lo general es susceptible de fracturamiento como consecuencia de la actividad sísmica y/o tectónica. Este material sólo es perspectivo para obtener

agua subterránea en zonas de fallamientos. Esta aseveración es evidente en el Mapa de zonas acuíferas delimitadas (Figura 7), elaborado durante la presente investigación, donde aparecen las perforaciones con distintos rangos de rendimientos desde positivos hasta fallidos. Es importante resaltar que los pozos fallidos por lo general están asociados a las zonas fuera de la influencia de las fallas, es decir, se localizan en bloques solidos aislados del sistema de fallamiento.

- **Zona acuífera Pesé**

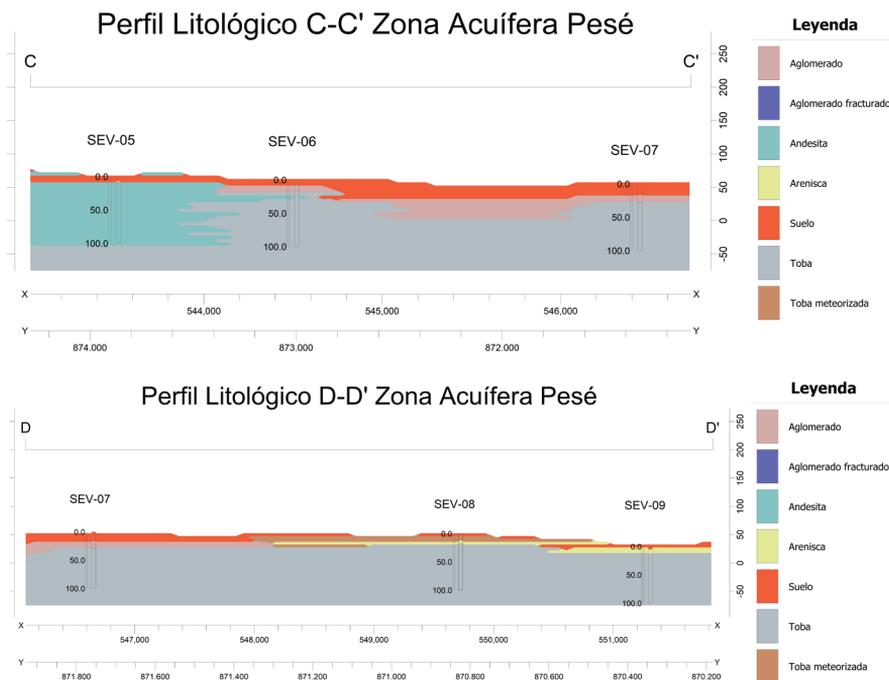
Esta zona acuífera está vinculada a un importante polo de desarrollo agroindustrial como lo es el Distrito de Pesé y Corregimiento de Las Cabras, con una población aproximada de 4,000 habitantes. El curso hídrico superficial más importante del área es la quebrada Pesé con su red de tributarios que cubren gran parte de esta zona acuífera. Su alineamiento corresponde a bloques deslizados de la falla *Ocú-Parita*.

Uno de los sectores más importantes dentro de esta zona acuífera es la ciudad de Pesé, que tiene una alta densidad de pozos perforados (aproximadamente 50) por distintas instituciones y el sector privado, que en su mayoría abastecen la demanda de la comunidad para el consumo humano, así como para actividades agroindustriales de relevancia nacional.

Se puede observar en el mapa de acuíferos delimitados y perfiles litológicos respectivos, dos zonas con el dominio de diferentes materiales. Al noroeste en Pesé se tienen capas dominantes de lava, y en el sector sureste hacia Cascajalillo, así como en Las Cabras, se presentan potentes capas de toba compacta.

En la segunda zona con características litológicas diferentes, relacionada a las capas de toba que se localiza en el área del poblado de Cascajalillo, existe una falla geológica con dirección norte-sur, asociada a pozos de alto rendimiento con escasa incidencia de pozos fallidos. Esto significa que la toba se presenta compacta o bien soldada, y es susceptible de fracturamiento para inducir al acuífero la permeabilidad de tipo secundaria. La condición favorable descrita convierte a esta zona en perspectiva para pozos de moderado rendimiento, pues tendría características similares al del aglomerado de la zona acuífera de Borrola-La Colorada (Figura 12).

**Figura 12.** Secciones litológicas interpretadas de los perfiles geoelectrónicos C-C' y D-D'



Fuente: Elaboración propia

Mientras tanto, para el sector comprendido entre la comunidad de Las Cabras hasta las riberas del río La Villa, los pozos existentes presentan rendimientos aceptables (de 20 a 50 gpm) y sólo algunos fallidos, ubicados en los sectores montañosos, fuera de la zona acuífera propiamente dicha.

### Conclusiones

Luego de cumplida la fase de investigación geológica de la parte media y baja de la cuenca del río La Villa, encaminada a la detección de sitios óptimos para la ubicación de futuras perforaciones con la aplicación de criterios técnicos basados en la ciencia hidrogeológica, se puede indicar que se trata de sentar por primera vez en el país las bases metodológicas para iniciar un nuevo enfoque de exploración y explotación de aguas subterráneas. Estos criterios están orientados a conocer las reservas de agua subterránea para ampliar su uso potencial en la cuenca investigada.

Como un aspecto relevante del Estudio Geológico realizado, se delimitaron las tres zonas acuíferas siguientes: zona acuífera Borrola-La Colorada, zona acuífera Pesé y zona acuífera Macaracas. Para poder delimitarlas estas zonas acuíferas, además del estudio geomorfológico y referencias estadísticas de pozos productivos y no productivos, también se estudiaron los procesos que ha sufrido la región en materia de tectonismo.

Las distintas referencias consultadas y analizadas por esta investigación, indican que los pozos más productivos de la región (más de 50 gpm), están distribuidos sobre zonas donde la corteza terrestre ha sufrido fracturamientos, compresión, tracción o levantamientos parciales.

En base a los resultados de la investigación geológica realizada, se decidió enfocar los esfuerzos solamente en las zonas acuíferas con mayores perspectivas, como la de Borrola-La Colorada y la de Pesé. No obstante, la zona acuífera de Macaracas también fue evaluada a pesar de los resultados obtenidos poco alentadores, que arrojaron una baja capacidad de producción de agua subterránea.

La misma fue calificada como zona con poca perspectiva para satisfacer las necesidades de las poblaciones aledañas. Sin embargo, se consideró que, con la aplicación en futuro de otras técnicas no convencionales de explotación de agua, será posible resolver situaciones puntuales de esta zona.

Con la ejecución de este trabajo investigativo como un proyecto piloto en la cuenca del río La Villa, que comprendió la prospección geológica y geofísica, se entra en una nueva fase de la explotación y gestión responsable del recurso hídrico subterráneo en la República de Panamá.

Con la aplicación de estas dos importantes herramientas mencionadas, las cuales se ponen a disposición de los sectores interesados, se han sentado las bases para adquirir los conocimientos necesarios no sólo para ubicar mejores sitios de perforaciones, sino también cuantificar las reservas acuíferas en las futuras subsiguientes etapas exploratorias, que comprenderán la determinación de un modelo hidrogeológico para la gestión de los recursos hídricos subterráneos en la parte media y baja de la cuenca del río La Villa.

## **Agradecimientos**

Este estudio fue ejecutado por el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) con el aporte de

subvención del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC, Canadá) y del Ministerio de Ambiente de Panamá (MIAMBIENTE).

La autora agradece a las siguientes personas, instituciones y organizaciones que nos acompañaron y brindaron su apoyo a lo largo de esta investigación:

Al equipo de CATHALAC que de alguna manera apoyó a la exitosa ejecución de este trabajo.

A los consultores Arturo Ramírez y Roneldo Arjona por la valiosa participación en el desarrollo de esta investigación.

Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), Sección Fuentes Subterráneas, en especial a los geólogos Iván Cedeño, Aladino Naranjo y Edgardo Vergara por participar en giras de inspección de campo y aporte de datos del inventario de pozos.

A los miembros de las distintas comunidades beneficiarias por su actitud positiva y aporte de conocimientos locales.

## Referencias

- Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM). (2007). *Indicadores Ambientales para las Tierras Secas y Degradadas de Panamá*. Comité Nacional de Lucha contra Sequía y la Degradación (CONALSED). Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), República de Panamá.
- Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM). (2008). *Plan de Ordenamiento Territorial Ambiental de la cuenca del río La Villa* (POTA). Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), República de Panamá.
- Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM). (2009). *Atlas de las Tierras Secas y Degradadas de Panamá*. Proyectos Editoriales -Panamá. República de Panamá. ISBN: 978-9962-609-50-6
- Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM). (2010). *Delimitación de Acuíferos y establecimiento de zonas de recarga, para identificar su vulnerabilidad y el desarrollo de una estrategia para su protección y conservación en el Arco Seco del país*. Nómadas de Centroamérica Panamá/ANAM. República de Panamá.
- Comisión de Reforma Agraria (CARTAP). (1968). *Catastro Rural de Tierras y Aguas*. Volumen III Geología y compendio de mapas de Geología y Geomorfología, escala 1:50,000, Comisión de Reforma Agraria, República de Panamá.

- Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica. (2016). *Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050: Agua para Todos*. República de Panamá. ISBN: 978-9962-5581-0-1
- Custodio, E. y Llamas M. R. (1976). *Hidrología Subterránea. Tomo I y II*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. ISBN: 84-282-0446-2
- Dirección General de Recursos Minerales (DGRM). (1991). *Mapa Geológico de la República de Panamá*; Escala 1:250.000. Dirección General de Recursos Minerales (DGRM), Ministerio de Comercio e Industrias, República de Panamá.
- Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA). (1999). *Mapa Hidrogeológico de Panamá*. Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. Gerencia de Hidrometeorología. República de Panamá.
- European Union (EU). (2015). *Herramientas para Contribuir a la Gestión Sustentable del Agua en Latinoamérica*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Luxembourg: Publications Office of the EU. ISBN 978-92-79-45052-5
- Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” (IGNTG). (2007). *Atlas Nacional de la República de Panamá*. Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” (IGNTG). Cuarta edición. Panamá. ISBN: 978-9962-8865-2-5
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2010). *XI Censo de Población y VII de Vivienda, 2010*. Resultados Finales. Instituto Nacional de Estadística y Censo, República de Panamá.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2011). *VII Censo Nacional Agropecuario*. Instituto Nacional de Estadística y Censo, República de Panamá.
- Klimentov, P.P. y Kononov, V.M. (1982). *Metodología de las Investigaciones Hidrogeológicas*. Traducción al español por Editorial Mir, Moscú. Impreso en la URSS.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (1997). *Evaluación de los Recursos Hídricos: manual para la estimación de las capacidades nacionales*. Organización Meteorológica Mundial (OMM); Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Resolución A/RES/70/1. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Asamblea General, Septuagésimo período de sesiones. Naciones Unidas. Nueva York.
- Opolenko, V. (2016). *Sensibilidad Medioambiental a la desertificación en la cuenca del río La Villa, República de Panamá* (Tesis doctoral). Universidad Internacional de Andalucía, España. ISBN: 978-84-7993-751-5
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2007). *Zonación de los Regímenes Hídricos de América Latina y el Caribe desde una Perspectiva Climática*. Dentro del marco del proyecto “Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas de América Latina y el Caribe”. CAZALAC. Documento Técnico del PHI-LAC, N°6. Montevideo, Uruguay. ISBN 92-9089-098-3
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP). (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo*. París, UNESCO. ePub ISBN 978-92-3-300045-2
- Unión Europea. (EU) (2015). *Herramientas para Contribuir a la Gestión Sustentable del Agua en Latinoamérica*. Luxembourg: Publications Office of the EU. ISBN978-92-79-45052-5



## Morfometría de la subcuenca hidrográfica del río Páez, Cartago, Costa Rica

### Morphometry of the Páez River hydrographic sub-basin, Cartago, Costa Rica.

*Pablo Ramírez-Granados<sup>1</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

*Kevin Alfaro-Jiménez<sup>2</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

*María Álvarez-Jiménez<sup>3</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

*Ligia Dina Solís-Torres<sup>4</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

*José Castro Solís<sup>5</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

- 1 Académico, Pablo Ramírez-Granados. Laboratorio de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: [pablo.ramirez.granados@una.ac.cr](mailto:pablo.ramirez.granados@una.ac.cr)  <https://orcid.org/0000-0002-5082-445X>
- 2 Consultor, Kevin Alfaro-Jiménez. Correo electrónico: [kevin15aj@gmail.com](mailto:kevin15aj@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0002-7405-4509>
- 3 Académica, María Álvarez-Jiménez. Laboratorio de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: [maria.alvarez.jimenez@una.ac.cr](mailto:maria.alvarez.jimenez@una.ac.cr)  <https://orcid.org/0000-0002-5266-4496>
- 4 Académica Ligia Dina Solís-Torres. Laboratorio de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Escuela de Química, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: [ligia.solis.torres@una.ac.cr](mailto:ligia.solis.torres@una.ac.cr)  <https://orcid.org/0000-0001-8156-2168>
- 5 Consultor, MSc. José Castro-Solís. Laboratorio de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: [jose.castro.solis@una.ac.cr](mailto:jose.castro.solis@una.ac.cr)  <https://orcid.org/0000-0002-3393-6951>

## Resumen

Los estudios de morfometría brindan información sobre el funcionamiento hidrológico en una cuenca. El objetivo del estudio fue determinar parámetros morfométricos en la subcuenca del río Páez, Cartago necesarias para planificación de las actividades de la cuenca y para un apropiado manejo. La construcción de la morfometría se basó en las curvas de nivel del Gran Área Metropolitana, escala 1:10000, y utilizando los Sistemas de Información Geográfica, se realizó la digitalización de las curvas de nivel, los drenajes y el parteaguas. Resultado del análisis morfométrico, se obtiene un área de 28,34 km<sup>2</sup> y un perímetro de 47,4270 km. Está compuesta por 22 microcuencas, un factor de forma de 0,1171 indicando una subcuenca alargada. Un coeficiente de compacidad de 2,4942, indicando que es una cuenca elongada. Muestra una curva hipsométrica de tipo cóncava, donde el pico de la distribución altimétrica corresponde con las altitudes entre los 3315 m y los 980 m. El parámetro pendiente con un valor de 29,3% de pendiente promedio. Es evidente la función que cumple la subcuenca para el desarrollo de las actividades productivas y para el abastecimiento de agua potable en algunos sitios Cartago.

**Palabras clave:** subcuenta Páez, morfometría.

## Abstract

Morphometric studies provide information on the hydrological functioning in a basin. The objective of the present study was to determine morphometric parameters in the sub-basin of the Páez River, located in the province of Cartago, Costa Rica, necessary for land use planning within the basin and its proper management. Morphometric construction was based on the 1:10,000 scale contour lines available for the *Gran Area Metropolitana* (translated as the *Greater Metropolitan Area*) and geographic information systems utilized to digitalize contour lines, drainages and watershed. Resulting from the morphometric analysis, a sub-basin area of 28.34 km<sup>2</sup> and perimeter distance of 47.4270 km were estimated. The sub-basin is comprised of 22 micro-basins and overall exhibits a form factor value of 0.1171, thus indicating an elongated sub-basin. A compactness coefficient value of 2.4942 indicates an elongated basin. The sub-basin exhibits a concave hypsometric curve, where the peak of its altimetry distribution corresponds to altitudes between 3315 m and 980 m. The slope parameter has an average value of 29.3% slope. It is evident the role played by the Páez River sub-basin for the development of productive activities and water supply of some localities in the province of Cartago.

**Keywords:** Páez River sub-basin; Morphometry.

## Introducción

Uno de los primeros pasos en el análisis hidrológico de cuencas hidrográficas lo constituyen los estudios morfométricos. La morfometría es una de las herramientas más importantes en el análisis hidrico porque permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región (Maidmente, 1992). Así mismo sirve como análisis espacial en el manejo y planificación de una cuenca hidrográfica ya que se conocen sus componentes como tamaño de la cuenca, red de drenaje, pendiente media, entre otros aspectos (INE, 2004).

El estudio morfométrico proporciona datos que posibilitan la comprensión del régimen hidrológico, como de las vulnerabilidades a inundaciones, desbordamientos, erosiones y mantenimiento de la red de drenaje (da Costa *et al.*, 2020). También puede referirse a la medición y análisis matemático de la configuración de la superficie terrestre y de su forma y dimensión de sus accidentes geográficos (Biswas *et al.*, 2014).

Las características morfométricas de una cuenca de drenaje proveen la evidencia para describir el comportamiento hidrológico, influyen los procesos hidrológicos (Pothiraj y Rajagopalan 2013, Sing *et al.* 2014), los geomorfológicos (Poyraz, 2011) y la conservación de suelos y aguas (Asfaw y Workineh, 2019).

Dentro del análisis morfométrico varios de los parámetros se pueden obtener por métodos “a mano”, sin embargo, la forma más precisa y utilizada en la actualidad es a través del uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG), donde inicialmente los elementos son obtenidos mediante un MED y se determinan variables como la red de drenaje, aspectos geométricos de la cuenca hidrográfica y aspectos de relieve.

Debido a que los procesos hidrológicos ocurren en la cuenca es de esperar que un análisis numérico-morfométrico pueda proveer información valiosa sobre las características hidrológicas básicas y también brindar más información geológica y geomorfológica de la cuenca (Demoulin, 2011).

Por tanto, para un apropiado manejo y una buena planificación de la subcuenca del río Páez se requiere un buen entendimiento de los procesos y comportamientos hidrológicos, debido a que en ella el desarrollo de los recursos hídricos está ligado principalmente a actividades productivas como las agrícolas, industriales, comerciales y también al consumo humano. A nivel global y en Costa Rica las investigaciones morfométricas son escasas, destacando únicamente el trabajo reciente de Ramírez y Alfaro (2018), por ello es necesario generar información base detallada que sirva para futuros diagnósticos.

A pesar de la importancia que tiene el análisis morfométrico en los estudios básicos de cuencas hidrográficas, muy pocos investigadores han incorporado este aspecto, sobre todo en cuencas con información limitada. Unido a ello este análisis es un insumo para conocer las condiciones actuales e inventariar el estado de las variables morfométricas de la subcuenca, siendo parte de los primeros pasos para realizar la planificación en cuencas hidrográficas.

## **Descripción del área de estudio**

La subcuenca del río Páez se ubica en la zona noroeste de la cuenca del río Reventazón, al norte se encuentra dentro del área de conservación Parque Nacional Volcán Irazú y al sur con el cantón de Paraíso. Entre las coordenadas planas 515682 y 519780 m este y 1102192 y 1087436 m norte del sistema de Proyección Transversal de Mercator para Costa Rica (Alfaro, 2018).

La subcuenca tiene un área de 28,34 km<sup>2</sup> se encuentra en los cantones de Oreamuno y Paraíso de la provincia de Cartago, los pueblos que forman parte de ella son Pisco, Cot, Paso Ancho, Páez, San Juan de Chicúa, Cuesta Los Quemados, Paraíso, Finca Ivancovich, Rincón, Alto Birrisito y Ujarrás (Figura 1).

El río Páez es una de las fuentes de abastecimiento de agua potable importante, y es utilizada también para la producción de energía hidroeléctrica, turismo, contribuye al desarrollo de las actividades agrícolas, pecuarias e industriales y a las comunidades. Se evidencia que producto del desarrollo actividades agrícolas y ganaderas en sitios con pendientes muy pronunciadas utilizando prácticas no adecuadas, se ha provocado deterioro al suelo, erosión y contaminación en las fuentes de agua.

Esta zona presenta problemas ambientales con respecto a malas prácticas del uso del suelo, vulnerabilidad y riesgos asociados, inadecuado manejo de residuos sólidos, contaminación de los ríos producto de las actividades agropecuarias, urbanas e industriales, entre otros usos del suelo que se presentan en toda la cuenca.

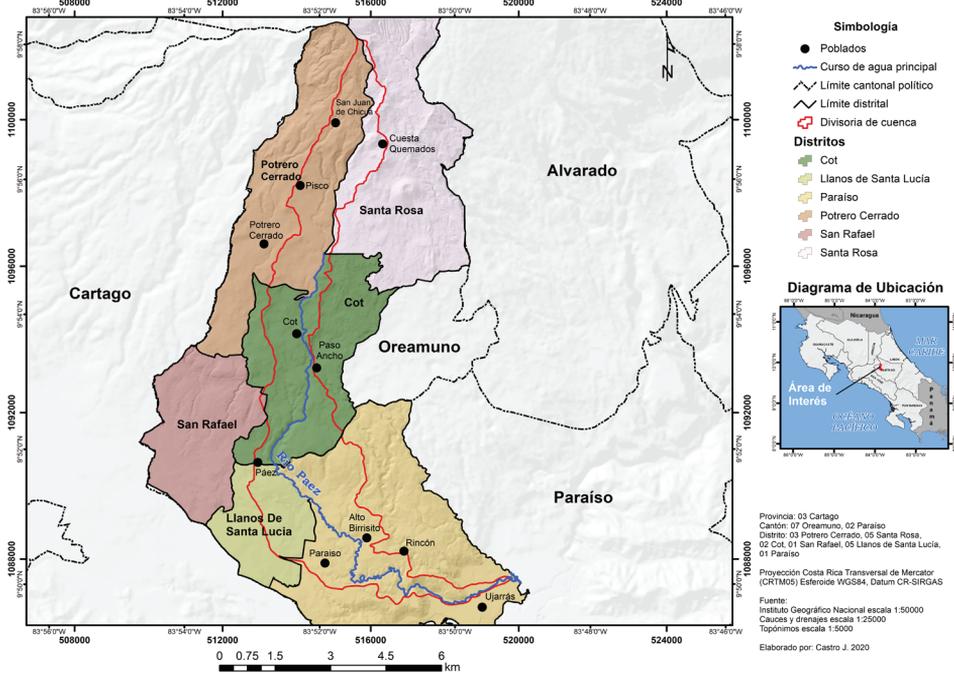
## **Metodología**

### **Determinación de parámetros morfométricos**

La construcción de la morfometría de la subcuenca se basó en las curvas de nivel del Gran Área Metropolitana (GAM), escala 1:10000 del proyecto PRUGAM. Con uso de los Sistemas de Información Geográfica, ArcGis 10.2® y MapInfo 12®, se realizó la digitalización de las curvas de nivel, los drenajes y el parteaguas. La obtención de los parámetros morfométricos de la subcuenca se calculó numéricamente mediante Microsoft Excel®.

A partir de las curvas topográficas se obtuvo el modelo digital de elevación (MED) y de él, la subcuenca, sus drenajes y sus parámetros

**Figura 1.** Ubicación geográfica de la subcuenca del río Páez, Cartago



de forma. Al considerar la cuenca hidrográfica como un vector poligonal, se calcularon de ella sus propiedades geométricas: área ( $A$ ), perímetro ( $P$ ), longitud máxima ( $L_{max}$ ) y ancho máximo ( $W_{max}$ ). Para determinar  $L_{max}$  se utilizó una circunferencia que envolviera la forma total de la cuenca y para  $W_{max}$  se obtuvieron polilíneas perpendiculares a los límites de la cuenca para luego calcular la mayor longitud circunscrita en ella. Como parámetro auxiliar, se calculó la longitud y ancho promedio considerando la forma de la cuenca equivalente a un rectángulo.

Sobreponiendo el vector poligonal de la cuenca a los vectores lineales de los contornos topográficos, se calcularon las áreas parciales entre contornos ( $A_i$ ). Para el caso de los vectores lineales de ríos y contornos topográficos, se calcularon las longitudes de línea para cada uno. De la forma de la cuenca se calcularon los siguientes parámetros:

El Factor de Forma ( $Ff$ ), definido por Horton (1932) y que representa la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca, obtenida como:

$$Ff = \frac{A}{L_{max}^2}$$

El Coeficiente de Compacidad ( $k$ ), que representa la relación de  $P$  real de la cuenca a un perímetro  $P'$  de un círculo de igual área, fue calculado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$k = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Según Reyes *et al.* (2010) este indicador está basado en la relación de perímetro de la cuenca con el área del círculo igual al de la cuenca, entre mayor sea el coeficiente, más distante será la forma de la cuenca con respecto del círculo. Cuando son valores cercanos o iguales a uno, corresponde cuando una cuenca presenta tendencia a altos volúmenes de aguas.

La Relación de Circularidad ( $Rc$ ), la cual representa el cociente entre  $A$  de la cuenca y el área ( $Ac$ ) de un círculo cuya circunferencia es igual a  $P$  de la cuenca:

$$Rc = \frac{A}{Ac}$$

La clasificación de los órdenes de los drenajes fue utilizando el método de Strahler (1957), a partir de ella se obtuvieron la Relación de Bifurcación ( $Rb$ ), definida como el cociente del número de corrientes del ordenado ( $Ni$ ) entre el número de corrientes de orden superior inmediato ( $Ns$ ), este concepto fue definido por Horton (1945), Schumm (1956) y Zavoianu (1985). La longitud de los drenajes se obtiene a partir de las operaciones geométricas básicas de la distancia entre puntos (Bosque, 1997).

La Densidad de Corrientes ( $Dc$ ), definido como la relación del número total de corrientes a la cuenca de drenaje, es decir representa el número de corrientes por unidad de área, fue computado de la siguiente manera:

$$Dc = \frac{Nc}{A}$$

La Densidad de Drenajes ( $Dd$ ), definida como la densidad de una red de ríos, como la relación de sus longitudes al área de su cuenca hidrográfica, es calculada de la siguiente manera:

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Cuanto mayor sea la densidad de drenaje más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta evacuando el agua en menos tiempo (Reyes *et al.*, 2010).

La curva hipsométrica, se refiere a la representación gráfica del relieve de la cuenca en función de las superficies (Díaz *et al.*, 1999). Para la construcción de dicha curva se lleva a escalas la elevación dada en las ordenadas y la superficie de la cuenca (Reyes *et al.*, 2010).

La pendiente de la cuenca se puede determinar por varios métodos, uno de ellos denominado el criterio de Alvord, este parámetro está basado en la obtención previa de pendientes existentes entre las curvas de nivel, dividiendo el área de la cuenca en áreas parciales por medio de curvas de nivel (Villón, 2004).

$$Si: \frac{D}{Wi}$$

Donde,  $Si$  = pendiente media de la faja,  $D$  = desnivel entre líneas medias,  $Wi: a_i/L_i$ ,  $a_i$  = área de la faja,  $L_i$  = longitud de la curva de nivel

El criterio del rectángulo equivalente, también se utiliza para hallar la pendiente de la cuenca (Villón, 2004).

$$S: \frac{H}{L}$$

Donde  $S$  = pendiente de la cuenca ( $^\circ$ ),  $H$  = desnivel total (m) y  $L$  = lado mayor del rectángulo equivalente (km).

Para determinar la pendiente media del cauce, se utiliza el método de compensación, el cual es una manera real de evaluar el pendiente medio del cauce, donde de áreas elige la pendiente de una línea que se apoya en el extremo final del tramo a estudiar y que tiene la propiedad de contener la misma área (abajo y arriba) respecto al perfil del cauce (Villón, 2004).

También se utilizó el criterio Taylor & Schwarz (1952), el cual considera que un río está formado por  $n$  tramos de igual longitud, cada uno de ellos con pendiente uniforme (Villón, 2004) de la siguiente manera:

$$S = (N/(1/\sqrt{s_1} + 1/\sqrt{s_2} + \dots + 1/\sqrt{s_n}))^2$$

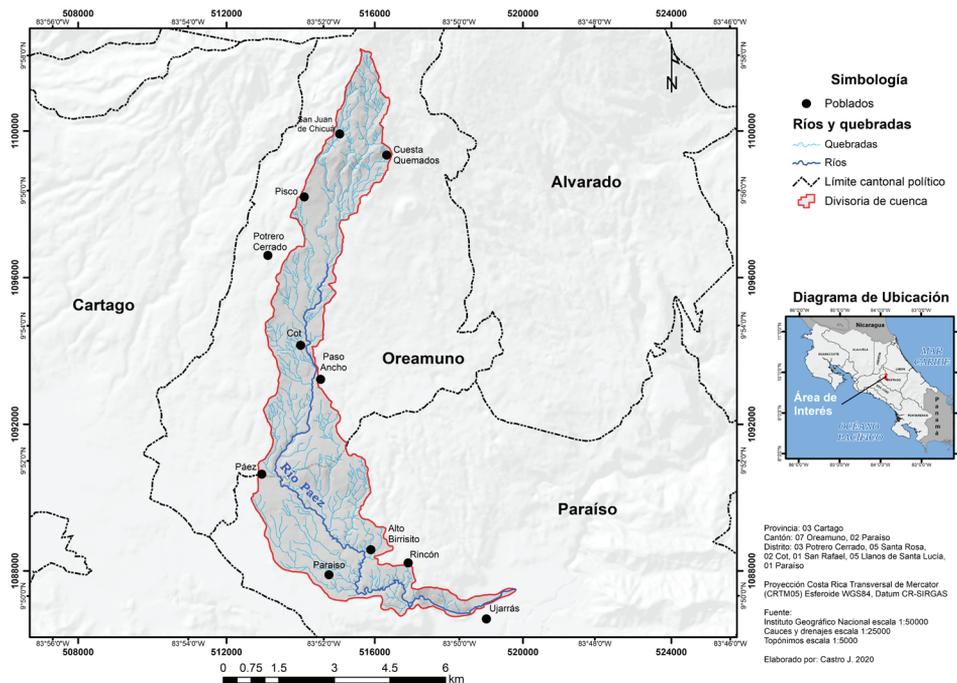
Donde  $n$  = número de tramos iguales, en los cuales se subdivide el perfil,  $S_1, S_2 \dots S_n$  = pendiente de cada tramo, según  $S = H/L$ ,  $S$  = Pendiente media del cauce

## Resultados

La subcuenca hidrográfica del río Páez presenta un área de 28,3460 km<sup>2</sup>, obtenida del trazado digital de su parteaguas a partir de curvas de topográficas, cada 5 m. Presenta un *perímetro* de 47,4270 km y cuenta con una elevación mínima de 980 m y una máxima de 3315 m. El *área* promedio calculada entre los contornos topográficos es de 0,06070 km<sup>2</sup> por cada 5 m de ascenso, con máximos de 0,57402 km<sup>2</sup> y mínimos de 0,00048 km<sup>2</sup>, con una varianza de 0,0047 km<sup>2</sup>.

Internamente, la subcuenca del río Páez está compuesta por 22 microcuencas, definidas por el trazado de los drenajes (Figura 2) (cuadro 1) las cuales tienen las siguientes características:

**Figura 2.** Mapa de drenajes de la subcuenca del río Páez



**Cuadro 1.** Área y perímetro de 22 microcuencas pertenecientes a la subcuenca del río Páez, Cartago.

Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)
1	2,7179	10,7994
2	2,6320	11,6971
3	1,0840	5,6254
4	1,1381	7,6635
5	1,1210	5,3560
6	1,4850	6,5077
7	0,6460	4,1103
8	0,3179	3,7714
9	0,5740	5,2167
10	0,2869	2,8316
11	2,0830	7,5993
12	1,8690	9,1660
13	0,1685	1,8286
14	0,2331	2,2856
15	2,2100	8,4944

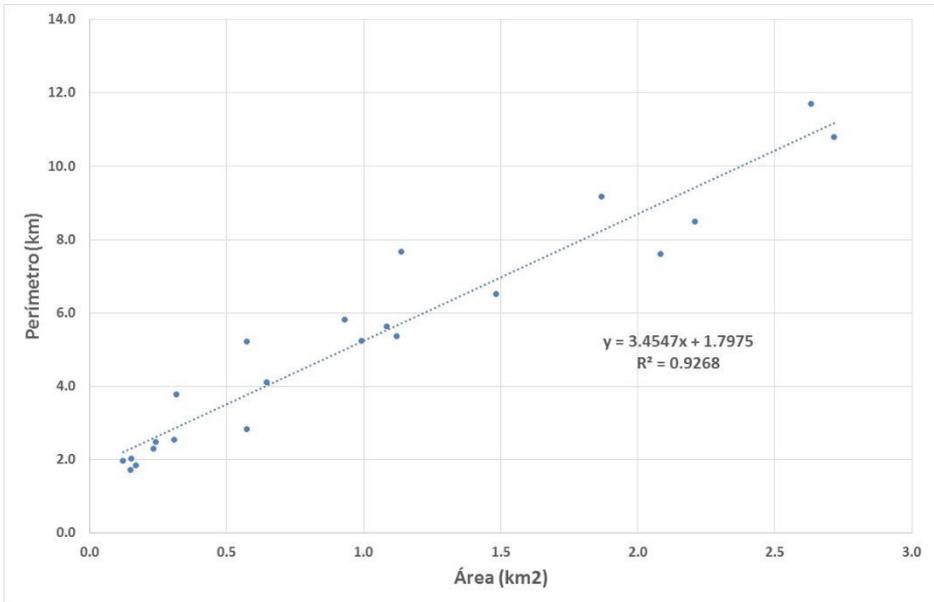
Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)
16	0,9920	5,2344
17	0,9310	5,8171
18	0,2420	2,4678
19	0,1510	1,7052
20	0,1210	1,9530
21	0,1530	2,0315
<b>22</b>	<b>0,3080</b>	<b>2,5287</b>

Fuente: Elaboración propia.

Las microcuencas tributarias tienen un promedio de área de 0,9887 km<sup>2</sup>, con un máximo de 2,7179 km y un mínimo de 0,1210 km. La varianza estimada de estas áreas para la cuenca es de 0,6719 km<sup>2</sup>.

La relación entre el área y el perímetro de las 22 microcuencas se muestra en la figura 3, donde se observa una buena correlación entre ambas propiedades ( $R^2 = 0,9268$ ).

**Figura 3.** Correlación del área contra el perímetro de las 22 microcuencas, subcuenca del río Páez.

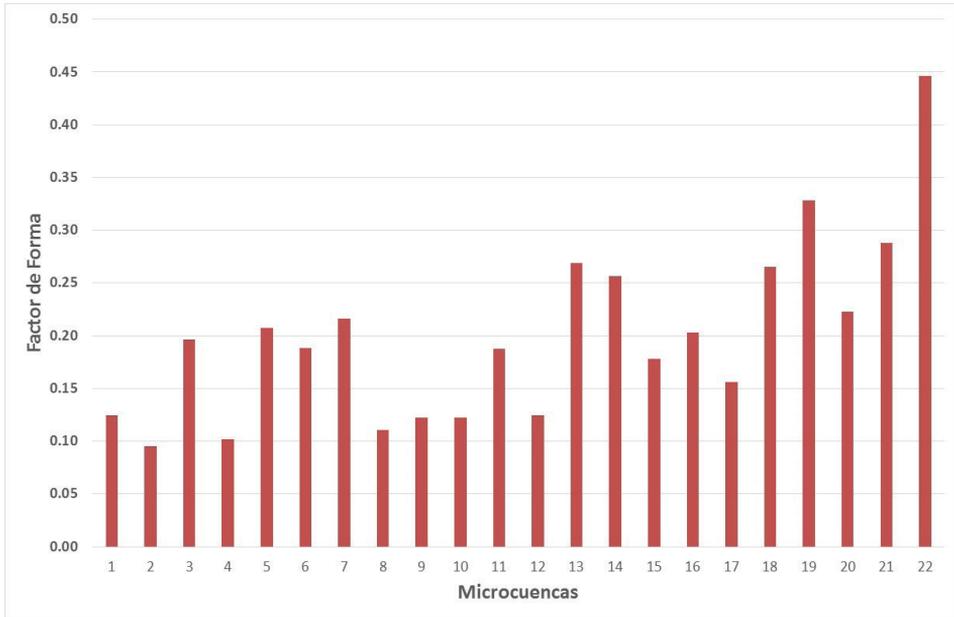


Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a  $Ff$ , este es de 0,1171 para la subcuenca en toda su extensión e indica que es una subcuenca alargada. Una cuenca se considera alargada cuando tiene valores menores aproximados a 0.37; en lo correspondiente a las 22 microcuencas, 21 presentan valores menores a 0,35 y por lo tanto se encuentran en el rango de cuencas alargadas. Solo la microcuenca 22 muestra un valor de 0,44 de forma menos elongada, seguido la microcuenca 19 con un valor de 0,33 en. Los valores promedio de las microcuencas están en 0,2004 con una varianza de 0,0069.

De acuerdo con Villón (20004), a mayor  $Ff$  mayor posibilidad de tener una tormenta intensa en la cuenca y a menor  $Ff$  disminuye la posibilidad de tener una tormenta intensa en la cuenca, como lo es en el caso de la subcuenca Páez (Figura 4).

**Figura 4.** Valores de Factor de forma para las 22 microcuencas, subcuenca del río Páez.



Fuente: Elaboración propia.

El parámetro  $k$  para la subcuenca del río Páez, muestra un valor de 2,4942. Para las microcuencas que la componen, los valores promedio

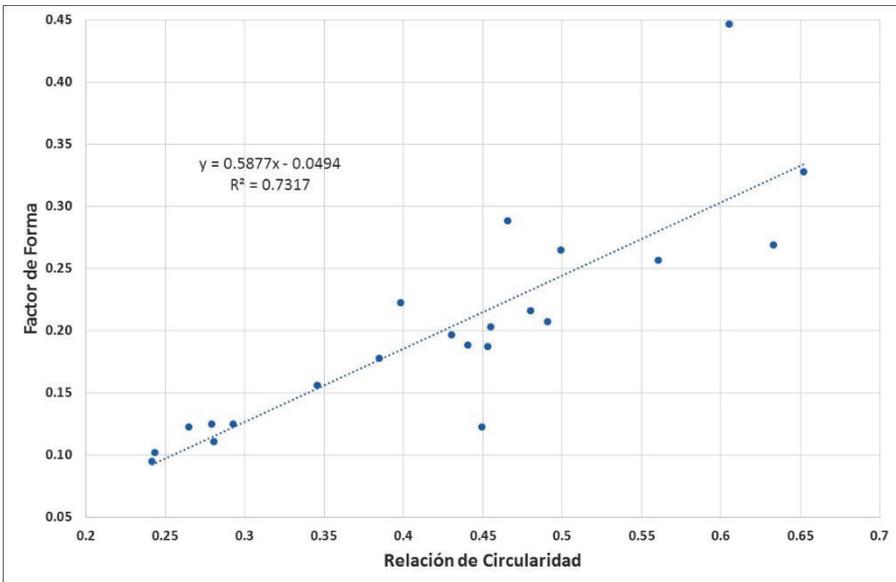
están en 1,5737 con una varianza de 0,0582. El elemento  $k$  es igual a la unidad cuando la forma de la cuenca es un círculo perfecto, incrementándose a 1,128 en el caso de un cuadrado e incluso exceder un valor de 3 para cuencas muy elongadas.

En el caso de la subcuenca del río Páez, sus valores indican que es una cuenca elongada. Internamente, los valores de las microcuencas que son mayormente elongadas son para las microcuencas 2 y 4.

Para el  $R_c$ , el cálculo realizado para las 22 microcuencas señala un valor promedio de 0,4250 con una varianza de 0,014. Los valores cercanos a 0,785 indican que la microcuenca puede ser un cuadrado, en este caso solo la microcuenca 22 presenta una forma cercana con un valor de 0,60.

La relación de  $R_c$  con respecto a  $Ff$  señala un comportamiento creciente, conforme aumentan ambos valores y muestra como las microcuencas más elongadas, presentan valores de  $R_c$  más bajos y por tanto siendo un claro indicador del alargamiento de la cuenca (Figura 5).

**Figura 5.** Correlación del factor de forma contra relación de circularidad de las 22 microcuencas, subcuenca del río Páez.

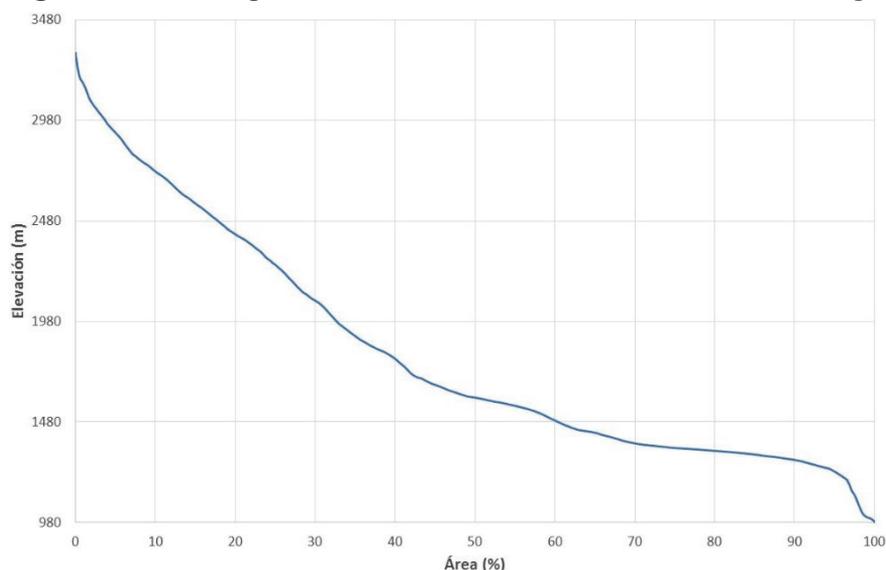


Fuente: Elaboración propia.

### Análisis hipsométrico y frecuencia altimétrica

La subcuenca del río Páez muestra una curva hipsométrica de tipo cóncavo, donde el pico de la distribución altimétrica corresponde con las altitudes entre los 3315 m y los 980 m. El valor de la integral hipsométrica, considerando el método propuesto por Pike y Wilson (1971) es de 50%. Este valor revela que la subcuenca del río Páez está iniciando su etapa de madurez, ya que valores cercanos a 47% son asociados a madurez (Racca, 2007). La elevación media de la subcuenca es de 2147,5 m (Figura 6).

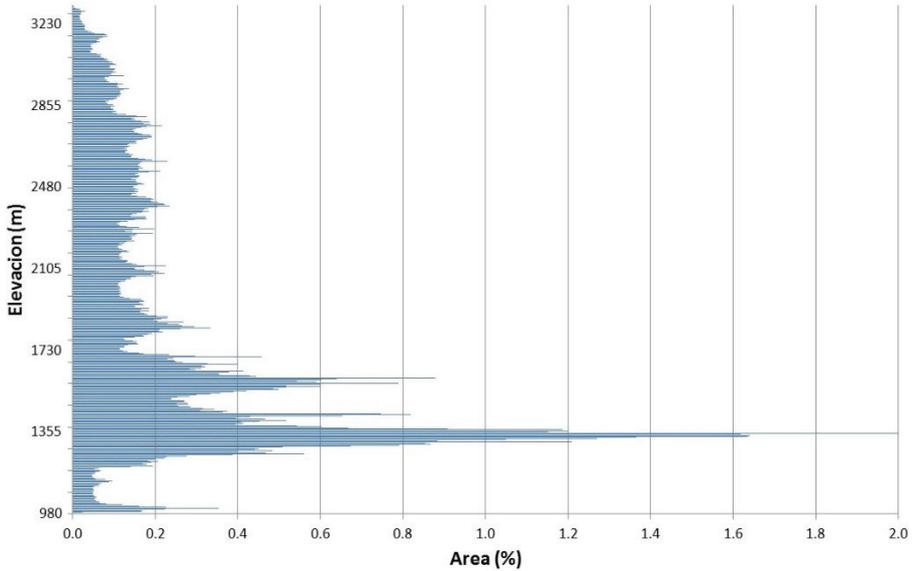
**Figura 6.** Curva hipsométrica de la subcuenca del río Páez, Cartago.



**Fuente:** Elaboración propia.

La curva de frecuencia altimétrica muestra una mayor concentración de las áreas de la cuenca en las altitudes entre 1680 m a los 1200 m. La simetría de las áreas respecto a la altitud es evidente desde los 1840 m en la subcuenca (Figura 7).

**Figura 7.** Curva de frecuencia altimétrica de la subcuenca del río Páez, Cartago.



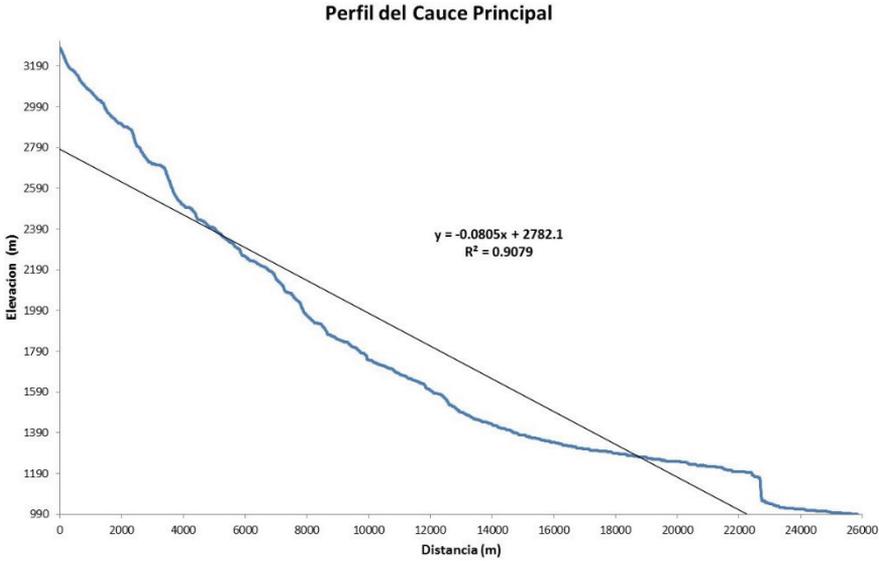
Fuente: Elaboración propia.

### **Pendiente de la subcuenca**

De este parámetro se obtuvo un valor de 29,3% de pendiente promedio, el valor de la pendiente según el criterio de Alvord fue de 22%. Usando el criterio del rectángulo equivalente, el valor de la pendiente para la subcuenca del río Páez fue de 10,4%. Tomando como base los segmentos del rectángulo equivalente, la pendiente con el criterio de Taylor & Schwarz (Taylor y Schwarz, 1952) resultó un valor de 5,62%.

El valor de la pendiente con el método de compensación de áreas fue de 8% con una diferencia entre áreas parciales de 9% (Figura 8). Este valor es coincidente con el criterio del rectángulo equivalente y será el valor promedio de la pendiente de la subcuenca del río Páez.

**Figura 8.** Perfil longitudinal del cauce principal de la subcuenca del río Páez, Cartago.



Fuente: Elaboración propia.

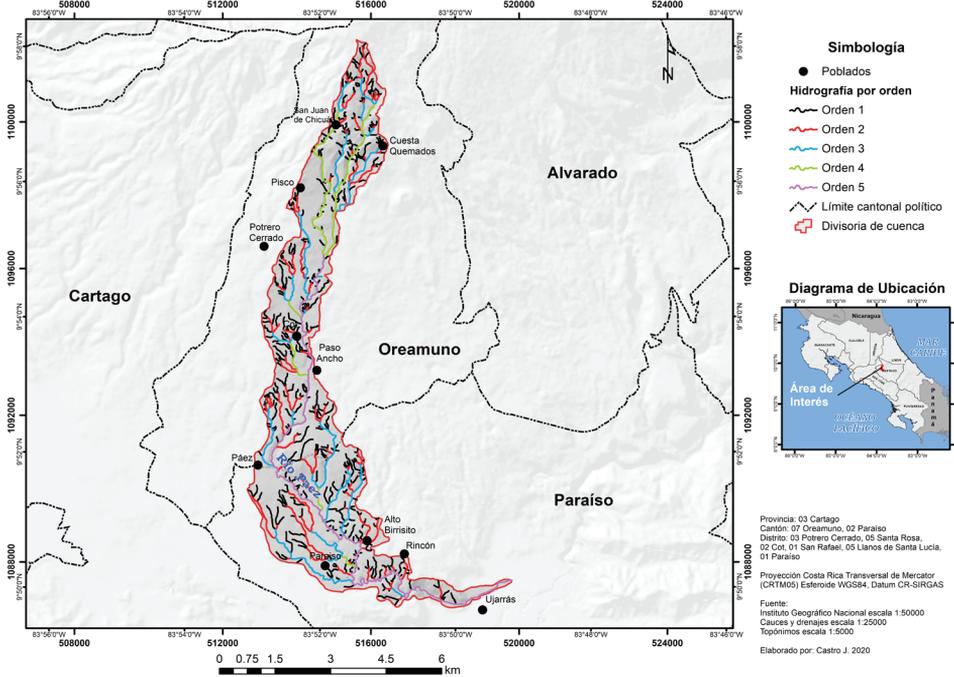
En lo que respecta a las 22 microcuencas los valores de pendiente promedio para ellas rondan 11,2% por el criterio de la compensación de las áreas. El método de Alvord sobreestimada el valor de pendiente llegando a alcanzar un 18,9%. Los criterios de Rectángulo Equivalente y Taylor & Schwarz (1952) muestran un 12,84% y un 9,40% respectivamente.

### Drenajes

La red de quebradas y ríos son elementos que componen un paisaje geográfico y, por lo tanto, está relacionado con la fragmentación del relieve y con algunos procesos hidrológicos y geomorfológicos.

El orden máximo de los drenajes en la subcuenca del río Páez es de 5, en general toda la cuenca los órdenes más numerosos constituyen los de orden 1 seguidos de los de orden 2 (Cuadro 2). Hay 128 corrientes considerando todos los órdenes, dichos órdenes tienden a ser mucho más numerosos en la parte alta de la subcuenca (Figura 9).

**Figura 9.** Hidrografía por orden de la subcuenca del río Páez, Cartago



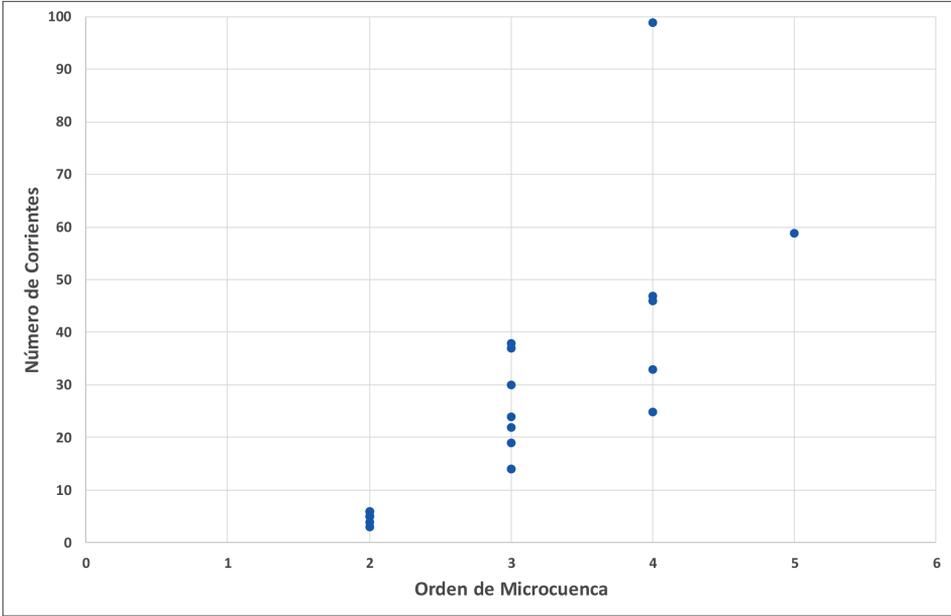
**Cuadro 2.** Órdenes de la subcuenca del río Páez, Cartago.

Orden	Long. Total corrientes (km)	Numero de corrientes (#)	Relación de bifurcación (#/#)	Long.total corrientes (km)	Media Long. Total corrientes (km)	Relación long (km/km)
1	79,836	453	3,47	79,84	0,18	1,62
2	34,487	121	2,42	34,49	0,29	1,91
3	27,266	50	3,85	27,27	0,55	1,86
4	13,153	13	6,5	13,15	1,01	9,43
5	19,077	2		19,08	9,54	
<b>Total</b>	<b>173,82</b>	<b>639</b>	<b>4,13</b>	<b>173,83</b>	<b>2,31</b>	<b>3,7</b>

Fuente: Elaboración propia.

Considerando las 22 microcuencas, la relación entre el orden de cada microcuenca y el número de corrientes en cada una de ellas, esta muestra una tendencia creciente (Figura 10).

**Figura 10.** Relación órdenes y número de corrientes de la subcuenca del río Páez, Cartago.



Fuente: Elaboración propia.

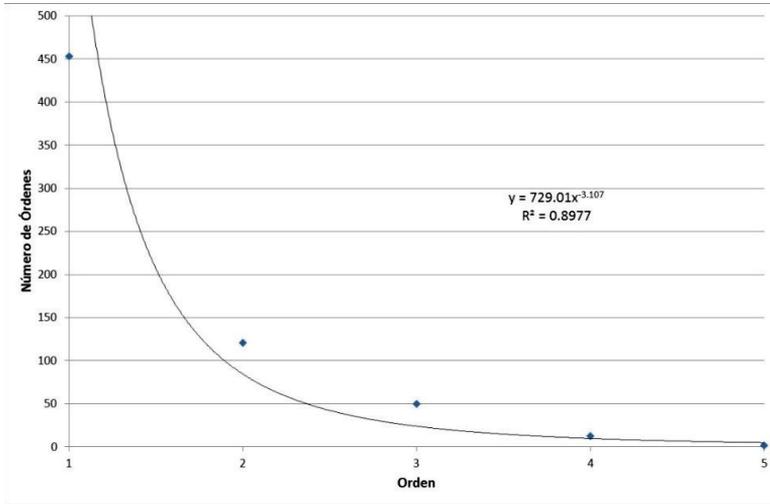
La  $D_c$ , la cual es un indicador importante morfométrico que puede brindar información concerniente a la respuesta de una cuenca de drenaje a procesos de escorrentía. Para el caso de la subcuenca del río Páez, el valor de  $D_c$  es de 22,54. En las microcuencas, la densidad de las corrientes tiene un valor promedio de 27,44 con una varianza de 98,62. Las microcuencas con mayor  $D_c$  son la microcuenca 9, 17 y 45, todas con valores mayores a 40.

Para el caso de  $D_d$ , el valor general para la subcuenca es de 6,13. Para las microcuencas, el valor promedio de  $D_d$  es de 6,62, con una varianza de 1,23. En las microcuencas los valores de  $D_d$  están entre un máximo de 8,44 y un mínimo de 4,86.

Considerando el número de corrientes y los órdenes se graficó la relación entre ellos y se obtuvo que para la subcuenca del río Páez la relación

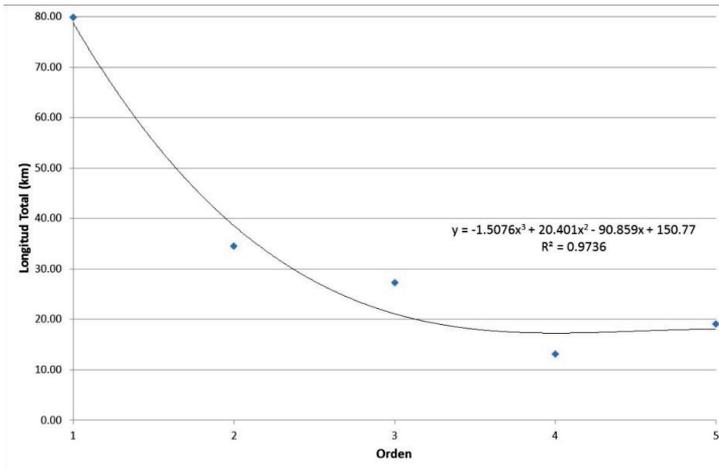
entre el orden y el número de ellos, responde a una función de potencia (Figura 11). La relación entre los órdenes de las corrientes y su longitud total puede ser descrita por una función polinómica de orden 3 (Figura 12).

**Figura 11.** Relación órdenes y número de órdenes de la subcuenca del río Páez, Cartago.



Fuente: Elaboración propia.

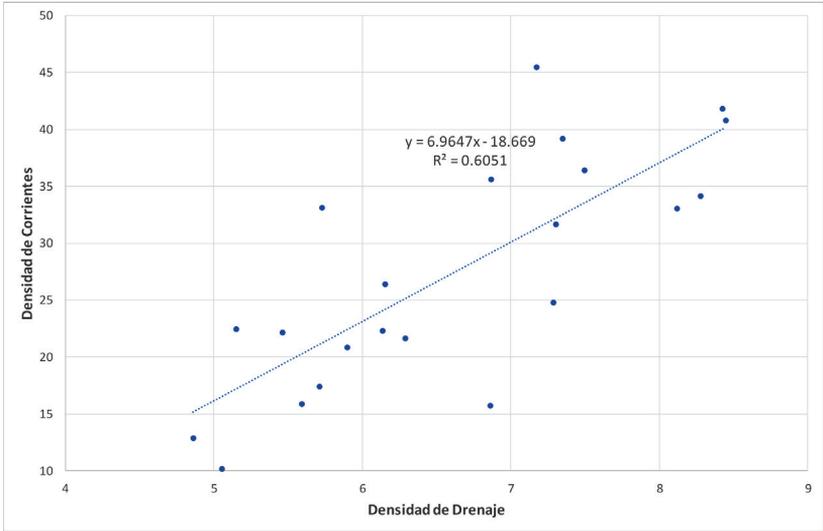
**Figura 12.** Relación órdenes y longitud total de la subcuenca del río Páez, Cartago.



Fuente: Elaboración propia.

La relación entre  $Dd$  y  $Dc$  muestra una correlación importante con tendencia al crecimiento conforme se aumentan ambos parámetros morfo-métricos (Figura 13).

**Figura 13.** Relación de la densidad de drenajes y densidad de corrientes de la subcuenca del río Páez, Cartago.



Fuente: Elaboración propia.

### Conclusiones

El agua que proviene de la subcuenca del río Páez contribuye al desarrollo de las actividades agrícolas, pecuarias e industriales, producción de energía hidroeléctrica y abastecimiento de agua potable para el cantón de Oreamuno, y algunos sitios Cartago. El análisis morfométrico es fundamental para la planificación de la subcuenca y Maidment, (1992) plantea que también es una de las herramientas claves en el estudio hídrico porque permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento hidrológico de una región. Así mismo debido a su alto costo en tiempo, también es muy importante como base complementaria a estudios hidrológicos de cuencas, especialmente en cuencas con poca información como lo es en Páez.

Resultado del análisis morfométrico previo se pueden concluir que esta subcuenca tiene un área de 28,34 km<sup>2</sup> y un perímetro de 47,4270 km,

con una elevación mínima de 980 m y una máxima de 3315 m. Está compuesta por 22 microcuencas, las mismas tienen un promedio de área de 0,9887 km<sup>2</sup>. El parámetro de Factor de forma tiene un valor de 0,1171 en toda su extensión, indicando una subcuenca alargada, que representa flujos de agua más rápidos.

El coeficiente de compacidad obtuvo un valor de 2,4942, indicando que es una cuenca elongada. Muestra una curva hipsométrica de tipo cóncavo, donde el pico de la distribución altimétrica corresponde con las altitudes entre los 3315 m y los 980 m. Del parámetro pendiente de la subcuenca se obtuvo un valor de 29,3% de pendiente promedio, el valor de la pendiente con el método de compensación de áreas fue de 8%. En lo que respecta a las 22 microcuencas los valores de pendiente promedio para ellas rondan 11,2% por el criterio de la compensación de las áreas.

El orden máximo de los drenajes en la subcuenca del río Páez es de 5, y en general en toda la cuenca los órdenes más numerosos constituyen los de orden 1 seguidos de los de orden 2. Posee una densidad de corrientes es de 22,54, y una densidad de drenaje con un valor de 6,13.

## Referencias

- Asfaw, D. & Workineh, G. (2019). Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation. *International Soil and Water Conservation Research* 7, pp. 150-157.
- Biswas, A; Majumdar, D. & Banerje, S. (2014). Morphometry governs the dynamics of drainage basin: Analysis and implications. *Hindawi Publishing Corporation Geography Journal*, pp. 1-14.
- Bosque, J. (1997). *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp. Madrid, p. 451.
- Da Costa, A. A. D., Dos Santos Galvanin, E. A. & Da Silva Neves, S. M. A. (2020). Análise Morfométrica Da Bacia Hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso - Brasil. *Geosul*, 35(74), pp. 483-500. <https://doi-org.una.idm.oclc.org/10.5007/1982-5153.2020v35n74p483>
- 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.

- Díaz C, Mamado K, Iturbe A, Esteller, MA. & Reyna F. (1999). Estimación de las características Fisiográficas de una Cuenca con la ayuda de SIG y MEDT Caso del Curso Alto del Rio Lerma, Estado de México. *Ciencia Ergo Sum* 6 (2), 124-134.
- Horton, R. (1932). *Drainage-basins characteristics*. Transactions American Geophysical Union, 350-361.
- Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56, 275-370.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro*. México: Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, p. 47.
- Maidment, D. R. (1992). *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hil. Inc., New York, NY.
- Pike, R. J., & Wilson, S. E. (1971). Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82(4), 1079-1084.
- Pothiraj, P; Rajagopalan, B. (2013). A GIS and remote sensing-based evaluation of groundwater potential zones on a hard rock terrain of Vaidigai sub-basin, India. *Arabian Journal of Geosciences* 6, 2391-2407.
- Poyraz, M; Taskin, S. & Keles, K. (2011). Morphometric approach to geomorphologic characteristics of Zeytinli stream basin. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 19, pp. 322-330.
- 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, P. & Alfaro, K. (2018). Morfometría de la subcuenca del río Toiyogres, Cartago, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 60, 255-275.
- Reyes, A; Barroso, F. & Carvajal Y. (2010). *Guía Básica Para La Caracterización Morfométrica de Cuencas Hidrográficas*. Programa Editorial Universidad del Valle, Colombia, p. 83.
- Schumm, S. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America* 67, 597-646.

- Singh, P; Gupta, A; Singh, M. 2014. Hydrological inferences from watershed analysis for water resources management using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 17: 111-121 p.
- Strahler, A. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transaction American Geophysical Union* 38 (6), 913-920.
- 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*. San José, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Zavoianu, I. (1985). Morphometry of Drainage Basins. *Developments in Water Science*, 20. Elsevier.



## Estudio de capacidad de acogida del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, Costa Rica

### Study of soil bearing capacity in the Río Torres Interurban Biological Corridor, Costa Rica.

*Oswaldo Navarro-Ceciliano*<sup>1</sup>

*Instituto Tecnológico de Costa Rica; Cartago, Costa Rica*

#### Resumen

La capacidad de acogida del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres se calculó por medio de tres variables superficiales (pedregosidad, profundidad efectiva y pendiente), el resultado mostró que las categorías de agricultura sin limitaciones y tierras forestales para protección son las más predominantes. Seguidamente, se definió el uso del suelo en el corredor a través de la clasificación supervisada de imágenes satelitales, donde 53,62% pertenece al uso zonas urbanizadas, 25,7% a cobertura forestal, 19,91% a ganadería y pastos. Los resultados de capacidad de acogida y uso del suelo permitieron identificar las áreas con uso óptimo y sobreuso, estas últimas representan un 15,21% del corredor, para las cuales se le definieron buenas prácticas relacionadas al sector forestal, buscando disminuir la degradación del suelo. Por último, se evaluó la fragmentación de la cobertura forestal, demostrando que existe un alto nivel de segmentación, por lo que se recomendaron estrategias para restablecer la conectividad entre los fragmentos aislados.

**Palabras clave:** corredor biológico interurbano, capacidad de acogida del suelo, uso del suelo, fragmentación de la cobertura forestal.

#### Abstract

The soil bearing capacity in the Río Torres Interurban Biological Corridor was estimated employing three surface variables (stoniness, effective depth, and slope), the result indicated unrestricted agricultural and conservation forestland as the predominant categories. Next, land use types existing throughout the corridor were identified by means of the supervised classification of satellite images, which evidenced 53.62% of total area as occupied by urban activities, 25.7% forest coverage and

1 Ingeniero Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica; Correo electrónico: [ognc110@gmail.com](mailto:ognc110@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0002-7637-9577>

19.91% destined to livestock grazing and pastures. Soil bearing capacity data and land use visualization allowed the identification of areas with optimal and overexploitation, the latter amounted to 15.21% of the corridor's total land area. For both types of areas, good forestry practices were defined in order to reduce soil degradation. Finally, forest coverage fragmentation was evaluated and found to exhibit a high degree of segmentation, thus strategies were recommended to reestablish connectivity between isolated fragments.

**Keywords:** Interurban biological corridor; Soil bearing capacity; Land use; Forest coverage fragmentation.

## Introducción

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) administra nueve plantas hidroeléctricas en el país, una de estas es la Planta Hidroeléctrica Belén (PHB), la cual fue instalada en 1914 sobre el río Virilla, con una potencia de 2 500 kW (ICE, 2019); esta compañía se ha visto obligada a frenar la producción de esta y otras plantas en repetidas ocasiones, con el fin de extraer una gran cantidad de sedimentos que se acumulan en sus embalses, esto provoca grandes pérdidas económicas y además reduce la vida útil de los proyectos (Casamor y Calafat, 2018, párr. 6).

El manejo adecuado de las microcuencas es una alternativa que busca reducir el impacto causado por los residuos que llegan a los embalses, por este motivo la CNFL tomó la iniciativa de instaurar un Corredor Biológico Interurbano (CBI) sobre la microcuenca del río Torres que abastece al embalse de la PHB (Trujillo-Acosta, Peraza-Estrella, Marina-Hipólito y Feoli, 2016, p. 59).

El Reglamento a la Ley de Biodiversidad (2008) define el Corredor Biológico (CB) como un territorio delimitado geográficamente, con la finalidad de permitir conectividad entre distintos hábitats naturales o intervenidos, siendo su propósito principal el conservar y proteger la biodiversidad presente.

A partir de este concepto se crea la nueva modalidad de CBI, el cual hace referencia a un área urbana delimitada que permite la conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitats que han sido severamente modificados, con la finalidad de contribuir en la conservación de la biodiversidad (SINAC, 2018, p. 106).

La estrategia de conservación por corredores biológicos (CB) funciona como base para el manejo sostenible de los recursos naturales en

cuencas hidrográficas, debido a que esta última no encierra la idea de homogeneidad como si lo hacen los CB (Feoli-Boraschi, 2012, p. 2).

Según lo mencionado por el comité local del Corredor Biológico Interurbano Río Torres (CBIRT), integrado por la CNFL, Municipalidad de San José, UCR, SINAC, entre otras organizaciones públicas, la última fase para instaurarlo requiere la elaboración de un estudio de la capacidad de acogida del suelo para determinar el estado de este recurso (Proyecto Biodiver\_City San José, 2020).

En la teoría el concepto de capacidad de acogida hace referencia al mejor uso que se le pueda dar a un área basado en su sostenibilidad (Galacho y Arrebola, 2013, p. 70), por lo que un estudio de la capacidad de acogida del suelo analiza las propiedades de un territorio con el objetivo de definir si dicha área es óptima para el desarrollo de alguna actividad, además, Acosta, Suango, Proaño y Zambrado (2016, p. 34) mencionan que la capacidad de acogida se entiende como el grado de compatibilidad del territorio y sus recursos para tolerar diversos tipos de usos del suelo.

Actualmente, el uso del suelo abarca diferentes actividades, como asentamientos humanos, actividades agrícolas, extracción de minerales, hábitat biológico de diferentes ecosistemas naturales, entre otros, sin embargo durante los últimos años el crecimiento exponencial de ciertas actividades ha aumentado la presión sobre este, debido a la necesidad de satisfacer la demanda de alimento y el crecimiento económico mundial (Viscarrá *et al.*, 2016, p. 198), esto ha provocado impactos negativos, principalmente al medio ambiente, por lo que las partes involucradas en el manejo del suelo deben estar informadas y poseer conocimientos sobre el uso óptimo que se le debe dar a este recurso (McDowell *et al.*, 2018, p. 212).

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta de gran importancia para la zonificación y clasificación de uso del suelo, a través de un análisis espacial multivariable se pueden obtener resultados con una alta confiabilidad del área de estudio, lo que permite la toma de decisiones más acertadas con el objetivo de mejorar su sostenibilidad y evitar un sobreuso (Thakkara, Desai, Patel & Potdar, 2017, p. 79).

El uso óptimo del suelo toma en cuenta aspectos económicos, sociales y de conservación, debido a que estos deben permanecer en equilibrio para permitir su protección y sostenibilidad, sin afectar el crecimiento económico de la sociedad; por lo que es de gran importancia definir el uso

adecuado y correcto de este recurso (Adams, Pressey, & Álvarez-Romero, 2016, p. 2) (Arjomandi, Mortazavi, Khalilian & Garizi, 2021, p. 2).

Para los casos en los que existe un sobreuso del suelo debido al desequilibrio de alguno de los aspectos ya mencionados, por ejemplo, cuando el factor económico posea mayor influencia, se tenderá a realizar prácticas más intensivas de uso provocando degradación (Zweifel, Meusburger & Alewell, 2019, p. 1), para esto es fundamental implementar buenas prácticas de uso del suelo en sitios con mayor afectación o sobreuso, buscando mejorar su conservación, además, generar beneficios en la protección de la biodiversidad existente y elevar la calidad de vida de los habitantes de la zona.

Existe una amplia gama de buenas prácticas para el manejo y uso sostenible del suelo, entre ellas destacan las relacionadas al sector forestal, tales como planes de restauración de la flora, manejo de áreas protegidas, reforestación, entre otras, estas prácticas son de gran importancia, debido a que no solo protegen el suelo, sino que también crean la posibilidad de restablecer la conectividad entre las áreas verdes que se encuentren fragmentadas o aisladas (FAO, 2018, p. 70).

La fragmentación se define como la transformación de un hábitat continuo a uno segmentado, causado generalmente por la necesidad de establecer nuevos usos del suelo, esto genera fragmentos aislados que presentan condiciones diferentes con respecto al hábitat original, afectando la abundancia y diversidad de especies, así como las relaciones ecológicas existentes, por lo que recuperar la conectividad de estas áreas aisladas es fundamental para la permanencia y protección de la biodiversidad (Luther *et al.*, 2020, p. 2).

Por ende, la finalidad del proyecto es realizar el estudio de capacidad de acogida del suelo en el CBIRT para identificar las zonas que presenten condiciones de sobreuso, y a partir de esto, recomendar la implementación de diferentes actividades relacionadas al sector forestal con el objetivo de mejorar su protección y conservación, además de establecer estrategias de conectividad entre las áreas verdes aisladas, buscando aumentar la biodiversidad del área.

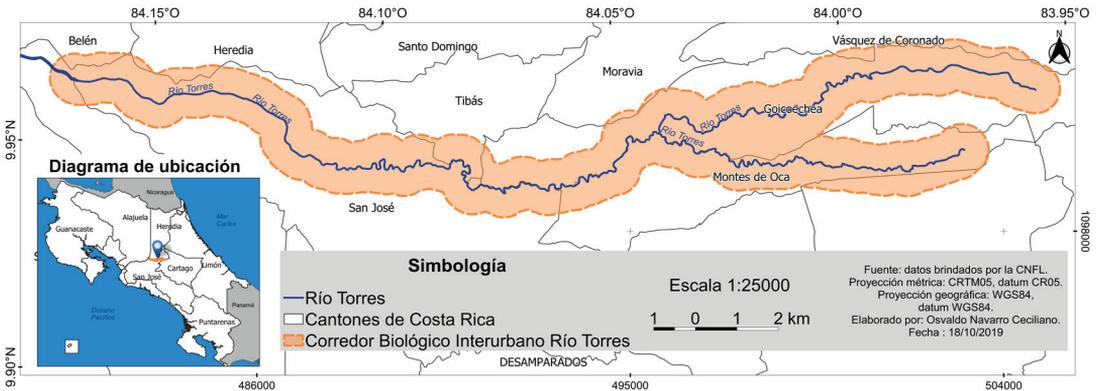
## Materiales y métodos

### Descripción del área de estudio

El CBIRT se encuentra dentro de la subcuenca del Río Virilla, posee una longitud de 26 km y un ancho de 300 metros a ambos lados del Río Torres, el área total del corredor es de 4 309 hectáreas. Este estudio abarcó parte de los cantones de Goicoechea, Montes de Oca, San José y Tibás (Trujillo-Acosta *et al.*, 2016, p. 55).

La cobertura predominante en el corredor es la urbana, la misma presenta un crecimiento poco planificado, otras coberturas presentes son: bosque, agricultura y pastos. La elevación promedio es de 1 100 metros sobre el nivel del mar y la densidad promedio poblacional es de 5 112 habitantes por km<sup>2</sup> (Pérez-Gómez, Gastezzi-Arias y Vega-Quesada, 2016, p. 21). En la figura 1 se muestra la extensión y ubicación del CBIRT.

Figura 1. Mapa de ubicación el área de estudio, CBIRT.



### Capacidad de acogida del suelo

Por solicitud expresa de la CNFL se utilizó la metodología de Gómez, elaborada en Ecuador, para determinar la capacidad de acogida del suelo en el CBIRT, debido a que por hábito y otros motivos la compañía ha trabajado con esta durante los últimos años, causa que justifica el no haber empleado la metodología establecida como obligatoria para Costa Rica mediante el decreto N° 41960-MAG-MIRENEM (Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica, 2019).

La metodología establece varias categorías de capacidad de acogida del suelo como se muestra en el cuadro 1, las cuales van desde las más permisivas hasta las más restrictivas de uso.

**Cuadro 1.** Categorías de capacidad de acogida del suelo según Gómez (2014, p. 79-80).

Más permisivas →	<b>Categorías</b>		Menos permisivas →
	Agricultura sin limitaciones (A)		
	Agricultura con mejoras (Am)		
	Agroforestería con cultivos anuales (Aa)		
	Sistemas silvopastoriles (Ss)		
	Agroforestería con cultivos permanentes (Ap)		
	Tierras forestales para producción (F)		
	Tierras forestales de protección (Fp)		

Gómez (2014, p. 77) define como factores determinantes la profundidad efectiva del suelo y la pendiente del terreno, adicionalmente, se considera la pedregosidad (superficial e interna) y el drenaje superficial como factores que en forma temporal o permanente pueden modificar la capacidad de acogida del suelo.

La CNFL brindó la información de las variables profundidad efectiva del suelo y pedregosidad, adicionalmente, la variable pendiente se estimó mediante un modelo de elevación digital. Sin embargo, la variable drenaje superficial no se consideró en este estudio, ya que no se contaba con los datos correspondientes y según lo mencionado por Sánchez, Valle, Scorza, Feoli y Artavia (2015, p. 24), la misma no influye en la limitación de la capacidad de acogida por las características de relieve que posee el área. Al obtener las variables se procedió a trabajar con las matrices de decisión y asignación de categorías.

En el cuadro 2 se muestra la matriz que combina los factores profundidad del suelo y pendiente, lo que permitió la asignación del área de estudio entre diferentes categorías, cuando se consideró más de una categoría posible, se dio prioridad a la de menor intensidad de uso.

En el cuadro 3 se muestra la modificación de la capacidad de acogida según el nivel en que se presenta el factor modificador de pedregosidad, en este se excluyó el factor limitante de drenaje por las razones explicadas anteriormente.

**Cuadro 2.** Matriz de capacidad de acogida del suelo según la metodología de Gómez (2014, p. 81).

Profundidad del suelo (cm)	Pendientes (%)				
	0 - 12	dic-25	25 - 50	50 – 70	>70
>90	A	Am/Aa	Ap/F	F/Fp	Fp
50 - 90	A	Am/Aa	Ap/F	F/Fp	Fp
20 - 50	Am/Aa	Aa/Ss	Ap/F	F/Fp	Fp
<20	Am/Aa	Ss	Fp	Fp	Fp

**Cuadro 3.** Modificaciones a las categorías de capacidad de acogida en función de la pedregosidad según la metodología de Gómez (2014, p. 81).

Categoría sin modificar	Pedregosidad	Categoría modificada
A	No limitante	A
	Limitante	Ss
Am	No limitante	Am
	Limitante	Ss
Aa	No limitante	Aa
	Limitante	Ss
Ss	Limitante	F/Fp
Ap	No limitante	Ap
	Limitante	F/Fp
F	No limitante	F
	Limitante	Fp

CASOS ESPECIALES: La categoría Ss por definición ya presenta limitaciones de pedregosidad y/o de drenaje, por lo que su grado de manifestación determina que permanezca como Ss o bien se modifique hacia F o Fp.

Para obtener la capacidad de acogida del suelo, Gómez (2014, p. 80) define que es necesario contemplar las zonas de protección dentro del área de estudio, las cuales se incluyeron dentro de la categoría de tierras forestales de protección (FP), estas zonas corresponden a áreas de recarga facilitadas por el SENARA y áreas de protección aledañas a los cuerpos de agua (ríos, embalses y nacientes) establecidas según lo estipulado por la Ley Forestal 7575 (1996).

### Uso actual del suelo

Se seleccionó una imagen satelital Landsat 8 de la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) captada en febrero del año 2019, la cual posee una resolución espacial de 30 metros, además se

encontraba georreferenciada y ortorectificada (Astola, Häme, Sirro, Moli-  
nier & Kilpi, 2019, p. 258).

Finalmente, se le aplicó corrección atmosférica y el preprocesamiento por medio de programas de sistemas de información geográfica (SIG). Durante los meses de agosto y septiembre del mismo año se procedió a visitar los sitios considerados por expertos del comité local del CBIRT como claves para evaluar el uso del suelo, se tomaron puntos GPS de referencia en cada uno y se definió su uso según el Sistema de clasificación del uso y la cobertura de la tierra para Costa Rica (2018), ya que la metodología de Gómez no define un sistema para clasificación de uso del suelo, solo para la capacidad de acogida. Cada punto se utilizó como base para realizar la clasificación supervisada de la imagen satelital a través de programas de SIG.

La exactitud del resultado de la clasificación se validó mediante datos numéricos y estadísticos, por lo que se elaboró una matriz de confusión para comparar lo observado en imágenes satelitales de alta resolución con respecto al uso generado por medio de la clasificación supervisada, lo que permitió calcular el porcentaje de exactitud global del mapa de uso generado, además de la exactitud del clasificador y la exactitud del usuario, según como lo proponen Boca y Rodríguez (2012, p. 13-15).

Asimismo, se realizó un análisis de probabilidad mediante el estadístico Kappa a través de la fórmula 3.

$$K_{\text{hat}} = \frac{N * \sum_{i=r}^r x_{ii} - \sum_{i=r}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum (x_{i+} * x_{+i})} \quad (3)$$

Donde:

r: número de filas en la matriz.

$x_{ii}$ : suma de observaciones en la fila i, y columna i (los valores en la diagonal).

$x_{i+}$ : total de observaciones en la fila i (el total en la fila i a la derecha de la matriz).

$x_{+i}$ : total de observaciones en la columna i (total en la columna i debajo de la matriz).

N: número total de observaciones o puntos de control usados en la validación.

Para determinar si el uso del suelo en el CBIRT ha sufrido cambios durante los últimos años, se comparó el resultado generado con respecto a lo establecido por Sánchez, Valle-Hidalgo, Feoli y Murillo (2016, p. 39) para el año 2016.

### Sobreuso y uso óptimo del suelo

A través de los resultados obtenidos en los procesos anteriores (capacidad de acogida y uso del suelo) se identificaron las áreas que se encuentran actualmente en sobreuso y las que poseen uso óptimo, por medio de la matriz elaborada para la identificación de estas áreas, como se muestra en el cuadro 4, la cual toma como referencia la capacidad de acogida del suelo con respecto al uso que posee actualmente el corredor, esto quiere decir que si un sitio es apto para establecer agricultura sin limitaciones (A), pero posee uso del suelo de cobertura forestal, se le clasificó como uso óptimo debido a que no existe riesgo de degradación; en caso contrario cuando un área es apta solo para tierras forestales de protección y posee uso de agricultura, se le definió como sobreuso del suelo, así se realizó por cada categoría y uso del suelo identificado.

**Cuadro 4.** Matriz para la identificación de las áreas con sobreuso (SU) y uso óptimo (UO), con respecto a las categorías capacidad de acogida determinada en el CBIRT.

Categorías de capacidad de acogida del suelo en el CBIRT	Usos del suelo		
	Cobertura forestal	Ganadería y pastos	Agricultura (café)
Agricultura sin limitaciones (A)	UO	UO	UO
Agricultura con mejoras (Am)	UO	UO	UO
Agroforestería con cultivos anuales (Aa)	UO	UO	UO
Sistemas silvopastoriles (Ss)	UO	UO	UO
Agroforestería con cultivos permanentes (Ap)	UO	SU	UO
Tierras forestales para producción (F)	UO	SU	SU
Tierras forestales de protección (Fp)	UO	SU	SU

NOTA: se excluye de esta matriz los usos de Zonas Urbanizadas y Zonas Húmedas, debido a que estos no pueden ser sustituidos o modificados.

Posteriormente, se establecieron recomendaciones de buenas prácticas de uso relacionadas al sector forestal para las áreas que presentaron problemas de sobreuso, además, es importante aclarar que la metodología

de Gómez (2014, p. 77) establece que el uso del suelo identificado como “Zonas Urbanizadas” debe ser excluido del estudio, debido a que no se puede modificar o sustituir.

Sin embargo, como este representa un gran porcentaje del corredor, se decidió recomendar de igual forma buenas prácticas con el objetivo de aumentar la cobertura forestal y así lograr la conectividad a lo largo del mismo.

### Fragmentación de la cobertura forestal

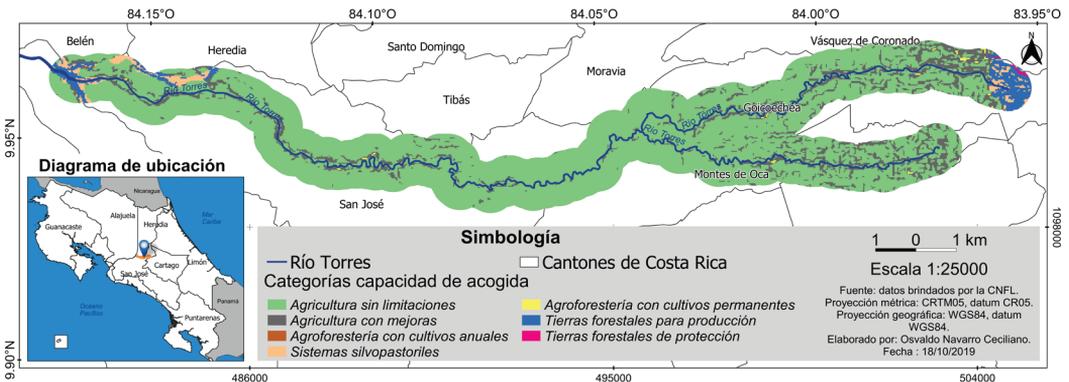
El grado de fragmentación de la cobertura forestal fue obtenido mediante la herramienta de SIG Guidos Toolbox, los criterios utilizados para definirlo toman en cuenta el tamaño del fragmento o parche y el nivel de conectividad con respecto a sus vecinos dentro del área de estudio, a partir de esto se definió a través de la herramienta cuatro grados de fragmentación, los cuales son insularizado, altamente fragmentado, fragmentación moderada y sin fragmentación (mencionados desde el más a menos afectado), para evaluar el estado en que se encuentra cada área verde y considerar el restablecimiento o no de la conectividad, tomando en cuenta el nivel de dificultad que esto conllevaría.

## Resultados y discusión

### Capacidad de acogida del suelo

En la figura 2 se presenta la distribución de las categorías de capacidad de acogida en el CBIRT, el área y el porcentaje que corresponde a cada categoría se muestra en cuadro 5.

**Figura 2.** Capacidad de acogida del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.



### Cuadro 5. Área en hectáreas y porcentaje de las categorías de capacidad de acogida del suelo.

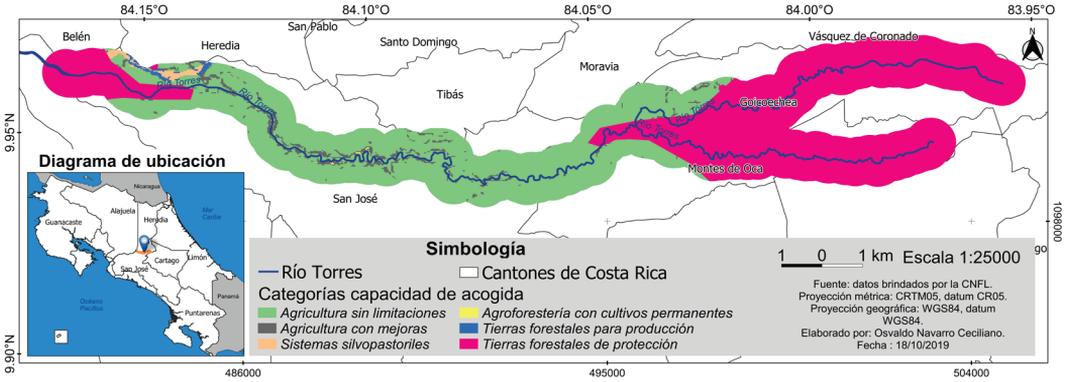
Categorías de capacidad de acogida	Área (ha)	Porcentaje (%)
Agricultura sin limitaciones	3437,51	79,75
Agricultura con mejoras	648,49	15,04
Agroforestería con cultivos anuales	0,81	0,02
Sistemas silvopastoriles	80,75	1,87
Agroforestería con cultivos permanentes	6,84	0,16
Tierras forestales para producción	131,97	3,06
Tierras forestales de protección	4,23	0,1

Según los resultados obtenidos de la capacidad de acogida del CBIRT, gran parte de este pertenece a la categoría agricultura sin limitaciones, lo cual indica que son sitios con aptitud para cultivos agrícolas (monocultivo o asociados), sin limitaciones por variables físicas y que demandan nulas o pocas prácticas de conservación de suelos (Gómez, 2014, p. 79).

Otra categoría con un grado significativo de representación es agricultura con mejoras, los sitios que pertenecen a esta presentan limitaciones de uso moderadas respecto a las variables físicas, por lo que para poder implementar actividades relacionadas a la agricultura es necesario establecer prácticas de manejo y conservación de suelos (Gómez, 2014, p. 79). Así mismo, solo un bajo porcentaje del corredor está representado por las tierras forestales de protección, lo cual indica que el área con limitaciones severas de uso del suelo es muy reducida.

Sin embargo, el resultado anterior no consideró las zonas de protección definidas por la legislación del país, al incluirlas se obtuvieron cambios en los porcentajes de las categorías de capacidad de acogida del suelo como se muestran en la figura 3 y el cuadro 6, en estos se puede observar que el cambio más representativo fue para las tierras forestales de protección pasando de 0,1% a 54,2 %, seguido por agricultura sin limitaciones que se redujo a 41,44%; las demás categorías presentan valores que oscilan entre 0,02 y 3,27 %.

**Figura 3.** Capacidad de acogida del suelo considerando zonas de protección en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.



**Cuadro 6.** Área en hectáreas y porcentaje de las categorías de capacidad de acogida del suelo considerando zonas de protección.

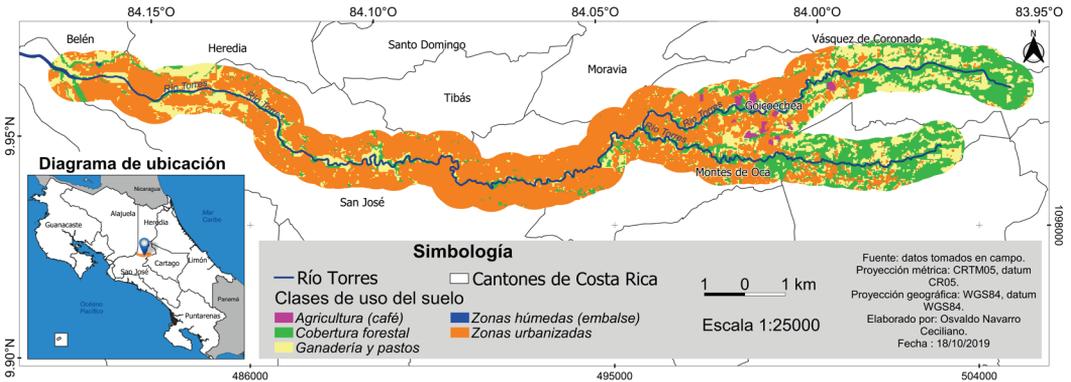
Categorías de capacidad de acogida	Área (ha)	Porcentaje (%)
Agricultura sin limitaciones	1787.77	41.44
Agricultura con mejoras	140.92	3.27
Sistemas silvopastoriles	29.46	0.68
Agroforestería con cultivos permanentes	0.98	0.02
Tierras forestales para producción	16.77	0.39
Tierras forestales de protección	2338.13	54.2

El aumento en el porcentaje correspondiente a la categoría tierras forestales de protección refleja la importancia de tomar en cuenta las zonas de protección definidas por ley, debido a que estas son apropiadas exclusivamente para actividades forestales de conservación y limita cualquier cambio de uso; por otra parte, la categoría agricultura sin limitaciones sigue abarcando un gran porcentaje, estos valores indican que el corredor se encuentra principalmente categorizado en zonas con severas y reducidas limitaciones de uso

### Uso del suelo

A partir de la clasificación supervisada se identificaron 5 clases de uso del suelo, como se muestran en la figura 4. Las zonas urbanizadas ocuparon el mayor porcentaje de uso con un 53,62% (2310,85 ha), seguidas por la cobertura arbórea con un 25,7% (1107,6 ha), donde se incluyen bosques secundarios, áreas verdes en zonas urbanas y plantaciones forestales; la clase de ganadería y pastos ocupa el 19,91% (857,91 ha) del corredor, en esta última incluye pastos arbolados, pastos limpios y charrales; por otra parte, en menor proporción se encuentran las clases agricultura y zonas húmedas con 0,75% (32,52 ha) y 0,02% (0,99 ha) respectivamente.

**Figura 4.** Uso actual del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.



La clase Zonas Urbanizadas se concentra principalmente en la parte media y baja del área de estudio; en lo que respecta al bosque, la mayor presencia de este se encuentra en la parte alta del corredor e igual sucede con los pastos dedicados a la ganadería; por su parte, la actividad agrícola, representada por cultivos de café, solo se concentra en un área, esto coincide con lo mencionado por [Trujillo-Acosta et al. \(2016, p. 60\)](#).

Al comparar los resultados obtenidos con respecto a lo definido por [Sánchez et al. \(2016, p. 39\)](#) para el año 2016, se observa que la cobertura forestal ha disminuido al menos un 3%, esto se debe principalmente a que existe presión sobre los bosques en las zonas altas del corredor, ya que se

busca expandir los territorios dedicados a la ganadería y pastos, evidenciado por un aumento de 4% para esta clase.

Es importante destacar, que la clase agricultura ha presentado una reducción bastante considerable, pasando de 4,28% a 0,75%, el principal motivo de esta situación es la caída del precio del café en el mercado internacional, provocando que la actividad sea poco rentable (Organización Internacional del café, 2019, p. 1) y, por lo tanto, en la actualidad estas zonas son sustituidas por uso urbano.

A través de una matriz de confusión se validó la clasificación (cuadro 7), en las filas se colocaron los datos clasificados y en las columnas los datos tomados de la imagen satelital, la diagonal gris muestra la cantidad de puntos que fueron correctamente clasificados por clase, a partir de esta se permitió demostrar el grado de exactitud obtenido de la clasificación, (cuadro 8), donde la exactitud global obtenida fue de 93,75%, además, el valor del estadístico Kappa ( $K_{hat}$ ) obtenido es de 0,9125.

**Cuadro 7.** Matriz de confusión entre la información de la imagen satelital Lansat 8 y los resultados de la clasificación de uso del suelo del CBIRT, San José, Costa Rica.

		Información de imagen satelital					Total
		Clase	1000	2000	3000	4000	
Información de la clasificación	1000	11					11
	2000		2				2
	3000			7			7
	4000				1		1
	5000	1		1		9	11
	Total	12	2	8	1	9	32

**Cuadro 8.** Exactitud de los resultados de la clasificación de uso del suelo del CBIRT, San José, Costa Rica.

Exactitud	Clase				
	1000	2000	3000	4000	5000
Del productor	91,7	100	87,5	100	100
Del usuario	100	100	100	100	81,81
General	93,75				

La exactitud del productor o clasificador para las clases de agricultura (2000), zonas húmedas (4000) y zonas urbanizadas (5000) presentó una precisión de 100%, ya que todas las unidades muestreadas fueron correctamente clasificadas con respecto a los datos de referencia.

Por otra parte, para la clase de cobertura forestal (1000) se obtuvo una exactitud de 91,7% y con una menor precisión la clase de ganadería y pastos (87,5%), lo cual indica que solo un bajo porcentaje de las unidades muestreadas no concuerdan con los datos de referencia, respecto a la exactitud del usuario la clase de zonas urbanizadas (5000) presentó una precisión con un valor de 81,8%, lo que significa que esta fue asignada de manera incorrecta en otros usos, además es importante destacar que las restantes clases obtuvieron un 100% de precisión.

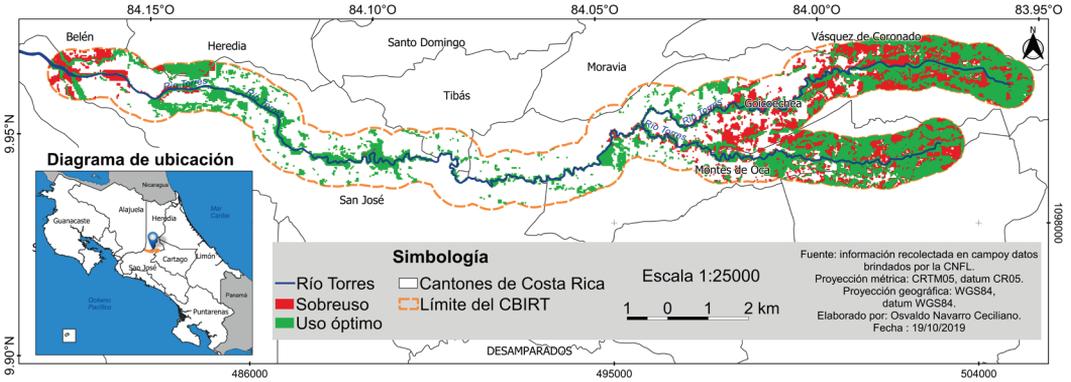
La exactitud general o global es de 93,75%, esto quiere decir, que la clasificación coincide en ese porcentaje con respecto a la realidad del uso actual del suelo en el corredor. Por otra parte, según el estadístico Kappa, la clasificación fue mejor en 91,25% que la realizada por el simple azar, siendo esta última similar a una clasificación visual en campo (Casco, Arias, Mareco y Kindgard, 2016, apartado 4.6 Medición de la confiabilidad de un mapa).

### **Zonas de uso óptimo y sobreuso del suelo**

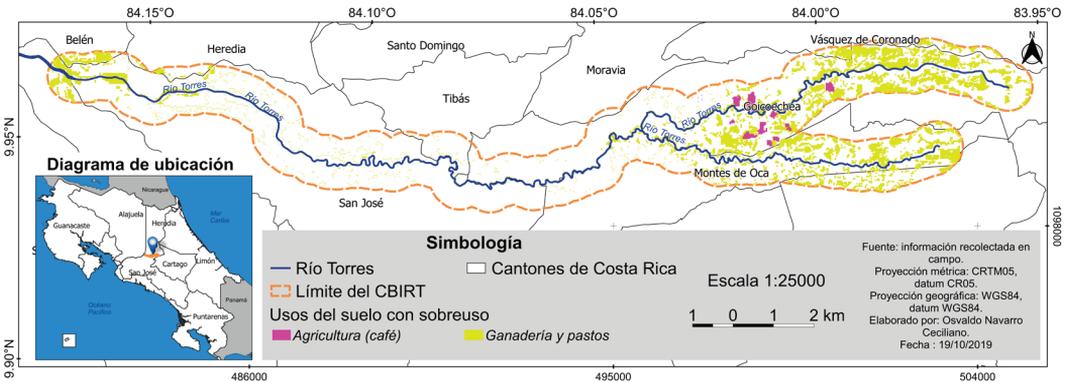
Al determinar las zonas de uso óptimo y sobreuso del suelo (figura 5), se obtuvo que 1 352,31 ha (31,59%) del corredor se encuentran en uso óptimo, mientras que 640,27 ha (15,21%) se encuentran en sobreuso.

Además, en la figura 6 se identifican por categoría de uso del suelo los sitios que poseen sobreuso, las cuales fueron agricultura (30,88 ha) y ganadería y pastos (609,39 ha).

**Figura 5.** Determinación de las zonas que presentan sobreuso y uso óptimo del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.



**Figura 6.** Uso actual incorrecto del suelo por categoría de uso en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.



Un 15,21% (640,27 ha) del área de estudio posee sobreuso por lo que es importante realizar actividades que mejoren su condición, tal como lo menciona Suryatmojo (2014, p. 833), con el fin de evitar daños que disminuyan las funciones y calidad del suelo.

Por lo que se recomiendan establecer actividades de restauración y reforestación, esto debido a que las raíces de los árboles ofrecen estabilidad y apoyo mecánico para impedir desprendimientos de tierra en sitios

con altas pendientes o disminuir la pérdida de suelo por la escorrentía del agua (FAO, 2018, p. 86).

En el cuadro 9 se establecen las prácticas forestales más adecuadas por clase de uso para mejorar la protección del suelo en las zonas con sobreescurrimiento ya mencionadas.

**Cuadro 9.** Definición de prácticas forestales para mejorar el uso del suelo en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres.

Tipo de uso	Actividad propuesta	Procedimiento y recomendaciones	Especies recomendadas
Agricultura	Implementar sistema agro-forestal (SAF).	Se debe definir los objetivos del SAF, identificar las características del sitio y seleccionar especies con valor comercial, que se desarrollen adecuadamente en las condiciones de cada lugar, así mismo se deben planificar prácticas de manejo de los árboles seleccionados. En combinación con agricultura se recomienda establecer cortinas rompevientos, plantar árboles en asociación a los cultivos o establecer cercas vivas (Decreto N°23214, 1994).	<i>Cordia alliodora</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Inga sp.</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Tabebuia impetiginosa</i> , <i>Tabebuia ochracea</i> .
	Restaurar las áreas degradadas de las riberas de ríos.	El porte máximo sugerido para los individuos debe ser menor a 15 m. Lo ideal es que sean árboles con buen atractivo, tanto en flores o frutos (Subcomisión Heredia – CGICRG Tárcoles, sf, p. 33). Es importante considerar que los árboles se pueden encontrar expuestos a daños por el pastoreo del ganado, para estos casos es recomendable limitar el acceso a los animales en estas áreas (Decreto N°23214, 1994).	<i>Luehea speciosa</i> , <i>Ochroma pyramidale</i> , <i>Stemmadenia donnell-smithii</i> , <i>Urera sp.</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Cecropia sp.</i> , <i>Inga sp.</i> , <i>Zygia longifolia</i> , <i>Clusia rosea</i> , <i>Ficus sp.</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Cassia grandis</i> , <i>Acnistus arborescens</i> .
Ganadería y pastos	Implementar sistema agro-forestal (SAF)	Se debe definir los objetivos del SAF, identificar las características del sitio y seleccionar especies con valor comercial, que se desarrollen adecuadamente en las condiciones de cada lugar, así mismo se deben planificar prácticas de manejo de los árboles seleccionados. En combinación con ganadería y pastos se recomienda establecer sistemas silvopastoriles, cortinas rompevientos. Es importante considerar que los árboles se pueden encontrar expuestos a daños por el pastoreo del ganado, para estos casos es recomendable limitar el acceso a los animales en estas áreas (Decreto N°23214, 1994).	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Cordia alliodora</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Ceiba pentandra</i> , <i>Magnolia poasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Carapa sp.</i> , <i>Myroxylon balsamum</i> , <i>Quercus spp.</i>

Es importante, que para el distanciamiento de siembra se consideren las características de las especies como el crecimiento en altura y el diámetro de la copa, por lo que este puede variar en cada caso.

Por otra parte, es recomendable reforestar todas aquellas zonas que presenten altas pendientes, para esto se deben seleccionar especies de porte pequeño o mediano, ya que un árbol de porte grande constituirá mucho peso para este tipo de terreno, debido a que es altamente vulnerable a la erosión y al deslizamiento (Sánchez *et al.*, 2015, p.45).

Las especies arbóreas recomendadas son *Bursera simaruba*, *Byrsonima crassifolia*, *Calliandra* sp, *Croton draco*, *Diphysa americana*, *Guazuma ulmifolia*, *Mauria heterophylla*, *Muntingia calabura*, *Psidium guajaba*, *Senna* sp. Para las actividades propuestas se recomienda realizar podas de formación, de mantenimiento y sanitarias durante los primeros 3 años (Sánchez *et al.*, 2015, p. 55).

Por otra parte, en lo que respecta al uso de zonas urbanizadas, se recomiendan de igual forma buenas prácticas de uso del suelo como se muestra en el cuadro 10, con el objetivo de mejorar y restablecer la conectividad de las áreas verdes a lo largo del corredor.

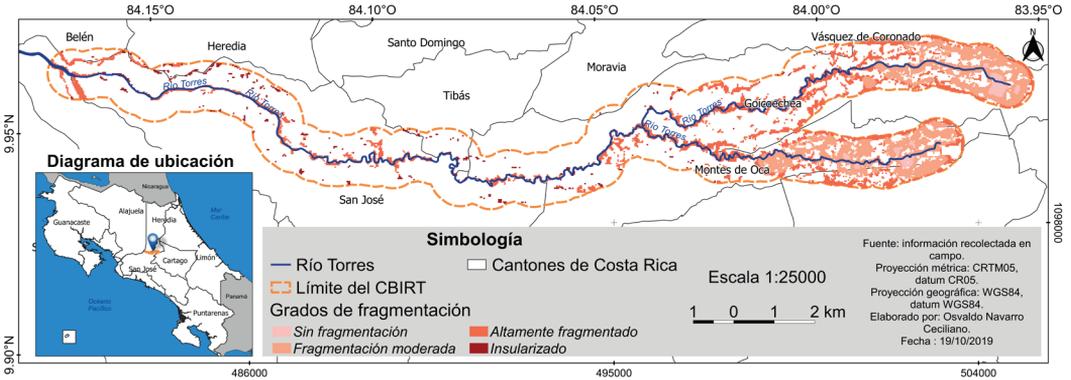
### Cuadro 10. Buenas prácticas recomendadas para el uso en zonas urbanizadas.

Tipo de uso	Actividad propuesta	Procedimiento y recomendaciones	Especies recomendadas
Zonas urbanizadas	Plantar árboles en aceras y avenidas.	Se recomienda que los árboles al momento de plantarlos tengan una altura mínima de 1,5 m y 5 cm de diámetro en la base. El fuste debe verse recto y sin ramas, además, este debe estar libre de cualquier daño fitosanitario. Las especies seleccionadas no deben de crecer más de 10 m (Sánchez et al, 2015, p. 46).	<i>Malpighia glabra</i> , <i>Ardisia</i> sp, <i>Posoqueria latifolia</i> , <i>Sanchezia parvibracteata</i> , <i>Eugenia uniflora</i> , <i>Roupala montana</i> , <i>Croton niveu</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Ligustrum lucidum</i> , <i>Callistemon</i> sp, <i>Bauhinia purpurea</i> .
	Reforestar parques urbanos y/o sustitución por especies idóneas.	Se recomienda que los árboles al momento de plantarlos tengan una altura mínima de 1,5 m y 5 cm de diámetro en la base. En estos casos se podrán seleccionar árboles de porte grande, con fustes gruesos y copas amplias o compactas, siempre que los individuos tengan suficiente espacio para desarrollarse sin peligro de afectar infraestructura. Será necesario escoger individuos de importancia ecológica con frutos y flores como atractivo para fauna silvestre (Sánchez et al, 2015, p. 46).	<i>Malpighia glabra</i> , <i>Trichilia havanensis</i> , <i>Ardisia</i> sp, <i>Tabebuia ochracea</i> , <i>Tabebuia rosea</i> , <i>Posoqueria latifolia</i> , <i>Roupala montana</i> , <i>Diphysa americana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Ficus</i> sp, <i>Eriobotrya Japonica</i> , <i>Cojoba arborea</i> , <i>Mauria heterophyll</i> , <i>Jacaranda caucan</i> , <i>Dilodendron</i> sp.
	Restaurar las áreas degradadas de las riberas de ríos.	Seleccionar especies que se adecuen mejor al bosque ripario o de galería, además se debe considerar si los árboles estarán expuestos al tránsito de personas por lo que pueden sufrir daños, en estos casos es recomendable plantar árboles con una altura mínima de 1,5 m. El porte máximo sugerido para los individuos debe ser menor a 15 m y que sean árboles con buen atractivo (flores o frutos) (Subcomisión Heredia – CGICRG Tárcoles, sf).	<i>Luehea speciosa</i> , <i>Ochroma pyramidale</i> , <i>Stemmadenia donnell-smithii</i> , <i>Urera</i> sp, <i>Bursera simaruba</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Cecropia</i> sp, <i>Inga</i> sp, <i>Zygia longifolia</i> , <i>Clusia rosea</i> , <i>Ficus</i> sp, <i>Guazuma ulmifoli</i> , <i>Cassia grandis</i> , <i>Acnistus arborescens</i> .

### Fragmentación de la cobertura forestal

La figura 7 muestra el grado de fragmentación de la cobertura forestal presente en el CBIRT, donde se obtuvieron cuatro niveles de segmentación, los mayores porcentajes corresponden a altamente fragmentado (46,61%) y fragmentación moderada (45,8%), por otra parte, en menor proporción se encuentran insularizado (4,17%) y sin fragmentación (3,42%).

**Figura 7.** Grado de fragmentación de la cobertura forestal en el Corredor Biológico Interurbano Río Torres, San José, Costa Rica.



El CBIRT ha sufrido una seria segmentación de la cobertura forestal, esto se observa en las zonas media y baja del corredor, las cuales poseen un alto grado de fragmentación causado principalmente por la necesidad de establecer nuevos usos del suelo, lo que conlleva a cambios en la composición y estructura del bosque provocando afectación en la biodiversidad existente (Trapp, Day, Flaherty, Zollner, & Smith, 2019, p. 44), sin embargo, es importante destacar que la zona alta posee menor grado de fragmentación.

Para restablecer la conectividad de la cobertura forestal a lo largo del corredor se recomienda intervenir con mayor prioridad las áreas a orillas del río que presenten un grado de fragmentación insularizado, normalmente se consideraría que este grado no es apto para restablecer conexión debido al nivel de aislamiento que poseen (Gastezzi-Arias, Alvarado-García, y Pérez-Gómez, 2016, p. 40) (Rico, 2017, p. 29).

Sin embargo, el objetivo principal es permitir el paso e interacción de las diferentes especies entre la parte alta, media y baja del corredor. Además, es fundamental conectar las áreas que poseen el grado altamente fragmentado, considerando las rutas más factibles que mejoren la integridad ecológica y la conservación de los recursos naturales (Reza, Abdullah, Nor & Ismail, 2018, p. 361) esto debido a que gran proporción de la cobertura forestal del corredor posee esta condición.

En el caso de los sitios que presentan una fragmentación moderada, al tener un menor grado de aislamiento, no requieren la implementación inmediata de las actividades recomendadas en este estudio sin embargo, en la medida de lo posible debe procurarse mejorar la conectividad para no alcanzar mayores niveles de fragmentación y asesorar a los propietarios y encargados de estas áreas con el fin de concientizar sobre su importancia para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que ofrecen (Naime, Mora, Sánchez-Martínez, Arreola y Balvanera, 2020, p. 2).

Con respecto a los parches de bosque que se encuentran sumamente aislados y que no forman parte de la trama principal de conexión del corredor, se recomienda implementar las estrategias de conectividad a largo plazo.

### **Conclusiones**

La categoría de capacidad de acogida más representativa es agricultura sin limitaciones, con 79,75%, mientras que la menos representativa es agroforestería con cultivos anuales, con 0,02%, lo que quiere decir que el CBIRT se caracteriza por pertenecer a categorías de capacidad de acogida poco limitantes de uso del suelo.

Al considerar las zonas de protección para determinar la capacidad de acogida del suelo, la categoría más representativa cambia a tierras forestales de protección con 2 338,13 hectáreas (54,2%) y la segunda más representativa es agricultura sin limitaciones con 1787,77 hectáreas (41,44%), por lo tanto, el CBIRT se categoriza en zonas con altas y mínimas limitaciones.

En lo que respecta al uso del suelo se obtuvieron cinco clases, el mayor porcentaje de área corresponde a la clase zonas urbanizadas con un 53,62%, seguido de la cobertura forestal con 25,7%, ganadería y pastos con 19,91%, agricultura 0,75% y en menor proporción zonas húmedas con 0,02%. Aunado a esto para la clasificación se obtuvo una exactitud global de 93,75%. En cuanto al sobreuso de suelo en el CBIRT, se determinó que 640,27 hectáreas se encuentran en sobreuso, de este valor el 95,17% corresponde a ganadería y pastos y 4,82% a agricultura.

Las prácticas definidas en este estudio para mejorar las condiciones de uso del suelo en el CBIRT abarcan actividades de reforestación y/o restauración, procedimientos y recomendaciones y posibles especies a utilizar. Con el estudio se evidencia que un 96,58% de la cobertura forestal

posee algún grado de fragmentación, sin embargo, solo un 4,17% del total está representado por el nivel más crítico de aislamiento (insularizado).

### Recomendaciones

Se debe realizar un monitoreo continuo para detectar posibles cambios en el uso del suelo, con el objetivo de mantener un mayor control del uso óptimo del mismo y prevenir la pérdida de cobertura forestal.

Se recomienda que las actividades propuestas sean implementadas a corto plazo en las zonas que presentan un grado de fragmentación insularizado, dando prioridad a los sitios que se ubican a lo largo del río Torres, a fin de garantizar la conectividad de la cobertura forestal que se encuentra aislada.

Es importante aumentar la cobertura forestal del sitio por lo cual se recomienda implementar las prácticas propuestas en este estudio, a fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes del corredor y procurar la protección y conservación de la biodiversidad presente.

### Referencias

- Acosta, J., Suango, V., Proaño, J. y Zambrado, J. (septiembre, 2016). Determinación de la capacidad de acogida por medio de la zonificación paisajística para el Ecuador continental. *ResearchGate*, 4(1), 34-44. <https://doi.org/10.36331/revista.v4i1.24>
- Adams, VM., Pressey, R. L. & Álvarez-Romero, JG. (junio, 2016). Using Optimal Land-Use Scenarios to Assess Trade-Offs between Conservation, Development, and Social Values. *PLOS ONE*, 11(6), 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158350>
- Arjomandi, A., Mortazavi, S., Khalilian, S. & Garizi, A. (enero, 2021). Optimal land-use allocation using MCDM and SWAT for the Hablehroud Watershed, Iran. *ScienceDirect*, 100(104930), 1-11. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104930>
- Astola, H., Häme, T., Sirro, L., Molinier, M. & Kilpi, J. (marzo, 2019). Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 imagery for forest variable prediction in boreal region. *ScienceDirect*, 223, 257-273. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.019>
- Boca, T. y Rodríguez, G. (2012). *Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos*. Recuperado

- de <https://inta.gov.ar/documentos/metodos-estadisticos-de-la-evaluacion-de-la-exactitud-de-productos-derivados-de-sensores-remotos>
- Casamor, J. y Calafat, A. (octubre, 2018). El problema del aterramiento de embalses y el cálculo de las reservas hidráulicas. *Tierra y Tecnología*, 52. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.21028/jlc.2018.10.01>
- Casco, G., Arias, L., Mareco, H., Kindgard., A. (2016). *Informe final de evaluación de exactitud temática del mapa de cobertura forestal y cambio de uso de la tierra para los años 2000, 2005 y 2011*. Recuperado de [http://www.infona.gov.py/application/files/6514/7405/3096/Evaluacion\\_exactitud\\_Mapas\\_000511\\_160516.pdf](http://www.infona.gov.py/application/files/6514/7405/3096/Evaluacion_exactitud_Mapas_000511_160516.pdf)
- Feoli-Boraschi, S. (septiembre, 2012). Corredores biológicos: una estrategia de conservación en el manejo de cuencas hidrográficas. *Revista Forestal Mesoamericana kurú*, 6(17), 1-5. Recuperado de <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/385>
- Galacho, F. y Arrebola, J. (julio-diciembre, 2013). Modelo de evaluación de la capacidad de acogida del territorio con SIG y técnicas de decisión multicriterio respecto a la implantación de edificaciones en espacios rurales. *Investigaciones Geográficas*, 60, 69-85. <https://doi.org/10.14198/INGEO2013.60.04>
- Gastezzi-Arias, P., Alvarado-García, V. y Pérez-Gómez, G. (2016). La importancia de los ríos como corredores interurbanos. *Revista Biocenosis*, 31(1-2), 39-45. Recuperado de <https://investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/biocenosis/article/view/1725/1952>
- Gómez, S. C. (2014). *Metodología para el estudio de la capacidad de acogida del suelo en cuencas hidrográficas* (Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5600>
- GRUPO G6. (2018). *Sistema de Monitoreo de la Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas (SIMOCUTE)*. Sistema de clasificación del uso y la cobertura de la tierra para Costa Rica. Versión 1.1. San José, Costa Rica.
- ICE. (2019). *Página principal, Quiénes somos, Historia*. Recuperado de <https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/quienessomos/quienes-somos/historia>
- Ley Forestal N°7575*. (1996). Recuperado de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=TC) (1996).

- Luther, D.A., Cooper, W.J., Wolfe, J.D., Bierregaard, R.O., Gonzalez, A. & Lovejoy, T.E. (septiembre, 2020). Tropical forest fragmentation and isolation: Is community decay a random process? *ScienceDirect*, 23(e01168), 1-9. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01168>
- McDowell, R.W., Snelder, T., Harris, S., Lilburne, L., Larned, S T., Scarsbrook, M., Curtis, A., Holgate, B., Phillips, J. & Taylor, K. (Agosto, 2018). The land use suitability concept: Introduction and an application of the concept to inform sustainable productivity within environmental constraints. *ScienceDirect*, 91, 212-219. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.067>
- Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica, Decreto N° 41960-MAG-MINAE.* (2019). Consultado el 17 de agosto del 2019. Recuperado de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=90001&nValor3=118346&param2=1&strTipM=TC&lResultado=1&strSim=simp](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=90001&nValor3=118346&param2=1&strTipM=TC&lResultado=1&strSim=simp)
- Naime, J., Mora, F., Sánchez-Martínez, M., Arreola, F. y Balvanera, P. (octubre, 2020). Economic valuation of ecosystem services from secondary tropical forests: trade-offs and implications for policy making. *ScienceDirect*, 473(118294), 1-10. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118294>
- Organización Internacional del café. (2019). *Informe del mercado del café*. Recuperado de <http://www.ico.org/documents/cy2018-19/cmr-0719-c.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*. Recuperado de: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/suelo/Guia\\_de\\_buenas\\_practicas\\_para\\_la\\_gestion\\_y\\_uso\\_sostenible\\_de\\_los\\_suelos\\_en\\_areas\\_rurales.pdf?fbclid=IwAR1KCrORwDHbSpn3B-OjyyEDAnGZxu3\\_17-MXyDhEWZs5hHa8N3pDFgyNGg](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/suelo/Guia_de_buenas_practicas_para_la_gestion_y_uso_sostenible_de_los_suelos_en_areas_rurales.pdf?fbclid=IwAR1KCrORwDHbSpn3B-OjyyEDAnGZxu3_17-MXyDhEWZs5hHa8N3pDFgyNGg)
- Pérez-Gómez, G., Gastezzi-Arias, P. y Vega-Quesada, A. (noviembre, 2016). Avifauna poco frecuente en la microcuenca del río Torres, San José, Costa Rica. *Zeledonia*, 20(2), 20-27. Recuperado de <https://www.zeledonia.com/uploads/7/0/1/0/70104897/zelnov2016-20-27.pdf>

- Proyecto Biodiver\_City San José. (2020). *Página principal, Corredores Biológicos Interurbanos, Corredor Biológico Interurbano Río Torres*. Recuperado de <http://biocorredores.org/biodiver-city-sanjose/corredores-biologicos/corredor-biologico-interurbano-rio-torres-0>
- Reza, M. I., Abdullah, S. A., Nor, S. B., & Ismail, M. H. (abril, 2018). Landscape Pattern and Connectivity Importance of Protected Areas in Kuala Lumpur Conurbation for Sustainable Urban Planning. *International Journal of Conservation Science*, 9(2). 361-372. Recuperado de <http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.itcr.ac.cr/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=e0bcf904-db84-47ab-825e-0c7655ac7fca%40sessionmgr4007>
- Reglamento a la Ley de Biodiversidad N° 34433. (2008). Artículo 3. Consultado el 20 de marzo de 2019. Recuperado de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=62838&nValor3=110325&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=62838&nValor3=110325&strTipM=TC)
- Rico, Y. (agosto, 2017). La conectividad del paisaje y su importancia para la biodiversidad. *ResearchGate*, 34, 28-30. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/321197535\\_La\\_conectividad\\_del\\_paisaje\\_y\\_su\\_importancia\\_para\\_la\\_biodiversidad](https://www.researchgate.net/publication/321197535_La_conectividad_del_paisaje_y_su_importancia_para_la_biodiversidad)
- Sánchez, G., Valle D., Scorza, F., Feoli, S. y Artavia, R. (2015). *Protocolo de Reforestación para la Rehabilitación y Mantenimiento en Áreas de Protección de la GAM*. Recuperado de [http://www.edumovil.com/conectividad\\_ecosistemas/wp-content/uploads/2017/11/Protocolo-Reforestacion-Rehab-Mant-de-AP-en-la-GAM.pdf](http://www.edumovil.com/conectividad_ecosistemas/wp-content/uploads/2017/11/Protocolo-Reforestacion-Rehab-Mant-de-AP-en-la-GAM.pdf)
- Sánchez, G., Valle-Hidalgo, D., Feoli, S. y Murillo, J. (2016). *Perfil del Corredor Biológico Interurbano Río Torres Reserva de la Biosfera*. Recuperado de [http://www.edumovil.com/conectividad\\_ecosistemas/wp-content/uploads/2017/11/Perfil\\_CBI-RT-RB\\_02-Mar-2017.pdf](http://www.edumovil.com/conectividad_ecosistemas/wp-content/uploads/2017/11/Perfil_CBI-RT-RB_02-Mar-2017.pdf)
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC]. (2018). *Plan Estratégico 2018-2025 del Programa Nacional de Corredores Biológicos de Costa Rica (Informe Final)*. Recuperado de [https://enbcr.go.cr/sites/default/files/sinac\\_2018\\_planestrategico\\_programa\\_nacional\\_de\\_corredores\\_biologicos\\_costa\\_rica.pdf](https://enbcr.go.cr/sites/default/files/sinac_2018_planestrategico_programa_nacional_de_corredores_biologicos_costa_rica.pdf)

- Subcomisión Heredia-CGICRG Tárcoles. (s.f). *Protocolo de recuperación de áreas de protección y arborización para la provincia de Heredia*. Recuperado de <https://www.belen.go.cr/documents/20181/76421/Protocolo+Reforestaci%C3%B3n+Heredia/c6e7d54d-f5ac-4bcb-bde5-676eb3051bf6>
- Suryatmojo, H. (2014). Recovery of Forest Soil Disturbance in the Intensive Forest Management System. *ScienceDirect*, 20, 832-840. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.101>
- Thakkara, A.K., Desai, V.R., Patel, A. & Potdar, M.B. (junio, 2017). Post-classification corrections in improving the classification of Land Use/Land Cover of arid region using RS and GIS: The case of Arjuni watershed, Gujarat, India. *ScienceDirect*, 20(1), 79-89. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.006>
- Trapp, S., Day, C., Flaherty, E., Zollner, P., & Smith, W. (febrero, 2019). Modeling impacts of landscape connectivity on dispersal movements of northern flying squirrels (*Glaucomys sabrinus griseifrons*). *ScienceDirect*, 394, 44-52. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.12.025>
- Trujillo-Acosta, A., Peraza-Estrella, M., Marina-Hipólito, J. y Feoli, S. (diciembre, 2016). Evaluación del Corredor Interurbano Río Torres, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamérica Kurú*, 14(34), 53-62. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.3001>
- Viscarra, R.A., Behrens, T., Ben-Dor, E., Brown, D.J., Demattêe, J.A., Shepherd, K.D. Shig, Z. Stenberg, B., Stevens, A., Adamchuk, V., Aichi, H., Barthès, B.G., Bartholomeus, H.M. Bayer, A.D., Bernou, M., Böttcher, K., Brodský, L., Du, C.W., & Ji, W. (abril, 2016). A global spectral library to characterize the world's soil. *ScienceDirect*, 155, 198-230. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.012>
- Zweifel, L., Meusburger, K. & Alewell, C. (diciembre, 2019). Spatio-temporal pattern of soil degradation in a Swiss Alpine grassland catchment. *ScienceDirect*, 235, 1-11. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111441>



## Aspectos biofísicos y socioeconómicos de la subcuenca del río Páez, Cartago, Costa Rica

Biophysical and socioeconomic aspects of the Páez river sub-basin, Cartago, Costa Rica.

*María Álvarez-Jiménez<sup>1</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

*Pablo Ramírez-Granados<sup>2</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

*José Castro-Solís<sup>3</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica, Costa Rica*

### Resumen

El estudio consistió en una caracterización de variables biofísicas y socioeconómicas de la subcuenca del río Páez, Cartago con el propósito de generar una línea base de la cuenca en el sector norte de Cartago para la toma de decisiones por parte de diferentes actores y para proponer lineamientos de manejo de recursos hídricos en un eventual manejo. Se utilizaron técnicas de investigación cuantitativas y cualitativas entre ellas la aplicación de una encuesta a 178 personas en 10 poblados de la subcuenca distribuidos en la parte alta, media y baja. La subcuenca tiene un área de 28,34 km<sup>2</sup>, se ubica en los cantones de Oreamuno y Paraíso aproximadamente más del 50% del territorio se dedica a actividades agropecuarias, un 16% posee cobertura forestal como los usos más importantes, presenta problemáticas importantes de vulnerabilidad, contaminación ambiental, gobernabilidad,

1 MSc. María Álvarez Jiménez. Laboratorio de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional: [maria.alvarez.jimenez@una.cr](mailto:maria.alvarez.jimenez@una.cr)  <https://orcid.org/0000-0002-5266-4496>

2 MSc. Pablo Ramírez Granados. Laboratorio de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional: [pablo.ramirez.granados@una.cr](mailto:pablo.ramirez.granados@una.cr)  <https://orcid.org/0000-0002-5082-445X>

3 Consultor, MSc. José Castro Solís. Laboratorio de Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional: [jose.castro.solis@una.cr](mailto:jose.castro.solis@una.cr)  <https://orcid.org/0000-0002-3393-6951>

diversificación de opciones de empleo en la zona. Se evidencia el papel que cumple la subcuenca del río Páez como parte fundamental para el abastecimiento agua potable y el desarrollo de actividades productivas, la caracterización planteada brinda una base para determinar el estilo de manejo que requiere la cuenca.

**Palabras clave:** aspectos biofísicos, socioeconómicos, cuenca Páez.

### Abstract

The present study consisted in a characterization of biophysical and socioeconomic variables of the Páez River sub-basin, located in the norther sector of the city of Cartago, Costa Rica, with the purpose of generating baseline knowledge aimed at facilitating actors with decision-making tools and to propose water resource management guidelines for their eventual implementation. Quantitative and qualitative research techniques were used, including the application of a survey to 178 people in 10 localities geographically distributed in the upper, middle and lower sections of the sub-basin. The Páez River sub-basin covers an area of 28.34 km<sup>2</sup> in the cantons of Oreamuno and Paraíso and over 50% of the territory is dedicated to agricultural activities and 16% to forest coverage. This geographical region presents important problems such as climatic vulnerability environmental pollution, governance issues, deficient diversification of economic activities, and thus poor diversity of employment opportunities in the region. The role of the Páez River sub-basin as a fundamental component for the supply of potable water and water for the development of productive activities is evidenced, the proposed characterization provides a baseline for determining adequate basin management methodologies.

**Keywords:** Biophysical and socioeconomic aspects; Páez River sub-basin.

### Introducción

Una forma de entender cómo las sociedades humanas deterioran el ambiente natural del cual dependen es tratando de encontrar dónde las actividades socioeconómicas se relacionan con el ambiente biofísico (Coronel *et al*; 2012). Parte del deterioro se debe a un acelerado crecimiento de la población sin una adecuada planificación y ordenamiento territorial en las cuencas hidrográficas desencadenando problemáticas.

Lange *et al*; (2010), citado por Pirani y Mousavi, (2016) coincide que dichas problemáticas están relacionadas con la planificación en las cuencas y ocurren debido a que han ignorado las condiciones socioeconómicas. Igualmente, Elizondo (2013) plantea la necesidad de conocer la estructura económica para comprender las decisiones de manejo en la cuenca.

Estratégicamente el planteamiento de problemas y soluciones en las cuencas debe enfocarse a partir de la correlación existente entre la unidad de manejo y las actividades que las personas desarrollan en ella (Villareal, 2007), esto referido a aspectos biofísicos y socioeconómicos. Estas variables generan información base y son una herramienta para realizar

evaluaciones de los cambios en la cuenca a través de indicadores de impacto (Carrie, 2004), que posteriormente pueden funcionar para toma de decisiones en el manejo de la cuenca.

El presente artículo se refiere a la subcuenca del río Páez; ya que es considerada como una de las más importantes del sector central de Cartago por formar parte de la cuenca del río Reventazón. Se distingue por ser una zona de producción agropecuaria y energía hidroeléctrica de Costa Rica, además este sitio posee manantiales, quebradas y ríos que son aprovechados por las comunidades de Oreamuno y Paraíso para consumo humano y desarrollo de actividades productivas.

A su vez presenta múltiples problemas ambientales relacionados con malas prácticas del uso del suelo, vulnerabilidad y riesgos, inadecuado manejo residuos sólidos, contaminación de los ríos; sin embargo, hasta la fecha la generación de investigación ha sido limitada en la subcuenca, y no se cuenta con información biofísica y socioeconómica necesaria para tener una línea base.

De acuerdo con Siles & Soares (2003) la cuenca hidrográfica interactúa de manera dinámica con sistemas socioeconómicos y biofísicos y en ella se refleja un comportamiento que responde a estilos de manejo de los recursos agua, suelo, flora y fauna, así como las actividades o infraestructuras existentes en su zona de influencia. Por tanto, la determinación de dichos aspectos en la subcuenca del río Páez es necesaria destacar las potencialidades y las limitaciones que tienen los recursos y así poder brindar un adecuado manejo y soluciones a problemáticas identificadas.

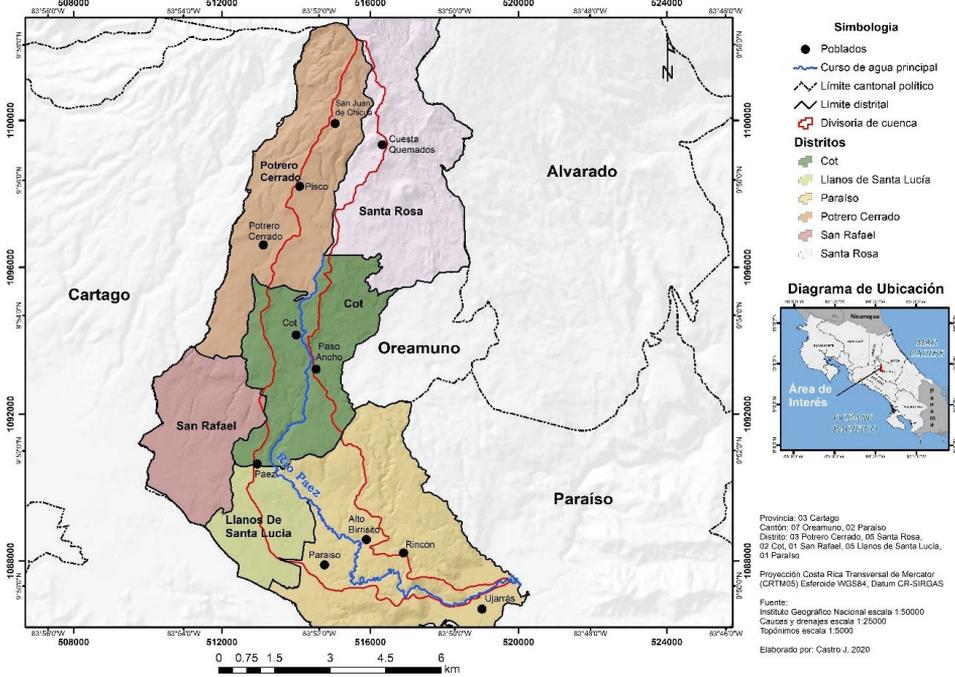
### **Área de Estudio**

La subcuenca del río Páez se ubica en la zona noroeste de la cuenca del río Reventazón, al norte se encuentra dentro del área de conservación Parque Nacional Volcán Irazú y al sur con el cantón de Paraíso. Entre las coordenadas planas 515 682 y 519 780 m este y 1 102 192 y 1 087 436 m norte del sistema de Proyección Transversal de Mercator para Costa Rica y ubicada en la zona central de la hoja cartográfica nacional Istarú (1:50 000) (Alfaro, 2018).

Cuenta con un área de 28,34 km<sup>2</sup> y se ubica en los cantones de Oreamuno y Paraíso de la provincia de Cartago (Figura 1), abarca los pueblos

Pisco, Cot, Paso Ancho, Páez, San Juan de Chicúa, Cuesta Los Quemados, Paraíso, Finca Ivancovich, Rincón, Alto Birrisito y Ujarrás.

**Figura 1.** Ubicación geográfica de la subcuenca del río Páez



Fuente: Castro, 2020

### Metodología

Para la determinación de las variables biofísicas y socioeconómicas, se utilizó como base la metodología (Watler et ál., 2013, p. 8) y se indagó fuentes de información secundaria y primaria obtenida en campo. Se realizó visitas y consultas claves a personas de instituciones estatales, municipios de la región, y se generó mapas utilizando la herramienta ArcGIS.

Para determinar las variables biofísicas se consideró el área total de la subcuenca, precipitación, hidrográfica, fisiografía, topografía, geomorfología, geología, tipo de suelo, uso de la tierra, amenazas, zonas de vida, biodiversidad. En cuanto a las variables socioeconómicas; la demografía, salud, educación, vivienda, servicios públicos, infraestructura vial,

transporte, uso del agua y contaminación, actividades productivas, empleo, gobernabilidad.

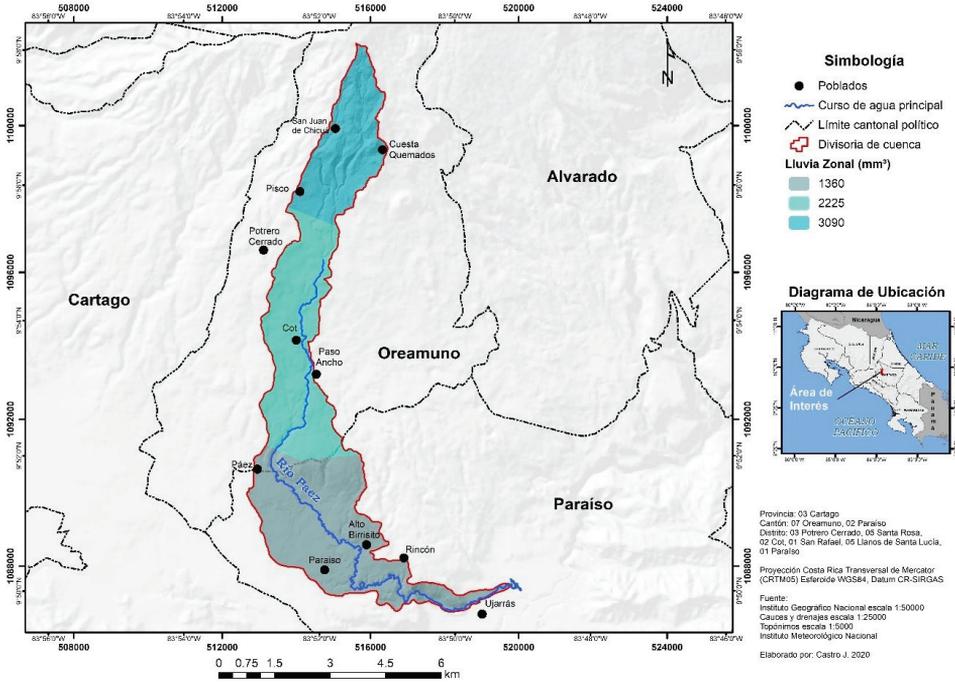
Se aplicó una encuesta para obtener información y se realizó un muestreo a 178 personas en los 10 pueblos ubicados en la parte alta, media y baja de la subcuenca, a través de un muestreo, la estimación del tamaño de la muestra se realizó a partir de la aplicación de la fórmula para el tamaño de muestra en poblaciones infinitas, utilizando un nivel de confianza de 90% y un error de estimación del 6%. Se estratificó tomando en cuenta el número de familias en cada comunidad de estudio y entrevistado solamente una persona por familia mayor a 18 años.

Se obtuvo información climática proveniente de registros de estaciones meteorológicas del Instituto Meteorológico Nacional (IMN); San Juan de Chicúa, Volcán Irazú, Potrero Cerrado, Dulce Nombre, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Paraíso y Cachi Plantel. Se determinó la precipitación zonal a través del método de polígonos de Thiessen y la para la determinación de los órdenes de los drenajes se utilizó el método de Strahler (1957).

## **Resultados**

La parte alta de la subcuenca presenta precipitaciones mayores promedio de 3090 mm, seguido con 2225 mm en la parte media y en la parte baja con 1360 mm, respectivamente. La zona de estudio tiene rangos de precipitación media que representa variabilidad desde la parte alta hasta la parte baja (Figura 2). Posee tres zonas de vida; Bosque Húmedo Montano bajo con un rango de precipitación anual es de 1400 mm a 2700 mm, con una biotemperatura media que varía entre 18 °C y 12 °C, Bosque Húmedo Premontano con un rango de precipitación 700-1400 mm, presentando una biotemperatura de 24 °C y 18 °C y Bosque Muy Húmedo Montano con un rango de precipitación de 2400 a 3700 mm y una biotemperatura de 12 °C y 6 °C (Quesada, 2007).

**Figura 2.** Distribución de la precipitación de la subcuenca del río Páez, Cartago



Fuente: Castro, 2020

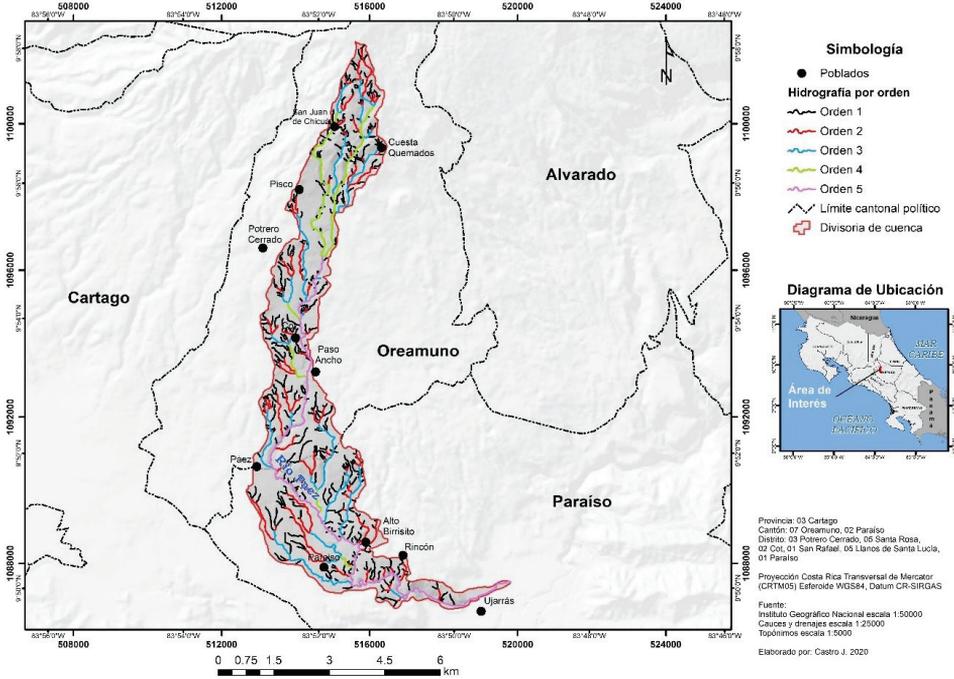
Respecto a las variables hidrológica; el río Páez forma parte de las 11 subcuencas que pertenecen al río Reventazón (Campos, 2010). La subcuenca es drenada por el río del mismo nombre, constituido por la quebrada Cañada, quebrada Paso Real, quebrada Pasquí y el río Quemados. Las quebradas tributarias son Paquín y Pollo, el nacimiento del río Páez se encuentra entre la finca la Cañada y el cerro Guardián, con un parámetro de drenaje que tiene la subcuenca paralela, y desemboca en la laguna de Cachí (Chin *et al.*, 2016). El sistema fluvial del cantón de Oreamuno en la hoja topográfica Istaru del Instituto Geográfico Nacional (IGN), corresponde a las subvertientes Caribe y norte de la vertiente del Caribe. A la subvertiente norte corresponde la cuenca del río Reventazón-Parismina, es irrigada por los ríos Reventado, Retes, Yerbabuena, Chinchilla, San Nicolás, Taticú, Páez, Birrisito, Birris, y la quebrada Pacayas; los cuales nacen en el cantón en la ladera sur del volcán Irazú

De acuerdo con [Arias \(1987\)](#), el río Páez está compuesto por dos captaciones a manantiales: Paso Ancho y Lankaster, es una fuente importante de agua potable para abastecer sectores de San Rafael de Oreamuno y la ciudad de Cartago, también las aguas de las subcuencas Birris y Páez son aprovechadas por JASEC para generar energía eléctrica y abastecer los cantones de Alvarado, Oreamuno, Paraíso, Cartago y el Guarco. Se abastece de agua potable las poblaciones de Pacayas, Cot, Paso Ancho, Boquerón, Cipreses, San Pablo, Santa Rosa, Irazú Sur, La Pastora, San Juan de Chicué, Potrero Cerrado, Capellades y Cervantes, por medio de manantiales, lo cual favorece el desarrollo de las comunidades y las actividades agrícolas, pecuarias e industriales. Para el país, esta zona genera gran parte de la producción hidroeléctrica, productos agrícolas, leche y carne; además de su gran belleza escénica para el turismo ([Artavia, 2017](#)).

La subcuenca del río Páez se encuentra sobre el acuífero Cartago, el cual tiene un caudal promedio que oscila entre 1 L/s a 15 L/s, y un espesor de 65 m ([Rojas, 2011](#)). En la parte media de la subcuenca se encuentran las nacientes Ivancovich I e Ivancovich II, Lankester y Paso Ancho ([Chin, Aguilar, Vega, y Espinoza, 2016](#)).

El parámetro de orden máximo de los drenajes se refiere a la estructura de la red, y en la subcuenca del río Páez es de 5 (Figura 3), la mayoría de ordenes corresponde a orden 1 seguidos de los de orden 2, en la parte alta tienen a ser más numerosos los órdenes, y [Alfaro \(2018\)](#), plantea que el sistema de drenaje en este sector posee una estructura más compleja comparada con la sección media y baja, y genera una respuesta más rápida a drenar el agua de escorrentía, mostrando un mayor potencial de generar altos volúmenes de escorrentía en el cauce en instantes.

**Figura 3. Hidrografía de la subcuenca del río Páez. Cartago.**



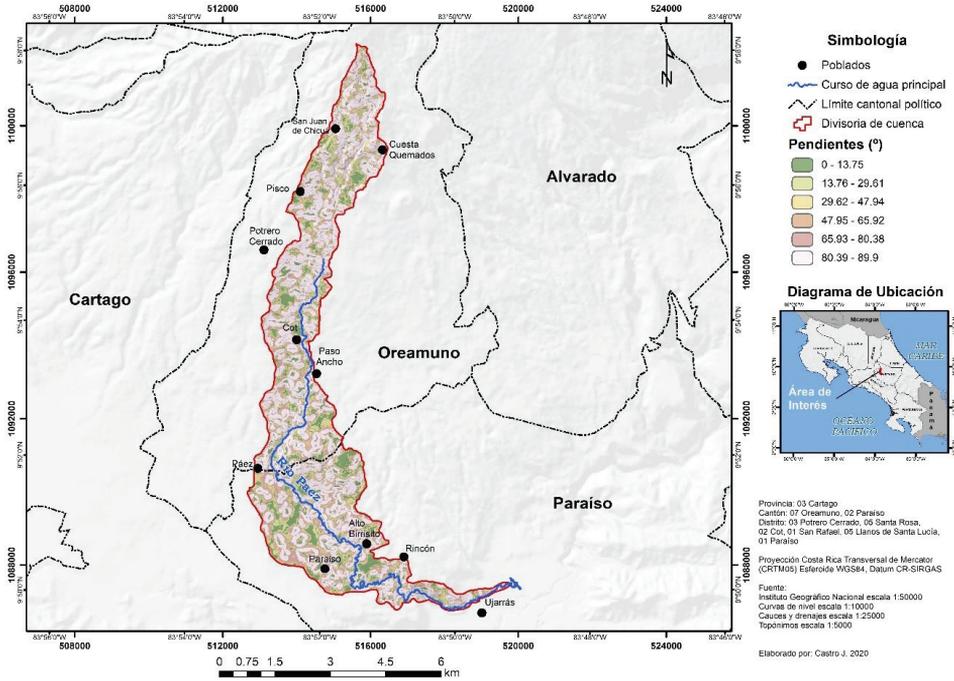
Fuente: Castro, 2020.

En relación con las características fisiográficas, posee un rango altitudinal que oscila entre 800 a 3400 m.s.n.m., la parte alta y media presenta un relieve montañoso formado por dos cordilleras: la Central en donde se encuentra el Volcán Irazú, el más alto del país y la cordillera de Talamanca. Según Instituto de Desarrollo Rural [INDER] (2016), el relieve de la parte baja tiene terrenos con altitudes menores; en esa sección se ubican el distrito de Cachi con pendientes planas y moderadas.

Las características topográficas, posee un rango de porcentaje de pendiente de <15 % a > 30%, en la parte alta corresponde a pendientes fuertes y escarpados mayores a 30%, en ella se ubican los poblados de San Juan de Chicué, Cuesta Los Quemados y Pisco, Alto Birrisito, Páez, laderas del Volcán Irazú (Figura 4), en este sector se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas en pendientes muy pronunciadas y con prácticas no adecuadas lo que provoca problemas de erosión.

En la parte media y baja presenta la categoría de plano a moderadamente ondulado (0%-15%); y en ella se ubican la mayor cantidad de asentamientos urbanos pertenecientes al distrito de Paraíso y parte de Cot. Así mismo, en estos sectores se ubican poblados, que en algunos casos son vulnerables por encontrarse en sitios con pendientes fuertes.

Figura 4. Pendientes de la subcuenca del río Páez, Cartago.



Fuente: Castro, 2020.

Respecto a la geomorfología y geología presenta que las estribaciones del volcán Irazú son el resultado del acúmulo de rocas volcánicas, depósitos de ceniza, lapilli y de flujos de lava. Hacia el oeste, en el cruce del Cristo afloran los depósitos de lahares provenientes del volcán Irazú, dentro de la zona de Paso Ancho se presentan depósitos de lahares en el cauce del río. En la misma zona y cercanías a la región de Boquerón se logra visualizar a nivel superficial la colada de Cervantes. La región central de la subcuenca se caracteriza por ser una meseta de ceniza, hacia la región este se encuentra la colada de Cervantes (Salazar, 2015, citado por Chin et al. 2016).

Los flujos de lava muestran espesores de decenas de metros y fracturas columnares. Los lahares poseen espesores métricos, son suaves y fácilmente erosionables, presentan bloques subredondeados, bloques angulares y con alta variabilidad en tamaño, que van desde diámetros milimétricos a métricos, dentro de una matriz arcillosa. Las capas de ceniza varían de espesores métricos dependiendo de su fuente, con espesores mayores en los flancos noroeste y norte, y menores hacia el oeste, sur y este (Chin *et al.*, 2016).

A nivel regional, la subcuenca del río Páez presenta unidades geológicas importantes distribuidas en la parte alta, media y baja, denominadas; la unidad Sapper, la unidad Reventado y la colada de Cervantes.

De acuerdo con Alvarado y Vega (2013), la colada de Cervantes presenta un incipiente desarrollo de hidrológico donde se presentan pocas quebradas sin nombre, de escasa longitud y caudal, solo presente en épocas de lluvias debido a la elevada permeabilidad del terreno. Esta unidad morfológica está delimita por cauces principales y desarrollados como los ríos Paso Real y Páez en la sección oeste, el río Birris hacia el este y el Reventazón en su parte frontal.

La unidad Reventado se refiere a las rocas volcánicas de finales del Pleistoceno que han sido divididas cronológicamente en Miembro Paraíso, Miembro Cama de ceniza y Miembro Superior y cuya localidad tipo se encuentra en el cañón del río Reventado (Krushensky, 1972). Dichas formaciones corresponden a un 87.21 % del área total de la subcuenca.

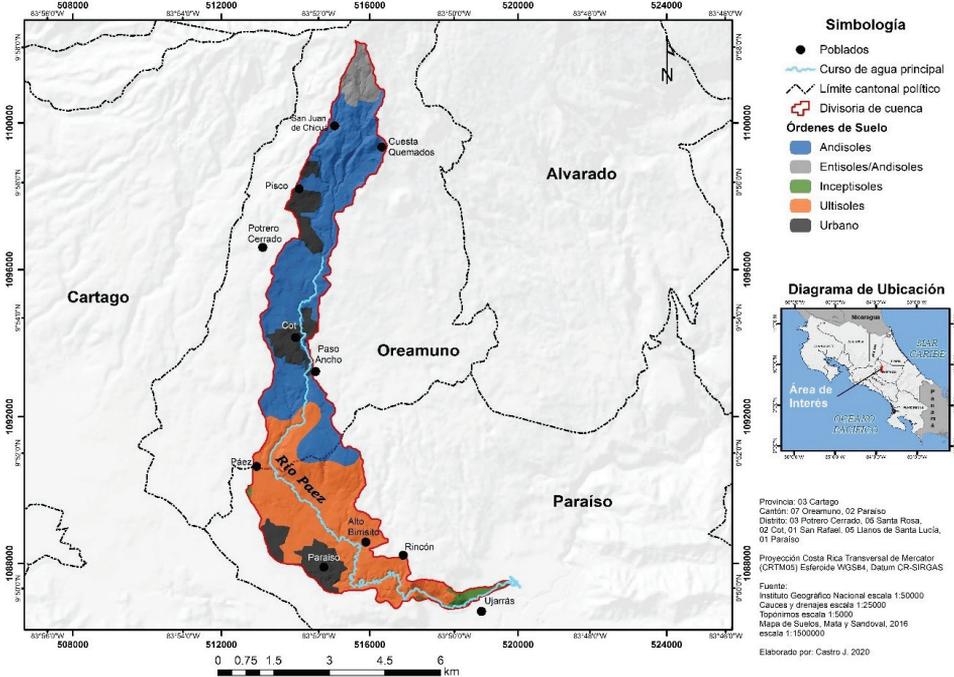
La secuencia de 15 o más flujos de lava, lahares intercalados y lechos de ceniza que se superponen incondicionalmente a la Formación Reventado en el área de las cabeceras del Río Reventado se llama la Formación Sapper. El nombre está tomado del pico acantilado 1.7 km al suroeste del cráter activo de Volcán Irazú, donde un espesor la secuencia de la formación está expuesta. La Formación Sapper es diferenciado de la Formación Reventado principalmente sobre la base de flujos de lava distintivos y en el contacto diferenciado con la Formación Reventado (Krushensky, 1972).

La unidad geológica denominada Formación Sapper corresponde a un 2.87 % del total del área en estudio, y de acuerdo con Arellano *et al.* (2012) refiere a una secuencia de 15 o más flujos de lavas, intercalados con lahares y capas de cenizas que sobreyacen de forma discordante a la Formación Reventado, en las partes altas de la cuenca del río Reventado. Las coladas de lava de la Formación Sapper se caracterizan por ser densas, oscuras y negro verdosas a negras.

De acuerdo con la geología específica del sitio de estudio, la naciente Los Quemados ubicada en Potrero Cerrado, según [Arellano et al. \(2012\)](#) está compuesta por varios brotes de agua que ocurren en una zona inestable dentro del cauce del río Quemados a unos 400 m aguas abajo del puente sobre la carretera entre San Juan de Chicué y La Pastora, ubicada en la parte alta de la zona de estudio, específicamente en el suroeste del Cerro Gurdían y cuenta con 3 unidades litológicas aflorando.

Respecto al tipo de suelo que presenta la subcuenca, (Bergoieing y Malavassi 1982, Viquez 1984, citado por [Ramírez et al; 2008](#)) plantean que los suelos de la región han sido influenciados por el aporte de ceniza volcánica y brechas y fragmentos de lava, dada la cercanía del área de estudio al cráter del volcán Irazú. Esta área se desarrollan actividades agropecuarias, como los cultivos de hortalizas, tubérculos, flores y la ganadería y presenta cuatro tipos de suelo; entisoles que se distribuyen en la parte alta, los andisoles ubicados en la parte media y alta, ultisoles y los inceptisoles en la parte baja respectivamente (Figura 5).

**Figura 5.** Ordenes de suelo, subcuenca Páez, Cartago



Fuente: Castro, 2020.

## Uso del suelo y desarrollo de actividades productivas

El uso que más prevalece en la subcuenca son las tierras agrícolas y pastos corresponden, conforman más del 50% del territorio (Cuadro 1). En la parte alta y media de la cuenca, en Oreamuno (Cot, Potrero Cerrado, Santa Rosa) se dedica al cultivo de papa, zanahoria, cebolla, coliflor, brócoli, repollo, remolacha. De acuerdo con [SEPSA \(2018\)](#) en el periodo 2017 -2018 este sector tuvo la mayor área sembrada de repollo, también es uno de los principales sitios productores de cebolla en Costa Rica por poseer grandes extensiones de tierra dedicadas a ese cultivo. En la parte baja en Paraíso (Cachi y Ujarrás) se produce chayote, tomate, chile, vainica, café, flores, helechos y algunos cultivos orgánicos en menor grado.

Por el gran desarrollo de esta actividad es una fuente de ingresos que genera empleo en la subcuenca, sin embargo, el 51% de la población encuestada afirma que esta actividad no cuenta con prácticas ambientales sostenibles por el uso de agroquímicos en los cultivos que pueden afectar la salud de las personas y consideran no tener un cambio de cultura en sus prácticas.

Una problemática asociada a esta actividad el cambio de uso del suelo en las partes alta de pastos a cultivos en pendientes pronunciadas provocando problemas de erosión, según [Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible \[PRODUS\] \(2016\)](#) no se aplican técnicas de conservación de suelos en las fincas agropecuarias lo que aumenta el problema.

La ganadería es otra actividad desarrollada en este sector por tener suelos fértiles y aptos para ganadería de leche, carne y doble propósito.

**Cuadro 1.** Área absoluta y porcentual del uso del suelo de la subcuenca del río Páez, Cartago.

Uso de la tierra	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)
Bosque	4.34	15.29
Urbano	3.97	13.98
Agropecuario-pasto-cultivo	19.37	68.23
Cultivo Permanente	0.71	2.50
Total	28.4	100

Fuente: Elaboración propia.

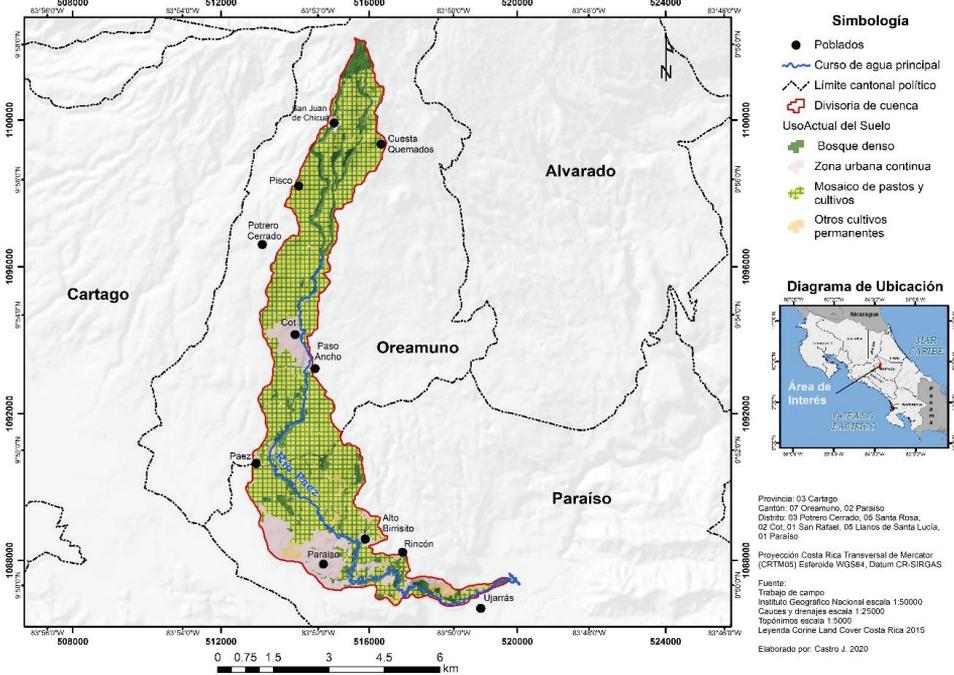
La cobertura forestal es el segundo uso con 15.29%, se concentra en las partes altas de la zona de estudio. De acuerdo con [Arias-Cascante](#)

(2018) existen 17 contratos destinados al Pago por Servicios Ambientales (protección de bosque, recurso hídrico, vacíos de conservación y sistemas agroforestal), ubicados en principalmente en Oreamuno y Paraíso.

Ese sistema de protección forestal beneficia la captación hídrica necesaria para las poblaciones de la subcuenca del río Páez. Además, es una zona Cot y Potrero Cerrado, (parte alta y media) donde se desarrolla el turismo y es una fuente de ingresos para los habitantes, allí se encuentra el Parque Nacional Volcán Irazú (PNVI) en la parte alta y ocupa el tercer lugar entre las ASP del SINAC por número total de visitantes.

Luego el uso urbano representa el 14%, ubicado en la parte baja de la cuenca en su mayoría (Paraíso y parte de Oreamuno), ha cambiado el paisaje de manera drástica y el estado de los recursos de la cuenca (Figura 6).

Figura 6. Uso actual de la tierra en la subcuenca del río Páez, Cartago.



Fuente: Castro, 2020.

No obstante, en zonas boscosas, se realizó aprovechamiento forestal en el período 2017-2018 en los distritos de Paraíso, Potrero Cerrado y Cot; de al menos 438 árboles (ciprés, eucalipto, pino y casuarina) correspondiente a un volumen de 864, 355 m<sup>3</sup>. Además, se presentan denuncias interpuestas al MINAE por infracción ambiental; la mayoría relacionada con la deforestación (tala ilegal) infringiendo la Ley No. 7575 para el período 2017 y 2018 y más recurrente en la parte media y baja de la subcuenca en el sector de Paraíso de Cartago (B. Pavlotzky, comunicación personal, 15 julio del 2019) (cuadro 3).

### **Principales amenazas**

El área de estudio forma parte de la red fluvial compuesta por ríos y quebradas considerados como puntos focales para el desarrollo de amenazas hidrometeorológicas, en las cuales el río Páez forma parte (CNE, 2008). Así mismo por encontrarse cerca del volcán existe amenaza de caída de cenizas en menor grado y exposición a piroclastos y se podrían afectar pueblos cercanos, los cultivos, la ganadería, y en el cauce del río Páez las corrientes de barro podrían provocar problemas. El 18% de las personas consultadas indica que las inundaciones son una amenaza natural importante y se ve afectado en sitios impermeabilizados en la parte media y baja de la cuenca; por ejemplo, el poblado de Paso Ancho perteneciente al distrito de Cot ha sido una de las zonas más afectadas por las inundaciones.

Según CNE (2009), las inundaciones son más periódicas en el cantón de Oreamuno debido a la inadecuada planificación del territorio y mal manejo de desechos sólidos depositados en el cauce de los ríos. Otra amenaza que presenta este sitio han sido los deslizamientos o inestabilidad del terreno; los poblados más vulnerables son Cot, Paso Ancho y San Juan de Chicúa, y esto se debe a las características de fuertes pendientes en la parte alta y media de la subcuenca del río Páez (CNE, 2009).

### **Biodiversidad**

La subcuenca del río Páez se encuentra ubicada dentro del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central; en ella está el Parque Nacional Volcán Irazú, que abarca parte del cantón de Oreamuno.

La biodiversidad que existe en las subcuencas Birris y Páez pertenece a la vegetación tipo páramo y se encuentra compuesta por hierbas y arbustos de hojas pequeñas de baja estatura.

Según un censo realizado por [Alfaro \(2017\)](#) existen aproximadamente 252 especies de árboles en el distrito de Cot y Paraíso evidenciando una diversidad importante de especies.

En la parte alta de la subcuenca del río Páez perteneciente a la zona de vida Bosque muy húmedo Montano (BmhM), se ubica el sector de Prusia donde nacen los ríos Reventado y Páez, presenta un bioclima limitante para muchas actividades de uso del suelo debido a su baja temperatura parte media está compuesta por el Bosque Húmedo Montano Bajo (Bh-MB) y la parte baja de la subcuenca presente el Bosque Húmedo Premontano ([SINAC, 2008](#)).

Las especies forestales de cedro amargo, aguacatillo, sauce, cristóbal, níspero, zapote, robles, cedrillo, caobilla, gavilán y jaúl se encuentran en la parte baja de la subcuenca ([INDER, 2016](#)).

Respecto a la fauna hay águilas, halcones, búhos, gallina de monte, conejos, paloma de monte, cuyeo, taltuza, quetzal, ardillas, zorro pelón, ratón de monte, perezosos de dos y tres dedos, coyote, mapaches, pizotes, serpientes de altura y salamandras ([Artavia, 2017](#)).

El territorio Paraíso-Alvarado es un sector considerado como una de las regiones de mayor diversidad biológica y se han descubierto gran cantidad de especies endémicas por su ubicación geográfica porque protege gran variedad de ecosistemas como: páramos, turberas, ciénegas, sabanas no arboladas, bosques de jaúl y bosques nubosos constituidos estos últimos por robledales de altura ([INDER, 2016](#)).

Para el periodo 2019 el área de estudio cuenta con 501 hectáreas dedicadas a Pago por Servicios Ambientales (PSA) en la modalidad de Protección del recurso hídrico y Sistemas Agroforestales (SAF). Estas áreas brindan servicios hídricos y contribuyen a la cuenca para asegurar disponibilidad de agua, proteger la cobertura boscosa, y tener sistemas productivos con diferentes propósitos de producción (J. Hernández, comunicación personal, 24 junio del 2019).

### Aspectos socioeconómicos

La demografía de la subcuenca del río Páez está constituida por 35126 habitantes asentados en los pueblos de Oreamuno y Paraíso (INEC, 2011) distribuidos en 11 poblados. Se cuenta con 12 centros educativos escuelas, colegios diurnos y nocturno, e institutos. El cantón de Paraíso tiene una población alfabeta de 98% y Oreamuno con 97.9% (Atlas del Desarrollo Humano Cantonal de Costa Rica, 2016). Los habitantes de la cuenca poseen un nivel de escolaridad adecuado; el 60% de la población poseen primaria completa, 22% corresponde a educación secundaria completa y educación superior. Los pueblos de Paraíso, Paso Ancho y Ujarrás reportan mayores niveles de escolaridad y los centros educativos son apropiados.

Paralelamente tienen programas de educación ambiental, por ejemplo, en el periodo 2017-2019 se realizaron 68 actividades en el Cantón de Oreamuno y Paraíso a cargo del SINAC. El 49% de las personas consultadas indican que se realizan campañas de reciclaje y un 51% menciona que no hay y que lo desconoce, aun así, se deben fortalecer dichos programas en el ámbito formal y no formal, ya que la subcuenca presenta problemáticas asociadas a aspectos socioeconómicos y que pueden ser promovidas a través de la educación ambiental.

Respecto al servicio de salud, las comunidades cuentan con adecuados centros de salud; el 89 % de la población tiene cobertura de seguro social, y tan solo el 11% no lo están; estas personas pertenecen a las comunidades de Cot y Paso Ancho. En la parte alta de la cuenca hay menos incidencia a enfermedades frecuentes y en la parte media y baja presentan enfermedades más frecuentes son las respiratorias, que abarcan un 54% de la población y un 23 % corresponde a problemas de diarreas, específicamente en Paraíso, Paso Ancho y Ujarrás. Por tanto, estas poblaciones tienen más incidencia a problemas de contaminación del río y afectación a la salud de personas.

En relación con la infraestructura física o de viviendas, en la parte alta y media, del 100% de los habitantes, el 94.5% poseen casa y 4.5% choza o rancho, de los cuales el 77% tiene vivienda propia y un 23% son alquiladas o prestadas. En términos de las características de las viviendas en su mayoría son de concreto equivalente al 84%, y el resto son construidas a base de madera, zinc u otro material; y en la parte baja el sector de Paraíso es el que tiene la mayor cantidad de viviendas 5870 a nivel rural y

nivel urbano. Por lo planteado se evidencia apropiadas condiciones de las viviendas en la zona de estudio y esto representa que no hay condiciones precarias de las viviendas que puedan incidir en la calidad de vida de las personas por ende para la cuenca también.

Los servicios públicos se catalogan como adecuados por parte de las personas, el alcantarillado sanitario (58%), recolección de basura (85%), electricidad (83%). Sin embargo, es necesario fortalecer el servicio de tratamiento de aguas negras y limpieza de calles por parte de los municipios y así degradar menos la calidad del agua del río.

El 82% población tiene acceso al servicio de agua para consumo humano, la subcuenca tiene ríos y quebradas importantes para su abastecimiento, en ella se cuenta con 8 asadas y 2 acueductos municipales distribuidos en la subcuenca, lo cual se considera que suficientes los operadores de servicios de agua.

Se presenta una contaminación evidente en la subcuenca generada por el crecimiento de la población, uso de insumos en prácticas agrícolas, industriales-comerciales y las aguas residuales que se vierten de viviendas cercanas al cauce. Según [Chin et al. \(2016\)](#) el río Páez presenta contaminación de desechos sólidos en las orillas y en el cauce, como envases vacíos de agroquímico, plásticos, telas y prendas de ropa, presencia y generación de grandes cantidades espuma en el agua, lo que hace suponer la presencia de agentes surfactantes, como detergentes en el agua.

Dicha contaminación está afectando los ecosistemas hídricos, la vida acuática y la calidad del agua específicamente en la parte media y baja de la subcuenca (Figura 7), y se requiere estrategias de saneamiento ambiental para el tratar aguas negras provenientes de viviendas, industria y actividades agropecuarias y disminuir el deterioro de la calidad del agua del río Páez.

**Figura 7.** Problemas de contaminación Cot, parte media de la subcuenca del río Páez, Cartago.



Fuente: M. Álvarez, 2018

En relación con la infraestructura vial y de transporte, **INDER (2016)** menciona que la red vial del sector de Oreamuno (parte alta y media de la cuenca) es fluida, el transporte público comunica a todos los cantones para la población se movilice a Cartago a recibir distintos servicios, así mismo el 73% de la población considera apropiado el servicio de transporte público. En la parte media y baja (cantón de Paraíso) la infraestructura vial y la conectividad entre los lugares es aceptable, pero requiere mejorar los caminos y carreteras, tanto, así como la señalización y alumbrado público.

El tema del empleo en la subcuenca plantea que el 40% población se dedica a labores en el sector educación, instituciones del estado, servicios profesionales, industria, administración y un gran sector que se encuentra pensionados. Así mismo un 25% labora en la agricultura, 24.72% al sector comercio (Paraíso) y el resto a actividades ganaderas, construcción y oficios domésticos.

De acuerdo con **MIDEPLAN (2018)** el cantón de Oreamuno ocupó en el periodo 2017 un índice de desarrollo social de 54.71 representando un área de menor desarrollo, y Paraíso obtuvo 56.82, correspondiente un desarrollo medio. Adicionalmente los distritos ubicados en la parte alta y media se clasifican en el nivel bajo como Potrero Cerrado (56.25) y Cot (60.2), principalmente por ser comunidades en las cuales sus habitantes cuentan con poca o nula fuente de empleo, luego Paraíso se ubica posee un nivel medio (73.9).

Paralelamente la gobernabilidad local del área de la cuenca está representada por los gobiernos locales, y dentro de ellas han definido áreas estratégicas de desarrollo, una de ellas es el área ambiental. Sin embargo en el sector de Oreamuno el índice de Gestión Municipal Oreamuno (2017-2018), presenta una calificación de 68.15 y 66.30, que evidencia que el eje de gestión de desarrollo ambiental debe fortalecerse, específicamente al adecuado depósito y tratamiento de los residuos sólidos y aseo de vías en sitios públicos, a su vez Paraíso obtuvo la calificación respectivamente 65.68 y 69.78, destacando también la necesidad de fortalecer el tema de aseo de vías y sitios públicos y parques, obras ornato, recolección residuos sólidos.

## **Conclusiones**

La determinación de aspectos biofísicos y socioeconómicos muestra las condiciones actuales de la subcuenca del río Páez, de las cuales se debe prestar atención, una de ellas es la actividad agropecuaria y ganadera que ocupa más del 50% del territorio de la cuenca y es una de las más desarrolladas, ubicada en sitios de pendientes pronunciadas utilizando prácticas no adecuadas provocando deterioro al suelo como lo es la erosión y contaminación en las fuentes de agua, por tanto se requiere implementar prácticas sostenibles y apostar a una agricultura sostenible para disminuir el uso de agroquímicos y no afectar la salud humana y la calidad del agua del río.

En los poblados de la cuenca (Cuesta los Quemados, Pisco, Cot, Alto Birrisito, Paso Ancho y San Juan de Chicúa), poseen terrenos vulnerables a deslizamientos debido a las características de pendientes fuertes (más 30%) propiciando procesos de erosión y degradación de la cuenca, por tanto, el mantenimiento de la cobertura forestal (como segundo uso 15 %) es fundamental para la captación hídrica, belleza escénica para el turismo y para ampliar más contratos Pago por Servicios Ambientales, acompañado

por la implementación de Sistemas Agroforestales en las fincas para aumentar la cobertura forestal.

El río Páez muestra riqueza hídrica y es una fuente importante de agua potable para abastecer sectores de Oreamuno y la ciudad de Cartago, también para generar energía eléctrica y favorecer el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias e industriales.

Así mismo en cuanto al saneamiento del agua se requiere una gestión permanente para el tratamiento de las aguas negras y disminuir el deterioro de la calidad del agua del río, alineado la diversificación de programas ambientales (educación formal y no formal) en los poblados que contemplan temáticas más allá de programas de reciclaje, y que puedan incluir alfabetización hídrica, diseño de propuesta educación ambiental orientada a la gestión integrada del manejo de cuencas hidrográficas, saneamiento de las aguas en los ríos como una estrategia para educar a la población sobre el agua y el saneamiento en la subcuenca

Diversificar las actividades económicas para generación de empleo en la zona, como la agricultura más sostenible, crear emprendimientos exitosos (agricultura orgánica, turismo rural sostenible, etc.) y poder tener acceso a créditos para financiar otras actividades y contar con más apoyo por parte de entes estatales. Finalmente, a través del estudio biofísico y socioeconómico, vasto para conocer las condiciones y la realidad en la que se encuentra la subcuenca del río Páez y que son necesarias para proponer alternativas de manejo.

## Referencias

- Alfaro, K. (2018). *Zonificación de infraestructuras verdes para reducir el volumen de escorrentía y mitigar la vulnerabilidad a inundaciones, subcuenca río Páez, Cartago*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional, Costa Rica.
- Alvarado, G. E., & Vega, A. E. (2013). La geomorfología de la colada de Cervantes, Volcán Irazú (Costa Rica): descripción de uno de los campos de lava más grande de América Central. *Revista Geológica de América Central*, (48), pp. 99-118.
- Arias, L. (1987) *Diagnóstico y acciones propuestas para la protección de cuencas de acueductos municipales* (Estudio piloto para trece municipalidades seleccionadas). CATIE.

- Arias-Cascante, J. (2018). Mapeo de áreas prioritarias para la restauración ecológica en la zona de influencia del Centro Agrícola Cantonal de Oreamuno. Trabajo Final de Graduación (Licenciatura en Ingeniería Forestal) Instituto Tecnológico de Cartago Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. 106 p.
- Artavia, I. (2017). *Sistematización Cosechando agua pluvial, uniendo pueblos: La experiencia de la ASADA de Paso Ancho y Boquerón*. ACCVC. Recuperado de <http://www.sinac.go.cr/ES/partciudygober/Sistematizacion%20Experiencias/INFORME%208%20-%20ASADA%20PASO%20ANCHO.pdf>
- Arellano, F., Vásquez, M., Suarez, J., y Espinoza, R. (2012). *Informe Final: Identificación de zonas de protección y de captura de las Nacientes, subcuencas de los ríos Reventado, Tiribi, Tatiscu, Páez, Birrís y Pacayas, provincia de Cartago, Costa Rica*, p. 209.
- Carrie, J. (2004). *Manual de manejo de cuencas*. El Salvador: Editorial World Vision.
- Campos, C. (2010). *Análisis de los cambios cobertura de la cuenca alta y media del Río Reventazón, Costa Rica*. (Tesis de Licenciatura). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, CR., p. 81.
- Comisión Nacional de Emergencias [CNE] (2009). *Descripción de amenazas del cantón de Oreamuno y Paraíso*. Recuperado. <https://www.cne.go.cr/index.php/prevencie-desastres-menuprincipal-93/mapas-de-amenazas>
- Comisión Nacional de Emergencias. [CNE] (2009). Amenazas de origen natural cantón de Oreamuno. Recuperado [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/mapas\\_amenazas/mapas\\_de\\_amanaza/cartago/Oreamuno%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenazas/mapas_de_amanaza/cartago/Oreamuno%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf)
- Comisión Nacional de Emergencias [CNE]. (2009). Amenazas de origen natural cantón de Paraíso. Recuperado [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/mapas\\_amenazas/mapas\\_de\\_amanaza/cartago/Paraíso%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenazas/mapas_de_amanaza/cartago/Paraíso%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf)
- Coronel-Picón, Y. R., Obregón-Neira, N., & Jiménez-Romero, G. L. (2012). Patrones de relación entre información biológica e información física y socioeconómica. Cuenca alta del río Otún, Risaralda (Colombia). *Ingeniería y Universidad*, 16(1), pp. 265-280.

- Chin, J; Aguilar, P, Vega, D. & Espinoza, D. (2016). *Descripción biofísica y resultados preliminares de la calidad del agua del área de la microcuenca del río Páez, asociada con el segmento del río comprendido entre su nacimiento y las zonas de protección de las nacientes Paso Ancho y Lankaster en la provincia de Cartago*. CICA-UCR. 57 p.
- Elizondo, R. F. (2013). *Los afluentes y los ríos: La construcción social del medio ambiente en la cuenca Lerma Chapala*. ITESO. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos - CR). (2011). Censo 2011: Población total por zona y sexo, según provincia, cantón y distrito Recuperado <https://www.inec.cr/documento/censo-2011-poblacion-total-por-zona-y-sexo-segun-provincia-canton-y-distrito>
- Instituto de Desarrollo Rural (INDER). (2016). *Caracterización del Territorio: Cartago-Oreamuno-El Guarco- La Unión*, pp. 1-38. Recuperado en [https://www.inder.go.cr/territorios\\_inder/region\\_central/caracterizaciones/Caracterizacion-territorio-Cartago-Oreamuno-El-Guarco-La-Union.pdf](https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_central/caracterizaciones/Caracterizacion-territorio-Cartago-Oreamuno-El-Guarco-La-Union.pdf)
- Instituto de Desarrollo Rural [INDER]. (2016). *Caracterización del Territorio: Paraíso-Alvarado*, p. 42. Recuperado en [http://www.inder.go.cr/territorios\\_inder/region\\_central/caracterizaciones/Caracterizacion-Territorio-Paraiso-Alvarado.pdf](http://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_central/caracterizaciones/Caracterizacion-Territorio-Paraiso-Alvarado.pdf)
- Instituto Geográfico Nacional [IGN], Ministerio de Obras Públicas y Transportes [MOPT] (1981). *Istarú*. [Hoja topográfica]. Escala 1:50,000. San José, Edición 2.
- Krushensky, R. (1972). *Geology of the Istaru Quadrangle Costa Rica*. Washington.: United States Department of the Interior. Geological Survey. Pirani, F. J., & Mousavi, S. A. (2016). Integrating socio-economic and biophysical data to enhance watershed management and planning. *Journal of hydrology*, 540, pp. 727-735.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN]. (2018). Índice de desarrollo social 2017. San José, Costa Rica. Recuperado <https://documentos.mideplan.go.cr/share/s/LOGWBZnfRceDJjpxwm7zFQ>

- Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible [PRODUS]. (2016). Plan del uso del suelo para las faldas del Volcán Irazú. San José: Universidad de Costa Rica, 177 pág.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2016). Atlas del Desarrollo Humano Cantonal de Costa Rica Indicador de Alfabetización de los cantones de Paraíso y Oreamuno. Recuperado en <http://desarrollohumano.or.cr/mapa-cantonal/index.php>
- Programa Estado de la Nación. (2013). Indicadores Cantonales Censos Nacionales de Población y Vivienda 2000 y 2011. San José, Costa Rica: PEN. Recuperado en <http://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/882>
- Quesada, R. (2007). Los Bosques de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, 16.
- Ramírez, L., Alvarado, A., Pujol, R., & Brenes, L. G. (2008). Caracterización Física de la Cuenca Media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 32(2), pp. 73-92.
- Rojas, N. (2011). *Cuenca del Río Reventazón*. Instituto Meteorológico Nacional. Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria [SEPSA]. (2018). Estadísticas Agropecuarias. Recuperado en Inforagro: <http://www.infoagro.go.cr/EstadisticasAgropecuarias/PRODUCCIONDE-SEMPENOPRODUCTIVO/Paginas/ReporteAreaProduccion.aspx>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC]. (2008). *Plan General de Manejo Parque Nacional Volcán Irazú*. Recuperado en <http://www.sinac.go.cr/ES/ac/accvc/Documents/Plan%20de%20Manejo%20PNVI.pdf>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC]. (2019). “Informe Anual Estadísticas SEMEC 2018: SINAC en Números”. Comp. B. Pavlotzky. San José, CR., p. 82.
- Strahler, A. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transaction American Geophysical Union* 38 (6), pp. 913-920.
- Siles, J., & Soares, D. (2003). La fuerza de la corriente: Gestión de cuencas hidrográficas con equidad de género. UICN. San José, CR, p. 266.
- Villareal, N. S. (2007). Metodología, estrategia y aspectos técnicos en el manejo de conservación de cuencas. *Biocenosis*, 20(1-2), 1-7.

Watler, W., Faustino, J. y los miembros del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2013, 1 de julio-30 de septiembre). *Curso internacional en línea de especialización en “Gestión integral de cuencas hidrográficas”*: Construcción del Plan de Gestión de Cuencas Hidrográficas. (Unidad 2) [curso en línea]. CATIE.



## Vulnerabilidad de la población de Guerrero, México, ante las epidemias de COVID-19 y dengue

Vulnerability of the population of Guerrero state, Mexico, to COVID-19 and dengue epidemics.

*Norma Ivone Peña-Galeana<sup>1</sup>*

*Universidad Autónoma de Guerrero, México*

*Ricardo Peña-Galeana<sup>2</sup>*

*Universidad Autónoma de Guerrero, México*

*Pedro Vidal Tello-Almaguer<sup>3</sup>*

*Universidad Autónoma de Guerrero, México*

### Resumen

El presente artículo analiza la situación del COVID-19 y el Dengue en los municipios del estado de Guerrero (en México), así como los grupos poblacionales afectados clasificados por edad y sexo. Se analiza también la situación de los factores asociados con las medidas de prevención y control de ambas epidemias, incluyendo entre estos: la disponibilidad de agua entubada, la suficiencia alimentaria de menores y adultos, y la afiliación a servicios de salud. Asimismo, con base en los factores antes mencionados, se realiza una clasificación de los municipios de Guerrero según el nivel de vulnerabilidad de su población ante ambas epidemias en conjunto (vulnerabilidad entendida como la susceptibilidad de la población a ser afectada por Dengue o COVID-19, dada la situación de los factores en estudio).

**Palabras clave:** Dengue, COVID-19, Vulnerabilidad de la población, Población en riesgo.

- 1 Maestra en ingeniería. Unidad Académica de Ciencias y Tecnologías de la Información, Universidad Autónoma de Guerrero, México. Correo-e: [normaivone@yahoo.com](mailto:normaivone@yahoo.com)  <https://orcid.org/0000-0003-3827-7817>.
- 2 Maestro en ingeniería. Unidad Académica de Ciencias y Tecnologías de la Información, Universidad Autónoma de Guerrero, México. Correo-e: [rpgaleana@msn.com](mailto:rpgaleana@msn.com)  <https://orcid.org/0000-0002-5048-7799>.
- 3 Doctor en Geografía. Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales, Universidad Autónoma de Guerrero, México. Correo-e: [pvidalt@hotmail.com](mailto:pvidalt@hotmail.com)  <https://orcid.org/0000-0003-0473-3562>.

## **Abstract**

The present article analyzes the situation of COVID-19 and dengue in the municipalities of the state of Guerrero, Mexico, as well as the situation of affected population groups classified by age and sex. Factors associated with prevention and control measures of both epidemics are also analyzed, including: availability of potable piped water, food sufficiency for minors and adults, and affiliation to health care services. Likewise, based on the aforementioned factors, a classification of the municipalities comprising the state of Guerrero is made according to the population's level of vulnerability to both epidemics as a whole. Vulnerability is defined as the susceptibility of the population to be affected by COVID-19 and dengue given the situation of the studied factors.

**Keywords:** Dengue; COVID-19; Population vulnerability; Population at risk.

## **Introducción**

El 30 de enero de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró a la enfermedad COVID-19 como una emergencia internacional y, para el 11 de marzo, el brote de COVID-19 fue declarado como una pandemia (OMS, 2020a; OMS, 2020b). En México se confirmó el primer caso de COVID-19 el 28 de febrero, pero fue hasta el 15 de marzo que se registró el primer caso confirmado en el estado de Guerrero, ubicado al sur del país (Gobierno de México, 2020a; Gobierno del estado de Guerrero, 2020a).

El estado de Guerrero, está clasificado como una de las entidades federativas más afectadas por la epidemia de COVID-19 en México, situación que puede agravarse aún más con la llegada de la temporada de dengue que se registra entre los meses de mayo a noviembre cada año, lo que implica que la población guerrerense deberá hacer frente a dos padecimientos virales al mismo tiempo.

Dado que el COVID-19 presenta síntomas y medios de transmisión similares a los de la gripe estacional, se espera que esta epidemia evolucione con una disminución de casos durante el verano y una reemergencia en los meses de invierno; sin embargo, con el fin de la cuarentena y la reactivación de la actividad económica aumentará el desplazamiento poblacional, lo que se prevé que en el corto plazo se traduzca en un incremento en los casos de COVID-19 en todos los estados y municipios del país.

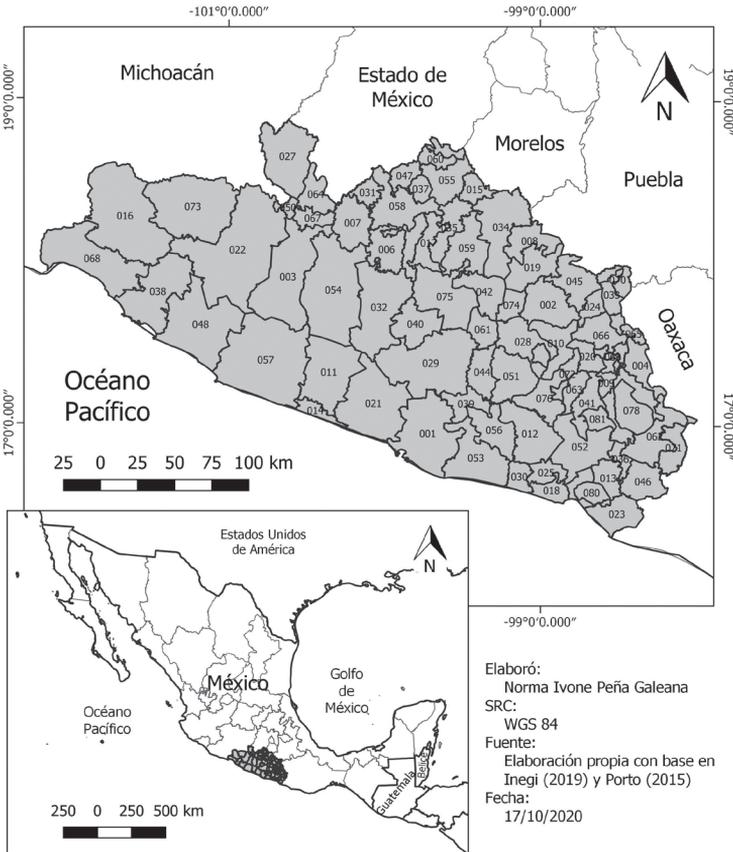
El estado de Guerrero, por tanto, enfrentará la reanudación de las actividades económicas con una tendencia creciente en el número de casos de COVID-19, a lo cual es necesario añadir el inicio de la temporada de dengue (que en Guerrero se registra durante los meses de mayo-noviembre) con una propensión creciente en el número de casos a nivel estatal, tomando en cuenta que la entidad es una de las que registra más casos de dengue en el contexto nacional y que el número de casos de dengue a nivel mundial va en ascenso (OMS, 2020c).

Lo anterior, hace necesario evaluar el nivel de vulnerabilidad la población afectada por el COVID-19 y el dengue, identificando sus características y analizando la posible interacción entre las medidas que se establecen para la prevención y el control ambas enfermedades y su efecto sobre la población guerrerense.

### Área de estudio

Como puede observarse en la Figura 1, el estado de Guerrero se ubica al sur de México, en la costa del Océano Pacífico, se divide en 81 municipios y limita al noroeste con el estado de Michoacán, al norte con los estados de México y Morelos, al noreste con el estado de Puebla, al este con el estado de Oaxaca y al sur, con el Océano Pacífico.

**Figura 1.** Localización del área de estudio: Estado de Guerrero, México.



**Fuente:** Elaboración propia con base en la cartografía del [Instituto de Estadística, Geografía e Informática de México - Inegi \(2019\)](#) y [Porto \(2015\)](#).

Guerrero tiene una superficie de 63 794 km<sup>2</sup> que representa el 3,3% del país y un litoral de aproximadamente 500 km de largo. Su capital es la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, situada en el centro de la entidad.

**Tabla 1.** Municipios del estado de Guerrero, México, agrupados por jurisdicciones sanitarias.

Norte	Montaña	Costa Chica
006 Apaxtla 008 Atenango del Río 015 Buenavista de Cuéllar 017 Cocula 019 Copalillo 026 Cuetzala del Progreso 031 General Canuto A. Neri 034 Huitzuc de los Figueroa 035 Iguala de la Independencia 037 Ixcateopan de Cuauhtémoc 047 Pedro Ascencio Alquisiras 049 Pilcaya 055 Taxco de Alarcón 058 Teloloapan 059 Tepecoacuilco de Trujano 060 Tetipac	004 Alcozauca de Guerrero 005 Alpoyeca 009 Atlamajalcingo del Monte 010 Atlixac 020 Copanatoyac 024 Cualac 033 Huamuxtitlán 041 Malinaltepec 043 Metlatónoc 045 Olinalá 063 Tlacoapa 065 Tlalixtaquilla de Maldonado 066 Tlapa de Comonfort 069 Xalpatláhuac 070 Xochihuehuetlán 072 Zapotitlán Tablas 076 Acatepec 078 Cochoapa el Grande 081 Iliatenco	012 Ayutla de los Libres 013 Azoyú 018 Copala 023 Cuajinicuilapa 025 Cuautepec 030 Florencio Villarreal 036 Iguala 046 Ometepetec 052 San Luis Acatlán 053 San Marcos 056 Tecoaapa 062 Tlacoachistlahuaca 071 Xochistlahuaca 077 Marquelia 080 Juchitán
Tierra Caliente	Costa Grande	Centro
003 Ajuchitlán del Progreso 007 Arcelia 022 Coyuca de Catalán 027 Cutzamala de Pinzón 050 Pungarabato 054 San Miguel Totolapan 064 Tlalchapa 067 Tlapehuala 073 Zirándaro	011 Atoyac de Álvarez 014 Benito Juárez 016 Coahuayutla de José Ma. Izazaga 021 Coyuca de Benítez 038 José Azueta 048 Petatlán 057 Técpan de Galeana 068 La Unión de Isidoro Montes de Oca	002 Ahuacutzingo 028 Chilapa de Álvarez 029 Chilpancingo de los Bravo 032 General Heliodoro Castillo 039 Juan R. Escudero 040 Leonardo Bravo 042 Mártir de Cuilapan 044 Mochitlán 051 Quechultenango 061 Tixtla de Guerrero 074 Zitlala 075 Eduardo Neri 079 José Joaquín de Herrera
Acapulco		
001 Acapulco de Juárez		

**Fuente:** Elaboración propia utilizando las claves municipales del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (Inegi, 2019)

## Marco teórico-conceptual

### El concepto de Vulnerabilidad

El concepto de *vulnerabilidad*, usado con más frecuencia en las ciencias sociales, hace referencia a la posibilidad de que una población sufra daños debido a la exposición a factores de riesgo internos y externos, lo cual se ve influenciado por su capacidad para enfrentar dichos factores, así como por su habilidad para adaptarse a los cambios que esto produce (CEPAL-ECLAC, 2002; Cardona, 2003).

Este concepto de vulnerabilidad es frecuentemente relacionado con factores naturales que pueden presentar un peligro para la población, por lo que se asocia con desastres naturales causados por fenómenos naturales hidrometeorológicos, inundaciones, deslizamientos de tierra, terremotos y erupciones volcánicas, entre otros. Su aplicación al ámbito social, introduce también variables demográficas tales como la estructura de la población, los procesos de urbanización y los cambios en los hábitos y costumbres de la población (DNP-Colombia, 2007; Foschiatti, 2008; Saavedra, 2010).

En el área de la salud, hablar de vulnerabilidad implica hablar de la exposición de la población a algún agente patógeno que puede derivar en una enfermedad dependiendo de la influencia de factores ambientales o sociales tales como como la temperatura, la precipitación, el estado nutricional de la población o los avances en la medicina, por citar algunos (Foschiatti, 2008; Araujo, 2015).

Generalizando, podemos entonces definir la *vulnerabilidad* como la posibilidad de que un sistema sufra algún daño debido a la actuación de factores internos o externos, y a su propia respuesta ante dichos factores. Esta definición, por tanto, incluye tres aspectos a considerar: factores de riesgo, respuesta social y la influencia del tiempo y lugar en que estos se presentan (Shitangsu, 2014).

### Definiciones asociadas al Dengue y al COVID-19

La enfermedad dengue es causada por un virus (Denguevirus, con cuatro serotipos DENV-1, DENV-2, DENV-3 y DENV-4) transmitido por un mosquito del género *aedes* (*A. aegypti* y *A. albopictus*). La Secretaría de Salud de México (SSA), en las Normas Oficiales NOM-032-SSA2-2002 y NOM-032-SSA2-2014 y en sus Manuales de procedimientos (SSA, 2003; SSA, 2015; SSA, 2017a), menciona que la clasificación de los casos de

dengue se realiza con base en su severidad, y ésta va desde casos con síntomas febriles leves, conocidos como Dengue No Grave (DNG), hasta casos severos conocidos como Dengue con Signos de Alarma (DCSA) y Dengue Grave (DG), que se acompañan de dificultad respiratoria, hemorragias graves o falla orgánica que puede llevar a la muerte del paciente.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera al dengue como una *virosis pandemiógena*, es decir, como una enfermedad causada por virus con potencial de convertirse en pandemia de rápida propagación, lo que lleva a que mantenga un monitoreo permanente de la evolución del padecimiento y de las estrategias de prevención y control del dengue en el mundo (OMS, 2020c; OMS, 2020d).

Actualmente, existe una vacuna para el dengue en el mercado, pero debido a que su eficacia aún se encuentra bajo análisis (OMS, 2016; OMS, 2018), el tratamiento de los casos se enfoca al mantenimiento del paciente mientras supera la enfermedad, lo cual puede incluir desde la permanencia del paciente en su domicilio por unos días, hasta su hospitalización entre siete y diez días.

El COVID-19, por otro lado, es una enfermedad respiratoria ocasionada por el nuevo tipo de coronavirus SARS-CoV-2, cuyo espectro va desde casos asintomáticos y pacientes con síntomas leves de resfriado, hasta cuadros graves de insuficiencia respiratoria o falla orgánica que pueden llevar a la muerte (OMS, 2020e).

Hasta el momento, no existen pruebas de que la infección por este virus produzca inmunidad, aunque se espera que esto ocurra en el corto plazo; tampoco existe una vacuna o tratamiento específico para esta enfermedad, por lo que su manejo se centra en la atención del paciente según la gravedad de sus síntomas, y en la prevención con medidas de distanciamiento social.

### **Marco metodológico**

Para el análisis del COVID-19 y el dengue en el estado de Guerrero, se utilizaron las definiciones de la Organización Mundial de la Salud en relación con los grupos poblacionales de riesgo y los factores de prevención y riesgo coincidentes en ambos padecimientos.

La información asociada con ambas epidemias difiere en cuanto fuentes y periodos de tiempo considerados debido a que el dengue, a diferencia del COVID-19, no es una enfermedad nueva en el estado de Guerrero.

- Así, para el análisis de la epidemia de COVID-19 se utilizaron los datos proporcionados por el Gobierno del estado de Guerrero, actualizados al 28 de mayo de 2020 (Gobierno del estado de Guerrero, 2020b), que incluyeron los casos positivos y las defunciones clasificados por municipio. Con el fin de identificar los casos positivos de COVID-19 clasificados por edad y sexo, se utilizó la información proporcionada en la plataforma “Datos abiertos de México”, correspondientes a los casos de COVID-19 en el estado de Guerrero hasta el 13 de abril de 2020 (Gobierno de México, 2020b).
- En relación con el dengue, se trabajó con los datos proporcionados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), a través de la Plataforma de Información en Salud para las Américas (Plisa), que incluyeron la información de los casos confirmados de dengue en los municipios del estado de Guerrero en 2018 (OPS, n.d.). Asimismo, para el análisis de los casos confirmados agrupados por edad y sexo, se recurrió a la información proporcionada en la misma plataforma para el año 2019 (la cual no incluye información a nivel municipal). Esta información se enmarcó con los datos proporcionados por la Secretaría de Salud de México a través del Panorama Epidemiológico de Dengue para el periodo 2015 a 2019 (a la semana 52), que incluyeron el total de casos acumulados de dengue clasificados por tipo (DNG, DCSA y DG).

Para el cálculo de tasas de incidencia y porcentaje de población en riesgo, así como para el análisis de factores de riesgo, se utilizaron los datos disponibles en la Encuesta Intercensal 2015 de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (Inegi) secciones 1, 7, 14 y 15, referentes a población, servicios de salud, viviendas y suficiencia alimentaria en el estado de Guerrero, que incluyeron:

- Población total, por grupo quinquenal de edad y sexo
- Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada
- Porcentaje de población no afiliada a algún servicio de salud
- Porcentaje de hogares donde algún adulto comió solo una vez al día o dejó de comer todo un día por falta de dinero

- Porcentaje de hogares con población menor de 18 años donde algún menor comió solo una vez al día o dejó de comer todo un día por falta de dinero

Para los casos positivos y confirmados de ambos padecimientos, así como para las tasas de incidencia, se utilizaron las rupturas naturales de Jenks con el fin de clasificar a los municipios del estado de Guerrero en cuatro grupos, con base en la presencia de COVID-19 y dengue. Con estos datos y utilizando cartografía proporcionada por el Inegi, con el Sistema de Referencia México ITRF2008/UTM zone 14N, se elaboraron mapas que fueron procesados mediante el software QGIS.

Dado que la OPS enfatiza la necesidad de identificar zonas prioritarias para el control de las epidemias minimizando el riesgo para la población y el personal de salud involucrado (OPS, 2020a), se decidió clasificar a los municipios del estado de Guerrero en tres niveles de vulnerabilidad: baja, media y alta.

Para realizar esta clasificación, se realizó lo siguiente:

- 1) Para cada factor en estudio se definieron tres intervalos, a los cuales se les asignó un valor de uno a tres utilizando el criterio “más es peor”. Estos intervalos se crearon utilizando las rupturas naturales de Jenks y tomando en cuenta los valores que asume la variable en estudio en todos los municipios de Guerrero.
- 2) A continuación, se clasificó a cada municipio con base en estos intervalos asignándosele, en cada caso, el valor correspondiente a cada variable en estudio, y se realizó una sumatoria simple para obtener un valor global que sirviera como indicador de vulnerabilidad por municipio.
- 3) Finalmente, con base en el valor global obtenido para todos los municipios de Guerrero, se crearon tres intervalos iguales que, bajo el criterio “más es peor”, ayudaron a clasificar el nivel de vulnerabilidad de cada municipio como bajo, medio o alto.

El nivel de vulnerabilidad de los municipios de Guerrero, se expresó en el mapa de vulnerabilidad correspondiente, que se creó utilizando el sistema de referencia y el software antes mencionados.

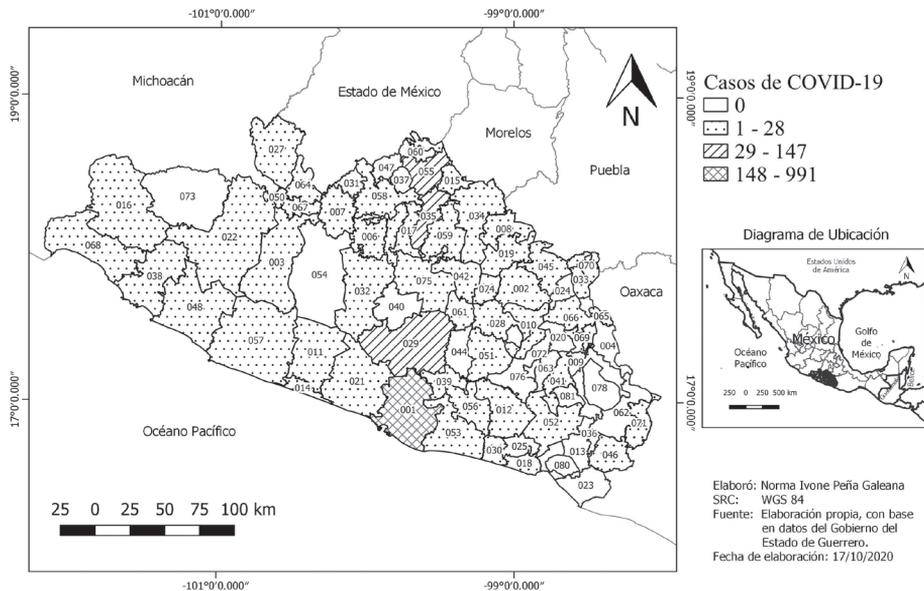
## Resultados

### Panorama del COVID-19 y el Dengue en Guerrero

Para el 28 de mayo de 2020, existían 1 583 casos positivos de COVID-19 en Guerrero, registrados en 54 de los 81 municipios que conforman el estado (Gobierno del estado de Guerrero, 2020b). Lo anterior, quiere decir que el 88,2% de la población Guerrero se encontraba con riesgo alto de contraer la enfermedad COVID-19, por residir en un municipio donde se registraron casos positivos. La tasa de incidencia en Guerrero, a la fecha, era de 44,8 casos por cada cien mil habitantes, con una tasa de letalidad que durante todo el mes de mayo osciló entre el 12,1% y el 14,5%.

La Figura 2, muestra la distribución de casos positivos de COVID-19 en los municipios de Guerrero, donde pueden observarse que hasta esa fecha había 27 municipios sin casos, que concentran al 11,8% de la población estatal y que se ubican principalmente al sur y sureste del estado, y cuatro municipios (Acapulco, Chilpancingo, Iguala y Taxco) con la mayor cantidad de casos (82,1% del total), que concentran al 38% de la población estatal y que se ubican en una franja que recorre al estado de Norte a Sur.

**Figura 2.** Distribución municipal de los casos positivos de COVID-19 en el estado de Guerrero, México, al 28 de mayo de 2020



**Fuente:** Elaboración propia con base en la información publicada por el Gobierno del estado de Guerrero (2020b).

Tal como se muestra en la Tabla 2, 13 municipios agrupaban al 92,9% de los casos positivos de COVID-19, y ocho de ellos presentaban una tasa de incidencia por encima de la estatal. De entre estos municipios destacó Acapulco de Juárez, por presentar una tasa de incidencia de 122,2 casos por cada cien mil habitantes, agrupando al 62,6% de los casos y aglutinando al 22,9% de la población estatal. Destaca también el municipio de Xochihuehuetlán que, aunque no aparece entre los municipios con más casos, registró la tasa de incidencia más alta en Guerrero, con 180,5 casos por cada cien mil habitantes.

**Tabla 2.** Panorama del COVID-19 en Guerrero al 28 de mayo de 2020  
(Principales municipios)

Municipio	Casos positivos	Defunciones	Tasa de incidencia	Tasa de letalidad	% de la población estatal
Acapulco de Juárez	991	77	122,2	7,8	22,9%
Chilpancingo de los Bravo	147	26	53,8	17,7	7,7%
Iguala de la Independencia	111	45	73,2	40,5	4,3%
Taxco de Alarcón	51	18	47,0	35,3	3,1%
Tlapa de Comonfort	28	5	31,8	17,9	2,5%
La Unión de Isidoro Montes de Oca	23	2	87,0	8,7	0,7%
Arcelia	23	1	73,2	4,3	0,9%
Juan R. Escudero	20	1	80,4	5,0	0,7%
Tixtla de Guerrero	17	4	39,9	23,5	1,2%
Coyuca de Benítez	16	4	21,0	25,0	2,2%
Pungarabato	16	1	42,7	6,3	1,1%
Chilapa de Álvarez	15	6	11,6	40,0	3,7%
Xochihuehuetlán	13	5	180,5	38,5	0,2%

**Fuente:** Elaboración propia con base en la información publicada por el [Gobierno del estado de Guerrero \(2020b\)](#).

En relación con el dengue, en las últimas dos décadas se han registrado brotes reemergentes durante los cuales el estado de Guerrero ha ocupado los primeros lugares en el contexto nacional (Tabla 3). El último de estos brotes se registró en el año 2016, cuando Guerrero ocupó el primer lugar nacional con 2319 casos confirmados de dengue. Actualmente se registra un aumento del dengue en todo el mundo ([OMS, 2020c](#)), por lo que cabe esperar un aumento en el número de casos de dengue en Guerrero durante el año 2020.

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 y la Encuesta Intercensal 2015 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi), la población total del estado de Guerrero pasó de 3'388 768 a 3'533 251 habitantes entre los años 2010 y 2015, respectivamente.

Para el año 2015, los municipios más poblados fueron Acapulco de Juárez (el único con más de 500 mil habitantes), Chilpancingo de los Bravo, Iguala de la Independencia, Chilapa de Álvarez, Zihuatanejo de Azueta, Taxco de Alarcón, Tlapa de Comonfort y Coyuca de Benítez, que agrupaban al 49,9% de la población estatal y donde se localizan las principales ciudades de Guerrero (Acapulco, Chilpancingo, Iguala, Chilapa, Zihuatanejo, Taxco y Tlapa).

**Tabla 3.** Casos confirmados de dengue en el estado de Guerrero, 2015-2019

Año	Casos confirmados			% del total nacional	Lugar nacional
	DNG <sup>1</sup>	DCSA <sup>2</sup> +DG <sup>3</sup>	Total		
2015	1208	522	1730	6,49%	---
2016	1309	1010	2319	13,03%	1
2017	203	159	362	2,56%	10
2018	66	54	120	9,44%	17
2019	315	591	906	2,18%	15

<sup>1</sup>DNG: Dengue No Grave. <sup>2</sup>DCSA: Dengue Con Signos De Alarma. <sup>3</sup>DG: Dengue Grave.

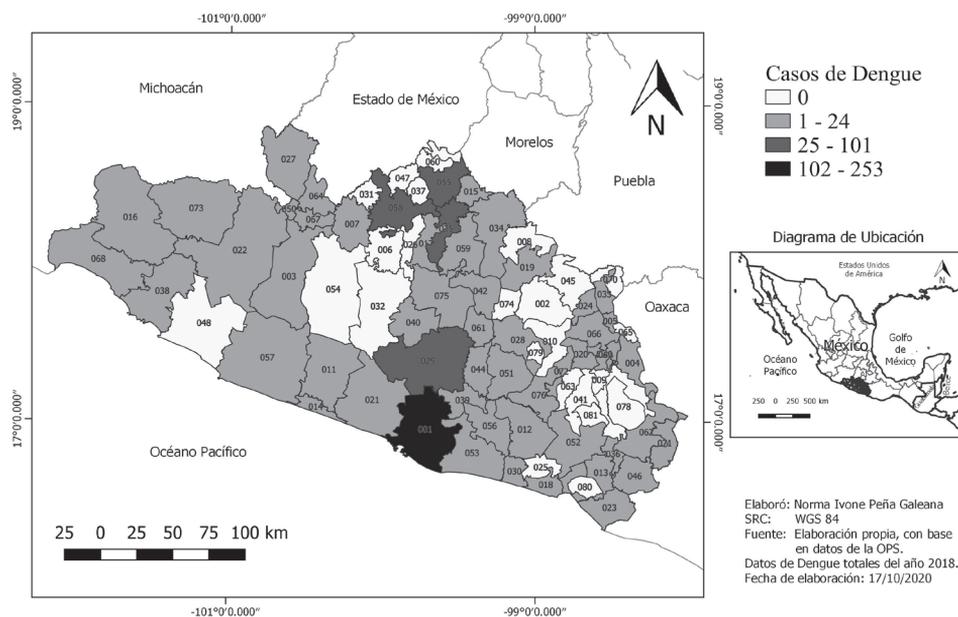
**Fuente:** Elaboración propia con base en los datos publicados por la SSA (2017b, 2018, 2019 y 2020).

De los 81 municipios del estado, 54 registraron casos confirmados de dengue en 2018, lo que afectó al 87% de la población guerrerense. La tasa de incidencia de dengue en 2018 fue de 22,4 casos por cada cien mil habitantes, con una tasa de letalidad de 3,7%. Dos municipios, Acapulco de Juárez e Iguala de la Independencia, acumularon el 45% de los casos confirmados de dengue en ese año, presentando el 32% y el 13% de los casos totales, respectivamente, y afectando, en conjunto, al 28% de la población Estatal.

La Figura 3 muestra que 26 municipios, con el 12,2% de la población estatal, no registraron casos de dengue en 2018, mientras cuatro municipios (en orden: Acapulco, Iguala, Chilpancingo, Teloloapan y Taxco, con el 39,7% de la población total de Guerrero) presentaron la mayoría de los casos (64,5%) en ese año.

Trece municipios agruparon al 80,1% de los casos positivos de dengue en 2018 (Tabla 4) y nueve de ellos presentaron una tasa de incidencia por encima de la estatal (22,4). De entre estos municipios destacan Iguala, Teloloapan e Iguala de la Independencia, que presentaron las tasas de incidencia de dengue más altas en Guerrero (87,9%, 80,2% y 66,6%, respectivamente), aunque se trata de municipios con poca población, que en conjunto acumulan al 6,2% de la población de Guerrero.

**Figura 3.** Distribución municipal de los casos confirmados de dengue en el estado de Guerrero, México, en el año 2018



**Fuente:** Elaboración propia con base en la información publicada por la OPS (n.d.)

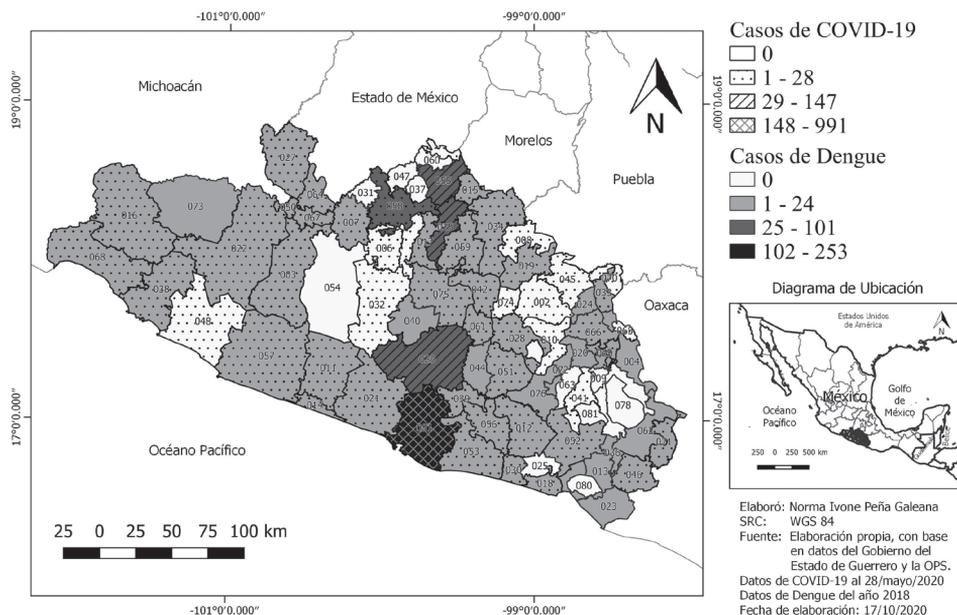
**Tabla 4.** Municipios del estado de Guerrero con mayor cantidad de casos confirmados de dengue en 2018

Municipio	Casos confirmados	Tasa de Incidencia (Casos por cada 100 mil habitantes)	% de la población de Guerrero
Acapulco de Juárez	253	31,2	22,9%
Iguala de la Independencia	101	66,6	4,3%
Chilpancingo de los Bravo	68	24,9	7,7%
Teloloapan	46	80,2	1,6%
Taxco de Alarcón	43	39,7	3,1%
Ometepec	24	35,5	1,9%
Coyuca de Catalán	20	51,3	1,1%
Zihuatanejo de Azueta	16	12,8	3,5%
San Marcos	14	28,3	1,4%
Ayutla de los Libres	14	20,1	2,0%
Atoyac de Álvarez	13	21,6	1,7%
Coyuca de Benítez	12	15,7	2,2%
Igualapa	10	87,9	0,3%

**Fuente:** Elaboración propia con base en la información publicada por la OPS (n.d.)

Al realizar un análisis conjunto de los casos positivo/confirmados de COVID-19 (al 28 de mayo de 2020) y de dengue (2018) en los municipios de Guerrero, se obtiene una estructura que se muestra en la Figura 4.

**Figura 4.** Panorama conjunto de los casos positivos de COVID-19 (2020) y casos confirmados de dengue (2018) en los municipios del estado de Guerrero



**Fuente:** Elaboración propia, con base en las Figuras 2 y 3.

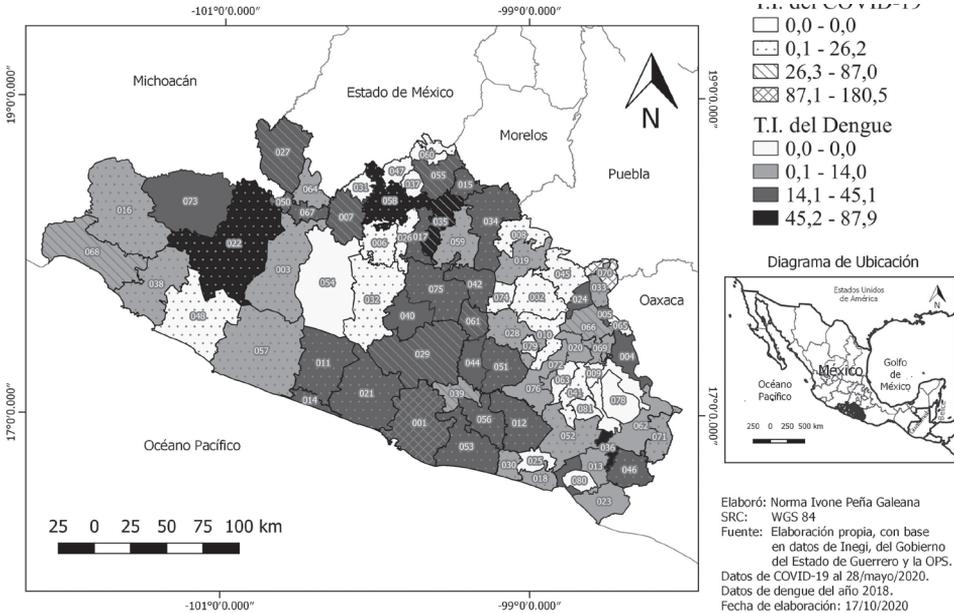
Como puede observarse, 13 de los 81 municipios que conforman al estado de Guerrero (con el 4,7% de la población estatal) no presentaron casos de dengue o COVID-19, 13 municipios (con el 7,5% de la población) presentaron la menor cantidad de casos en el estado solo de COVID-19 (2,0%) y 14 municipios (con el 7,0% de la población) presentaron una cantidad menor solo de dengue (5,4%). Lo anterior se traduce en que el 19,3% de la población estatal, residente en 40 de los municipios, está expuesta a menos fuentes de contagio de alguno de estos dos padecimientos, que el resto de los guerrerenses.

Por el contrario, cuatro municipios acumularon la mayor cantidad de casos, tanto de COVID-19 (82,1%) como de dengue (58,7%): Acapulco, Chilpancingo, Iguala y Taxco. Lo anterior es importante porque la población de estos cuatro municipios (38,0% de la población de Guerrero) se enfrenta a una mayor posibilidad de contraer alguna de estas dos enfermedades virales, lo cual enfatiza la necesidad de aplicar medidas de

prevención más agresivas, o de lo contrario la temporada de dengue del 2020 enfrentará a esa población con una emergencia sanitaria aún mayor.

La Figura 5, muestra la relación de la tasa de incidencia (casos por cada 100 000 habitantes) de ambos padecimientos, en cada municipio.

**Figura 5.** Panorama conjunto de la incidencia de COVID-19 y de dengue los municipios del estado de Guerrero



**Fuente:** Elaboración propia, con base en datos de la OPS (n.d.), del Gobierno del estado de Guerrero (2020b) y del Inegi (2016).

Al respecto, 45 municipios registraron una tasa de incidencia nula o baja tanto de COVID-19 como de dengue, 30 municipios registraron una incidencia media y solo seis municipios (Iguala, Xochihuehuetlán, Iguala, Acapulco, Teloloapan y Coyuca de Catalán) registraron tasas de incidencia altas en alguno o en ambos padecimientos. De este último grupo, cabe mencionar lo siguiente:

- Las tasas de incidencia de COVID-19 y dengue en Iguala se encuentran entre las más altas de Guerrero, haciendo que este municipio ocupe el tercer lugar en ambos padecimientos.

- El municipio de Xochihuehuetlán no registró casos de dengue, pero tiene la incidencia más alta de COVID-19; Iguala, por el contrario, no registró casos de COVID-19, pero tiene la incidencia más alta de dengue.
- Aunque Acapulco ocupa el primer lugar por el número de casos de ambos padecimientos, en relación con la tasa de incidencia ocupa el tercer lugar en COVID-19 y el lugar 12 en dengue.

### **Grupos poblacionales en riesgo según edad y sexo**

En relación con el COVID-19, la OMS identifica como principal grupo de riesgo a los adultos mayores y personas con padecimientos crónicos pre-existentes, quienes presentan una mayor probabilidad de desarrollar en forma grave este padecimiento. En cuanto al dengue, el mismo organismo define a los niños y adultos mayores como los grupos poblacionales más afectados por este padecimiento, pues se considera que permanecen cerca del domicilio donde se localizan los criaderos artificiales del mosquito transmisor del virus, tales como aljibes, tanques, contenedores de agua o cualquier recipiente sin cubierta que puede almacenar agua (OMS, 2020c; OMS, 2020e).

Al analizar la tasa de incidencia de la población afectada por COVID-19 y dengue en Guerrero, en relación con el sexo y los grupos de edad, la Tabla 5 muestra que, aunque las mujeres presentan las tasas de incidencia de dengue más altas en todos los grupos de edad, destacan como principales grupos de riesgo para contraer dengue los menores de 20 años de ambos sexos. En el caso del COVID-19, los hombres mayores de 40 años constituyen el principal grupo de riesgo.

**Tabla 5.** Tasa de incidencia de COVID-19 y dengue en el estado de Guerrero, por grupos de edad y sexo (casos por cada 100,000 habitantes)

GRUPO DE EDAD	COVID-19 <sup>1</sup>			DENGUE <sup>2</sup>		
	TOTAL	HOMBRES	MUJERES	TOTAL	HOMBRES	MUJERES
Menores de 20 años	1,5	1,2	1,7	32,3	32,2	32,5
De 20 a 39 años	6,1	6,2	6,1	20,8	19,2	22,1
De 40 a 59 años	9,7	12,7	7,1	20,5	19,8	21,1
De 60 años y más	8,8	10,4	7,4	8,1	6,6	9,3

Nota: <sup>1</sup>Cálculos con base en los casos al 13 de abril de 2020; <sup>2</sup>Calculadas con base en los casos de 2019.  
**Fuente:** Elaboración propia con base en los datos de Inegi (2016), del Gobierno de México (2020b) y de la OPS (n.d.).

Lo anterior tiene importancia debido a que el fin de la cuarentena y la reapertura de las actividades económicas implicará el movimiento de la población trabajadora, donde se ubican los hombres de más de 40 años, aumentando su probabilidad de contraer COVID-19. Asimismo, el cierre de escuelas y las medidas de sana distancia (bajo la frase de “Quédate en casa”) implementadas para el control del COVID-19 aumentan la vulnerabilidad de los menores de 20 años ante el dengue, al mantenerlos cerca de los hogares.

### Disponibilidad de agua entubada

Para el combate al COVID-19, el lavado de manos es junto con el distanciamiento social, una de las principales medidas de prevención aplicadas (OPS, 2020b). Esta medida presupone que los hogares cuentan con agua potable o que sus habitantes tienen acceso a este recurso. Guerrero, sin embargo, está clasificado por la Comisión Nacional del Agua (Conagua) como una de “las entidades federativas con mayores rezagos en cobertura de agua potable” (Conagua, 2014, p 98), pues 15,8% de la población vive en hogares sin agua potable y 22 de los 81 municipios cuentan con un porcentaje mayor al 25% de ocupantes en viviendas sin agua potable (Inegi, 2016).

Tal como muestra la Tabla 6, destacan los municipios de Huitzucó, Coyuca de Catalán y Olinalá, por ser los municipios con la mayor cantidad de viviendas sin agua entubada y el mayor porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada.

**Tabla 6.** Principales municipios según la cantidad y el porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada.

Municipios con mayor porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada	Ocupantes	%	Municipios con mayor cantidad de ocupantes en viviendas sin agua entubada	Ocupantes	%
Copalillo	14 864	64,0	Acapulco de Juárez	59 091	7,3
Cuetzala	8 559	55,7	Chilpancingo	35 619	13,0
<i>Olinalá</i>	<i>25 483</i>	<i>55,4</i>	Chilapa	35 458	27,3
<i>Huitzucó</i>	<i>3 7094</i>	<i>39,2</i>	Iguala	32 013	21,1
Xalpatláhuac	11 723	38,0	Ometepec	19 924	29,5
Coahuayutla	12 721	37,3	Teloloapan	18 449	32,2
<i>Coyuca de Catalán</i>	<i>39 002</i>	<i>36,7</i>	Coyuca de Benítez	18 037	23,6
Atenango del Río	8 731	35,8	San Marcos	15 249	30,8
Azoyú	14 857	34,8	<i>Huitzucó</i>	<i>14 539</i>	<i>39,2</i>
Zitlala	22 721	34,6	<i>Coyuca de Catalán</i>	<i>14 328</i>	<i>36,7</i>
General Canuto A. Neri	5 780	34,6	<i>Olinalá</i>	<i>14 105</i>	<i>55,4</i>

Fuente: Elaboración propia con base en Inegi (2016).

En el caso del dengue, las medidas de prevención se enfocan en la eliminación de todos los recipientes que pueden convertirse en nichos para las larvas del mosquito transmisor del virus, y en la fumigación para eliminar a los mosquitos adultos. Lo anterior quiere decir que la falta de agua entubada incrementa la vulnerabilidad de la población Guerrerense ante ambos padecimientos pues significa que, para prevenir el contagio por COVID-19, un 15,8% de la población del estado tendrá una mayor presión por almacenar agua en recipientes que, sin el debido cuidado, pueden convertirse en criaderos de mosquitos y propiciar la aparición de casos de dengue.

A lo anterior, es necesario añadir la irregularidad del servicio de abasto de agua potable, que impone a la población la necesidad de mantener almacenado este líquido a pesar de habitar una vivienda que dispone de agua entubada, por lo que el porcentaje de población en condición de vulnerabilidad se incrementa. Aún más, si a lo anterior se agrega la necesidad de distanciamiento social y la suspensión de clases presenciales, que implican que la población (especialmente los menores) tiende a permanecer más tiempo en los hogares, esto se traduce en una mayor cantidad de personas expuestas a posibles focos de criadero de mosquito.

Finalmente, si se considera que, de acuerdo con el gobierno del estado de Guerrero, el 77% de los casos positivos de COVID-19 en la Entidad recibe tratamiento ambulatorio (por lo que los pacientes se quedan en casa mientras transcurre la enfermedad), esta población no solo se enfrenta a un mayor riesgo de dengue debido al almacenamiento de agua, sino que se encuentra expuesta a la fumigación de espacios exteriores que se realiza para controlar a los mosquitos adultos, dado que el éxito de esta medida exige que la población abra sus casas para facilitar la introducción del insecticida en los hogares. Cabe mencionar que a la fecha no existen estudios acerca del impacto que tendrá la fumigación para el dengue en este tipo de pacientes.

### **Suficiencia alimentaria**

Según los datos de la Encuesta Intercensal 2015 de Inegi, el 11,5% de los hogares de Guerrero registraron al menos un menor de 18 años que comió solo una vez al día o dejó de comer todo un día por falta de dinero, y este porcentaje se eleva a 17,3% en el caso de los mayores de 18 años.

A nivel municipal, seis municipios contabilizaron más de 20% de hogares con menores de 18 años donde algún menor comió solo una vez

al día o dejó de comer todo un día; estos seis municipios también aparecen entre los 20 que contabilizaron más de 20% de hogares donde algún adulto comió solo una vez al día o dejó de comer todo un día.

La Tabla 7, destaca los seis municipios que aparecen en estos dos grupos, donde más de la quinta parte de su población (adultos y menores) resultan especialmente vulnerables al COVID-19 y al dengue, pues deberán de hacer frente a ambas enfermedades en condiciones de insuficiencia alimentaria, lo cual con seguridad repercute en una mayor debilidad de su sistema inmunológico (cabe aclarar que no se encontraron estudios al respecto).

**Tabla 7.** Municipios con mayor porcentaje de hogares con población en condiciones de insuficiencia alimentaria.

Municipios	Porcentaje de hogares con población menor de 18 años, donde algún menor de 18 comió solo una vez al día o dejó de comer todo un día	Porcentaje de hogares donde algún adulto comió solo una vez al día o dejó de comer todo un día
Atlamajalcingo del Monte	28,2	32,3
Tlacoachistlahuaca	26,0	30,0
San Luis Acatlán	23,0	26,0
Ajuchitlán del Progreso	22,9	24,4
San Miguel Totolapan	21,7	22,4
Cochoapa el Grande	21,0	26,9

Fuente: Elaboración propia con base en Inegi (2016).

### Afiliación a servicios de salud

Quince por ciento de la población Guerrerense no se encuentra afiliada a ningún servicio de salud (público o privado). Esto ocurre en forma más pronunciada en 10 municipios del estado (Tabla 8), donde uno de cada cinco habitantes no se encuentra afiliado a algún servicio de salud y, por tanto, tendrá mayor dificultad para ser diagnosticado y tratado a tiempo en caso de contagiarse con alguno de estos dos virus.

**Tabla 8.** Municipios con mayor porcentaje de población no afiliada a algún servicio de salud (público o privado)

Municipios	Porcentaje de población municipal no afiliada a Servicios de Salud
Zirándaro	36,8
Pungarabato	30,4
Cutzamala de Pinzón	26,0
Tlacoachistlahuaca	24,8
Tlapehuala	24,0
San Miguel Totolapan	23,1
Coyuca de Catalán	21,0
General Canuto A. Neri	20,4
Tlalchapa	20,2
Ajuchitlán del Progreso	20,1

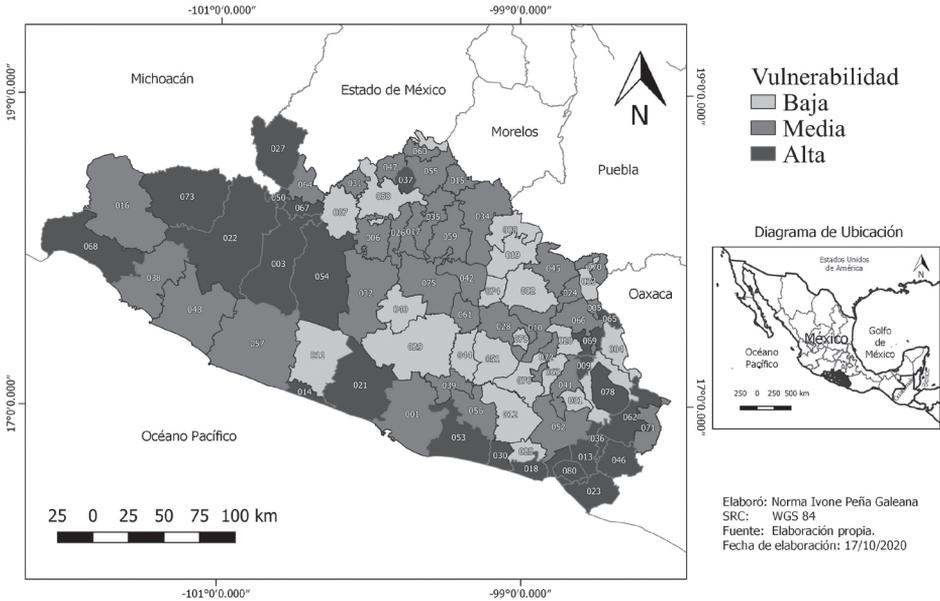
Fuente: Elaboración propia con base en Inegi (2016).

De este grupo destacan los municipios de Tlacoachistlahuaca, San Miguel Totolapan y Ajuchitlán, por estar también entre los municipios con mayor insuficiencia alimentaria, lo que se traduce en una quinta parte de su población enfrentando ambas epidemias en condiciones de insuficiencia alimentaria y sin tener cobertura de salud.

### **Vulnerabilidad de la población guerrerense a las epidemias conjuntas de COVID-19 y Dengue**

Al tomar en consideración los factores antes mencionados en conjunto (porcentaje de población en grupos de edad y sexo considerados de riesgo para COVID-19 y dengue, porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada, porcentaje de hogares con adultos y menores que no comieron por falta de dinero y porcentaje de población no afiliada a algún servicio de salud), emerge una estructura municipal, tal como se muestra en la Figura 6, donde se revela la vulnerabilidad de la población Guerrerense ante la acción de ambas epidemias.

**Figura 6.** Vulnerabilidad de la población Guerrerense ante las epidemias conjuntas de COVID-19 y dengue, con base en los factores seleccionados



**Fuente:** Elaboración propia

Como ya se mencionó en el apartado metodológico, los municipios de Guerrero se clasificaron como de baja, media o alta vulnerabilidad con base en un indicador calculado a partir de los valores que asume cada variable en estudio en cada municipio. Con base en esta clasificación, los municipios que aparecen catalogados como de alta vulnerabilidad se definen como aquellos que presentan porcentajes más altos de población en condiciones que los hacen más vulnerables a las epidemias conjuntas de COVID-19 y dengue.

Así, el nivel de vulnerabilidad más alto se encuentra en 22 municipios de Guerrero que acumulan al 17,5% de la población estatal y que, como puede observarse en la Figura 6, se ubican al noroeste (en la región conocida como la Tierra Caliente) y al sureste de la Entidad (en la región conocida como la Costa Chica).

Esto último es importante, debido a que los municipios de la región Tierra Caliente presentan la mayor proporción de adultos mayores, lo que los hace más susceptibles a desarrollar mayor cantidad de casos graves

de COVID-19; asimismo, esta conformación implica que, aunque se ha logrado contener el avance del COVID-19 en la Costa Chica, esto puede cambiar con el inicio de la temporada de dengue.

Finalmente, cabe resaltar el caso del Municipio de Acapulco, que se clasifica como de alta vulnerabilidad, donde la atención debe ser prioritaria dado que acumula a más de la quinta parte de la población guerrerense y constituye uno de los principales polos de desarrollo no solo del estado, sino del sur del país.

### **Discusión**

Uno de los principales puntos de discusión de esta investigación radica en el hecho de que los datos utilizados para el análisis de ambas epidemias corresponden a diferentes periodos de tiempo. Sin embargo, se consideró que el conocimiento de las características de ambos padecimientos y los factores asociados con ellas, reflejaban el panorama general de ambas epidemias y, por tanto, podían utilizarse para analizar la vulnerabilidad de la población derivada de los factores incluidos en el estudio.

Otro aspecto que puede causar controversia, es el cálculo de un indicador de vulnerabilidad a partir de intervalos generados utilizando los valores que asume cada variable en todos los municipios de Guerrero en un periodo de tiempo específico, lo cual hace que dichos intervalos no puedan ser aplicados a otros estados del país ni a otros periodos de tiempo.

Estos intervalos sin embargo, se consideraron válidos debido a que se trató de proporcionar información que sirviera como base para definir estrategias de acción inmediatas en el estado de Guerrero, además de que el procedimiento de creación tanto de los intervalos como del indicador de vulnerabilidad, es fácilmente aplicable a cualquier otro estado en cualquier otro periodo de tiempo.

### **Conclusiones**

Dada la emergencia de salud a nivel mundial, se considera importante el conocer el nivel de vulnerabilidad de la población ante epidemias emergentes como el COVID-19 y epidemias recurrentes como es el caso del dengue, pues proporcionan una visión más profunda del efecto que éstas pueden tener en la población. Existen, sin embargo, pocos estudios

de Vulnerabilidad aplicados al estado de Guerrero. Entre los existentes, destacan los trabajos de García y Villerías (2016, 2017a y 2017b), quienes se han abocado al estudio de la vulnerabilidad social en los principales municipios de Guerrero.

La presencia de COVID-19 y dengue en el estado de Guerrero, hace evidente la necesidad de cambios estructurales urgentes en relación con el acceso de la población al agua potable y a los servicios de salud, lo que implica la necesidad de priorizar las inversiones gubernamentales en ambos sectores, especialmente en los municipios denominados como de alta vulnerabilidad.

Además, el inicio de la temporada de dengue y la reanudación de las actividades productivas ocasionará que la población enfrente ambos virus en condiciones de desnutrición, acentuada por la disminución de la actividad económica derivada de la cuarentena por lo que, con el fin de disminuir la vulnerabilidad de los guerrerenses, es necesario realizar acciones que ayuden a la rápida reactivación económica al mismo tiempo que se realicen campañas de educación alimentaria y financiera entre la población.

Asimismo, es urgente el diseño de una estrategia que enfatice los protocolos de prevención del COVID-19 en los centros de trabajo, al mismo tiempo que se intensifican las acciones para evitar la creación de criaderos del mosquito transmisor del dengue en los hogares, escuelas y centros de trabajo. Ante esta situación, también es necesario que se realicen investigaciones acerca del impacto que las acciones de fumigación pueden tener en los pacientes de COVID-19.

Finalmente, en el diseño de cualquier estrategia es necesario tomar en cuenta la relación que guardan las medidas de prevención o control de ambas epidemias, que pueden incidir en el nivel de vulnerabilidad de la población, lo que requiere regionalizar las acciones en función del impacto de las acciones de combate y control de una pandemia sobre la otra.

## Referencias

- Araujo, R. (2015). "Vulnerabilidad y riesgo en salud: ¿dos conceptos concomitantes?". *Novedades en población*, XI (210), pp. 89-96. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rnp/v11n21/rnp070115.pdf>
- Cardona, O. (2003). "The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management" en G. Bankoff, G.

- Frerks, and D. Hilhorst. (Editors). *Mapping vulnerability. Disasters, development and people*. Earthscan Publishers, London. Recuperado de [https://www.academia.edu/23714845/The\\_need\\_for\\_rethinking\\_the\\_concepts\\_of\\_vulnerability\\_and\\_risk\\_from\\_a\\_holistic](https://www.academia.edu/23714845/The_need_for_rethinking_the_concepts_of_vulnerability_and_risk_from_a_holistic)
- Comisión Económica para América Latina CEPAL-ECLAC (2002). *Vulnerabilidad Sociodemográfica: viejos y nuevos riesgos para comunidades, hogares y personas*. LC/R.2086. Brasilia, Brasil. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/13051/S2002632\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/13051/S2002632_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Comisión Nacional del Agua de México-Conagua (2014). *Estadísticas del agua en México*. México, D.F. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación de Colombia-DNP (2007). *Una aproximación a la vulnerabilidad*. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, Colombia. Recuperado de [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Social/boletin34\\_1.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Social/boletin34_1.pdf)
- Foschiatti, A. (2008). “El contexto de vulnerabilidad de los procesos demográficos en El Chaco”. *KAIROS. Revista de Temas Sociales*, 12(21). [En línea]. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/28222298\\_El\\_contexto\\_de\\_vulnerabilidad\\_de\\_los\\_procesos\\_demograficos\\_en\\_El\\_Chaco](https://www.researchgate.net/publication/28222298_El_contexto_de_vulnerabilidad_de_los_procesos_demograficos_en_El_Chaco)
- García-Castro, N., & Villerías-Salinas, S. (2016). “Los niveles de vulnerabilidad social de la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, México”. *Revista Geográfica De América Central*, 1(56), pp. 259-288. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-56.11>
- García, N., y Villerías, S. (2017a). “Niveles de vulnerabilidad social del estado de Guerrero, México”. [En línea]. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 54, pp. 1-14. Recuperado de: <http://158.251.8.152/index.php/revgeo/article/view/13/11>
- García, N., y Villerías, S. (2017b), “Condiciones de vulnerabilidad social en Ixtapa y Zihuatanejo (Guerrero), México.” [En línea]. *Revista Geográfica Venezolana*, 58(2), pp.264-281. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347753793002>
- Gobierno de México (2020a). *Conferencia Presidente*. [Video online] Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=NNwrYRoK-eo>

- Gobierno de México (2020b). Información referente a casos COVID-19 en México. *Datos abiertos de México* [En línea]. Recuperado de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/informacion-referente-a-casos-covid-19-en-mexico>
- Gobierno del Estado de Guerrero (2020a). De los 6 casos sospechosos de Covid-19, cuatro resultaron negativos, uno está pendiente y uno dio positivo, se trata de un ciudadano de origen argentino. *Portal oficial del Gobierno del estado de Guerrero*. 15 de marzo de 2020. [En línea]. Recuperado de: <http://guerrero.gob.mx/2020/03/de-los-6-casos-sospechosos-de-covid-19-cuatro-resultaron-negativos-uno-esta-pendiente-y-uno-dio-positivo-se-trata-de-un-ciudadano-de-origen-argentino/>
- Gobierno del Estado de Guerrero (2020b). Panorama sobre la situación en Guerrero por el COVID-19. *Portal oficial del Gobierno del estado de Guerrero*, 28 de mayo de 2020. [En línea]. Recuperado de: <http://i.guerrero.gob.mx/uploads/2020/05/Corte-por-municipioo-al-28-de-mayo.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México-Inegi (2016). Encuesta Intercensal 2015. Tabulados Guerrero. *Portal del Inegi* [En línea]. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/default.html#Tabulados>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México-Inegi (2019). Marco geoestadístico, septiembre 2019. *Portal del Inegi* [En línea]. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- Organización Mundial de la Salud-OMS (2016). Dengue vaccine: WHO position paper. *Weekly epidemiological record*. 30(91):349-364. Recuperado de: <https://www.who.int/wer/2016/wer9130/en/>
- Organización Mundial de la Salud-OMS (2018). Dengue vaccine: WHO position paper. *Weekly epidemiological record*. 36(93):457-476. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/274315/WER9336.pdf?ua=1>
- Organización Mundial de la Salud-OMS (2020a). *Statement on the second meeting of the International Health Regulations Emergency Committee regarding the outbreak of novel coronavirus (2019-nCoV)*. 30 de enero de 2020. [En línea]. Recuperado de: [https://www.who.int/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-(2019-ncov))

- Organización Mundial de la Salud-OMS (2020b). *WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19*. 11 de marzo de 2020. [En línea]. Recuperado de: <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>
- Organización Mundial de la Salud-OMS (2020c). Dengue y dengue grave. Datos y cifras. *Centro de prensa*, 2 de marzo de 2020. [En línea]. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>
- Organización Mundial de la Salud-OMS (2020d). *Lucha contra el Dengue*. [En línea]. Recuperado de: <https://www.who.int/denguecontrol/es/>
- Organización Mundial de la Salud-OMS (2020e). *Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19)*. [En línea]. Recuperado de: <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>
- Organización Panamericana de la Salud-OPS (2020a). *Control of Aedes aegypti in the scenario of simultaneous transmission of COVID-19. Interim Guidelines. Version 1* [En línea]. Recuperado de: <https://www.paho.org/en/documents/control-aedes-aegypti-scenario-simultaneous-transmission-covid-19>
- Organización Panamericana de la Salud-OPS (2020b). *Recommendations to expand access to hand washing and its proper use*. [En línea]. Recuperado de: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52064/PAHOCDECECOVID19200013\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52064/PAHOCDECECOVID19200013_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Organización Panamericana de la Salud-OPS (n.d.) Casos reportados de Dengue. *Plataforma de Información en Salud para las Américas* (Plisa) [En línea]. Recuperado de: <https://www.paho.org/data/index.php/es/temas/indicadores-dengue/dengue-subnacional/518-mex-egi-casos-es.html>
- Porto, C. (2015). Cartografía de América. *Orogénesis Soluciones Geográficas*. Porlamar, Venezuela. Recuperado de: <https://tapiquen-sig.jim-dofree.com/descargas-gratuitas/am%C3%A9rica/>
- Saavedra, F. (2010), Vulnerabilidad de la Población Frente a Inundaciones e Inestabilidad de Laderas. In Cotler Ávalos, H. (coord.). *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*, pp. 132-137.

- México: Semarnap-INE, Fundación Río Arronte. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/639/vulnerabilidad.pdf>
- Shitangsu, P. (2014). Vulnerability concepts and its application in various fields: a review on geographical perspective. *J. Life Earth Sci.* 8, pp. 63-81. <https://doi.org/10.3329/jles.v8i0.20150>
- Secretaría de Salud de México-SSA (2003). NOM-032-SSA2-2002 para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vector. *Diario Oficial de la Federación*, Lunes 21 de julio de 2003. [En línea]. Recuperado de: <https://dof.vlex.com.mx/vid/epidemiologica-transmitidas-vector-28062311>
- Secretaría de Salud de México-SSA (2015). NOM-032-SSA2-2014 para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vectores. *Diario Oficial de la Federación*, Jueves 16 de abril de 2015. [En línea]. Recuperado de: [http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/vectores/descargas/pdf/NOM\\_032\\_SSA2\\_2014.pdf](http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/vectores/descargas/pdf/NOM_032_SSA2_2014.pdf)
- Secretaría de Salud de México-SSA (2017a). *Manual de procedimientos estandarizados para la vigilancia epidemiológica de las enfermedades transmitidas por vector*. Recuperado de: <https://hospitalcomunitariotarimoro.files.wordpress.com/2017/06/manual-etv-final-final-01082016-conave.pdf>
- Secretaría de Salud de México-SSA (2017b). Panorama Epidemiológico de Dengue, 2016. *Portal del Gobierno de México* [En línea]. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/178952/Pano\\_dengue\\_sem\\_52\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/178952/Pano_dengue_sem_52_2016.pdf)
- Secretaría de Salud de México-SSA (2018). Panorama Epidemiológico de Dengue, 2017. *Portal del Gobierno de México* [En línea]. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/285237/Pano\\_dengue\\_sem\\_52\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/285237/Pano_dengue_sem_52_2017.pdf)
- Secretaría de Salud de México-SSA (2019). Panorama Epidemiológico de Dengue, 2018. *Portal del Gobierno de México* [En línea]. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/478592/Pano\\_dengue\\_sem\\_52\\_2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/478592/Pano_dengue_sem_52_2018.pdf)
- Secretaría de Salud de México-SSA (2020). Panorama Epidemiológico de Dengue, 2019. *Portal del Gobierno de México* [En línea]. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/524262/Pano\\_dengue\\_sem\\_52\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/524262/Pano_dengue_sem_52_2019.pdf)





## A pesca artesanal no baixo rio Araguaia em Araguatins, Tocantins, Brasil

La pesca artesanal en el bajo rio Araguaia en Araguatins,  
Tocantins, Brasil

Artisanal fishing in the low river Araguaia in Araguatins,  
Tocantins, Brazil

*Eliseu Pereira de Brito<sup>1</sup>*

*Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil*

*Matheus Miranda Shimasaki<sup>2</sup>*

*Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil*

### Resumo

Buscamos nesta pesquisa retratar a pesca artesanal no baixo rio Araguaia delimitando uma escala espacial do município de Araguatins no norte do Estado do Tocantins, na Amazônia Legal. Trata-se de um ambiente de floresta amazônica e cerrado nas áreas de transição pertencentes à bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins. Para fazer a pesquisa utilizamos do método de pesquisa exploratória qualitativa com pesquisa de campo. Os resultados apontaram que a modernização do território foi demandada pela introdução técnica-científica na pescaria e no território. Modernizou os objetos da pesca artesanal e, ao mesmo tempo, modificou a forma dos ribeirinhos pescadores lidarem com o rio, introduzindo novos conteúdos na concepção de produção e preservação do ambiente.

**Palavras-chave:** Pesca Artesanal, Modernização, Ribeirinhos, Rio Araguaia, Amazônia Legal.

- 1 Doutor em Geografia. Professor do Curso de Geografia da Universidade Federal do Tocantins, pesquisador do Grupo de Estudos da Amazônia e Tocantins - GEGATO, desenvolve pesquisa sobre territórios ribeirinhos e territórios tradicionais. E-mail: [eliseubrito@uft.edu.br](mailto:eliseubrito@uft.edu.br)  <https://orcid.org/0000-0002-2788-6636>
- 2 Bolsista de Iniciação Científica - UFT. Curso de Geografia da Universidade Federal do Tocantins, pesquisador do Grupo de Estudos da Amazônia e Tocantins, desenvolve pesquisa sobre territórios ribeirinhos. Email: [miranda.shimasaki@mail.uft.edu.br](mailto:miranda.shimasaki@mail.uft.edu.br)  <https://orcid.org/0000-0003-4017-8666>

## Resumen

En este estudio, buscamos retratar la pesca artesanal en el bajo río Araguaia, delimitando una escala espacial del municipio de Araguatins, en el norte del Estado de Tocantins, en la Amazonia Legal. Se trata de un ambiente de selva amazónica y cerrado en las áreas de transición pertenecientes a la cuenca hidrográfica Araguaia-Tocantins. Para realizar el estudio, utilizamos el método de investigación exploratoria cualitativa con estudio de campo. Los resultados señalaron que la modernización del territorio fue demandada por la introducción técnica-científica en la pesca y en el territorio. Modernizó los objetos de la pesca artesanal y, al mismo tiempo, modificó la forma en que los pescadores ribereños lidian con el río, introduciendo nuevos contenidos en la concepción de producción y preservación del ambiente.

**Palabras clave:** Pesca artesanal, Modernización, Ribereños, Río Araguaia, Amazonia Legal.

## Abstract

In this research we seek to portray artisanal fishing in the lower Araguaia River, delimiting a spatial scale of the municipality of Araguatins in the north of the State of Tocantins, in the Legal Amazon. It is an Amazonian and cerrado forest environment in the transition areas belonging to the Araguaia-Tocantins hydrographic basin. To do the research we use the qualitative exploratory research method with field research. The results showed that the modernization of the territory was demanded by the technical-scientific introduction in the fishery and in the territory. It modernized the objects of artisanal fishing and, at the same time, modified the way the riverside fishermen deal with the river, introducing new contents in the conception of production and preservation of the environment.

**Keywords:** Artisanal Fishing, Modernization, Riverside, Araguaia River, Legal Amazon.

## Introdução

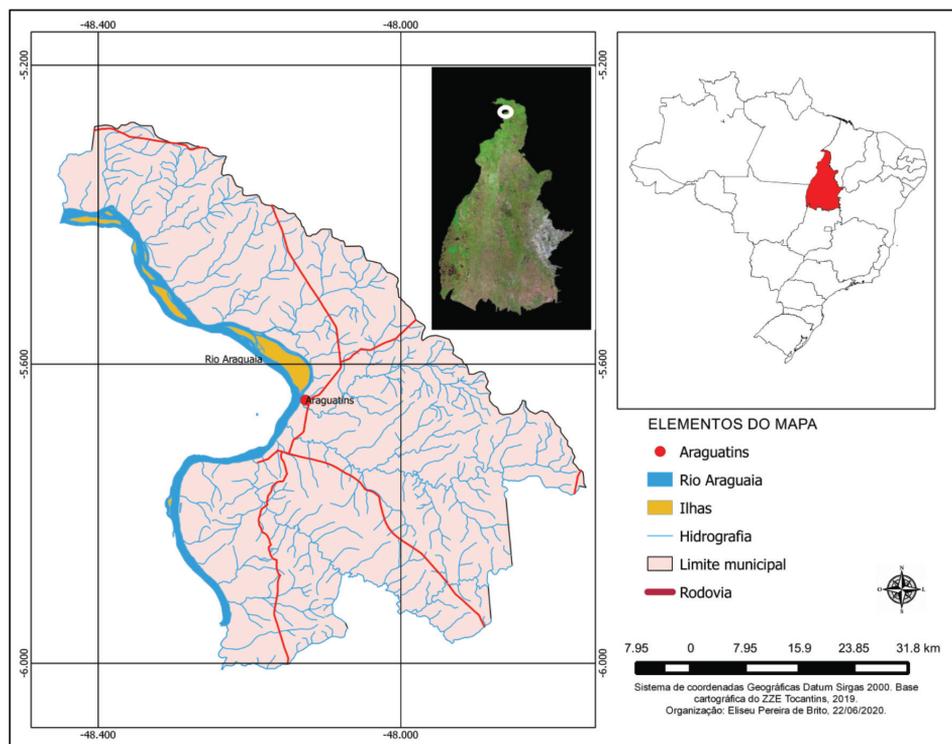
A pesquisa foi desenvolvida no município de Araguatins, na região do Bico do Papagaio, no norte do Estado do Tocantins, Amazônia Legal, Brasil (mapa 01). A formação do município iniciou em 1868; segundo [Azevedo \(1987, p. 202\)](#), “tem 100 casas, muitas d’ellas cobertas de telhas e uma capella muito bonita. [...] Pela lei provincial n. 691 de 9 de Setembro de 1872 foi creado ahi um districto de paz”. O município foi criado no ano de 1913 e batizado inicialmente como município de São Vicente do Araguaya, desmembrado do município de Boa Vista ([Azevedo, 1987](#)). Por força do Decreto Estadual n. 8.305, de 31 de dezembro de 1943 passou a se chamar Araguatins e em 1948 a sede do município, que estava nas margens do rio Tocantins, em Itaguatins, foi transferida para as margens do rio Araguaia, onde atualmente é o sitio da cidade de Araguatins ([Tocantins, 1990](#)).

Importante porto da navegação comercial do rio Araguaia, teve seu crescimento ligado ao transporte de mercadorias e passageiros e a dinâmica produzida pelos ciclos do extrativismo do látex, da castanha-do-pará e

da mineração de cristal e diamante. Sua população, na origem, tinha importante quantitativo de migrantes do Nordeste que se direcionaram para o norte de Goiás na formação da frente pioneira de ocupação que avançava para além das áreas de babaçuais sobre a floresta Amazônica.

As terras do município estão inseridas na área transição do bioma Cerrado e Floresta Amazônica, numa confluência entre biomas, formando um fator biogeográfico de distribuição de espécies animais e vegetais e promovendo o encontro natural entre espécies que possuem esses biomas como *habitat* (A'Sáber, 2003).

**Mapa 1.** O município de Araguatins e sua rede de drenagem



**Organizador:** os autores, jun. 2020.

Para possibilitar a leitura do espaço pesquisado, objetivou-se no estudo a compreensão do território ribeirinhos e pesqueiras do baixo Araguaia e seus modos de vida e trabalho. Para Lira e Chaves (2016, p. 73),

As comunidades ribeirinhas apresentam, ainda, um modo particular de vida em vários aspectos, tais como: uso do território, uso e manejo coletivo dos recursos locais, orientados por seus saberes e em bases comunicativas e cooperativas; no estabelecimento das relações sociais de trabalho, bem como nas relações de compadrio e parentesco.

Há uma gama de formas e práticas ribeirinhas que podem ser identificadas, como as tradições no uso do território e nas evoluções/revoluções históricos que possibilitaram o surgimento das navegações e dos modos de pescas. Há também importância na compreensão de fatores ligados à distribuição das espécies de peixes e seus cardumes pelas regiões hidrográficas do baixo Araguaia, promovendo a análise ligadas à distribuição da ictiofauna e na comercialização do peixe nos mercados peixeiros.

A pesquisa foi possibilitada através de revisões bibliográficas da literatura e pela pesquisa descritiva em campo. O método qualitativo foi construído com fontes primárias, como entrevista e fotografias, além de observações e descrições de paisagem possibilitadas em campo. As fontes secundárias e a organização do texto foram trilhadas de acordo com as leituras e o levantamento bibliográfico sobre a temática ribeirinha e o uso do território ribeirinho no baixo Araguaia.

### **Embarcações no Araguaia**

A navegação foi o modelo de transportes que pendurou até meados do século XX, nesta borda da Amazônia Legal e o rio Araguaia, a única rota possível de mobilidade regional no sudeste da Amazônia Oriental (Brito, 2009). Os barcos tornaram-se ferramentas necessárias de transportes e sobrevivências, impulsionando a produção de canoas em Araguatins.

De acordo com Silva e Farias (2017), em torno de 19 espécies de árvores eram utilizadas para a construção de embarcações de madeira, dentre as três mais usadas para fazer as tábuas estão o landi (*Calophyllum brasiliense Cambess*), castanheira (*Bertholletia excelsa*) e o tamboril (*Enterolobium maximum Ducke*); e havia outras muito utilizadas como o pequizeiro (*Caryocar brasiliense*), devido à resistência ao cupim. Mas, até meados do século XX, com a derrubada da floresta para extração de madeira nobre como o mogno (*Swietenia macrophylla*) houve a construção de lanchas nobres com a espécie. Ter um barco de mogno era objeto de luxo devido o fino acabamento:

A coloração vai desde o marrom avermelhado e marrom amarelado até ao vermelho escuro. O brilho natural confere à madeira beleza muito especial. É preferido para fabricação de canoas e embarcações [...]. Constitui uma das melhores e mais valiosas madeiras de todo o mundo, sendo por isso aplicada em decorações de interiores de requinte, para a marcenaria de arte e de mobiliário (Batista, 2005, p. 14).

O uso do mogno na cidade também é encontrado em construções como no hotel que se encontra na orla de Araguatins, todo construído com esta madeira. Ter uma embarcação de mogno representava poder aquisitivo alto, dado o preço que o mercado oferecia para aquisição desta madeira. Ainda no presente é possível ver algumas tábuas e vigas de mogno de embarcação nos estaleiros.

Os estaleiros tornaram-se os grandes produtores de barcos que suprimam a necessidade de produção de embarcações regionais e ligeiramente contribuíram para o aumento do fluxo de embarcação no rio Araguaia e seus afluentes. A maioria dos estaleiros se localizavam à margem esquerda do porto araguatinsense, em uma área de confluência entre os rios Taquari e Araguaia (figura 1). O rio Taquari, por sua vez, também possui características aptas para a navegação de pequeno porte e serviu, por longo tempo, como caminho ribeirinho e de exportação da madeira.

**Figura 1.** Estaleiros situados na confluência dos rios Taquari e Araguaia.



**Foto:** Os autores, fev. 2020.

De acordo com [Silva e Farias \(2017\)](#), há no rio Araguaia 2.027 barcos em circulação. Destes,

Os materiais básicos para a construção de embarcações para a região do Araguaia foram de quatro tipos, a saber: madeira, alumínio, aço e fibra de vidro. Consoante às embarcações de madeira estas podem ser confeccionadas a partir de tábuas de madeira ou construídas a partir de um único bloco/tronco de madeira (localmente chamadas de ‘côcho’). (Silva & Farias, 2017, p. 84)

Ainda conforme os autores supracitados, do quantitativo da frota ativa no rio Araguaia, o município que mais possui barcos é Araguatins, contabilizado em 500 barcos que transportam entre 1 a 5 pescadores por operação de captura dos peixes no rio Araguaia. Conforme levantamento de dados em campo, a maioria dos barcos são de madeira e servem para o transporte dos ribeirinhos, para o trabalho na pesca e atende ao fluxo de turistas no período de temporada de praia de águas doces que acontece nos meses de junho e julho.

### **A pesca no rio Araguaia**

A pesca no rio Araguaia sempre foi artesanal, realizada em embarcações, movidas pelo remo, ou das margens do rio Araguaia. Os barcos motorizados movidos a diesel ou a gasolina eram extremamente raros para os pescadores de profissão até os anos 2000. O território pesqueiro, dessa maneira, era restrito às regiões próximas ao porto araguatinense, produzindo pescarias rápidas e objetivas. Ao se direcionar ao rio, o pescador possuía, de certa forma, um cronograma, tendo em foco uma espécie ou cardume, e uma meta de quilogramas de pescado necessários para suprir suas necessidades e vendas, a fim de não acarretar desperdícios do pescado. Para cumprir com suas metas de entrega do pescado, utilizava de armadilhas, redes, iscas e suprimentos, e técnicas e saberes da pesca, todos bem calculados, para garantir o sucesso da pescaria.

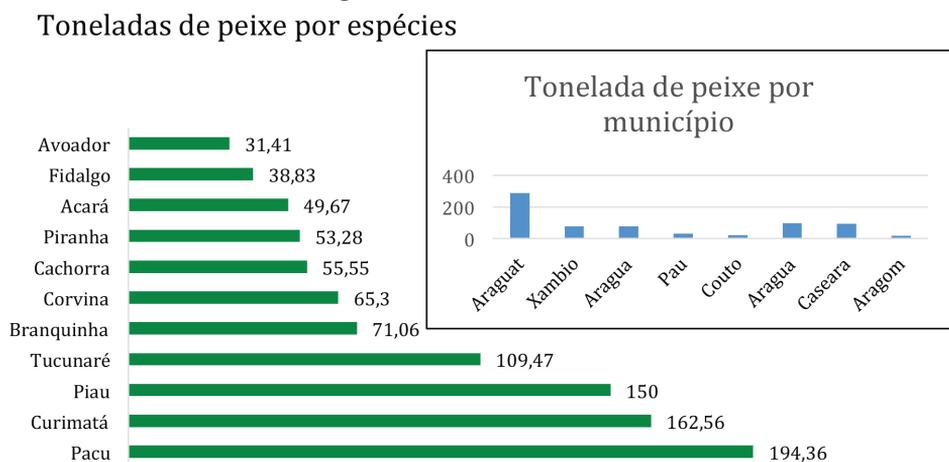
Para atender o mercado de venda do pescado eles focam em espécies de maior procura comercial, como exemplo os peixes de couro e peixes considerados de carne e sabor nobre.

Silva, Ummus e Tardivo (2017) identificaram 11 espécies de peixes mais capturados no rio Araguaia que totalizam 25% das espécies e 80% do volume de pescados (Figura 2). Estas espécies possuem nomes diferentes, ditos como populares como o pacu, denominado na região de acordo com

sua morfologia e apelidada de pacu manteiga, pacu dente seco, pacu São Pedro, pacu vermelha, pacu lombo de folha e pacu preto.

Cada espécie de pacu, de acordo com os pescadores, tem seu valor e isso é decorrente ao sabor do peixe. Os três peixes mais pescados no rio Araguaia são “(pacu, curimatá e piau) são de base de cadeia trófica e de hábito forrageiro, pertencentes à ordem Characiformes” (Silva, Ummus & Tardivo, 2017, p. 18).

**Figura 2.** Produção de peixes por espécies e por municípios ao longo do rio Araguaia no Estado do Tocantins.



**Fonte:** Brasil, 2006; Silva & Farias, 2017. Os dados por município constam no Censo Estrutural da Pesca e as informações por pescado em dados produzidos pela EMBRAPA.

Em Araguaatins a produção média de pescado por mês no município é de 500kg de peixe sendo 0,6kg por pescador. O município possui a maior extensão de terras banhada pelo rio Araguaia do norte do Estado do Tocantins, totalizando 98km de área pesqueira e contabiliza mais de 1.100 pescadores cadastrados. Vale ressaltar que nem todos pescadores cadastrados tem a pesca como ofício de trabalho o que identificamos três grupos de pescadores: os pescadores artesanais que sobrevivem da pesca; os pescadores amadores que pescam por esporte; e os pescadores que exercem outras atividades e que pescam ocasionalmente.

### Figura 3. Espécies de peixes e formas de capturas do pescado no rio Araguaia



**Fotos:** Os autores, agosto de 2019. Os pescadores do rio Araguaia se aperfeiçoaram na captura de determinadas espécies de peixe. Na primeira imagem um pescador que utiliza cevas e captura duas espécies: a Pacu Manteiga e o Piau Flamengo. Na segundo foto, a pescaria é feita de forma aleatória e por rede. Três espécies de peixe são identificadas: o Pirara, peixe de couro muito temido devido a sua braveza nas águas, o Cari e o Cará. Estas espécies não são cevadas e os pescadores utilizam seu conhecimento do rio para a captura das mesmas.

O país foi dividido em 04 regiões de pesca: Continental Amazônica, Continental Nordeste Centro-Sul, Marinha Norte-Nordeste e Marinha Sudeste-Sul (Brasil, 2020). A bacia do Araguaia-Tocantins faz parte da região Continental Amazônica, a principal bacia de pescado de águas doces do Brasil. O rio Tocantins desagua no rio Pará e este se conecta ao rio Amazonas por meio do furo de Breves (A'Sáber, 2003).

Devido a não correnteza das águas de um furo, não há tributação entre os dois rios; para tanto, as duas bacias são independentes, mas a ictiofauna circula de um rio para outro. As interrupções da mobilidade da ictiofauna acontecem devido às obras inacabadas de construção de eclusas do rio Tocantins, reclamada pelos pescadores que notaram uma redução das espécies e da quantidade de peixes no rio Araguaia ainda em meados da década de 1980 com a construção da UHE Tucuruí, conforme relatos de campo com os ribeirinhos.

Os métodos mais utilizados para a obtenção dos pescados são o uso de anzol e redes. De acordo com Dias e Silva (2017, p. 1154), as redes de

emalhe tecida em poliamida são as mais utilizadas nas pescarias na forma de espera, caceia e tarrafas.

Na ‘espera’ o petrecho fica estacionado em locais estratégicos a espera da espécie-alvo, enquanto na ‘caceia’ a rede fica à deriva na correnteza junto com o barco e vai de encontro dos cardumes previamente identificados. As ‘tarrafas’ são mais utilizadas em áreas mais rasas, próximo às margens.

Há fatores como a dinâmica das correntezas dos rios e as fases da lua que determinam o uso das redes pelos pescadores. Trata-se de conhecimentos e saberes adquiridos por gerações de famílias de pescadores sobre o rio Araguaia.

Para Brito (2018), os ambientes de pesca determinam uma rede de lugares e itinerários no rio Araguaia, fator de construção de territórios. Para Ummus, Silva e Paz (2018, p. s.n), foram identificados 18 ambientes conhecidos pelos pescadores, “remanso, canal do rio/purão/correnteza, pedral, gorgulho, margem, beiradão, pé de moita/galhada, lago e ilha, resaca, camboa/furo, travessão/cachoeira/corredeira e praia, varjão, vareda, rebojo, razio, mata e barranco”.

Estes ambientes ou apenas as cevas, lugares em que coloca o alimento para os peixes, são lugares estudados cautelosamente pelo pescador e há um consenso social entre eles para não invadir as cevas de outros.

Os pescadores buscam conhecer o fluxo de cardumes que percorrem o território, estudando desde os hábitos alimentares da espécie, como frutos que caem de determinada vegetação, por exemplo a azedinha, também chamada na região de *camucamu* ou araçá-d’água (*Myrciaria dubia*; *Myrtaceae*), ou até mesmo o volume e temperatura da água daquele determinado local, sabendo eles que existem padrões de aceitação das espécies pelas condições da água, corrente ou de rebojo calmo, temperaturas mais frias ou mais quentes. Até mesmo as fases da lua e a superstições ribeirinhas, segundo os pescadores do baixo Araguaia, determinam o sucesso ou insucesso da pescaria.

Este fator remete a um cenário de alta predação de espécies, o que contribuiu para o desequilíbrio do fluxo natural dos cardumes, agravados pelo desequilíbrio ambiental gerado pelo intenso processo agrícola, urbano e minerador sediado às margens do rio Araguaia, possibilitando o desaparecimento de cardumes dos territórios próximos ao porto de Araguatins.

Desta maneira, a distribuição das espécies e cardumes sofrem suas primeiras alterações graças à presença do homem em seu espaço e *habitat*. A contaminação do rio Araguaia e de seus afluentes através de aditivos agrícolas, como agrotóxicos e fertilizantes, a contaminação dos solos através de manejos inapropriados, o despejo do esgoto doméstico e industrial diretamente nos cursos d'água no rio Araguaia (Moss & Moss, 2007, p. 74), todos esses fatores geram impactos ambientais, contribuindo para o desequilíbrio e a expulsão de determinadas espécies das proximidades urbanas.

O condicionamento que ainda possibilitava o equilíbrio entre a pesca e o pescado, estava relacionado ao arsenal limitado do pescador, que possuía apenas a canoa a remo, as redes. O sal e o sol para a secagem do peixe eram os únicos elementos utilizados para a conservação do pescado.

Os mercados, a oportunidade mais legítima de vendas, eram realizados aos domingos na feira municipal. O pescador se tornava também um comerciante buscando a venda de seu pescado. Semanalmente o peixe também poderia ser vendido logo ao aportar de suas canoas no porto, ou vendidos de porta em porta, pelas ruas da cidade, entrelaçados em uma espécie de trançada de cipós.

### **A modernização da pesca no baixo Araguaia, motores de popa e o surgimento da geleira municipal**

Para Castilho (2014), as modernizações territoriais são processo de expansão do capitalismo nos lugares. O autor fundamenta sua análise pelo processo de produção e no debate que estradas e eletricidade são elementos de uma modernização pois alteram as dinâmicas territoriais. Afirmamos que, para além da modernização vista em objeto, ela está na forma como os sujeitos passam a lidar com os processos e os utilizam no território.

Ao fazermos um contraponto com a pesca, em Araguatins houve uma modernização territorial ou mesmo uma dinâmica no tempo de uso e de permanência no rio devido a fatores tecnológicos como o barco motorizado e a disponibilidade de gelo; ao mesmo tempo, novos conteúdos técnicos e científicos incorporados em traíás de pesca e mercados de venda do pescado. As contribuições ditas até mesmo “revolucionárias” para a pesca, e para o pescador araguatinense, estão relacionadas ao surgimento de motores de popa, movidos por combustíveis acessíveis e baratos como o óleo diesel e a gasolina. Para Silva e Farias (2017, p. 86),

As embarcações do rio Araguaia utilizam propulsão manual com o auxílio de remo e “zinga”, sendo esta última constituída por uma vara de madeira com boa resistência e tamanho suficiente para navegar nas margens do rio, deslocando a embarcação quando o pescador empurra a zinga em contato com o leito do rio. Adicionalmente, constatou-se também as embarcações munidas com propulsão mecânica (motor de “rabetas” e popa), sendo a maioria detentora de motores tipo rabetas. A escolha por embarcações com motor de rabeta deve-se ao seu menor custo de aquisição e manutenção. A potência encontrada nos motores de rabeta utilizados nas embarcações de tábuas variou de 5 a 9 HP. Já as embarcações de alumínio podem utilizar tanto os motores de rabeta (3 a 15 HP) quanto de popa (15 a 25 HP), sendo estes últimos predominantes. (Silva & Farias, 2017. p. 86).

Há de se frisar que a modernização não é homogeneizadora; antes produz desigualdades vistas nas próprias embarcações, em que as movidas pelo remo convivem com barcos motorizados e lanchas na navegação no rio Araguaia. Não que esta desigualdade seja algo do tempo presente, pois os barcos de mogno já ditavam o poder aquisitivo entre os barqueiros há décadas.

Outro fator ponderador no processo trata-se dos saberes de navegação pelo rio. Há barqueiros que se direcionam para a cachoeira de Santa Isabel, a maior do rio Araguaia, com barco pequeno de madeira, outros, mesmo com motores potentes não conseguem passar pelos 10km das corredeiras e cachoeiras lapidadas em rochas metamórficas.

Os motores industriais possuem, entre suas vantagens, a adaptação e instalação em canoas e rabetas produzidas em estaleiros locais, possibilitando aos pescadores uma extensão maior no rio com ampliação do território de pesca e o encurtamento do tempo de suas viagens. Isso não substitui a forma de vida do ribeirinho pescador, que ainda tem o costume de acampar dias ou semana nas margens do rio em pescaria em grupo ou individual (figura 4).

**Figura 4.** Acampamento de pescadores ribeirinhos nas margens do rio Araguaia.



**Foto:** Os autores, jun. 2020. No período das estiagens que vai de maio a outubro, os pescadores montam acampamentos as margens do rio Araguaia e costumam passar de terça-feira a sexta-feira acampado pescando.

Os acampamentos foram elementos que, na pesquisa, identificamos como de permanência dos territórios. Mesmo com o barco a motor produzindo novas mobilidades e alterando o tempo de permanência no rio Araguaia, o pescador ainda preserva as tradições de acampar. As cevas constituem lugares de posse no rio vigiada pelo pescador que mantém próxima ao seu acampamento. Mas, conforme o peixe a ser coletado, o pescador construiu itinerários pelo rio, pelos saberes de gerações das águas frias, quentes e do deslocar dos cardumes pelo rio. Estas redes de lugares e itinerários é que denominamos de territórios ribeirinhos, fundamentados na teoria de [Bonnemaison \(1987\)](#). Para o autor, o território é uma rede de lugares e itinerários interconectados.

Outro elemento merecedor de destaque é a instalação de uma fábrica de gelo, batizada como Geleira Municipal, logisticamente acessível, localizada aproximadamente a 40 metros do Cais do Porto e 250 metros da feira municipal, popularmente conhecida como Feira Coberta. Ela é responsável pela produção e venda de gelo para os pescadores. A partir do momento em que o gelo é comprado e armazenado corretamente pelo pescador, o período de validade da pesca é ampliado.

O pescador possui um tempo maior para desenvolver suas técnicas e práticas de pesca, pelo fato do gelo ser naturalmente um elemento com propriedades de conservação de alimentos. O processo de modernização da pesca está diretamente ligado à implantação das estações de energia elétrica na região, que possibilitaram, além da fabricação do gelo na Geleira, o sustento dos *freezers* em domicílios, conservando o pescado por períodos mais longos no conforto de seus lares.

A lógica da comercialização do peixe também foi alterada. Antes muito mais utilizado seco para conservar, hoje muito mais vendido fresco, atendendo o novo perfil de consumidores do pescado. A Geleira que fornece o gelo também é um mercado de compra e venda de pescado (figura 5).

Os mesmos pescadores que anteriormente compraram o gelo, posteriormente tem a opção de comercializarem seu pescado para atravessadores na Geleira. Este fator só é interrompido no período da piracema em que fica vedado o transporte, a comercialização, o beneficiamento e a industrialização de espécimes provenientes da pesca. (Tocantins, 2019). Neste período o peixe é comprado de fazenda de criatórios de peixe do município.

**Figura 5.** Geleira Municipal organizada pela Colônia de Pescadores.



**Foto:** os autores, dez. 2019. A geleira tem capacidade para produção de uma tonelada de gelo por dia. A produção atende principalmente os pescadores para a conserva do pescado.

Esta mescla de fatores possibilitaram ao pescador novos nortes com a introdução de novas tecnologias, acompanhadas pelos aprendizados e técnicas repassadas por gerações que construíram um modelo de pesca mais objetiva e com níveis predatórios mais elevados. O moderno possibilitou novos territórios de pesca, novas instalações de armazenamento do pescado, além de possibilitar maiores níveis de escoamento dos produtos do rio, assim como acelerou o crescimento do tráfego fluvial de embarcações, graças à velocidade e precisão de embarcações modernas (figura 6).

**Figura 6.** Embarcações aportadas às margens do rio Araguaia.



**Foto:** os autores, jul. 2019.

Desta forma, os números de cardumes foram drasticamente reduzidos; o pescado, antes concentrado em peixes tidos como nobres, foi sucumbido; espécies tidas como de sabor inferior começaram a serem predadas igualmente a espécies de peixes mais valorizados no passado, provocando um novo desequilíbrio geográfico na ictiofauna do rio Araguaia.

Os relatos das comunidades pesqueiras remetem aos caminhos realizados pelos cardumes para fugir da predação humana. Cardumes antes encontrados em um raio de 5 quilômetros do Cais do porto araguatinense, hoje se encontram em águas turbulentas e profundas, até mesmo turvas,

áreas de características mais rochosas, como os paredões de rochas e afloramentos rochosos, conhecidos popularmente como cachoeiras.

Dentre estas localidades é citável: Cachoeira do São Bento, Jacaré Grande, Santa Rosa, Travessão, Rebojo, Nego Velho etc. Espécies não tão adaptáveis a estas condições físicas da água continuam a se propagar em áreas mais distantes, próximas a ilhas, como o caso dos cardumes de pacu e corvina que buscam hoje, entre seus locais, uma ilha, conhecida popularmente como Praia da Melancia, para se refugiarem.

Em uma escala de reprodução das espécies, as pouco ou nulamente predadas pelo homem possuem uma vantagem reprodutiva, provocando, de tal maneira, um ciclo vicioso que possibilita um futuro cenário de desequilíbrio entres espécies.

### **A organização social dos pescadores araguanenses e a piracema**

Durante décadas as famílias araguanenses mantiveram seu sustento em atividades economicamente facilitadas pelo rio Araguaia. Esta sobrevivência remete a uma cadeia ampla de produção, onde o peso econômico do sustento familiar era diversificado pelo rio e suas possibilidades lucrativas ou apenas de subsistência.

A pesca sempre manteve sua importância para a região, porém outras atividades econômicas, como o extrativismo do Mogno e da Castanha do Pará, o transporte e a venda de recursos extrativistas regionais, cupuaçu, açaí, babaçu, bacuri etc., mantiveram a diversificação das atividades familiares.

No que tange às repartições de tarefas por gênero, os homens trabalhavam com a pesca artesanal, no transporte de madeira retirada das matas locais, na retirada de sedimentos como argila das margens do rio para abastecer as olarias e na atividade pecuária. As produções agrícolas de vazantes ou roças de vazantes, em culturas anuais como a mandioca, também eram atividades praticadas pelo homem e, em se tratando desta cultura, a mandioca é uma das bases da alimentação ribeirinha, tanto na farinha de mandioca como no polvilho e na própria mandioca cozida.

Já as mulheres possuem funções de beneficiamento dos produtos obtidos pelo seu grupo familiar, exercem a função de lavadeiras de roupas no rio, a função de quebradeiras do coco babaçu, descascadoras de mandioca e de dona de lar. Consequentemente, produz desde o sabão ao azeite do coco babaçu, produtos utilizados diariamente no modo de vida ribeirinho (figura 7).

**Figura 7.** Produtos artesanais de fabricação feminina no município de Araguatins.



**Foto:** Os autores, fev. 2020. Na foto temos o azeite do babaçu, sabão de coco do babaçu e farinha de mandioca. Estes produtos em 90% de seu preparo são fabricados pelas mulheres.

trocas de mercadorias como o açúcar, sal etc. (Brito & Almeida, 2017).

Segundo Silva e Farias (2017, p. 84), “Tanto o homem quanto a mulher desempenham funções ativas nas pescarias, realizando tanto a captura quanto os afazeres complementares (tratamento do pescado, cozinhar, limpar a embarcação, montar acampamento, etc.)”.

Os pescadores estão organizados em associação denominada de Z-1 (figura 8). A geleira e a organização social dos pescadores são de responsabilidade legal da Colônia de Pescadores de Araguatins, órgão responsável pelo cadastramento dos pescadores para credenciamento e auxílio emergencial para pescadores (Medida Provisória, nº 908/2019) no período da piracema.

Durante o período da piracema, época de reprodução das espécies que corresponde anualmente aos meses de novembro ao derradeiro dia do mês de fevereiro em todo território tocantinense, a atividade pesqueira é

O uso dos derivados do coco babaçu pelas mulheres ribeirinhas é uma tradição regional já descrita pelos navegantes (Gomes, 1862). De acordo com Valverde (1985), a economia do extrativismo do babaçu ditava a dinâmica nos fluxos de mercadorias exportadas. Havia uma organização em cooperativas e associações de quebradeiras de coco que vendiam para o mercado de Belém, sendo uma das rotas da exportação os rios Araguaia e Tocantins.

Então, para além dos usos domésticos em azeite e sabão, houve uma economia de exportação do babaçu na região que funcionou no mesmo sistema de aviamento da borracha e da castanha (Brito & Silva, 2020). As vendas (uma mercearia) intermediavam a compra do coco e fazia uma negociação por

permitida apenas em ocasiões remetentes a subsistência familiar, conforme a legislação do Instituto Natureza do Tocantins, 2019,

Art. 1º Fixar o período de defeso da Piracema entre 1º de novembro de 2019 e 29 de fevereiro de 2020 e proibir, neste período, o exercício da pesca em todas as suas modalidades, nos rios, lagos ou qualquer outro curso hídrico existente no Estado do Tocantins, inclusive a promoção de campeonatos ou torneios de pesca, sem prejuízo do disposto na Instrução Normativa - IN nº 24, de 04 de julho de 2005, do Ministério do Meio Ambiente - MMA. (Tocantins, 2019, p. s.n).

**Foto 8.** Colônia de Pescadores de Araguaatins – Z1.



**Foto:** os autores, mar. 2020. Ao longo do rio Araguaia no Estado do Tocantins, existem mais de 10 colônias de pescadores com sedes nas cidades ou em povoados as margens do rio. No Estado do Tocantins são 37 colônias de pescadores com mais de 7 mil pescadores registrados de acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Produtos retirados do rio neste período em nenhuma hipótese podem ser comercializados, nem pescados com o uso de redes, tarrafas, arpões, zagaias e demais armadilhas como o regionalmente conhecido espinhel. O espinhel trata de uma armadilha cruel e altamente predatória, sem filtros de espécies e tamanhos, sendo responsável por mortes de animais não comerciais e não consumíveis para alimentação humana,

como os botos de diferentes espécies, segundo relatado por pescadores araguatinenses, até mesmo a presença do Boto-Rosa na região do baixo Araguaia, em Araguatins.

Os únicos instrumentos legais disponíveis para a pesca são as linhas de mão, caniços, anzóis, castores, também conhecidos como encastoador, e chumbadas; a união destes instrumentos formam o *kit* de pesca mais simples e menos predatório possível, inviável para a pesca comercial. Segundo o Instituto Natureza do Tocantins,

II - A pesca de subsistência praticada por ribeirinhos, assim considerada aquela exercida por pescador artesanal ou população ribeirinha com finalidade de consumo doméstico ou escambo sem fins lucrativos, desembarcado ou em barco a remo, utilizando exclusivamente apetrechos do tipo caniço simples, linha de mão e anzol, sendo vedada a comercialização e o transporte do pescado. (Tocantins, 2019, p. s.n).

Atualmente, a pesca do pirarucu é proibida plenamente em todo o Estado do Tocantins. A legislação que assegura medidas preventivas como a piracema e a fiscalização dos instrumentos legalmente permitidos para a pesca serve para rebater os índices desenfreados da atividade pesqueira moderna, combatendo os altos números sintetizados pela predação humana.

No período da piracema muitos pescadores dedicam-se à plantação de lavouras e ou trabalham na construção civil na cidade. As roças fora das margens do rio sempre são praticadas nos fundos dos quintais, uma vez que as terras de vazantes serão/estão inundadas pela cheia de verão do clima tropical no Tocantins.

### **Considerações finais**

Os saberes ribeirinhos possibilitam aos sujeitos pescadores uma garantia de sobrevivência do rio. Estes sujeitos se sentem o rio e são eles que mantêm uma relação de interdependência. Ao mesmo tempo que dependem do rio Araguaia para sua sobrevivência, este necessita deles para sua preservação. Os pescadores artesanais são homens e mulheres que tem consciência da importância da manutenção das espécies.

A lógica do tempo inserida na modernização do território, que altera também a forma de lidar com rio, tem conteúdo de introdução de novas técnicas, mas também tem conteúdo difundido no sentido da preservação

das águas e de sua ictiofauna. Esses conhecimentos surtem efeito a partir do momento em que os pescadores incorporam nos seus saberes e potencializam a pesca com racionalidade. Nem sempre isso se faz de forma harmônica; na maioria dos casos se impõem pelo conflito advindo do próprio processo de modernização gerador de desigualdades.

O principal município produtor de pescado no Tocantins tem a melhor área de produção, espacialmente distribuída entre corredeiras e canais rasos e profundos. Os saberes centenários da pesca no rio Araguaia dão *expertise* ao pescador para conhecer os lugares e itinerários de pesca. Sobre estes constroem cevas e caminhos dos cardumes, bases de reconhecimento de seus territórios. Podemos afirmar, então, que o rio é demarcado por poses imaginárias, já que trata de um espaço público da Marinha do Brasil. São as redes de lugares de cevas e pesca e seus itinerários de saberes sobre o rio que reconhecemos como seus territórios.

Estes territórios passam por novos conteúdos de usos e isso se dá pela dinâmica dos tempos de permanência no rio produzido pela disponibilidade de mais rápida locomoção dos barcos motorizados e nas disponibilidades dos gelos para conservação do pescado. Ao mesmo tempo em que altera o tempo cria também desigualdades territoriais pela dinâmica da acessibilidade de todos ao processo de modernização.

## Referencias

- A'Sáber, A. N. (2003). Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo, Brasil: Ateliê, p.159.
- Azevedo, F. F. S. (1987). *Anuario histórico, geográfico e descritivo do Estado de Goyaz para 1910*. Brasília, Brasil: Ministério da Cultura, p.240.
- Batista, T. F. C. (2005). *Resistência induzida ao mogno brasileiro (Swietenia macrophylla King) por meliáceas resistentes no controle da broca (Hypsipyla grandella Zeller, 1848) em consórcio e em sistema agroflorestal* (Doctoral dissertation, UFRA). Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/781/1/Resist%C3%Aancia%20induzida%20ao%20mogno%20brasileiro.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2020.
- Bonnemaison, J. (1987). *Les fondements géographiques d'une identité. L'archipel du Vanuatu*. Paris, França, pp.199-205.

- Brasil, Ministério da Agricultura (2020). *Região pesca*. Disponível em: <https://spark.adobe.com/page/Cza9NBk3AbHni/>. Acesso em: 09 jun. 2020.
- Brasil, Ministério da Integração Nacional (2006). *RELATÓRIO DO CENSO ESTRUTURAL DA PESCA DE ÁGUAS CONTINENTAIS NA REGIÃO NORTE*. Belém-PA.
- Brito, E. P. (2009). *O papel de Palmas na rede de integração regional. Dissertação de mestrado*. UFGD, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.
- Brito, E. P., & Almeida, M. G. (2017). Sentido e organização do trabalho das quebradeiras de coco no Bico do Papagaio, Tocantins. *Geosul*, 32(63), pp. 229-249. Acesso em: 09 jun. 2020.
- Brito, E. P. (2018). SOBRE OS RIBEIRINHOS TOCANTINENSES: história e resistências. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, 4(14), pp. 33-48. <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.v4n14p33-48>
- Brito, E. P., & Silva, S. S. (2020). Por entre os castanhais: sujeitos e lugares no povoado fortaleza em São Geraldo do Araguaia, Pará. *Caminhos de Geografia*, 21(73), pp. 415-428. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/49450>. Acesso em: 09 jun. 2020.
- Castilho, D. (2014). *Modernização territorial e redes técnicas em Goiás*. (Tese de doutorado). UFG, Goiânia, Brasil.
- Dias, CRG e Silva, AP. (2017). *Uma rede de pesca artesanal no Rio Araguaia, Tocantins, Brasil*. Em Embrapa Pesca e Aquicultura - Artigo em Anais de Congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA, 20., 2017, Florianópolis. Tecnologia e inovação para pesca e aquicultura: anais. Florianópolis: FAEP-BR, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164542/1/CNPASA-2017-conbep.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2020.
- Gomes, V. F. (1862). Da cidade da Palma em Goyaz à cidade de Belém no Pará pelo rio Tocantins e breve noticia do norte da Província de Goyaz. *Revista Trimestral do Instituto Histórico Geographico e Et-nográfico do Brasil*, 25, pp.485-513.

- Lira, T. M., & Chaves, M. D. P. S. R. (2016). Comunidades ribeirinhas na Amazônia: organização sociocultural e política. *Interações (Campo Grande)*, 17(1). Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/inter/v17n1/1518-7012-inter-17-01-0066.pdf>. Acesso em: 25 abril. 2020.
- Moss, G. & Moss, M. (2007). *Relatório Projeto Brasil das Águas*. Sete Rios, São Paulo.
- Silva, A. P., Ummus, M., & Tardivo, T. (2017). *Produção e sazonalidade das principais espécies capturadas pela pesca artesanal no rio Araguaia/TO*. Embrapa Pesca e Aquicultura-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165181/1/CNPASA-2017-bpd20.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2020.
- Silva, A. P., & de Farias, E. G. G. (2017). Caracterização participativa da frota pesqueira do Rio Araguaia–Tocantins, Brasil. *Magistra*, 29(1), pp. 80-90. Acesso em: 09 jun. 2020.
- Tocantins (1990). *Diagnóstico sócio-econômico-administrativo*. Palmas, Tocantins, Brasil.
- Tocantins (NATURATINS). (2019). *Portaria NATURATINS nº 270 DE 21/10/2019*. 2019. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=383849>. Acesso em: 21 maio. 2020.
- Ummus, M., Silva, A. P., & Paz, L. D. S. (2018). *Mapeamento participativo das rotas de pesca na margem tocantinense do rio Araguaia*. In Embrapa Pesca e Aquicultura-Artigo em anais de congresso (Alice). In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, 19. 2018, João Pessoa. Pensar e fazer a geografia brasileira no século XXI: escalas, conflitos socioespaciais e crise estrutural na nova geopolítica mundial: anais eletrônicos. São Paulo: AGB, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/191520/1/CNPAF-2018-eng.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2020.
- Valverde, O. (1985). *Estudos de Geografia Agrária brasileira. Petrópolis*, Rio de Janeiro, Brasil: Vozes, p.268.





## Factores generadores de la disminución del turismo y afectaciones posteriores, zona costera Acapulco, México

Factors causing a decrease in tourism in the Acapulco coastal zone, Mexico, and subsequent effects.

*Oscar Daniel Rivera-González<sup>1</sup>*

*Universidad Nacional Autónoma de México, México*

### Resumen

El siguiente artículo de investigación analiza la disminución del turismo nacional e internacional a lo largo de la zona Costera de Acapulco, originándose adversidades para los pobladores que sostienen su economía con base en dicha actividad y en la derrama económica del mismo. Actualmente con base en la teoría y empiria de la investigación existe una disminución considerable del turismo el cual que va en aumento, dicha información es ratificada y cuantificada con base en entrevistas formales a los habitantes y turistas, puntualizando que el crecimiento urbano desmedido y no regulado en las primeras fases del mismo es uno de los desencadenantes de dicha problemática, lo cual da como resultado aumento de basura, contaminación, inseguridad, violencia y diversas causas que se mencionan a lo largo del artículo. La inacción e indiferencia en mayor parte del Gobierno Municipal de Acapulco y del Estatal de Guerrero, mismos que incentivan las problemáticas antes mencionadas, por lo anterior se proponen medidas urgentes a dicha disminución en el puerto de Acapulco, aplicarse de manera urgente y eficaz siempre tomando en cuenta a la población ya que de lo contrario será muy probablemente en un futuro cercano un puerto olvidado y poco visitado.

**Palabras clave:** Disminución, turismo, afectaciones, habitantes, contaminación, violencia.

1 Licenciado en Geografía. Universidad Nacional autónoma de México (UNAM). Especialista en Economía Ambiental y Ecológica UNAM. Maestro en Urbanismo UNAM. Estudiante 5to semestre y Candidato a Doctor en Urbanismo. UNAM. Correo electrónico: [oscardanielyboy@hotmail.com](mailto:oscardanielyboy@hotmail.com).  <https://orcid.org/0000-0002-7698-7433>

### **Abstract**

The following article analyzes the decrease in national and international tourism along the Acapulco coastal zone, causing adversities for inhabitants who sustain their economy on said activity and its economic contribution. Currently, based on theoretical and empirical research, a considerable decrease in tourism activity has been evidenced. This finding is ratified and quantified based on formal interviews with residents and tourists that point to excessive and unregulated early-stage urban growth as one triggering causative factor as it increases the generation of municipal solid waste, pollution, insecurity, violence and many other negative consequences mentioned throughout the article. The inaction and indifference of the authorities, mainly that of the Municipal Government of Acapulco and the Government of the State of Guerrero, encourage the progression of the aforementioned damaging issues. In view of the above, urgent measures are proposed to counter the deceleration of tourism in the port of Acapulco, which are to be applied urgently and effectively, with main consideration of the population, since otherwise it will become a forgotten and scantily visited port in the near future.

**Keywords:** Decrease; Tourism; Affectations; Inhabitants; Pollution; Violence.

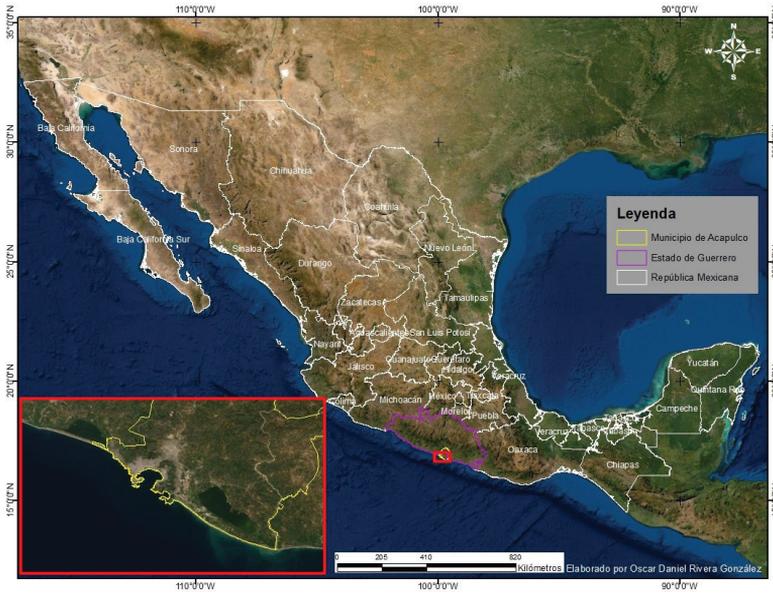
### **Introducción**

En México, se ubica el Estado de Guerrero (Figura 1) el cual se identifica al encontrarse el puerto de Acapulco, conocido turísticamente por su conformación cartográfica semicircular (Figura 2), además de ser reconocido mundialmente por sus playas y clima tropical.

El Estado de Guerrero, se sostiene en buena parte del turismo, sea nacional o internacional, el cual es un factor económico muy importante del cual viven muchos habitantes que se dedican al comercio turístico sobre la bahía y recomendado para pasar sus vacaciones al turismo en general por parte de las personas que visitaron el puerto por ser un lugar atractivo.

Sin embargo, a principios de este siglo XXI ha venido decayendo el turismo por diversas causas entre las que se encuentra la contaminación generada por la basura a lo largo de la zona costera por falta de infraestructura de información y concientización por parte de las autoridades del Municipio, por otro lado la ausencia de contenedores para su depósito, lo cual no previene a la población de arrojar sus desechos a la playa o en la vía pública; y además por el desahogo de las aguas negras en las que se incluyen las que producen las cadenas hoteleras, las cuales son arrojadas directamente al mar debido a la inadecuada planeación del drenaje originada por la inacción del gobierno federal, estatal y municipal en temas de ordenamiento territorial urbano.

**Figura 1.** República Mexicana y Estado de Guerrero, año 2020.



Fuente: Elaboración propia con Software SIG ArcGis.

**Figura 2.** Zona Costera de Acapulco y área de estudio, año 2020.



Fuente: Elaboración propia con Software SIG Arc Gis.

Por otro lado el tema de la inseguridad para el turista, ya sea por robo o asaltos sobre la playa, así mismo muy recientemente confrontaciones entre diversas organizaciones criminales que generan un clima de incertidumbre entre los turista y habitantes, la suma de todas las problemáticas anteriores estarían relacionadas directamente a la nula gestión del gobierno en su tres niveles de gobierno para resolver las mismas, observándose solo poca organización con base en el trabajo teórico y empírico obtenido en el presente artículo.

### **Marco Metodológico**

Se analizó el crecimiento urbano, con base en cartografía digitalizada por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para su fotointerpretación y evaluación del crecimiento urbano no regulado por parte de las autoridades gubernamentales en México.

Se realizaron visitas recientes al puerto de Acapulco, entre los meses de abril y mayo del año 2020 para interactuar de manera formal e informal y realizar algunas entrevistas con habitantes y turistas para obtener una percepción de ellos acerca de la problemática planteada, así como revisar las páginas web de los Gobiernos tanto el Estatal de Guerrero como el Municipal de Acapulco, referente a su infraestructura y procedimientos de Gobierno para cumplir sus acciones ejecutivas relacionadas con la referida problemática.

Se revisaron páginas electrónicas de los Ministerios Federales, relacionados con el turismo de manera general en la República Mexicana y en Acapulco en particular, así como de revisión minuciosa de periódicos y agencias noticiosas que aportaron información útil al objetivo trazado.

Finalmente, se consultaron teóricos y artículos internacionales que abordaron la problemática total o parcialmente planteada en el presente artículo de investigación, así como una revisión general del estado del arte en donde estriba y refiere dicha problemática.

### **Marco teórico**

Es de suma importancia, relacionar el sistema teórico con lo ya conocido parcialmente en la realidad encontrada en el trabajo empírico, primeramente comprendiendo y aplicando lo conocido, comprendido que el pensamiento humano es importante para poder utilizarlo de manera

correcta y fundamentada en cuestiones y soluciones reales, relacionándolo siempre con la disminución del turismo en el puerto de Acapulco y así sea benéfico para la población que se mantiene económicamente debido al turismo nacional e internacional.

El turismo, forma parte de uno de los principales sectores económicos a nivel mundial, siendo objeto de estudio en diversos destinos geográficos. Esta actividad económica opera como fuente de oportunidades para la modernización socioeconómica y cultural de un área geográfica, siendo el patrimonio un factor de cohesión social por las importantes sensibilidades a las que afecta. En consecuencia, son más frecuentes los modelos que giran en torno al desarrollo sostenible del turismo de un destino (Orgaz y Moral, 2016).

La cita anterior, tiene demasiada relevancia ya que expone la cuestión económica en cuanto a su estrecha relación con la forma o estructura de la geografía en alguna zona turística, es por ello que deberán modernizarse dichas zonas hasta cierto punto rurales para ser más atractivo para los paseantes internacionales, sin embargo no se deberá caer en la construcción y urbanismo voraz en zonas de playa o de descanso, por lo que será vital el tema de la sostenibilidad en cuanto al cuidado de los recursos naturales como lo puede ser el mar, arena, vegetación, flora, fauna, entre otros recursos no renovables con base en el grado de explotación o sobreexplotación, dicha sostenibilidad deberá ser gestionada desde el aparato gubernamental en este caso el Municipio de Acapulco dirigido y explicado a la población y por consiguiente reflejado en el turismo.

El mercado turístico se ha buscado explicar de diversas maneras al contabilizar el porcentaje de turistas que regresan satisfechos a su lugar de origen, pero sin detenerse a explicar de una manera más puntual las consecuencias personales de tal satisfacción, lo cual está asociado con el impacto que la satisfacción tiene en su campo de la experiencia. Sin ese conocimiento cualquier política de mercado deja de escudriñar metodológicamente el campo de la experiencia (realidad experiencial inmediata) del turista al momento que se encontraba en el Puerto de Acapulco, viviendo una realidad distinta a la que vive todos los días (Guerrero et al., 2009).

La mención anterior es de vital importancia comprenderla y examinarla, ya que el mercado turístico es influenciado mayormente por la mercadotecnia y popularidad de ciertas zonas costeras en México sin embargo,

la vivencia por parte de turistas nacionales y extranjeros conocidos como emisores, mismos que darán a conocer la vivencia y/o experiencia a favor o en contra del destino turístico quedando en la memoria del turista y muy probablemente en el pensamiento de receptor de dicha historia de vivencia explicada por parte del turista, lo que a su vez se convertirá en la réplica de una memoria buena o mala de un destino turístico que muy probablemente ni siquiera conoce el receptor o posible turista, por lo anterior es de suma importancia el cuidado al turista en general por parte del Gobierno Estatal de Guerrero y Municipal de Acapulco.

Es necesario replantear enfoques, metodologías y modelos para disminuir la presión ejercida por el turismo tradicional que amenaza la estabilidad de la actividad y el patrimonio ambiental y cultural, especialmente, en las áreas rurales (Del Valle, 2017).

El culpar al turismo del desgaste de un destino turístico sería un error hasta cierto punto, por lo cual el aparato Municipal de Acapulco deberá diseñar mecanismos de coordinación y gestión entre turistas y pobladores cuidando el espacio geográfico natural de la zona costera, algo crucial es que un alto porcentaje del turismo visita playas mexicanas para el olvido de las ciudades en las cuales ellos habitan, con base en ello gustan de visitar zonas rurales naturales de playa.

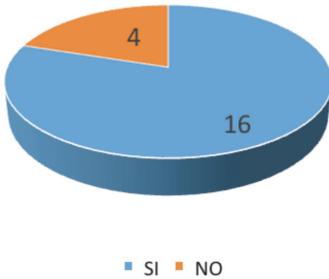
Acapulco actualmente, parece más una ciudad en crecimiento con costa marina que un puerto natural en zona de playa, esta transformación impacta en gran porcentaje la baja del turismo, lo cual podría ser reestructurado ruralmente-urbanísticamente respetando las zonas naturales algo que al parecer el gobierno mexicano no ha comprendido en cuanto a que no siempre el urbanismo es sinónimo de confort o de bienestar.

Con frecuencia, el potencial visitante se enfrenta a la tarea de conciliar la imagen negativa a la que contribuye la difusión periodística y televisiva de hechos de violencia en un destino turístico, con el marketing publicitario que al mismo tiempo promueven los sectores que se benefician con estas actividades en los mismos destinos (De la Torre y Navarrete, 2013).

La cita anterior estriba en el cuidado de la imagen del puerto entre los medios televisivos y más aun con las redes sociales, es por ello la urgencia de la adecuada gestión política entre el gobierno Municipal y Estatal con la población, para que los hechos de violencia de cualquier tipo que se han vivido en los últimos años en el puerto afecten en menor

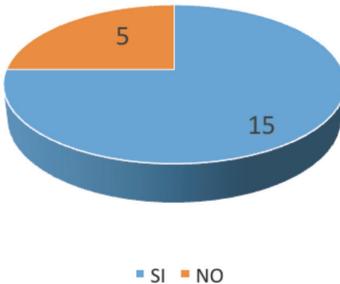
manera a los turistas, con base en entrevistas formales con algunos turistas nacionales y extranjeros (figura 3 y 4) temen el acudir al puerto de Acapulco por distintos tipos de violencia e inseguridad que sufre la zona costera actualmente y que ellos son ajenos a esta problemática teniendo que buscar opciones en otros Estados de la República Mexicana u otros países para el disfrute y tranquilidad de ellos y su familia.

**Figura 3.** Zona costera de Acapulco. Entrevista a turistas nacionales. Datos absolutos, 2020.  
¿Teme por su seguridad por algún tipo de violencia?



Fuente: Elaboración propia con base en visitas a campo fecha 20/abril/2020.

**Figura 4.** Zona costera de Acapulco. Entrevista a turistas extranjeros. Datos absolutos, 2020.  
¿Teme por su seguridad por algún tipo de violencia?



Fuente: Elaboración propia con base en visitas a campo fecha 20/abril/2020.

En este contexto, la relación turismo y criminalidad, representa un tema nuevo y sensible de la investigación en muchos destinos, ya que, las autoridades se resisten a medir y posiblemente arriesgarse a revelar el nivel de delincuencia debido a la amenaza que representa para el futuro desarrollo de esta actividad en su localidad (Schiebler et al., 1996).

Los niveles de delincuencia que han acontecido en los últimos años en la zona costera de Acapulco deben ser sin duda gestionados por los tres niveles de gobierno en México con mucha precaución de no acrecentar más la vulnerabilidad y peligro que viven los turistas y los mismos pobladores, primeramente se le deberá dotar de seguridad y bienestar a los habitantes del puerto para que posteriormente sea replicado en el turismo nacional e internacional, lo cual podría darse de manera gradual dado el nivel de violencia en los últimos años tan abismal y creciente, de no proponer una solución real y aplicable muy

probablemente no aumenten los niveles de criminalidad pero persistirá el temor por parte del turismo el cual difícilmente asistirá a pasar sus vacaciones en el puerto de Acapulco.

Nuestro estudio aborda los problemas de sostenibilidad del desarrollo turístico de una ciudad como la de Acapulco, donde se experimenta un desarrollo desigual y excluyente; enfocándonos en los espacios periurbanos donde el deterioro ambiental y la contaminación son consustanciales a la escasez de servicios y a la presencia de pobreza (López et al., 2012).

El tema del deterioro ambiental o contaminación ambiental como lo menciona la cita pasada es algo que hay que explorar y entender de manera concisa, es por ello que el tema de la sostenibilidad es muy importante el cual debe ser entendido por las autoridades gubernamentales para su explicación y aplicación con los habitantes, inclusive será directamente proporcional al gusto y disfrute por parte de los turistas.

La operación de mecanismos de cuidado ambiental o de sostenibilidad entendiéndose como las características de desarrollo en cualquier vertiente que asegura las necesidades del presente sin comprometer de ninguna manera las necesidades de futuras generaciones, para que sigan prevaleciendo y existiendo una ganancia entre el turismo y la población la cual es de vital importancia, realizando gestión y concertación del aparato gubernamental enfocado a la población, lo que dará resultados para minimizar o al menos combatir el grado de presencia de pobreza en la población que se sostiene del turismo.

Se constató que el turismo no planeado se convierte en un obstáculo para un desarrollo sustentable; Acapulco es un ejemplo de ello, pues en él se reproducen las asimetrías socioeconómicas que impiden un desarrollo integral. De igual manera, como en otras latitudes, en Acapulco el turismo enfrenta dos alternativas: la sustentabilidad o la modernidad globalizadora, un reto de difícil integración en nuestro país, debido a la pobreza existente y a las dificultades para impulsar un crecimiento equilibrado, el cual es hoy por hoy una prioridad indiscutible (López et al., 2012).

El tema de la globalización en México y en todos sus Estados es prácticamente imposible no considerarlo, el camino de interacción entre los habitantes y las empresas extranjeras con el gobierno mexicano da como resultado un soporte económico hasta cierto punto adecuado, talvez no sea el ideal para las familias que sufren de pobreza extrema en zonas rurales del puerto de Acapulco.

Sin embargo, deberá combatirse el tema de la marginación con apoyo del desarrollo sustentable y sostenible de la naturaleza ya que es la única que podrá proveer un escenario de confort y disfrute para el turismo extranjero y nacional, como ya se ha mencionado en párrafos anteriores deberá generar el aparato gubernamental mexicano coordinación, gestión, concertación, concientización entre la población, empresas en este caso las cadenas hoteleras, restaurantes a lo largo de la costera y agencias de viajes, sin dejar nunca de lado el otorgar empleos con adecuada remuneración económica a los habitantes del puerto ya que son los más vulnerables ante la falta de turismo o disminución del mismo.

El destino turístico se convierte en el gran generador de diversas experiencias a partir del consumo, en donde el conjunto de atributos, productos, servicios, etc. se convierten en oportunidades de disfrutar el lugar visitado. Pero para que esto se logre, el destino deberá otorgarles todas las facilidades a los consumidores como cualquier otro producto de consumo, considerando elementos como el coste de la experiencia del turista, la calidad del servicio que recibe, la atención del personal hacia el cliente, y el reconocimiento social que la experiencia le generará (Solís et al., 2016).

La última cita del presente apartado menciona algo muy interesante e integrador en cuanto a la estadía del turista en algún lugar en este caso en el puerto de Acapulco, el Gobierno Mexicano junto con los habitantes deberán darle seguridad al paseante y el lugar en si por su geografía y naturaleza dará el confort y disfrute al turista, esto será de gran relevancia ya que los mismos turistas recomendarán al puerto con base en lo que acontecieron de bienestar o por el contrario denostarán o deshonrarán al lugar ante otros familiares o gente conocida en general y más aún distribuirlo entre los diferentes medios de redes sociales, los cuales permean en cualquier tipo de sociedad en algún lugar del mundo.

### **Historia y antecedentes turísticos en la zona costera de Acapulco**

Los periodos en los que se divide las diferentes etapas del turismo en dicho puerto, así como su interacción con el ambiente y turismo derivan de lo siguiente.

El primero de 1927-1954, en este periodo se observó un gran despliegue de actividad turística, el segundo de 1955-1971 se caracteriza por su auge turístico y el tercero de 1972-1985 en el cual se dio el estancamiento

en diferentes vertientes por la aplicación de medidas correctivas que en ese entonces empleaba el Municipio.

Estos factores son: a) el suelo urbano, en el primer periodo, b) la estructura urbana, en el segundo, y c) la contaminación en el tercero (Ramírez, 1989, p. 138).

De esta manera en el primer periodo se observa la relación que se da entre el centro vacacional y el suelo urbano por el desarrollo de la estructura urbana y por último la actividad turística y su impacto en el ambiente, no existiendo hasta este momento problemática con el turismo.

En el caso del segundo periodo se observa la estrecha relación entre turismo y medio ambiente, la actividad turística afectó directamente a la naturaleza por la gran transformación que se da al entorno para que el turismo se sienta mejor y atraer al mismo, afectando al medio geográfico natural a través de la transformación de la estructura rural con crecimiento urbano voraz y que en la actualidad se encuentra muy descuidado observándose los inicios de la disminución el turismo en Acapulco sin ser todavía tan evidente.

La actividad turística que desde sus inicios en el puerto se observó con base en las transformaciones que realizó el Municipio en el entorno natural con el paso de los años y hasta la actualidad, afectó evidentemente al medio ambiente y más aun sin una adecuada organización del Municipio de Acapulco lo que derivó en algún porcentaje el estancamiento turístico y económico.

Se abrió una gran actividad turística en el puerto, principalmente por residentes del Distrito Federal ahora Ciudad de México (CDMX) por lo que se observó con el paso de los años un gran desarrollo urbano y turístico. Se tienen registros que se dio un resurgimiento de un llamado puerto olvidado, ya que después de la Independencia de México respecto de España en el año de 1821, se cancelaron los lazos marítimos entre Acapulco y Manila, esto dio al puerto un estancamiento y quedó como un puerto olvidado por algunos años.

En noviembre de 1927 se construye la carretera de Acapulco-Taxco y con esto se rompe el aislamiento que tenía el puerto a través de la conexión y visita de turismo residente en Cuernavaca y en el Distrito Federal ahora CDMX. De esta manera fue posible que turistas nacionales e internacionales descubrieran la gran belleza que tenía el puerto y así con el

tiempo convirtiéndolo en el puerto más visitado de México, más aún con el aeropuerto que se construyó en el año de 1928.

Las primeras construcciones sobre la Zona Costera datan de 1934, al igual que en la década de los años 30s, también se construyen los primeros hoteles y en el año de 1944 se construyen otros más. Un factor crucial por el cual se empezó a realizar la construcción de la zona hotelera fue una campaña que realizó el presidente de México Manuel Ávila Camacho, campaña que tituló “peso contra peso”; esta gran campaña trataba de que México debía aportar una cantidad igual a la que el llamado capital extranjero invertía.

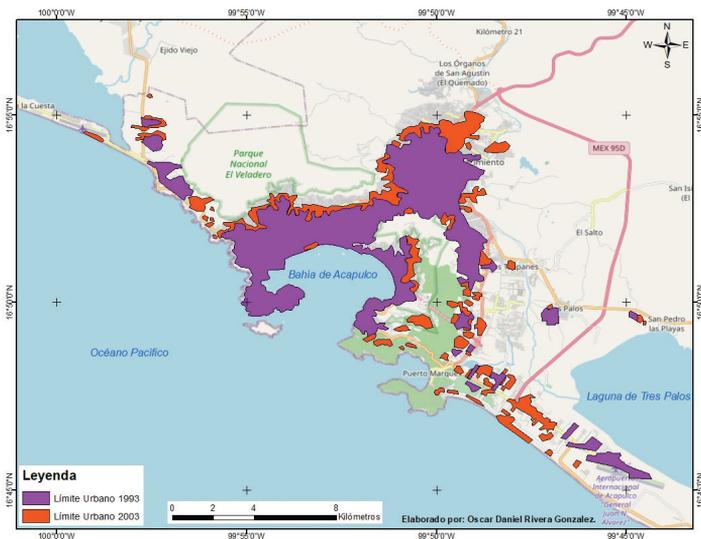
La forma geográfica de la zona costera se fue modificando, la parte rural se transformó en zonas residenciales, se empezaron a trazar calles por lo que se afectaron varias playas como la principal llamada Zona La Costera, cabe mencionar que el presidente Miguel Alemán Valdez en su mandato de 1946-1952 fue el fundador de la cadena hotelera llamada Continental quien además llamó a la Zona Costera con su nombre.

La historia del despliegue turístico en Acapulco, no fue tan perjudicial para el crecimiento urbano no regulado, más bien fue la poca gestión y amplia generación de ganancias económicas otorgadas por el capital extranjero por medio de sus turistas, dando como resultado la nula atención y cuidado de la parte natural rural del puerto mismo por parte de habitantes y gobierno en México, observándose el crecimiento de contaminación y construcción de cadenas hoteleras sin una regulación ambiental aconteciendo desechos de los hoteles vertidos al mar y que hasta la actualidad prevalece dicha contaminación, aunado al grado de violencia de cualquier tipo que acontece en la actualidad, es por ello el gran porcentaje de disminución del turismo en el puerto acapulqueño.

### **Zona costera y transformación urbana**

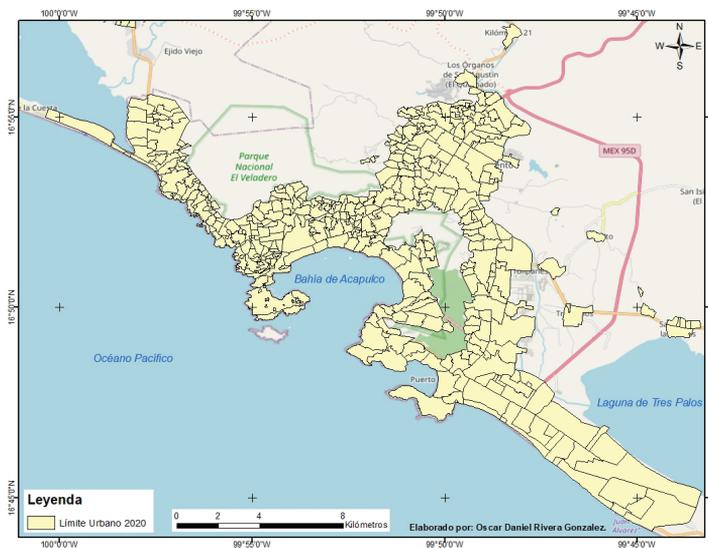
El puerto de Acapulco fue aconteciendo varias transformaciones urbanas y de construcciones no reguladas (figura 5 y 6) incentivadas con la ausencia de políticas públicas encargadas de gestión urbana, observándose un urbanismo voraz mismo que afectó la imagen natural y cuidado del puerto de Acapulco.

**Figura 5.** Límite Urbano en la Zona Costera de Acapulco, años 1993 y 2003.



**Fuente:** Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Software Surfer 13 y Global Mapper.

**Figura 6.** Límite Urbano en la Zona Costera de Acapulco, año 2020.



**Fuente:** Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) e imágenes satelitales, Software Arc Gis.

El Gobierno Mexicano en años pasados, aproximadamente alrededor de 1940 se observó que el uso agrícola ya no tenía tanta importancia, no interesando que bastante población vivía de esa actividad agrícola, así que continuó urbanizando la Zona Costera para seguir obteniendo cada vez más ganancias con la construcción de cadenas hoteleras cambiando el uso de suelo.

El 9 de noviembre del año 1940, el presidente de México en aquel entonces Lázaro Cárdenas, expropió 76 hectáreas de 726 mismas que corrían sobre la Zona Costera, construyéndose grandes hoteles como los que a la fecha prevalecen entre los cuales se encuentran Playa Sol, Hotel Holiday Inn y Hotel las Torres Gemelas.

Posteriormente, en varios terrenos ejidales se construyó la zona residencial Costa Azul que a la fecha sigue vigente, cabe mencionar que en la parte final de dichos terrenos se encontraba un cementerio el cual fue destruido en el año 1960, espacio utilizado para la construcción de hoteles.

En líneas anteriores, se observa que el Gobierno Municipal, Estatal y Federal, no reguló u ordenó la situación en la que se construyeron cadenas hoteleras para el beneficio de sus habitantes, por consiguiente los únicos que ganaron y siguen ganando a la fecha generando grandes volúmenes económicos son los dueños de dichas cadenas hoteleras, contrario a la población lugareña la cual vive en condiciones de pobreza incluso pobreza extrema, observándose esta situación en la zona de la entrada al puerto de Acapulco que va de la CDMX al puerto por la autopista del Sol hasta la entrada al Maxitunel existiendo condiciones de plusvalía muy baja (figura 7).

**Figura 7.** Imagen grado de vulnerabilidad económica y social en la parte Norte de la Zona Costera de Acapulco Guerrero, México.



Fuente: Google Earth Pro, 2020.

La mayor parte de la población vive del turismo nacional e internacional, vendiendo productos en la Zona Costera los cuales son, fruta, verdura, quesadillas, pescado, entre otros, puntualizando que dicha venta se realiza con una higiene poco adecuada debido a las condiciones de pobreza lo cual es proporcional a la ausencia de sanidad (figura 8), confirmando que la construcción de cadenas hoteleras benefició poco a los habitantes del puerto obteniendo solo trabajo para sobrevivir.

**Figura 8.** Imagen venta informal de productos sobre la Costera de Acapulco.



**Fuente:** Revista en línea FORBES, recuperado de <https://www.forbes.com.mx/economia-acapulco-abre-turismo-despues-confinamiento/>, fecha de consulta 2 de mayo del 2020.

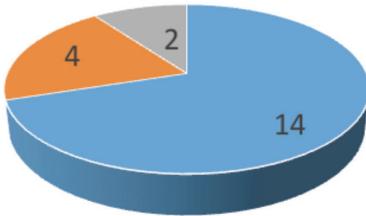
Lo anterior es reforzado con la siguiente cita:

El crecimiento de Acapulco se produce en poco tiempo, de tal manera que la urbanización se produjo espontáneamente, sin una orientación previa. La población se encontró en situaciones difíciles, porque los servicios no operaron al mismo ritmo y los esporádicos paliativos gubernamentales estuvieron carentes de ejes que articularan políticas coherentes de desarrollo y bienestar acordes al contexto (Mombelli, 2011, p.6).

Es por lo anterior que al parecer el bienestar de los habitantes del puerto es el menos observado y atendido, el gobierno municipal tiene algún grado de culpabilidad ya que no se resuelven en la actualidad las condiciones de vida digna que cualquier ser humano debería tener y más aún en un puerto tan reconocido internacionalmente, en la actualidad según el trabajo empírico sigue el aparato gubernamental carente de ejes articuladores de políticas públicas orientadas a beneficiar a los habitantes de la misma manera que al turista.

**Figura 9.** Zona costera de Acapulco. Entrevista a habitantes. Datos absolutos, 2020.

¿Sabe usted de quienes eran originalmente las tierras donde actualmente se encuentra la zona hotelera?



■ De los campesinos ■ Del Gobierno ■ De nadie

**Fuente:** Elaboración propia con base en visitas a campo fecha 20/abril/2020.

Hyatt Internacional, Continetal Hilton, Wester International Hotels, Princess Hotel International, Marriot, Holiday Inn, Melia, cadenas hoteleras que desde que se instauraron en la Zona Costera hasta hoy, buscan cuidar la integridad del huésped mas no la del turista en general, ya que la mayoría de estos hoteles, instalan en la zona de playa frente a ellos anuncios y en ocasiones límites con cuerdas para que el huésped no se introduzca más allá de la zona que el hotel determina.

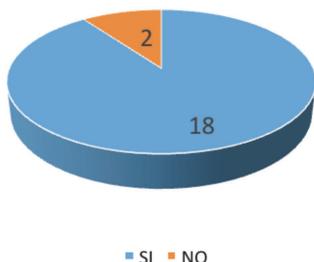
Con base en la problemática anterior, el Municipio deberá instaurar un plan debidamente gestionado y coordinarse con todas las cadenas hoteleras que se encuentran en la Costera para que cuiden no solo al que

Cerca de la Zona Costera, según entrevistas a los habitantes (figura 9) fueron expulsados gran cantidad de campesinos que eran legítimamente propietarios de sus tierras, ya que todo esto beneficiaría a los hoteleros e inclusive a los mismos funcionarios públicos dado al grado de posible corrupción sin una adecuada planeación urbana.

Las más importantes cadenas hoteleras que existen actualmente sobre la costera de Acapulco, son

**Figura 10.** Zona costera de Acapulco. Entrevista a turistas. Datos absolutos, 2020.

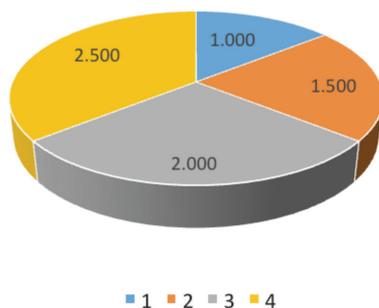
¿Le parece elevado el precio por hospedarse en un hotel sobre la zona costera?



**Fuente:** Elaboración propia con base en visitas a campo fecha 20/abril/2020.

**Figura 11.** Zona costera de Acapulco. Entrevista a turistas. Datos absolutos en pesos mexicanos, 2020.

¿Cuál es el costo aproximado por hospedarse en el hotel de su preferencia a lo largo de la zona costera?



**Fuente:** Elaboración propia con base en visitas a campo fecha 20/abril/2020.

se hospeda en el hotel, también proteger a los turistas y habitantes que se encuentran en la zona de mar y arena frente a la construcción hotelera..

La mayoría de las cadenas hoteleras a lo largo de la zona costera se posesionan del área de mar y arena que les corresponde según ellos, inclusive muchos de los hoteles cercan y limitan esta área con rocas, cuerdas u otro tipo de material, no permitiendo pasar a otros turistas e inclusive a los mismos habitantes que desean pasar a vender sus productos al turismo.

Es importante mencionar que la mayor parte de los hoteles desde hace varios años han dado trabajo a las personas habitantes de Acapulco, sin embargo son trabajos no muy bien remunerados, empleos de afanadoras, meseros, animadores, cantineros, salvavidas entre otros, contrastando con los precios que estas cadenas hoteleras ofrecen a los viajeros los cuales son elevados según entrevistas con turistas (figura 10 y 11) al hospedarse una noche aproximadamente el costo oscila entre los 1,400 y 2,500 pesos, los que

pueden pagar esos precios en su mayoría son turistas extranjeros.

Con base en lo anterior deberían dar más oportunidades de beneficio a los habitantes y con un mejor suelo, ya que estas grandes cadenas hoteleras obtienen grandes ganancias al año al estar instaurados en un gran

puerto turístico conocido a nivel mundial, sin embargo este problema se podría solucionar si el Gobierno del Estado de Guerrero pusiera un alto a estas injusticias.

Complementando las gráficas anteriores, según un habitante mismo que es taxista del puerto de Acapulco, menciona que el Gobierno Municipal tiene pensado elaborar un plan para que el Acapulco de antaño que tenía una imagen tipo pueblo y que era lo que atraía a los turistas, se retomará para regresar la imagen que anteriormente tenía la Zona Costera con un paisaje más rural-natural.

Una circunstancia que favoreció el surgimiento de Acapulco como centro turístico mundial, fue la clausura de uno de los puntos de atracción del turismo internacional (sobre todo para el vacacionista norteamericano), es decir, La Habana, después del triunfo de la revolución en Cuba (1959) y la ruptura de relaciones con Estados Unidos (Ramírez, 1989, p.143).

Lo anterior, fue un gran suceso que dio un fuerte impulso para que el vacacionista, en este caso norteamericano, observara la gran belleza e importancia del puerto de Acapulco y que hasta el día de hoy tiene dicha relevancia, todo esto se reafirma debido a la cercanía que tiene Estados Unidos con Acapulco y a la creación del nuevo aeropuerto internacional en el año de 1964 donde los aviones que se tenían en operación tipo jet, facilitaban el camino al norteamericano y con ello el disfrute que obtenía los habitantes de Estados Unidos con costos que para ellos son relativamente económicos tanto en transporte, hospedaje y consumo.

### **Acapulco de lo rural a lo urbano y sus repercusiones en la disminución del turismo debido a la inacción del gobierno municipal**

Los años en los que se observó una gran transformación del paisaje y de la imagen del puerto fue entre 1955 a 1971, aunque claro cada año que pasaba a partir de aquel entonces se ven más transformaciones urbanas.

En los años 50's, se le dio un mayor peso a la ampliación de la vialidad nadie reguló la transformación del proyecto urbano y se dio una gran desarticulación. En cuanto a la vivienda se conoce que en el año de 1985 el déficit fue de 26,000 viviendas al que cada año que pasaba se acumulan 10,000 más.

En cuanto al abastecimiento del agua potable, el puerto de Acapulco cuenta con una gran problemática, la red hidráulica es insuficiente para abastecer tanto a la zona hotelera como a los pocos habitantes que tienen

agua potable en sus hogares. En el puerto se han realizado demasiadas modificaciones urbanas, las cuales han solo favorecido a los huéspedes de las cadenas hoteleras, sin embargo, un alto porcentaje de las viviendas que no se encuentran sobre la Zona Costera no cuentan con una instalación de agua potable dentro de sus hogares debido al alto grado de marginación (figura 12) generando poca higiene y enfermedades gastrointestinales en la población, problemática que el Municipio deberá resolver.

**Figura 12.** Imagen grado de vulnerabilidad económica y social en la parte norte de la Zona Costera de Acapulco.

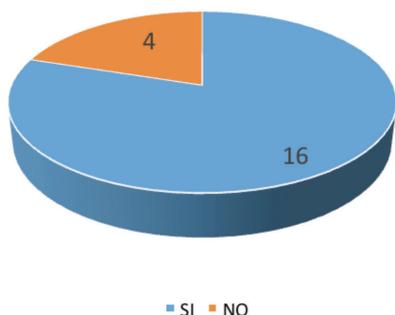


Fuente: Google Earth Pro, 2020.

El tema del actual Ordenamiento Territorial Urbano que gestiona el aparato Municipal del puerto, es poco claro en la teoría y muy evidente su falta de aplicación en beneficio de los habitantes y del turista en general en la empiría, ya que en la actualidad se sobreexplotan recursos naturales en el puerto de diversas maneras, puntualizando que aún es visitado el puerto de Acapulco por el turismo nacional e internacional sin embargo, cada año disminuye día tras día según encuestas a los habitantes del puerto (figura 13).

**Figura 13.** Zona costera de Acapulco. Entrevista a habitantes. Datos absolutos, 2020.

¿Ha disminuido el turismo en los últimos años?



**Fuente:** Elaboración propia con base en visitas a campo fecha 12/mayo/2020.

que se identifican es la falta de normatividad para el reordenamiento urbano y vivienda; e inexistencia de una entidad administrativa que dé seguimiento a la planeación urbana en el municipio, no se cumplen los ordenamientos legales en esta materia, los trámites a realizar por el ciudadano en este rubro son tediosos, los planes urbanos existentes están rebasados en tiempo y territorio.

A principios de abril de 2014, la presidencia municipal de Acapulco convocó a un grupo multidisciplinario de profesionistas y organizaciones de la sociedad civil para iniciar los trabajos de un nuevo Plan de Desarrollo Urbano para el Municipio, con base en talleres abiertos... ([Programa Regional Acapulco, 2016, p.46](#)).

La cita anterior muestra la problemática urbana misma que conoce casi perfectamente el Municipio del puerto, la falta de planeación es inadecuada según el mismo Municipio, los tramites a realizar por el ciudadano acapulqueño que atañen cuestiones urbanas son tediosas, es una verdad que inclusive se encuentra escrita en el Programa Regional de Acapulco, sin embargo solo se describe la problemática no se ataca o resuelve con mecanismos de gestión social entre el aparato gubernamental, hoteleros y población en general, esta última es la que más parece ante la falta de oportunidades y alto grado de marginación pese a ser todavía un puerto del cual el turismo nacional e internacional deja grandes derramas económicas

Para comprender el contraste de la visitación al puerto de Acapulco y la disminución del turismo con base en las entrevistas (figura 13) y el ordenamiento territorial aplicado en la teoría y mostrado públicamente en la página electrónica oficial del Estado de Guerrero se observa lo siguiente.

Ordenamiento Territorial Urbano. Cuando se habla de los problemas urbanos en Acapulco generalmente se acepta que su origen está en la falta de planeación o en la mala planeación de la ciudad. El Plan Regional de Acapulco, reconoce que: Los problemas

de las cuales solo se beneficia el capital extranjero y hasta cierto punto el aparato gubernamental en cualquiera de sus tres niveles de gobierno.

En el caso de la derrama económica según datos proporcionados por el H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco con base en su portal electrónico oficial contrastan con la visitación y búsqueda de noticias periodísticas, mencionando el Ayuntamiento lo siguiente.

Durante el primer puente vacacional del año, más de 116 mil turistas nacionales y extranjeros que disfrutaron de Acapulco dejaron una derrama económica de 287 millones de pesos, informó el titular de la Secretaría de Turismo municipal. El funcionario reiteró en entrevista que Acapulco en materia turística inició con altas expectativas y se seguirá trabajando para mantener números altos en los siguientes días de cara a los próximos eventos culturales, deportivos y sociales que se realizarán en este destino de playa (Acapulco de Juárez, 2020).

La cita anterior contrasta con la realidad de las encuestas (figura 13) y con las noticias dos, tres y cuatro, mismas que se muestran más adelante, recomendado al lector realizar la lectura de las mismas para comparar la disminución del turismo en el puerto, inclusive al analizar la mención del Secretario de Turismo Municipal de Acapulco en la cita anterior, menciona que trabajarán más para mantener números altos en materia turística, exhibiendo la problemática de mantener un turismo relativamente alto para el gobierno municipal, observándose la inminente disminución del turista nacional o extranjero y afectaciones posteriores lo cual es tema central del presente artículo de investigación.

En el caso del ingreso obtenido por la remuneración económica del trabajo realizado por los habitantes del puerto de Acapulco, en diferentes actividades económicas según fuentes periodísticas e investigaciones formales, contrasta la información obtenida de las encuestas realizadas en la visitación al puerto de Acapulco (figura 10 y 11) en cuanto al elevado costo que generan las cadenas hoteleras por noche al turismo nacional e internacional lo cual no es proporcional al ingreso obtenido por los trabajadores originario del puerto, inclusive algo importante de mencionar es que según la siguiente cita el puerto de Acapulco y Tlaxcala son los peores lugares en toda la República Mexicana para laborar con base en el sueldo que reciben los trabajadores oriundos de dichos lugares, algo que es alarmante lo cual debería ser prioritario para el gobierno mexicano Federal, Estatal

de Guerrero y Municipal de Acapulco con el fin de atenuar o desaparecer dicha disparidad, confirmando todo lo anterior con lo siguiente mención.

Las zonas metropolitanas con la tasa de condiciones críticas de ocupación (TCCO) más alta fueron, al cierre de junio, Tlaxcala (21.3% de los ocupados), Tuxtla Gutiérrez (21.6%) y Acapulco (21.9 por ciento). La TCCO incluye a las personas que se encuentran trabajando menos de 35 horas a la semana por razones ajenas a sus decisiones, más las que laboran más de 35 horas semanales con ingresos mensuales inferiores al salario mínimo y las que se emplean más de 48 horas semanales ganando hasta dos salarios mínimos.

La investigadora de la UNAM agregó que Acapulco es una ciudad ubicada en un estado con altos índices de pobreza y violencia, que han mermado la industria turística, “hay personas que trabajan muchas horas a cambio de un salario muy bajo y que viven en lugares con alta afluencia delictiva (El Economista, 2018).

La mención y cita anterior demuestra la inoperancia del aparato Municipal de Acapulco y Estatal de Guerrero en cuanto a la no importancia del nivel de pobreza existente en el puerto el cual es directamente proporcional al ingreso obtenido por el remuneración económica obtenida según el trabajo realizado, es importante visualizar a futuro las problemáticas crecientes dado a la disminución del turismo, misma que afectará e incrementará aún más el nivel de pobreza existente en dicha zona turística del Estado de Guerrero.

### **Red de drenaje en la Zona Costera de Acapulco e inacción del gobierno municipal**

En el caso de la red de drenaje hasta el año de 1990, se habían realizado grandes trabajos para evitar que los hoteles descargaran sus aguas residuales directamente al mar, sin embargo, hasta la actualidad no se ha concluido dicha situación, esto origina contaminación excesiva en las playas de Acapulco y que ocasionaban a los turistas que se introducen al mar infecciones respiratorias, conjuntivitis, infecciones en la piel como dermatitis, entre otras.

En la actualidad, deberían tener todos los hoteles una red adecuada de drenaje para que no se descarguen sus aguas negras al mar, lo que sin duda genera una disminución importante del turismo nacional y extranjero

debido al alto grado de contaminación, se le invita al lector a consultar el siguiente video para verificar la información anterior<sup>2</sup>.

En el periodo de 1972 a 1985, Acapulco perdió importancia como centro para vacacionar y se incrementaba aún más el problema de la contaminación misma que en la actualidad persiste; a tal grado que el puerto se ha dado a conocer en muchos Estados de la República Mexicana por dicha problemática sanitaria a lo que el Municipio le ha dado poca importancia (Figura 14).

**Figura 14.** Imagen de contaminación por basura en la Zona Costera de Acapulco.



**Fuente:** Revista en línea El Sol de Acapulco, recuperado de <https://www.elsoldeacapulco.com.mx/local/acapulco-pobre-en-educacion-ambiental-1750634.html> , fecha de consulta 9 de mayo del 2020.

Mucha población que vende sus productos sobre la costera de Acapulco aparte de competir con otros destinos turísticos, tiene que competir con la falta de higiene sobre la costera ya que existe poco personal capacitado para la recolección de basura, más aún en temporada alta de

2 Video titulado: Aguas residuales se mezclan con el mar de Acapulco, fecha de consulta 8 de junio del 2020 en <https://www.youtube.com/watch?v=8gYW2zWARsc>

vacacionistas el Municipio no toma las medidas sanitarias necesarias para revertir dicha situación, problemática reforzada con las siguientes citas.

“Daño por contaminación significa cualquier pérdida o daño fuera de las instalaciones causadas por contaminación, resultante del escape o derrame de petróleo por la instalación, e incluye los costos de medidas preventivas y daños o pérdidas posteriores...” (Díaz, 1982, p. 65).

“La alteración de las aguas existe en dos niveles: la del agua potable y la de las aguas salinas de la bahía. Dentro de los que están: Los aceites grasa y petróleo, insecticidas y pesticidas, desperdicios y basura y aguas negras”. (Ramírez, 1989, p.154).

En cuanto a al tema de insecticidas y pesticidas existentes en el mar de Acapulco desde el año de 1957, el Consejo Nacional de la Secretaria de Salud para la Educación Palúdica, al realizar una limpieza general en el anfiteatro de la bahía de Acapulco, fue sometido a intensas aplicaciones de Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT) mismos que no se depositaron directamente en el mar, sin embargo el DDT se depositó en las partes altas de la geomorfología de la costa de Acapulco, originándose la problemática del acarreo de dichos compuestos químicos nocivos para la salud, ya que en temporada de lluvias el agua al precipitar en la orografía en las partes altas de la Zona Costera de Acapulco por lo que inminentemente el agua corre y busca un cauce natural terminando en las partes bajas en este caso su destino final son aguas oceánicas mismas que corren a lo largo de la costa acapulqueña.

En cuanto a la problemática de las aguas negras e inacción del gobierno municipal ante esta problemática, así como el tema de los desperdicios mismos que terminan en la parte del mar y arena, se evidencian aún más con la siguiente noticia periodística.

### *Noticia 1.*

En pleno inicio de la temporada vacacional, la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) informó que cinco de las 21 playas de Acapulco, Guerrero, rebasaron el límite permitido de bacterias enterococcus, lo cual es un indicador de contaminación fecal.

Pese a la advertencia, esta semana no han dejado de llegar los vacacionistas a las playas Caletilla, Hornos, Carabali, Manzanillo y Suave, en las costas de Guerrero (INFOBAE, 2019).

Es muy importante señalar, que la determinación del grado de alteración en este caso de las aguas oceánicas cercanas a la bahía de Acapulco, se rigen actualmente por el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas sobre todo después de que se detectó la existencia de contaminantes en el puerto de Acapulco, sin embargo, no se respetan estas reglamentaciones por parte de las cadenas hoteleras (figura 15).

**Figura 15.** Imagen descargas de aguas negras de las cadenas hoteleras vertidas directamente al mar sobre la Zona Costera de Acapulco.



**Fuente:** Página electrónica Alcanzando el Conocimiento, recuperado de <https://alcanzandoelconocimiento.com/conagua-analiza-el-agua-de-la-bahia-de-acapulco-para-determinar-nivel-de-contaminacion-por-vertimiento-de-aguas-residuales/>, fecha de consulta 9 de mayo del 2020.

La contaminación en la Zona Costera es muy elevada y perjudicial actualmente, corroborando la información hasta este momento con la siguiente cita. A través de las entrevistas que en 1985 realicé a funcionarios de varias Secretarías implicadas, se refiere que a partir de 1982: Han disminuido levemente los niveles de contaminación, pero la situación básica

subsiste. En el corto plazo, el gobierno no realizará nuevas obras que mejoren sustancialmente el estado actual de las aguas de la bahía.

La mayoría de los hoteles han conectado sus drenajes al colector de la Costera; algunos cuentan con pequeñas plantas de tratamiento primario de las aguas negras que permiten su reúso. Persisten las descargas clandestinas de aguas negras a la bahía por parte de algunos hoteles y zonas de habitación popular y residencial. A veces falla el sistema de drenaje, es decir se azolva y las descargas se vierten al mar. La planta de tratamiento no se ha construido aun La zona de anfiteatro se está poblando de nuevo; debido a la carencia de drenaje, ello aumenta el fecalismo al aire libre y el arrastre de residuos a la bahía (Ramírez, 1989, p.158).

Con base en la cita anterior y la investigación teórica y empírica en el presente artículo, podemos mencionar que a partir de 1990, el drenaje de los hoteles no es el adecuado hasta la actualidad, y aunque muchas cadenas hoteleras no descargan su drenaje directamente en el mar en la mayoría de los casos todavía persiste esta problemática, de no ser regulada con rapidez esto podría agravarse e incrementarse, incentivando la disminución el turismo año con año.

A continuación, se sustenta y reafirma lo mencionado a lo largo del presente artículo en cuanto a las problemáticas en general acontecidas en el puerto de Acapulco mismas que influyen en la disminución del turismo con la muestra de las siguientes noticias periodísticas recientes.

### *Noticia 2.*

Acapulco pierde en 5 años 63% del turismo extranjero por crimen y Guerrero no crece: queda en 0%.

Acapulco tiene una fuerte dependencia del turismo, que en el caso del internacional cayó 63 por ciento entre 2012 y 2017, en tanto que el PIB de Guerrero creció 0 por ciento en ese último año, reportó la agencia Moody's.

La calificadora indicó que Acapulco “es una muestra de cómo el delito puede frenar el turismo”.

Enfatizó que la violencia en Guerrero afecta al puerto y que también que ha impactado en la economía de Acapulco las recomendaciones emitidas por el Departamento de Estado de Estados Unidos en la que insta a sus ciudadanos a no viajar a la entidad por sus elevados niveles de criminalidad (Sin Embargo, 2019).

### *Noticia 3.*

De acuerdo con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, al cierre de la primera quincena de septiembre del 2010, Acapulco era el octavo puerto que movilizaba, a través de cruceros, más pasajeros (166,796), aunque para igual periodo del 2019, bajó a la décima posición, con 27,971 visitantes, superado por Huatulco y Manzanillo; en dicho lapso de análisis, este indicador disminuyó 83.2%, la caída más pronunciada en el país. Mientras en comparación con el mismo periodo del 2018, Acapulco registra un crecimiento de 10.7 por ciento.

Para Eufemia Basilio Morales, investigadora de la Universidad Nacional Autónoma de México, la caída en los cruceros de Acapulco en los últimos años se debe a la inseguridad que ha vivido todo el estado. Este comportamiento tiene mucho que ver con la inseguridad, lo cual genera menor afluencia turística en los puertos. Esta tendencia se ha seguido desde el 2016, cayendo en 4.8%”, ahondó ([El Economista, 2019](#)).

### *Noticia 4.*

El turismo nacional disminuyó en más de la mitad de los 44 destinos turísticos más importantes del país, entre ellos el puerto, en los primeros meses de la administración del presidente Andrés Manuel López Obrador. De acuerdo con el diario *El Universal*, entre los sitios con mayor disminución está Acapulco, pues en el primer cuatrimestre de 2019, llegaron 216 mil visitantes menos que en el mismo periodo de 2018.

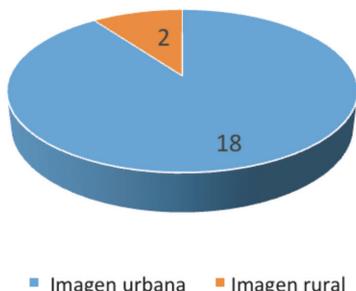
Le siguen Ciudad de México, que registró una baja de 165 mil viajeros connacionales, Veracruz y Boca del Río, cuyos hoteles alojaron 142 mil mexicanos menos, León y Monterrey. Según cifras del Sistema de Monitoreo Datatur de la Secretaría de Turismo (Sectur), los turistas mexicanos alojados en los hoteles del país disminuyeron a 17 millones 607 mil entre enero y abril del presente año, 503 mil visitantes menos que durante el mismo plazo de 2018 ([QUADRATIN, 2019](#)).

## **Resultados**

Las autoridades del Municipio de Acapulco, deberán proteger y cuidar al turismo que desde el año de 1960 visita el puerto de Acapulco y que aún pese a los factores de disminución presentados y expuestos en el presente artículo sigue visitando dicho puerto mexicano, lo cual es un factor muy importante ya

**Figura 16.** Zona costera de Acapulco. Entrevista a turistas nacionales. Datos absolutos, 2020.

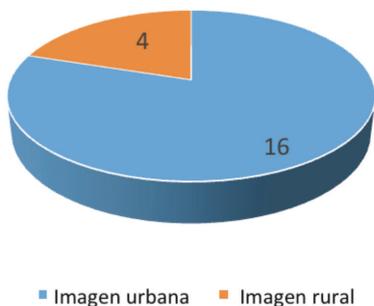
¿Cree que la zona costera de Acapulco tiene una imagen rural o urbana?



**Fuente:** Elaboración propia con base en visitas a campo fecha 18/mayo/2020.

**Figura 17.** Zona costera de Acapulco. Entrevista a turistas extranjeros. Datos absolutos, 2020

¿Cree que la zona costera de Acapulco tiene una imagen rural o urbana?



**Fuente:** Elaboración propia con base en visitas a campo fecha 24/mayo/2020.

que la mayor parte de los habitantes de la región más del 80% vive de la economía del turismo y se sostienen en gran parte de esta actividad.

La estructura urbana en cuanto a la instauración de cadenas hoteleras en la Zona Costera, es la que se debió regular tiempo atrás, actualmente se podría generar una gestión o reestructuración urbana con apoyo del Gobierno Municipal y cadenas hoteleras, inclusive algún tipo de estructuración semirural en algunas partes de la Costera Miguel Alemán y colonias al norte de la misma, ya que con base en entrevistas con turistas (figura 16 y 17) mencionan que Acapulco es una ciudad con un alto grado de urbanización, mas no un lugar semirural con atracción dada su naturaleza y geografía.

El tema urbano desregulado impera no solo en el puerto de Acapulco sino en otras zonas costeras en México y del mundo, mismas que podrían llegar a las mismas afectaciones que acontecen

hoy en día en el puerto de Acapulco por eso la importancia de una adecuada estructuración urbana, es importante mencionar que la problemática no es directamente del urbanismo es más bien la nula gestión urbana comprendida por las autoridades gubernamentales en cualquiera de sus niveles de

gobierno, ante lo explicado es momento de reestructurar el puerto de Acapulco y estructurar las colonias aledañas de manera adecuada, profesional y con antecedentes investigativos multidisciplinarios y transdisciplinarios.

Es de gran importancia, comparar al puerto de Acapulco con otros destinos turísticos como Cancún y Puerto Vallarta, los cuales tienen en común el mercado turístico, sin embargo en el caso de Acapulco el inadecuado ordenamiento territorial es más visible derivando en problemáticas políticas, poblacionales, sanitarias y en la marginalidad que sufre el puerto, lo cual trae más afectaciones como inseguridad y violencia en la actualidad dada en gran parte del puerto, reforzando lo anterior con la siguiente cita.

Es de suma importancia, enfatizar que las ciudades turísticas de sol y playa Acapulco, Cancún y Puerto Vallarta alcancen un ordenamiento territorial sustentable, pues de ello depende que permanezcan en el mercado turístico, el cual cada día es más competido. Pero, además, de no hacerlo, corren el riesgo de ser más vulnerables ante los retos que plantea en la actualidad el cambio climático. Para ello es importante la incorporación de ideas y acciones de sus habitantes (Cárdenas, 2016, p.116).

A lo largo del presente artículo, se ha señalado la importancia de tomar en cuenta a los habitantes mismos que conocen en gran proporción el centro vacacional de Acapulco, sin embargo, el aparato gubernamental toma poco o casi nada en cuenta su opinión interpretando que son solo fuerza de trabajo barata, algo que sin duda deberá solucionar el aparato gubernamental municipal.

El presente análisis, no busca una competencia y perjudicar a puertos turísticos en México como Cancún y Puerto Vallarta, puesto que cada uno de ellos tiene sus actividades turísticas, sin embargo, Acapulco cada vez es más vulnerable en diferentes vertientes por la disminución del turismo dado por la inadecuada gestión urbana, contaminación y violencia de cualquier tipo.

Cabe mencionar que, el municipio deberá invertir aún más en el cuidado de sus playas, colocando cestos de basura a lo largo de la Zona Costera, al mismo tiempo mostrar anuncios que inviten al turismo a no contaminar la zona de mar y arena, instaurar más y mejor personal para la recolección de desechos orgánicos e inorgánicos, más y mejores camiones para su captación y lanchas o pequeñas embarcaciones que recolecten la basura que se encuentre flotando en el mar.

## Discusión de Resultados y Reflexión

Hace más de 40 años, el puerto de Acapulco se ha dado a conocer a nivel nacional e internacional por la falta de higiene y la ausencia del cuidado en sus playas, de no invertir tiempo, dinero, gestión, regulación, coordinación, concientización en los habitantes y turistas, es cuestión de tiempo la decadencia del puerto de Acapulco.

Por otro lado, es importante que el Municipio regule, implemente y aplique las normas ya existentes para el cuidado de sus playas, en este caso la prohibición del descargue de contaminantes y aguas negras por parte de las cadenas hoteleras, fomentando que ellas mismas generen una red de drenaje adecuada para que sus desperdicios no desemboquen en el mar.

Una posible solución a la problemática anterior es la gestión y coordinación entre el Municipio y las grandes cadenas hoteleras para minimizar la gravedad de la contaminación, ya que dichos hoteles anualmente obtienen ganancias muy elevadas debido al uso de las playas en México las cuales con base en ello deberán tener personal capacitado de recolección de basura o limpieza sobre la playa, personal apto para emergencia en este caso salvavidas, para que con estas medidas se vean beneficiadas las cadenas hoteleras, turistas, el puerto de Acapulco y con ello sus habitantes.

Así mismo la parte del muelle de Petróleos Mexicanos (PEMEX), Base Naval y el Club de yates, deberán tener cuidado con los desperdicios que generan para no arrojarlos directamente al mar y que se busquen vías alternas para que los contaminantes no afecten a la zona costera con algún tipo de tratamiento a sus desperdicios.

En el caso de la inseguridad en sus diferentes vertientes el Municipio de Acapulco, deberá proporcionar una mayor seguridad al turista en su estancia en la playa, colocando más personal de seguridad debidamente capacitado y constantemente se vigile al turismo en caso de violencia ejercida por diversos grupos delictivos, sin embargo esto solo deberá ser por un tiempo determinado, ya que el tener en todo momento y lugar a elementos de seguridad nacional como lo puede ser policía Municipal, policía Federal, Marina, Ejército, Guardia Nacional, entre otras, podría ser contraproducente, ya que el turismo pasado un tiempo podrá pensar que Acapulco siempre es y será un destino turístico inseguro.

Por lo anterior se deberá gestionar un plan de cuidado por parte del Gobierno Federal, Estatal y Municipal orientado a los habitantes en general

para después ser replicado en los turistas y así pueda regresar la seguridad al puerto de Acapulco de manera gradual.

Por otro lado, de igual manera en el tema de seguridad y/o violencia en menor proporción en cuanto al robo de pertenencias por parte de los habitantes a turistas, podría desaparecer, colocando personal de vigilancia por parte del Municipio sobre la Zona Costera para que esté constantemente vigilada y los habitantes que se dedican a delinquir no lo sigan realizando.

El tema de la ola de violencia que actualmente vive el puerto, es un tema demasiado delicado inclusive se puede observar y constatar con a la siguiente cita.

Mientras que el año de 1991, fue para Acapulco uno de los más pacíficos en términos de homicidios en los últimos 25 años, en los últimos cinco no se ha convertido en la ciudad más violenta del país. ¿Cómo ocurrió ese cambio? Durante el citado año en Acapulco se registraron, en todo el año, 80 homicidios. Para 2012, la cifra se multiplicaría casi dieciséis veces, cuando ocurrieron 1,271 casos... (Peña, 2017, p.24-25).

Es urgente, atender la problemática de homicidios en el Puerto de Acapulco, actualmente internacionalmente el puerto es visto como inseguro, insalubre y con poca vista natural y más aun enfocándonos solo en los homicidios que se dan por diversas circunstancias, es el trabajo y gestión del gobierno Federal, Estatal y Municipal responsables de otorgar seguridad al turismo y al habitante, solo así el puerto de Acapulco podrá incrementar la afluencia de vacacionistas en un futuro.

Por último, el tema de la Pandemia de COVID-19 que significativamente aconteció en el puerto de Acapulco, México y en el mundo, amplió la disminución del turismo, es por ello que las medidas de sanidad deberán de estar presentes hasta que dicha pandemia desaparezca por completo, por otra parte siempre deberá existir en todo momento higiene por parte de los habitantes que venden sus productos en la Zona Costera, generando una coordinación entre el Sistema de Salud en cualquiera de sus niveles de gobierno con los habitantes, capacitándolos de alguna manera en materia de sanidad y limpieza para que el turista pueda estar seguro de la calidad de los alimentos vendidos por los habitantes.

Pues, de no generarse medidas urgentes para evitar la disminución del turismo en Acapulco, muy probablemente el puerto estará viviendo sus últimos

momentos como lugar de visita y estadía para vacacionar, ocasionando un posible colapso y desaparición del puerto en un futuro no muy lejano.

## Referencias

- Acapulco de Juárez. (2020). Derrama económica de 287 millones de pesos dejó el “puente” en Acapulco. *Periódico en línea H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco*. México. Recuperado <https://acapulco.gob.mx/2020/02/derrama-economica-de-287-millones-de-pesos-de-jo-el-puente-en-acapulco/>
- Cárdenas, E. (2016). Crecimiento y planeación urbana en Acapulco, Cancún y Puerto Vallarta. *Revista Investigaciones Turísticas*, n° 12, pp. 99-120. España. Recuperado <http://dx.doi.org/10.14198/INTURI2016.12.05>
- De la Torre, M & Navarrete, D. (2013). *Turismo, violencia y vulnerabilidad*. Editorial KAIROS. Revista de Temas Sociales. Argentina. (p.3). Recuperado <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4349553.pdf>
- Del Valle Pérez Colmenares, S. (2017). La planificación y prevención de los impactos ambientales del turismo como herramienta para el desarrollo sostenible: Caso de estudio Timotes, Venezuela. *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 13(2). Chile. (p. 164) Recuperado <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-235X2017000200164>
- Díaz, L. (1982). *Responsabilidad del estado y contaminación*. Editorial Porrúa, México.
- El Economista. (2018). Acapulco y Tlaxcala, con el peor mercado laboral del país, *Periódico en línea EL ECONOMISTA*, CDMX. México. Recuperado <https://www.economista.com.mx/estados/Acapulco-y-Tlaxcala-con-el-peor-mercado-laboral-del-pais-20180824-0014.html>
- El Economista. (2019). Acapulco registra la mayor caída en cruceros a nivel nacional. *Periódico en línea EL ECONOMISTA*, CDMX. México. Recuperado <https://www.economista.com.mx/estados/Acapulco-registra-la-mayor-caida-en-cruceros-a-nivel-nacional-20191008-0029.html>
- Guerrero, M., Santiago, A., Bouza C. (2009). *El mercado turístico de Acapulco: estudio del perfil de los turistas*. Editorial REDMARKA UIMA-Universidad de A Coruña–CIECID, Argentina. (p.78). Recuperado <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4128654.pdf>

- INFOBAE. (2019). Así se ven las playas de Acapulco invadidas por contaminación fecal. *Periódico en línea INFOBAE*. Argentina. Recuperado <https://www.infobae.com/america/mexico/2019/07/09/asi-se-ven-las-playas-de-acapulco-invadidas-por-contaminacion-fecal/>
- López, R., Rodríguez A., Barragán C., Castellanos C., Palacios R. & Martínez. (2012). *Turismo y contaminación ambiental en la periferia urbana de Acapulco: Ciudad Renacimiento*. Editorial El Periplo Sustentable. Universidad Autónoma del Estado de México, México. (p.1). Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1934/193424449006>
- Mombelli, M. (2011). Espacios rurales y espacios urbanos. Constantes y cambios en el uso del suelo. *Revista Geográfica de América Central*, 47E(2), 1-19. Costa Rica. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/3156>
- Orgaz Agüera, Francisco, & Moral Cuadra, Salvador. (2016). *El turismo como motor potencial para el desarrollo económico de zonas fronterizas en vías de desarrollo: Un estudio de caso*. Editorial El periplo sustentable. Estado de México, México. (p.3). Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-90362016000200008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-90362016000200008&lng=es&tlng=es).
- Peña, R. (2017). La ciudad de Acapulco. Análisis de los caminos de la violencia y crimen en México. *Rev. Est. de Políticas Públicas*, 3(2): junio - noviembre 2017, pp. 20-32. Santiago de Chile. Recuperado <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7387855.pdf>
- Programa Regional Acapulco. (2016). *Acapulco Guerrero México*. <http://i.guerrero.gob.mx/uploads/2019/10/Programa-Regional-Acapulco-2016-2021.pdf>
- QUADRATIN. (2019). Baja llegada de turismo nacional a Acapulco en primeros meses de 2019. *Periódico en línea QUADRATIN, Chilpancingo Guerrero*. México. Recuperado <https://guerrero.quadratin.com.mx/baja-llegada-de-turismo-nacional-a-acapulco-en-primeros-meses-de-2019/>
- Ramírez, J. (1989). *Turismo y Medio Ambiente: El caso de Acapulco*. Editorial Universidad Autónoma Metropolitana, México. Recuperado de: <https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/651/644>

- Schiebler, S., Crotts, J. & R. Hollinger. (1996). *Florida Tourists Vulnerability to Crime*. In *Tourism, Crime and International Security Issues*. Chichester: Wiley, Inglaterra, pp. 35-70.
- Sin Embargo. (2019). Acapulco pierde en 5 años 63% del turismo extranjero por crimen y Guerrero no crece: queda en 0%. CDMX. *Periódico en línea Sin Embargo México*. Recuperado <https://www.sinembargo.mx/07-03-2019/3547045>
- Solís, M., Hernández, L. & Villagómez, J. (2016). El Valor Percibido del Destino Turístico en Relación con el Perfil del Turista en Acapulco, Guerrero-México. *Editorial Investigación administrativa*, 45(118). Instituto Politécnico Nacional. México. (p.2). Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-76782016000200002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-76782016000200002&lng=es&tlng=es).





**NOTAS Y DOCUMENTOS**

**NOTES AND DOCUMENTS**





## NORMAS DE PUBLICACIÓN

### PUBLICATION GUIDELINES

#### Admisión

Se admiten documentos originales e inéditos, relacionados con temáticas y problemas geográficos de índole teórico-metodológica o estudios de caso.

El autor debe remitir su artículo preferiblemente por la plataforma de OJS en el enlace <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica> debe ingresar al sistema si esta registrado, sino debe registrarse, si tiene dificultades, también lo puede enviar a la dirección electrónica de la Revista Geográfica de América Central [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr), o a la MSc. Lilliam Quirós Arias ([lquiros@una.cr](mailto:lquiros@una.cr)) o la Mag. Consuelo Alfaro Chavarría [calfaro@una.cr](mailto:calfaro@una.cr)

Al autor que no tenga código de investigador ORCID le recomendamos que se registre preferiblemente con el correo institucional en el enlace <https://orcid.org/>, antes de ingresar o subir el manuscrito al OJS, ya que al ingresar el artículo en la plataforma de OJS existe el espacio para situar dicho código. El código o identificador digital persistente a cada investigador, ORCID permite la atribución correcta e inequívoca de sus actividades de investigación, favoreciendo la visibilidad y el impacto de sus publicaciones. En el siguiente enlace encuentras una guía para registrarse <http://poliscience.blogs.upv.es/como-se-obtiene-un-codigo-orcid/>

Junto con el documento que será sometido a revisión, el autor debe entregar declaración Jurada manifestando expresamente que el documento es inédito y original, y que no está en proceso de revisión en otra revista. Después de su evaluación, y en caso de ser aceptado, el autor deberá entregar el documento final con las correcciones pertinentes.

El tiempo transcurrido entre la recepción del artículo y la aceptación para la publicación del mismo es de aproximadamente seis meses.

La revista vela el plagio y para ello utiliza el programa Turnitin que contribuye en la detección de plagio mediante la ubicación de similitudes. Una vez recibido el artículo se ingresa al programa Turnitin para detectar el porcentaje de similitud y si éste es mayor al 25% el mismo será enviado al autor para su verificación. Una vez recibido el descargo por parte del autor y de comprobarse el plagio el artículo será rechazado.

## **Normas de presentación de artículos**

Los documentos deben ser enviados en español, inglés o portugués, con un resumen no mayor de 10 líneas, en el idioma vernáculo y en inglés, con un máximo de 5 palabras claves en ambos idiomas. Un tamaño máximo de 25 páginas, incluyendo las figuras y las referencias bibliográficas. Para los artículos en portugués se debe incluir el título, resumen y palabras claves en español e inglés.

El texto debe estar en formato Word, escrito con letra Times New Roman 12, a espacio y medio, con 2,5 cm en los márgenes superior e inferior, y 3 cm en los márgenes derecho e izquierdo, en hoja tamaño carta.

Incluir los siguientes elementos: Introducción, Área de estudio, Características Generales, Marco teórico-conceptual, Marco metodológico, Resultados, Discusión de Resultados y Referencias Bibliográficas.

Las ilustraciones (mapas, gráficos, fotos, etc.), las tablas y los cuadros (estadísticos) deben ser enumerados según su orden de aparición en el texto (numeración 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 sexta edición).

## Orden de presentación del trabajo

**Título:** Breve, claro y que corresponda con el contenido. En letras mayúsculas, centrado y en negrita. En el idioma vernáculo, español y en inglés.

**Nombre y apellidos del autor o los autores:** justificados hacia la derecha.

**Grado académico, lugar, dirección de trabajo y dirección electrónica:** en una nota al pie de página y con letra Times New Roman 10.

**Resumen en el idioma vernáculo, español y en inglés:** máximo 10 líneas, enunciando los aspectos principales del texto. Con letra Times New Roman 10.

**Palabras claves en el idioma vernáculo, español y en inglés:** máximo 5 palabras. Con letra Times New Roman 10.

**Texto:** El texto inicia con la Introducción (Introducción), diferenciando la jerarquía de títulos y subtítulos utilizando tamaños de letra y uso de la negrita. Con letra Times New Roman y espaciado doble.

**Referencias bibliográficas:** debe estar citada en el texto y no en notas al pie de página.

## Notas y citas

En lo posible deben reducirse a lo indispensable.

Las notas al pie de página deben tener un fin meramente aclaratorio o explicativo, o bien, aportar información sobre lecturas adicionales para el lector potencial del texto.

En el texto, las citas textuales llevarán entre paréntesis el apellido del autor, año y número de página.

Las citas textuales inferiores a 40 palabras deben ir incluidas en el texto entre comillas.

Las citas textuales superiores a 40 palabras deben ir en un bloque independiente, sin comillas y con un tabulado a la izquierda de 2,54 cm.

## Referencias bibliográficas

Dispuesta en orden alfabético, según el apellido del autor. Siguiendo las normas APA sexta edición traducida al español.

## 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.325)

### **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: [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)

## **Cuadros y tablas**

Las tablas y los cuadros deben estar enunciados explícitamente en el documento y ubicados dentro del texto, con números arábigos.

## **Figuras (gráficos, diagramas, fotografías, etc.)**

El tamaño de las figuras podrá ser de hasta 13 cm de ancho por 18 cm de largo, con el objeto de ajustarse al formato de la revista.

Todas deben llevar numeración, título, leyenda y fuente. Deben estar debidamente referidas en el texto.

## **Material Cartográfico: (mapas y planos)**

Todos deben llevar numeración, título y fuente. Deben estar debidamente referidos en el texto.

## **Indicaciones para diseño cartográfico**

Dado que el ámbito de la Revista Geográfica de América Central incluye el diseño cartográfico como una de las principales formas de representación de las Ciencias Geográficas, para someter los artículos a evaluación la cartografía debe incluir los siguientes aspectos:

### *Aspectos de forma y contenido*

- Título
- Simbología
- Escala gráfica
- Coordenadas geográficas
- Diagrama de ubicación
- Flecha de norte
- Créditos y fechas

### *Aspectos de calidad*

- Representación acorde a la temática estudiada
- Visualización y organización interna del mapa acorde a la forma y tamaño del área representada
- Resolución gráfica entre media a alta resolución

### *Formato de envío de la cartografía*

- Envío de la cartografía en formato JPEG, TIF, PNG Y GIF con menos de 1mb,
- El tamaño de la imagen no debe exceder de 650 pixeles de ancho y alto
- Envío de la cartografía incluida en el texto y también en archivos superados/individuales.
- La presentación cartográfica, tablas, figuras y otros elementos visuales deben referenciarse en el texto.

### Referencia:

Apellidos, Nombre (autor/es, iniciales o nombre/es completo de los diferentes autores separados por ;) o nombre de la entidad responsable. Año de publicación:, Título (en 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.

## **Distribución**

Una vez publicada la revista, los autores recibirán 1 ejemplar. Adicionalmente una vez que la Editorial de la Universidad Nacional aprueba la publicación ésta será dispuesta en formato digital en la página de la revista, en la cual los autores y otros usuarios pueden acceder a esta publicación.

## **Revista Geográfica de América Central**

Correo electrónico: [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr)

<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>

<http://www.revista.geo.una.ac.cr>

## GUIDELINES FOR AUTHORS

### Checklist for submission preparation

As part of the submission process, authors are obliged to verify that their submission meet all the criteria disclosed below. Those submissions that do not comply with these guidelines will be returned to the authors.

- The document has not been previously published, nor has it been submitted to another journal (or an explanation has been provided in Comments to the editor).
- The file sent is in Open Office, Microsoft Word, RTF or WordPerfect format.
- Web addresses have been properly referenced when required.
- The text is set to 1.5 line spacing; 12-point font size; italics are used instead of underlining (except URLs); and all illustrations, figures and tables are kept inside the text in the corresponding place and not at the end of the text.
- The text complies with the bibliographic and style requirements indicated in *Author Guidelines*, which can be found in the *About the Journal* section.
- If submitting to a peer-reviewed section of the journal, make sure the instructions disclosed in *Ensuring a Blind Review* have been followed.

### Submittals

Original and unpublished works related to thematic and geographic issues of theoretical-methodological nature or case studies are accepted.

Article submission is preferably via the OJS platform accessed following the link <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>, author pre-registration is required. Alternatively, in case of difficulties, authors can submit their works via e-mail at REVISTA GEOGRAFICA DE AMÉRICA CENTRAL's electronic mail [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr) or directly contacting MSc. Lilliam Quirós Arias ([lquiros@una.cr](mailto:lquiros@una.cr)) or Mag. Consuelo Alfaro Chavarría ([calfaro@una.cr](mailto:calfaro@una.cr)).

When uploading the manuscript to the OJS platform authors must enter their ORCID researcher code. Authors not having an ORCID researcher code are urged to register, preferably using their institutional e-mail, following the link <https://orcid.org/>. A registration how-to-guide is found at <http://poliscience.blogs.upv.es/como-se-obtiene-un-codigo-orcid/>. The ORCID code is a digital identifier that allows ORCID to correctly and unequivocally link each researcher with their research activities thus favoring the visibility and impact index of their publications. Besides the manuscript submitted for review, the author must also submit a sworn statement expressly stating that the document has never been published, is of original nature, and is not under review by another journal. After its evaluation and, in case it is accepted, the author must submit the final document including the required corrections.

The time elapsed between the reception of the manuscript and the acceptance for its publication is approximately six months.

The journal does not tolerate plagiarism and uses Turnitin software to screen and detect text similarities. Upon receiving the article, it is screened with Turnitin software to detect the percentage similarity and if greater than 25% it will be returned to the author for verification. Once the author has received the disclaimer and if plagiarism is confirmed the article will be rejected.

## Rules for submitting articles

The documents must be submitted in Spanish, English or Portuguese, with an abstract of no more than 10 lines, in its vernacular language and in English, indicating a maximum of 5 key words in both languages. A maximum document size of 25 pages, including figures and bibliographical references will be accepted. For articles in Portuguese the title, summary and keywords must be included in both Spanish and English.

The text must be in Word format, written in Times New Roman size 12 font, 1.5 spacing, 2.5 cm upper and lower margins and 3 cm right and left margins, in letter-sized pages.

Include the following elements: Introduction, Study Area, General Characteristics, Theoretical-conceptual Framework, Methodological Framework, Results, Discussion of Results and Bibliographic References.

The illustrations (maps, graphics, photos, etc.), tables (statistics) must be listed according to their order of appearance in the text (Arabic numerals); and adequate formats to provide good print resolution. In the case of maps, printing can be in color, in JPG or Tiff format, wmf or bmp. All illustrations must be placed within the text and also attached as separate files.

The bibliographical references must be cited in the text, ordered alphabetically, and must follow the international format of the American Psychology Association (APA sixth edition).

### **Order of presentation of the work**

Title: Brief, clear and corresponding with the documents content. In bold capital letters, centered. In the vernacular language, Spanish and English.

Name and surname of the author(s): justified to the right.

Academic degree, place, work address and electronic address: in a footnote and in Times New Roman 10 font.

Summary in the vernacular language, Spanish and English: maximum 10 lines, stating the main aspects of the text. In Times New Roman 10 font.

Keywords in the vernacular language, Spanish and English: maximum 5 words. In Times New Roman 10 font.

Text: The text begins with the Introduction (Introduction), differentiating the hierarchy of titles and subtitles using letter sizes and use bold highlighting. In Times New Roman font and double spacing.

Bibliographical references: must be cited in the text and not in footnotes.

### **Notes and citations**

Where possible, notes and citations should be reduced to what is indispensable. Footnotes should have a merely clarifying or explanatory purpose or provide information on additional readings. Textual citations will include the author's surname, year and page number in parentheses.

Textual citations less than 40 words should be included in the text in quotation marks. Textual citations of more than 40 words should be in a separate block, without quotation marks and with a left indent of 2.54 cm.

## References

Arranged in alphabetical order, according to the author's surname, following rules outlined in the Spanish-translated sixth edition of APA.

## Examples

### **Book:**

Gómez, D. M. and Barredo, C. J. I. (2004). *Sistemas de información geográfica y evaluación multi-criterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España: RAMA.

### **Chapter of a book:**

Santos, M. (2000). "Por una geografía de las redes". *La Naturaleza del Espacio*. Barcelona, España: Editorial Ariel. (pp. 221-234)

### **Magazine:**

Murai, S. (1999). Libro de trabajo SIG. Volumen 1: Curso básico. En: *Revista SELPER*, 15 (1), 8-66.

### **Thesis:**

Romero, M. (2004). *Análisis de los cambios en la estructura del paisaje de l'alt Empordá, 1951-2001*. Tesis doctoral. Escuela de Geografía, Universidad de Girona. España. (pp.325)

### **Electronic page:**

Mascaraque, S. A. (2003). *Índices de causalidad y riesgo de incendios aplicados a espacios naturales protegidos de la comunidad de Madrid*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado: [http://oa.upm.es/911/1/PFC\\_Riesgos\\_Incendios\\_Forestales.pdf](http://oa.upm.es/911/1/PFC_Riesgos_Incendios_Forestales.pdf).

### **Newspaper:**

Loaiza, N. V. (January 24, 2008). Incendios forestales provocados arrasaron 32.000 hectáreas. La Nación. San José, Costa Rica. (p.5)

### **Tables**

Tables must be explicitly stated in the document and located within the text using Arabic numerals.

### **Figures (graphics, diagrams, photographs, etc.)**

The size of figures can be up to 13 cm wide by 18 cm long, in order to adjust to the journal's format. All figures must have numbering, title, legend and source. They must be duly referenced in the text.

### **Cartographic material: (maps and plans)**

All maps and plans must be assigned a number, title and source. They must be duly referenced in the text.

### **Indications for cartographic designs**

Given that the scope of the REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL includes cartographic design as one of the main forms of representing geographical data, the cartography of submitted articles must include the following aspects:

#### *Aspects of form and content*

- Title
- Symbology
- Graphic scale
- Geographical coordinates
- Location diagram
- North arrow
- Credits and dates

### *Aspects of quality*

- Representation according to the studied-developed theme
- Visualization and internal organization of the map according to the shape and size of the represented area
- Graphic resolution must be medium-high

### *Submission format of the cartography*

- Submitted in JPEG, TIF, PNG or GIF format and file size less than 1MB
- The size of the image must not exceed 650 pixels wide and high
- The cartography must be included within the submitted document as well as in separate individual files.
- Cartographic presentations, tables, figures and all other visual elements must be referenced in the text.

### Reference:

Surname, Name (author(s), initials or full name(s) of the different authors separated by ;) or name of the responsible entity. Year of publication:, Title (in italics) [Designation of type of material, for example: map]: subtitle (optional and in italics). Numerical scale. Edition. Place of publication: year.

### Example:

Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Costa Rica). *Istarú*. [Hoja topográfica]. Escala 1:50,000. San José, Edición 2, 1981.

## **Distribution**

Once the journal has been published, the authors will receive 1 copy. Additionally, once the Editorial de la Universidad Nacional (EUNA) approves the publication, it will be available in digital format on the journal's page from which the authors and other users can access the publication.

Publication Rules and Peer Review Process

## **Revista Geográfica de América Central**

E-mail: [revgeo@una.cr](mailto:revgeo@una.cr)

<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>

<http://www.revista.geo.una.ac.cr>

## SISTEMA DE ARBITRAJE

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 2021 en el Programa de Publicaciones e Impresiones de la Universidad Nacional; consta de un tiraje de 150 ejemplares, en papel bond y cartulina barnizable.