



ISSN 1011-484X
e-ISSN 2215-2563

REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL

68 (1)

Enero-junio 2022

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



CONTENIDO

CONTENTS

Pág.

PRESENTACIÓN

PRESENTATION

Lilliam Quirós Arias

María Milagro Castro Solano

Consuelo Alfaro Chavarría 11

TEORÍA, EPISTEMOLOGÍA Y METODOLOGÍA

THEORY, EPISTEMOLOGY AND METHODOLOGY

Análisis espacial de tipologías de microemprendimiento económico con potencial turístico en el cantón de Dota, Costa Rica

Spatial analysis of economic microentrepreneurship typologies with tourism potential in the county of Dota, Costa Rica

Daniel Avendaño-Leadem

María José Elizondo-Campos

Shirley Méndez-Cordonero 25

Estado del arte de la evaluación de la política pública de planeación territorial ambiental en Colombia

State of the art of the evaluation of public policy on territorial-environmental planning in Colombia

Andrea Carolina García-Cabana 55

Estimación de la deformación superficial de las laderas del volcán Turrialba (Costa Rica) después de una erupción mediante interferometría diferencial de imágenes radar de apertura sintética (SAR) Sentinel-1A

Estimation of the surface deformation of the slopes of the Turrialba volcano (Costa Rica) after an eruption using Sentinel-1A differential synthetic aperture radar interferometry (SAR)

Rubén Martínez-Barbáchano 79

Creación de escenarios ante el aumento del nivel del mar, para las localidades de Moín y Cahuita, Limón, Costa Rica

Creation of sea level rise scenarios for the localities of Moín and Cahuita, Limón, Costa Rica

Melvin A. Lizano-Araya

Omar G. Lizano-Rodríguez..... 103

ESTUDIO DE CASO

CASE STUDIES

El impacto sobre la forma urbana de los nuevos proyectos de Vivienda de Interés Social en Costa Rica

Impact on urban form of the new Social Housing projects developed in Costa Rica

Helga von Breymann-Miranda

Valeria Alexandra Chacón-Reyes

Mauricio Ramírez-Ramírez

Lucía Rodríguez-Ramírez

Paola Rojas-Álvarez

Andrés Mora-Sandoval 129

Impact on urban form of the new Social Housing projects developed in Costa Rica

El impacto sobre la forma urbana de los nuevos proyectos de Vivienda de Interés Social en Costa Rica

Helga von Breymann-Miranda

Valeria Alexandra Chacón-Reyes

Mauricio Ramírez-Ramírez

Lucía Rodríguez-Ramírez

Paola Rojas-Álvarez

Andrés Mora-Sandoval 159

Identificación de interacciones espaciales asociadas con el culto al Cristo Mojado en la iglesia de Santa Cecilia en Los Ángeles, California, Estados Unidos

Identification of spatial interactions associated with the worship to Cristo Mojado (Wetback Christ) in the Saint Cecilia Catholic Church in Los Angeles, California, United States

Leonardo Daniel Rosas-Paz

Enrique Propin-Frejomil.....189

Geomorfología del cantón de Siquirres, Costa Rica

Geomorphology of the canton of Siquirres, Costa Rica

Luis Nelson Arroyo-González217

Inundaciones por zonas funcionales en la subcuenca Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, México

Flooding within functional zones in the Santa Rosa Jauregui subwatershed Queretaro, Mexico

Sonia Oreano-Hernández

Juan Hernández-Guerrero241

Potencialidad de uso de aguas servidas para riego y recarga de acuíferos: cuenca del río La Villa, República de Panamá

Potential use of wastewater for irrigation and aquifer recharge water: La Villa river basin, Republic of Panamá

Valentina Opolenko269

Manejo del escurrimiento de aguas pluviales desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos. Análisis de su abordaje en ciudades capitales de la Argentina

Management of stormwater runoff from the perspective of ecosystem services. Analysis of its implementation in the main cities of Argentina

Paula Andrea Zapperi

Anabella Montico.....305

Mining environmental liabilities: a potential source of metal contamination for freshwater ecosystems in Costa Rica

Pasivo ambiental minero: una fuente potencial de contaminación por metales para los ecosistemas de agua dulce en Costa Rica

Johanna Rojas-Conejo

Francisco Picado-Pavón

Andrea Suárez-Serrano

Cornelis A. M. van Gestel

Christian Golcher-Benavides

Guillermo Durán-Sanabria.....333

Consistencia, homogeneidad y distribución de la precipitación pluvial y temperatura, Región Sierra de Amula, Jalisco, México

Rainfall and temperature consistency, uniformity and distribution, Sierra de Amula region, Jalisco, Mexico

Jonantan Chávez De La Lima

José Luis Olguín-López

Rubén Darío Guevara-Gutiérrez

Oscar Raúl Mancilla-Villa

Carlos Palomera-García

Gerardo Cruz-Sandoval.....357

Impacto de la erosión hídrica sobre la rentabilidad de los productores agrícolas en el partido de Tres Arroyos, Región Pampeana Austral, Argentina

Impact of water erosion on the profitability of agricultural producers in the partido of Tres Arroyos, Pampean Austral Region, Argentina

Nahuel David Sequeira

Patricia Vazquez.....383

Semiárido piauiense: expansão da cajucultura e transformações no território

Piauí state/region (Brazil) semi-arid: expansion and transformation of cashew cultivation in the territory

Piauiense semiarid: expansión y transformación del caso en el territorio

Paulo Gustavo de Alencar

Giovana Mira de Espíndola

Antonio Cardoso-Façanha

Maria de Nazaré Antão de Alencar413

Normas de publicación445



PRESENTACIÓN

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

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

En esta oportunidad, corresponde la publicación No. 68 de la Revista Geográfica de América Central del I semestre de 2022 (enero-junio). Incluye 15 artículos ubicados en las diferentes secciones de la revista: teoría, epistemología, metodología y estudios de caso.

El primer artículo comparte el abordaje metodológico en la identificación y clasificación de los emprendimientos asociados a la actividad turística en el cantón de Dota, así como sus patrones de comportamiento espacial. A partir de ello se generó un análisis espacial de la oferta turística que sirve de base para el proceso de toma de decisiones relacionado con la planificación y gestión del sector turístico del cantón de Dota. Esto como

como parte de los resultados del proyecto de extensión académica titulado “Turismo experiencial y patrimonio biocultural en Los Santos: organización comunitaria para la innovación y el encadenamiento de la oferta de bienes y servicios turísticos” de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA).

El segundo artículo revisa el estado de la literatura existente frente a la evaluación de políticas públicas de planeación territorial ambiental en Colombia. Para ello, se procedió a realizar una revisión metódica de los artículos publicados en revistas indexadas, en las bases de datos SciELO.org y EBSCO Information Services en el período comprendido entre el año 1995 y 2020. Analizando artículos que respondieron, principalmente, a las temáticas de evaluación de políticas públicas y planeación territorial ambiental en Colombia, se obtuvo el estado de arte de la evaluación de política pública en el tema específico de planeación territorial ambiental en Colombia y se establecieron algunas recomendaciones para fortalecer la divulgación de los procesos de evaluación de política pública en el país.

El tercer artículo estimó la deformación superficial experimentada en la ladera oeste del cráter del volcán Turrialba tras la erupción del 1 de agosto de 2020 con el uso de la técnica interferometría diferencial con radar de apertura sintética (SAR), reconocida en teledetección por sus aplicaciones en la generación de modelos digitales del terreno y el monitoreo de deformaciones de la corteza terrestre. Se utilizaron varias imágenes captadas por el sensor Sentinel 1A, de la Agencia Espacial Europea.

El cuarto artículo analiza el aumento del nivel del mar tomando como base el nivel promedio de mareas altas para la región Caribe de Costa Rica, considerando cuatro escenarios de acuerdo con los siguientes años: 2030, 2050, 2070 y 2100, para las localidades de Cahuita y Moín en la provincia de Limón. Se estudian los niveles de mareas astronómicas a partir de predicciones mareales. Los resultados muestran los niveles de inundación para cada uno de los años en las localidades de Moín y Cahuita, e indica que ambas localidades podrían ser inundadas para el año 2100.

El quinto artículo presenta un análisis de cinco conjuntos residenciales de proyectos de vivienda de interés social desarrollados en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, entre el año 2011 y 2018. Los proyectos de este tipo se caracterizan por estar localizados en zonas alejadas de centros urbanos o con limitado acceso a equipamientos e infraestructuras, debido al elevado costo del suelo en los sectores más céntricos de la

ciudad. Las condiciones y características de estos entornos, los usos del suelo, las configuraciones morfológicas, la continuidad y la contigüidad entre los proyectos de Vivienda de Interés Social y las piezas urbanas donde se insertan, son analizados en esta investigación. Los resultados alcanzados posibilitaron identificar las principales dificultades desprendidas del encaje morfológico y tipológico que siguieron los conjuntos residenciales, así como las problemáticas contextuales por la locación de los proyectos.

El sexto artículo presenta la versión en inglés del artículo anterior.

El séptimo artículo presenta un estudio que hace uso de la teoría de la interacción espacial para explicar la devoción a la imagen reconocida como Cristo Mojado. Antecedentes de esta tradición referencian que, en el año 2003, migrantes de origen centroamericano trasladaron de manera indocumentada a la ciudad de Los Ángeles, California, una réplica del Señor de Esquipulas, un Cristo de tez oscura de origen guatemalteco; con su llegada a la Iglesia de Santa Cecilia, la devoción a la imagen se expandió. Los hallazgos señalan que el culto al Cristo Mojado genera interacciones espaciales a corta y larga distancia, producto del movimiento cíclico de bienes materiales, personas e información.

El octavo artículo presenta un estudio que forma parte del diagnóstico ambiental que representa una sección de un levantamiento para el Plan Regulador de Siquirres. Con el propósito de caracterizar aspectos geológicos y geomorfológicos, se acude al uso de reportes técnicos, mapas temáticos, fotografías aéreas y trabajo de campo. Se realiza una delimitación y clasificación de formas de relieve; a las cuales, una vez individualizadas, se les describen tipos de amenazas naturales potenciales. Este levantamiento es un insumo para las tareas de ordenamiento del territorio cantonal mediante el Plan Regulador.

El noveno artículo analizó la formación de inundaciones por zonas funcionales en la subcuenca Santa Rosa Jáuregui, Querétaro. Se elaboraron zonas funcionales con variables hidrogeológicas en un sistema de información geográfica, se definieron unidades y secciones con análisis hidrogeomorfológico y se recopilieron registros de inundaciones con trabajo hemerográfico. A través de zonas funcionales, se determinó que las inundaciones resultan de procesos sistémicos y acumulativos que pueden ser utilizados en la gestión y mitigación de riesgo. Los resultados señalan que la zona funcional alta tiene una estructura óptima que beneficia cuenca

abajo, pero las alteraciones hidrogeomorfológicas en la zona funcional media favorecen la formación de inundaciones en la zona funcional baja, la cual también cuenta con la urbanización de la llanura de inundaciones.

El décimo artículo evalúa la sostenibilidad y viabilidad de riego y técnicas de recarga artificial de acuíferos en la parte baja de la cuenca del río La Villa, mediante el aprovechamiento de aguas residuales tratadas procedentes de la PTAR de Chitré para su posterior recuperación por procesos naturales y uso como fuente alternativa de agua. Se evaluó la posibilidad de implementación de soluciones tecnológicas. Los resultados permitieron establecer el nivel de remoción en humedales de contaminantes del agua postratada con la ayuda del sustrato y vegetación seleccionada. Además, se logró, con la realización de los estudios geológicos e hidrogeológicos, generar un bloque modelo inédito de la disposición espacial de capas litológicas y estimar sus volúmenes, definiendo así la zona acuífera capaz de recibir por infiltración el agua de recarga, almacenarla y, posteriormente, entregarla para hacer buen uso de ella.

El undécimo artículo analiza las reglamentaciones asociadas al manejo de aguas pluviales en la capital nacional y las capitales provinciales de la Argentina, y reconocer así antecedentes en la implementación de políticas que favorezcan la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. Los resultados obtenidos se agruparon en: indicadores urbanísticos, zonificaciones y medidas de infraestructura verde. Si bien, el 87,5% de las ciudades analizadas presenta algún tipo de medida urbanística relacionada con el servicio ecosistémico de regulación hídrica, en la mayoría de los casos no existe una mención explícita. Esto dificulta la cuantificación, su nivel de provisión servicio y, por lo tanto, su incorporación efectiva en los instrumentos de planificación.

En el duodécimo artículo se analiza cómo los pasivos mineros abandonados en el Líbano de Tilarán, Guanacaste, Costa Rica, son una fuente potencial de contaminación por metales para las aguas, sedimentos y macroinvertebrados bentónicos de los ríos San José y Cañas. Las posibles consecuencias para el medio ambiente asociadas con la presencia de desechos mineros se evaluaron cuantitativa y cualitativamente a través de las cantidades de metales presentes en los desechos y lixiviados. Se realizaron pruebas de infiltración y una prueba cinética de celda húmeda, lo que permitió describir los procesos y las reacciones químicas que pueden

ocurrir en los desechos mineros durante la lluvia, asociados con la carga de metales en el lixiviado. Esta investigación mostró que los pasivos mineros abandonados en el Líbano son una fuente potencial de contaminación por metales para los ecosistemas de agua dulce circundantes.

El décimo tercer artículo, a partir de la base de datos de 34 años de las 92 estaciones distribuidas en la región Sierra de Amula en el estado de Jalisco–México, estimó los datos mensuales faltantes de precipitación y temperatura a través de los métodos de media aritmética, regresión lineal simple y la técnica de la *U.S. National Weather Service*. La estimación de la consistencia y homogeneidad de esta base se realizó a través del análisis de doble masa, *t* de Student y Cramer, procesados mediante los Sistemas de Información Geográfica; resultando que el mejor método para interpolar la precipitación fue *polynomial interpolation*, mientras que para temperatura fue *J-Bessel* con una confiabilidad cercana a 100%.

En el décimo cuarto artículo se contribuye con el análisis de la erosión hídrica actual y potencial, y la variación de la pérdida total de suelos agrícolas del partido de Tres Arroyos (Región Pampeana Austral), para desarrollar un acercamiento a la estimación de la pérdida económica a causa de la merma de la productividad del suelo originada por la erosión hídrica en el área de estudio. Se determinó un aumento en la pérdida productiva debido al incremento del área sembrada y la existencia de procesos erosivos; traducándose en un perjuicio económico sobre los productores y en la necesidad de desarrollar estrategias enfocadas hacia un modelo de producción más sustentable.

El décimo quinto artículo analiza factores que han contribuido a las transformaciones territoriales en el Semiárido debido a la expansión agrícola de la cajucultura al municipio de Pio IX. El enfoque de desarrollo territorial se ha utilizado en la implementación de planes de desarrollo para el semiárido de Piauí. El anacardo familiar asumió el liderazgo en la reorganización del anacardo en el territorio, favorecido también por las nuevas organizaciones sociales y políticas resultantes de la organización de los trabajadores sin tierra en la búsqueda de la implementación de acciones de reforma agraria. Las acciones del estado desconocen la organización de la base productiva, además de la dimensión ambiental. Los distintos planes de desarrollo apuntan a caminos, pero no son muy efectivos para desencadenar acciones orientadas al desarrollo territorial.

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

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

Saludos cordiales,

Máster Lilliam Quirós Arias
Máster María Milagro Castro Solano
Máster Consuelo Alfaro Chavarría



PRESENTATION

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

The *Journal* is intended to disseminate research and works of relevance in geography and related sciences through the publication of original works, unpublished reports, or research advances that hold special relation to Central America, addressing specific topics of Geography: 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 to achieve this purpose.

On this occasion, it corresponds to publication N°68 of the *Revista Geográfica de América Central* of the first semester of 2022 (January-June). It includes 15 articles distributed throughout the different sections of the *Journal*: theory, epistemology, methodology and case studies.

The first article shares the methodological approach in the identification and classification of entrepreneurial activities associated with the tourism sector in the canton of Dota, Costa Rica, as well as their spatial behavior patterns. From this, a spatial analysis of available tourism offerings was generated that serves as the basis for a decision-making process related to the planning and management of the tourism sector of the

canton of Dota. The above is part of the results obtained from the academic extension project entitled “Experiential tourism and biocultural heritage in Los Santos: community organization for the innovation and linkage of offerings of goods and services in the tourism sector”, promoted by the Universidad Nacional of Costa Rica (UNA).

The second article reviews the state of the art of existing literature regarding the evaluation of public policies for territorial-environmental planning in Colombia. A methodical review of articles published in indexed journals was carried out within research databases SciELO.org and EBSCO Information Services, for the period spanning from 1995 to 2020. By analyzing articles pertaining mainly to issues of public policy evaluation and territorial-environmental planning in Colombia, knowledge was generated about the state of the art on the subject matter, which led to establishing some recommendations seeking to strengthen the dissemination of the evaluation processes of public policy in the country.

The third article estimated the surface deformation that occurred on the western slope of the crater of the Turrialba volcano after the eruption of August 1, 2020, using the technique of differential synthetic aperture radar interferometry (SAR), recognized in remote sensing for its applications in the generation of digital terrain models and the monitoring of deformations of the Earth’s crust. Several images captured by the Sentinel-1A sensor of the European Space Agency were used.

The fourth article analyzes the rise in sea level based on the average level of high tides registered in the Caribbean region of Costa Rica, presenting possible scenarios for four different years: 2030, 2050, 2070 and 2100, at two different localities, Cahuita and Moín, both in the province of Limón, Costa Rica. Astronomical tidal levels are studied from tidal predictions. Results show flood levels for each considered year and indicate that both localities could be flooded by the year 2100.

The fifth article presents an analysis of five residential complexes of social interest housing projects developed in the Greater Metropolitan Area of Costa Rica, between 2011 and 2018. Housing projects of this type are characterized by being located in areas far from urban centers or possessing limited access to facilities and infrastructure, due to the high cost of land in the most central sectors of the city. The conditions and characteristics of these contexts, land uses (zoning), morphological configurations,

continuity and contiguity between social interest housing projects and the urban pieces where they are inserted, are analyzed in this research. From the obtained results it was possible to identify the main difficulties arising from the morphological and typological fit that followed the establishment of residential complexes, as well as the contextual problems derived from the location of the projects.

The sixth article presents the English version of the previous article.

The seventh article presents a study that makes use of the theory of spatial interaction to explain the devotion to the image recognized as *Cristo Mojado (Wetback Christ)*. Background information on this tradition reveals that in 2003, migrants of Central American origin, illegally relocated a replica of *Señor de Esquipulas*, a dark-skinned Christ of Guatemalan origin, to the city of Los Angeles, California; with the replica's arrival at the Saint Cecilia Catholic Church, the devotion to the image expanded. The findings indicate that worship to the *Cristo Mojado* creates short- and long-distance spatial interactions, as a consequence of the cyclical movement of material goods, people and information.

The eighth article presents the findings of an environmental diagnosis that represents a section of a survey intended to be used for the creation of the *Regulatory Plan* (i.e., land use regulation plan) for the canton of Siquirres, Costa Rica. With the intention of characterizing geological and geomorphological aspects, use was made of technical reports, thematic maps, aerial photographs and field work activities. Demarcation and classification of landforms was carried out and thereafter each landform was assigned potential natural hazards. The survey constitutes an input for realizing the tasks involved in cantonal territorial planning through the use of the *Regulatory Plan* instrument.

The ninth article analyzed the occurrence of floods within functional zones in the Santa Rosa Jáuregui subwatershed, in the state of Querétaro, Mexico. Functional zones were elaborated with hydrogeological variables in a geographic information system, units and sections were defined by employing hydrogeomorphological analysis, and flood records were compiled from hemerographic research. Through consideration of functional zones, it was determined that floods result from systemic and cumulative processes whose awareness and consideration can be used for risk management and mitigation purposes. The results indicate that the

high functional zone possesses an optimal structure that benefits the watershed downstream, however, hydrogeomorphological alterations in the middle functional zone favor the formation/occurrence of floods in the low functional zone, which finds its floodplain in an urbanized state.

The tenth article assesses the sustainability and viability of irrigation and artificial recharge techniques of aquifers in the lower section of the La Villa river basin, through the use of treated wastewater from the Chitré wastewater treatment plant (WWTP) for its subsequent recovery by natural processes and as an alternative source of water for different applications. The possibility of implementing technological solutions was evaluated. The results allowed to establish the level of contaminant removal by wetland post treatment with the help of the substrate and selected vegetation. In addition, with the realization of geological and hydrogeological studies, it was possible to generate an unprecedented block model of the spatial arrangement of lithological layers and to estimate their volumes, thus defining the aquifer zone capable of receiving recharge water by infiltration, storing it and, later, retransferring the hydric source to be put into use.

The eleventh article analyzes the regulations associated with the management of stormwater in the capital and the provincial capital cities of Argentina, and thus recognize background information regarding the implementation of policies that favor the provision of ecosystem services relevant to the regulation of water resources. The results obtained were grouped into: urban indicators, defined zoning areas, and green infrastructure measures. Although 87.5% of the considered cities exhibit some type of urban measure related to ecosystem services pertaining to the regulation of water resources, there is no explicit mention. The above situation makes it difficult to quantify the level of provision of ecosystem services, and therefore, hampers its effective inclusion in urban planning instruments.

The twelfth article ascertains whether the mining passives abandoned in the locality of Líbano de Tilarán, Guanacaste, Costa Rica, are a potential source of contamination by metals for waters, sediments and benthic macroinvertebrates of the San José and Cañas rivers. The possible environmental consequences associated with the presence of mining wastes were evaluated quantitatively and qualitatively by assessing the metal content in mining wastes and leachates. Infiltration tests and one

kinetic humidity-cell test were carried out which allowed to characterize the chemical processes and reactions that can occur in mining wastes due to rainfall in connection to leaches containing significant toxic metal ions concentrations. The present investigation showed that abandoned mining passives in Líbano de Tilarán are a potential source of metal contamination to surrounding freshwater ecosystems.

The thirteenth article estimates the missing monthly rainfall and temperature data to complete a 34-year meteorological record from 92 weather stations distributed in the Sierra de Amula region in the state of Jalisco, Mexico, by applying the methods of arithmetic mean, simple linear regression and the technique employed by the *U.S. National Weather Service*. Estimation of data consistency and homogeneity was achieved by means of double mass analysis, and Student's t- and Cramér's t-tests processed by Geographic Information Systems. The best method to interpolate rainfall data was *polynomial interpolation*, whereas for temperature, *J-Bessel* provides a reliability close to 100%.

The fourteenth article contributes with the analysis of current and potential water erosion, and the variation of the total loss of agricultural soils in the partido (roughly translated as district) of Tres Arroyos (Austral Pampean Region) in the province of Buenos Aires, Argentina, to develop an approach to estimating the economic loss due to the decrease in soil productivity caused by water erosion in the study area. A decrease in productivity was determined due to the increase in the area of cultivated land and the existence of erosive processes, translating into economic damage to producers, and highlighting the urgency to develop strategies focused on a more sustainable production model.

The fifteenth article analyzes factors that have contributed to the territorial transformations in the semi-arid climate region of the state of Piauí, Brazil, due to the agricultural expansion of cashew (*Anacardium occidentale*) cultivation to the municipality of Pio IX. A territorial development approach has been used in the implementation of development plans for the semi-arid Piauí. Family-owned operations assumed a leading role in the restructuring of the cashew production sector that took place within this territory, this new order was also favored by the newly formed social and political organizations created by landless workers seeking implementation of agrarian reform. Actions of state authorities seem to disregard the

degree of organization exhibited by the cashew production sector, and also appear indifferent to related environmental issues. Directions are provided by various development plans, however, these are not very effective in triggering actions aimed at territorial development.

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. María Milagro Castro Solano
Mag. Consuelo Alfaro Chavarría



TEORÍA, EPISTEMOLOGÍA Y METODOLOGÍA

**THEORY, EPISTEMOLOGY
AND METHODOLOGY**



Análisis espacial de tipologías de microemprendimiento económico con potencial turístico en el cantón de Dota, Costa Rica

Spatial analysis of economic microentrepreneurship typologies with tourism potential in the county of Dota, Costa Rica

Daniel Avendaño Leadem¹

Universidad Nacional, Costa Rica.

María José Elizondo Campos²




Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Costa Rica.

Shirley Méndez Cordero³

Universidad Nacional, Costa Rica.

Resumen

El presente artículo reseña parte de la experiencia del proyecto de extensión académica titulado “Turismo experiencial y patrimonio biocultural en Los Santos: organización comunitaria para la innovación y el encadenamiento de la oferta de bienes y servicios turísticos” de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Concretamente, se comparte el abordaje metodológico en la identificación y clasificación de los emprendimientos asociados a la actividad turística en el cantón de Dota, así como sus patrones de comportamiento espacial. A partir de ello se generó un análisis

- 1 Geógrafo con Maestría en Planificación Urbana y Regional y Maestría en Eficiencia de los Recursos Aplicado en la Planificación. Académico del Programa de Estudios Turísticos Territoriales (PETT) de la Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica. Email: daniel.avendano.leadem@una.cr, dana-venda@gmail.com.  <https://orcid.org/0000-0001-8097-3942>
- 2 Geógrafa con Bachiller en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio. Consultora del proyecto Paisajes Productivos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Email: mariajos1221@hotmail.com.  <https://orcid.org/0000-0003-3164-3474>
- 3 Geógrafa con Bachiller en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio. Asistente del proyecto: Turismo experiencial y patrimonio biocultural en Los Santos: organización comunitaria para la innovación y encadenamiento de la oferta de bienes y servicios turísticos. Email: shirmc54@gmail.com.  <https://orcid.org/0000-0001-9122-1324>

espacial de la oferta turística que sirve de base para el proceso de toma de decisiones relacionado con la planificación y gestión del sector turístico del cantón de Dota.

Palabras clave: tipologías, microemprendimiento turístico, análisis espacial, planificación del espacio turístico

Abstract

This article outlines part of the experience of the academic extension project entitled "Experiential tourism and biocultural heritage in Los Santos: community organization for innovation and chaining of the offer of tourism goods and services" of the National University of Costa Rica (UNA). Special emphasis is given towards the methodological approach applied in the identification and classification of the microentrepreneurships associated with tourist activity in the county of Dota and its patterns of spatial behavior. This approach generated a spatial analysis of the tourist offer that serves as a basis for decision-making processes related with the planning and management of the tourism sector of Dota county.

Keywords: typologies, tourism microentrepreneurship, spatial analysis, tourism spatial planning

Introducción

El potencial que presenta la actividad turística para impulsar el crecimiento económico la convierte en una herramienta oportuna para el desarrollo de comunidades ubicadas en los entornos rurales de Latinoamérica. En este contexto, el presente artículo aborda parte de la metodología, resultados y análisis espacial para la identificación y clasificación de los emprendimientos asociados a la actividad turística en Dota, así como sus patrones de comportamiento espacial. La idea es que esto sirva de insumo básico para el proceso de toma de decisiones relacionado con la planificación y gestión de la oferta turística en dicho cantón. Para ello se parte de la experiencia del Programa de Estudios Turísticos Territoriales (PETT) y del Centro de Apoyo para el Desarrollo de Denominaciones de Origen y Sellos de Calidad de Productos Agroalimentarios (CADENAGRO), ambos de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), y su experiencia en el cantón de Dota a través de la ejecución del proyecto de extensión universitaria denominado "Turismo experiencial y patrimonio biocultural en Los Santos: organización comunitaria para la innovación y el encadenamiento de la oferta de bienes y servicios turísticos".

La experiencia se llevó a cabo con la colaboración directa del Comité de Turismo Cantonal liderado por la Municipalidad de Dota y con la participación de más de ciento cincuenta microemprendimientos locales con

potencial para desarrollar un producto turístico o al menos participar de encadenamientos productivos relacionados con dicha actividad. Esta organización se articuló alrededor de la experiencia de origen japonesa promovida internacionalmente por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), conocida como: "One Village, One Product" (OVOP) ("Un pueblo, un producto"). Este concepto simboliza todo aquel movimiento que busca promover la creación de oportunidades y estrategias turísticas en comunidades rurales mediante un producto originario que permita el fomento de emprendimientos económicos basados en el patrimonio bio-cultural local, valorizando las costumbres y tradiciones locales, así como el entorno natural y la estética de los paisajes (JICA, 2014). Los comités locales que promulgan la iniciativa OVOP se organizan con el fin de acercar a pequeños empresarios interesados en robustecer sus productos y servicios mediante el encadenamiento de actividades que complementen su oferta, así como aumentar sus conocimientos sobre la gestión de proyectos para consolidar sus actividades económicas (Villalobos, Sancho, Rubí, Avendaño & Granados, 2020).

Hasta ese momento no se había dado una adecuada gestión turística en la región que permitiera aprovechar sosteniblemente el potencial natural y cultural de sus recursos y que considerara la participación de los pobladores locales en el fomento de actividades económicas complementarias articuladas en un producto turístico a escala cantonal. Aunque el Instituto Costarricense de Turismo (ICT) elaboró el "Plan de Desarrollo Turístico de la Zona de Los Santos" para ejecutarse durante el período 2012-2016, la iniciativa no se llevó a cabo debido a problemas de desarticulación entre los diferentes participantes, puesto que predominaba cierto desconocimiento sobre las ventajas económicas y sociales que ofrecen los recursos turísticos del territorio, aunado a la ausencia de una participación activa de la comunidad en las iniciativas de desarrollo promulgadas en el cantón (CADENAGRO, 2017).

Según el Plan de desarrollo humano local del cantón de Dota 2010-2020: "...los esfuerzos de diversificación de la actividad productiva a través de otros cultivos, el desarrollo agroindustrial o las iniciativas turísticas llevadas a cabo a lo largo de los últimos años han resultado insuficientes para la región" (Municipalidad de Dota, 2009, p. 18). En este marco, lograr un desarrollo de turismo rural sostenible desde el punto de vista económico,

social, cultural y natural permitiría propiciar mejores encadenamientos y, por ende, ingresos económicos para todas las partes; esto tendría, además, un efecto positivo en la reducción de desempleo y la migración, así como en la conservación del patrimonio natural y cultural del cantón.

En este sentido, el proyecto de extensión académica realizó un aporte importante para el desarrollo de una propuesta de turismo rural comunitario en Dota que considerara tanto el planteamiento del OVOP, así como el componente de innovación y el nuevo concepto de turismo experiencial o vivencial. El objetivo que se planteó fue contribuir al mejoramiento de la oferta turística mediante el desarrollo de un producto que agregara valor a la producción tradicional del café a través del acompañamiento a pequeños microemprendimientos económicos con potencial turístico. El proceso conjunto entre participación comunitaria y acompañamiento académico sentó las bases para el fortalecimiento de los productos y servicios y resaltó el potencial de encadenamiento con otras actividades que complementarían la oferta turística del cantón. La iniciativa contribuyó a generar un tejido de colaboración, investigación y coordinación con actores comunitarios locales concentrados en el desarrollo turístico a escala cantonal.

Además, desde un principio el proyecto contó con el apoyo de distintos actores clave del municipio de Dota (municipalidad, empresarios, microemprendimientos) quienes pretendían impulsar el turismo sustentable a escala comunitaria mediante la promulgación de un producto turístico para lo cual requerían, entre varios otros elementos, la identificación y caracterización de la oferta turística. Se basaron en que el mosaico paisajístico presente en la región favorece el desarrollo del turismo de bajo impacto debido a que la actividad cafetalera de alta calidad, a la que recientemente se le otorgó el sello de denominación de origen “café Tarrazú”, se complementa favorablemente con el hecho de que más del 80% del territorio de Dota se encuentra protegido por alguna categoría de conservación ecológica, lo cual crea una serie de atractivos ambientales, socioeconómicos y culturales que le interesan tanto al turista nacional como al extranjero.

Marco conceptual

La presente investigación se basa en el conocimiento y la experiencia empírica de la geografía del turismo, la cual se centra en estudiar e interpretar los procesos y las interacciones que genera la estructura espacial

de la dinámica turística. Las ciencias geográficas han incorporado el estudio del turismo como un sistema, logrando la interpretación de su multidimensionalidad, aportando una racionalidad científica y una aproximación metodológica que permiten simplificar la realidad compleja. Existe una brecha en el ámbito de investigación de la geografía del turismo que consiste en la validación de construcciones teóricas a pequeña y mediana escala regional que consoliden las investigaciones geográficas dentro de la dinámica de la actividad turística (Morera & Miranda, 2015). Es precisamente en este aspecto que la presente investigación brinda un aporte.

Los resultados de la presente investigación también pretenden llenar un vacío de conocimiento identificado en la literatura, ya que hasta ahora la mayoría de los estudios se han centrado principalmente en analizar el turismo desde el ámbito de los servicios relacionados con la hostelería y la restauración, en lugar de explorar el fenómeno desde la perspectiva del emprendimiento económico (Prayag & Ozanne, 2018). Por ello, en correspondencia con la metodología y los resultados que aquí se comparten, se considera importante hacer referencia al análisis espacial y la geografía económica relacional como marco escogido en el abordaje del presente estudio. Debido a su importancia en esta investigación, se define el concepto de microemprendimiento turístico, así como el de tipología, ya que tradicionalmente en este ámbito se han asociado las tipologías con la caracterización de la demanda turística o el mismo destino turístico (Coccosis & Constantoglou, 2008), mientras que la presente investigación propone un abordaje innovador.

Análisis espacial del turismo

Todo evento ocurre en algún lugar y en algún momento. Consecuentemente, a todo evento relacionado con el turismo se le pueden asociar coordenadas de espacio y de tiempo. En las ciencias geográficas, la observación del lugar y el tiempo de los eventos individuales y la creación de bases de datos a partir de dichas observaciones es parte integral de su objetivo de investigación. Los datos espaciales permiten el estudio de procesos relacionados al turismo en diferentes tipos de ubicaciones, lo que puede proporcionar información sobre las interrelaciones entre su estructura y proceso (Goodchild & Janelle, 2004). También, se puede aumentar su potencia explicativa si se aborda el comportamiento del dato a partir de su uso y valor, logrando interpretar así sus elementos fijos y fluidos (flujos) mediante el análisis espacial (Mora & Torres, 2019).

El análisis espacial implementa un conjunto de herramientas y técnicas para estudiar los componentes del espacio y precisar sus elementos constitutivos y cómo estos se comportan bajo ciertas condiciones. Ha tenido enorme influencia en una serie de ámbitos relevantes al estudio de la actividad turística, como su ubicación, infraestructura, marketing, economía y conectividad, así como sobre temas particulares como su influencia en el desarrollo regional, impacto en áreas periféricas y consideración en los procesos de planificación urbana y regional. Además, el desarrollo del análisis espacial como herramienta aplicada al estudio del turismo ha sido impulsado por la creciente demanda en la precisión y calidad de los datos espaciales mediante el uso de Sistemas de Información Geográficas (SIG) como una herramienta interactiva en la toma de decisiones y la planificación de dicha actividad económica (Hall, 2012). O'Sullivan y Unwin (2003) sugieren que hay al menos cuatro áreas extensas superpuestas en la literatura concerniente al análisis espacial: el análisis de datos espaciales, el análisis estadístico espacial, el modelado espacial y la manipulación de datos espaciales.

La presente investigación se emplaza mayormente en el ámbito del análisis de datos espaciales que, siendo frecuentemente descriptivo y exploratorio, se produce cuando se hace referencia espacial a los datos y se le da una consideración explícita a la posible importancia de su disposición espacial en el análisis o interpretación de los resultados; en este caso en particular referido al análisis espacial y la identificación de tipologías de emprendimientos turísticos en el cantón de Dota.

Geografía económica y microemprendimiento turístico

En este estudio se considera la geografía económica como marco referencial para el análisis espacial de destinos turísticos, que según Chim-Miki y Domareski Ruiz (2018), se puede implementar en el abordaje de los estudios turísticos independientemente del contexto de organización territorial y productiva. A través de la implementación de dicho enfoque se pueden generar herramientas para analizar regiones e identificar cómo los activos relacionales pueden generar ventajas para el desarrollo del destino turístico.

Un punto clave para el desarrollo del turismo como actividad económica en el cantón de Dota son los emprendimientos. La geografía económica relacional considera el emprendedurismo como una acción humana contextualizada y contingente, que, a partir de su interacción, innovación,

organización y evolución genera actividad económica para el desarrollo territorial (Bathelt & Glückler, 2003). En este sentido, la ciencia económica identifica el emprendimiento como un elemento vital para el desarrollo, lo cual fortalece la afirmación de Schumpeter (1961) quien consideró que los empresarios desempeñan un papel destacado en la evolución económica.

La búsqueda continua de prácticas responsables y sostenibles en la industria turística ha allanado el camino para la implementación de enfoques alternativos en el desarrollo turístico. A menudo las comunidades locales se encuentran en el primer plano de estas innovadoras estrategias de emprendimiento y desarrollo. En ese sentido, el surgimiento del emprendimiento social en el sector turístico vino a reorientar la agenda de las comunidades en cuanto a la promoción de la participación ciudadana y el desarrollo sostenible a partir del turismo (Morais, Ferreira, Nazariadli & Ghahramani, 2017).

Como lo mencionan Espinoza, Chávez, Andrade y Verduzco (2018):

... los emprendimientos sociales turísticos son células con iniciativas empresariales cuyo objetivo es aprovechar las bondades naturales y culturales que les da su propio territorio, es decir, cultivar la gestión organizacional, soportada en una adecuada estructura de trabajo, para el desarrollo de actividades que aporten a la mejora de la calidad de vida, entendida esta última como el encadenamiento de factores exógenos y endógenos que permitan tener aspiraciones en la vida así como las opciones importantes para el logro de éstas, permitiendo al individuo o colectivo alcanzar un estado de felicidad (p. 218).

Los microemprendimientos se definen como empresas que emplean a cinco personas o menos, generalmente incluyendo un propietario/gerente/trabajador y familiares. El microemprendimiento turístico es un mecanismo que puede involucrar a segmentos alienados de la comunidad anfitriona/receptora en la generación de ingresos a partir del turismo, ya que está sobre regulado y fuera de la esfera de influencia de la industria formal porque no tiene guiones, requiere de un capital de inversión bajo y no necesita integrarse en los sistemas de distribución formales. Los avances en las tecnologías de la información y las nociones de los clústeres (aglomeraciones) regionales innovadoras han acelerado el desarrollo del espíritu empresarial a través de microemprendimientos para aspirar a una sociedad económica sostenible (Zhang, Bufquin & Lu, 2019).

En el presente caso de estudio bajo análisis, las actividades que desarrollan los microemprendimientos se relacionan, sustentan y/o giran alrededor del turismo rural, enfocándose en la integración de su producto turístico con los diversos recursos del territorio con una predominación del patrimonio cultural. La investigación caracteriza los microemprendimientos turísticos del cantón de Dota y su distribución espacial con el fin de brindar un insumo para la organización comunitaria en su búsqueda por impulsar la innovación y el encadenamiento de la oferta de bienes y servicios turísticos.

Tipologías en la investigación del turismo

Los temas complejos e interdisciplinarios que aborda la investigación de la actividad turística desde la perspectiva de las ciencias geográficas requieren la implementación de enfoques multidimensionales y multivariados, en especial cuando se trata de aspectos relacionados con la planificación y gestión del desarrollo a escala local. Al igual que en otros campos de investigación de la geografía aplicada, lo que se busca son insumos para el proceso de toma de decisiones y la implementación de acciones a nivel de microescala (Alvarado, Miranda & Avendaño, 2020).

Como alternativa, la investigación y caracterización por medio de la metodología de tipologías proporciona un enfoque multidimensional que permite estructurar e interpretar una serie de datos según los objetivos de investigación planteados. Consecuentemente, estas tipologías pueden ser determinadas desde el ámbito teórico según consideraciones conceptuales o desde una perspectiva práctica con base en la experiencia empírica (Avendaño, 2016). En el caso de investigaciones que manejan una alta complejidad de datos, se adopta un enfoque mixto que frecuentemente permite la identificación y proposición de tipologías construidas.

El enfoque de tipologías es utilizado en la investigación espacial para caracterizar, modelar, examinar, comparar y monitorear el entorno construido con respecto a la estructura territorial (Rain, 2007). En el presente estudio se considera el concepto de tipología como las categorías espaciales, o de igual manera de actividades que se desarrollan en el espacio, que comparten características similares en las cuales el sitio y la situación de las actividades o dinámicas espaciales pueden ser descritos con base en escenarios arquetípicos.

Debido a que el turismo constituye una actividad que se desarrolla de distinta manera en el territorio, obedeciendo a la diversidad de características de cada lugar, la clasificación por tipologías constituye una herramienta muy importante para la planificación turística (Coccosis & Constantoglou, 2008). La implementación de la metodología de tipologías para proponer “tipologías turísticas” (tanto en lo referente a las zonas de destino como a la caracterización de los turistas) tiene como objetivo contribuir a una formulación más eficiente e integral de la política turística en todas sus etapas: análisis de la situación existente, reconocimiento de los efectos positivos y negativos del turismo, creación y selección de escenarios alternativos para el crecimiento turístico, y en la especialización de políticas según tipo de crecimiento turístico.

Las investigaciones que implementan esta metodología en el ámbito del turismo distinguen dos categorías de tipologías: aquellas en las que el interés se centra en (a) las características de la demanda turística o (b) las características del destino turístico. La primera categoría se centra en los motivos y las características del viaje realizado por el turista e incluye criterios como los factores psicológicos, económicos, sociales, entre otros. En la segunda categoría, las tipologías tienen que ver con las áreas de destino y sus criterios principales son geográficos, económicos, demográficos, etc. El objetivo principal de esas tipologías es la comprensión de la estructura y dinámica del desarrollo en cada área de destino, así como indicar sus particularidades espaciales y de desarrollo (Coccosis & Constantoglou, 2008).

Hay múltiples beneficios de la creación y uso de tipologías en el turismo, ya que permiten el reconocimiento de las distintas dimensiones relevantes para esta actividad. Esta clasificación contribuye en el reconocimiento de: diferentes tipos de turismo, turistas y/o motivaciones de viaje, los efectos del turismo en las zonas de destino según los motivos y el tipo de viaje; así como las diferenciaciones en las características estructurales del turismo (por ejemplo, en los servicios ofrecidos en la recepción, en el alojamiento, etcétera) que causarán las diferentes categorías de turistas y turismo.

Métodos y materiales

Aunque los aspectos espaciales del turismo son frecuentemente pasados por alto en las políticas relacionadas con el turismo, su relevancia para el desarrollo de un producto turístico a escala cantonal es reconocido

por los gobiernos y planificadores de desarrollo turístico (Sarrión, Benítez & Mora, 2015). Con el fin de obtener una mejor visión de la estructura y el funcionamiento del sistema turístico en una zona determinada, ya sea con el fin de planificar su desarrollo de manera sostenible o para supervisar los efectos de planes ya implementados, el aporte de las ciencias geográficas y sus herramientas como los SIG tienen un gran potencial. La presente investigación parte de la geografía como ciencia aplicada para contribuir a las acciones requeridas para una gestión local que busca promover el encadenamiento de bienes y servicios turísticos.

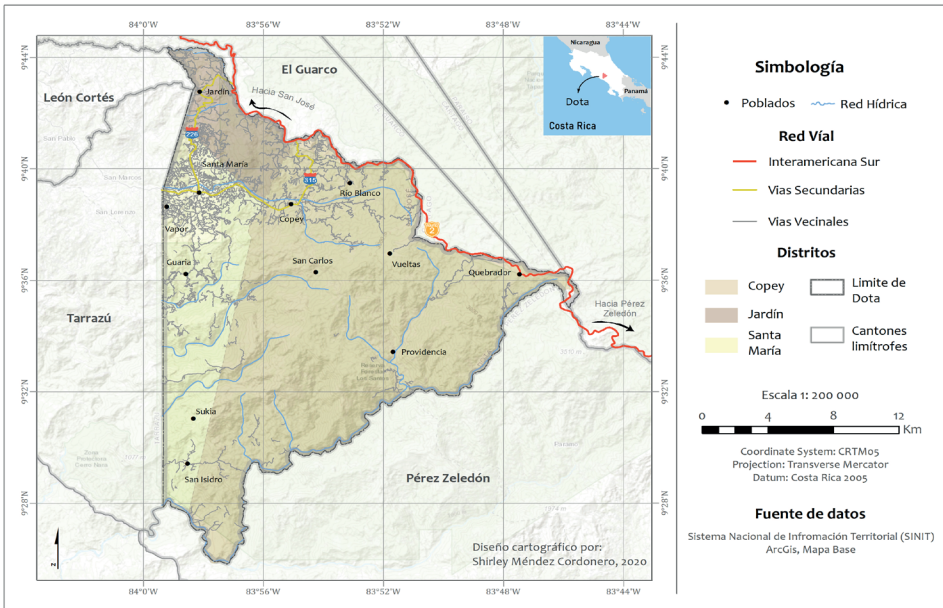
Área de estudio

El contexto de la investigación es el cantón de Dota, provincia de San José, el cual se sitúa entre las coordenadas geográficas 9° 39' latitud norte, 85° 58' longitud oeste (Ver Mapa 1). Dicho cantón cuenta con una extensión de 458,72 km² y está dividido en tres distritos: Copey, Jardín y Santa María, este último cabecera del cantón. Asimismo, el Censo de Población y Vivienda del 2011, muestra que Dota concentra 6948 habitantes, siendo el 45,4% de la población ocupada por el sector económico primario y el 44,2% por el sector terciario, (INEC, 2011). Es importante destacar que Copey es el distrito con mayor área territorial, aunque es el que menor densidad poblacional tiene, siendo Santa María, el distrito central, el que cuenta con la mayor densidad poblacional del cantón.

Dota se ubica en la Región de Los Santos, conformada además por los cantones de Tarrazú y León Cortes, la cual, según las unidades de planificación del Instituto Costarricense de Turismo (ICT), forma parte de la "Unidad Turística Valle Central y la subregión Los Santos". Esta región comprende una extensión de 863,24 km², conformada por una serie de valles intermontanos, ubicada entre la Región Central y la Región Pacífico Central de Costa Rica. Es una zona con una enorme diversidad biológica y paisajística con amplio potencial para fomentar y fortalecer el turismo rural comunitario, así como consolidar el desarrollo de la comunidad. Lo anterior se complementa muy bien con uno de los principales recursos locales como lo es la producción de café "Tarrazú". Este café de altura, cuya producción se distribuye entre asociados a cooperativas locales y microbeneficios tiene una gran reputación a nivel nacional e internacional, obteniendo recientemente certificación de Dominación de Origen.

No obstante, el cantón presenta evidentes limitaciones asociadas con un desarrollo no equitativo ni justo, que se debe a la dificultad de pequeños y medianos empresarios de vincular sus actividades a otros servicios complementarios. De esta forma, quedan en desventaja con respecto a aquellos empresarios que tienen una mayor capacidad económica. Aún en este difícil contexto, el potencial regional ha permitido el desarrollo de diferentes iniciativas turísticas locales gestionadas por actores institucionales, organizaciones y los gobiernos locales (CADENAGRO, 2017).

Mapa 1. Área de estudio: Cantón de Dota, Costa Rica



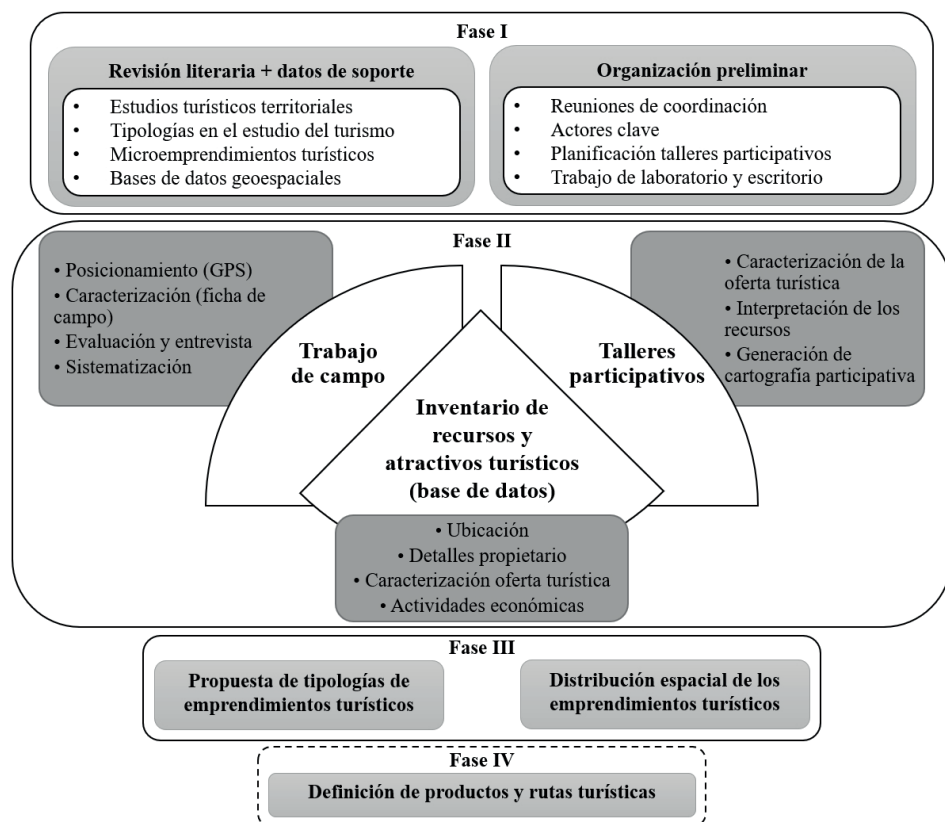
Fuente: Elaboración propia.

Modelo de investigación

El abordaje metodológico considerado en la presente investigación para la identificación y el análisis espacial de tipologías de emprendimientos turísticos fue organizado en cuatro diferentes fases (Ver Figura 1): i) Revisión literaria y organización preliminar; ii) trabajo de campo y talleres participativos para generar el inventario de recursos y atractivos turísticos; iii) análisis espacial a partir del establecimiento de tipologías de emprendimientos turísticos y su distribución espacial; y iv) el establecimiento de un producto o ruta turística

a escala cantonal. Es importante mencionar que el presente artículo solo hace referencia a la primera, segunda y tercera etapa de la metodología. A continuación, se describen estas tres etapas, haciendo énfasis en ciertos elementos metodológicos importantes de destacar, como fueron el diseño participativo de productos turísticos, la definición de tipologías de emprendimiento y el análisis del comportamiento espacial de los emprendimientos turísticos.

Figura 1. Esquema del modelo de investigación



Fuente: Elaboración propia.

La primera fase de la metodología implementada consistió en llevar a cabo una revisión literaria sobre temas relacionados con los estudios turísticos desde una perspectiva territorial, con el fin de tener una mayor claridad en cuanto a la definición de conceptos como microemprendimientos

turísticos. Se consultaron diferentes fuentes y experiencias para identificar aspectos prácticos a considerar en la identificación e implementación de tipologías en estudios del ámbito turístico. Por su parte, también se recabó la información y caracterización del área de estudio en formato de bases de datos geoespaciales (poblados, vías, hidrografía, áreas protegidas, entre otros) como insumo para el análisis espacial realizado mediante la herramienta de SIG. Dicha fase incluyó la organización preliminar del trabajo de campo y los talleres participativos mediante la realización de reuniones de coordinación, particularmente mediante la identificación de actores clave como lo fueron el Comité OVOP y la Municipalidad de Dota.

Como parte de la segunda fase de la metodología del presente estudio es importante destacar el diseño participativo de productos turísticos. Dicho enfoque sirvió de base para generar los datos para la definición y caracterización de las tipologías de emprendimientos turísticos en el cantón de Dota y el posterior análisis de su distribución espacial.

Esto se logró mediante la implementación del enfoque constructivista implementado a través de la experiencia en investigación-acción participativa del PETT en los últimos diez años (Alvarado, Miranda & Avendaño, 2020). Entre las actividades que se realizaron dentro del diseño participativo de los productos turísticos en el cantón de Dota se encuentran reuniones de equipo, trabajo de campo, talleres participativos, cartografía participativa, además del trabajo de laboratorio y escritorio.

En colaboración con el Comité OVOP, liderado por la Municipalidad de Dota, se implementaron talleres participativos en las principales comunidades del cantón mediante los cuales se obtuvo como resultado el inventario de recursos turísticos, así como el diseño de productos turísticos que las mismas comunidades propusieron, complementado con la elaboración de cartografía participativa. Este proceso se combinó con la visitación in situ de cada uno de los emprendimientos turísticos participantes con el fin de aplicarles una encuesta y georreferenciar cada una de estas iniciativas. La información obtenida permitió la elaboración de una base de datos que incluye las características generales de cada emprendimiento (nombre, propietario, contacto, actividad económica principal, actividad económica secundaria, oferta/producto/atractivo turístico, entre otros) y que se convirtió en un insumo importante para cumplir con los objetivos del proyecto (Villalobos et al., 2020).

En el ámbito de la investigación y planificación del turismo tradicionalmente se han trabajado dos tipologías de actividades turísticas relacionadas con la oferta y la demanda. En la tercera fase de la presente investigación se propusieron nuevas tipologías a partir de los emprendimientos asociados o relacionados con la actividad turística del cantón y validado mediante la participación de la población local. De esta forma se generó un insumo que enriqueció el inventario de emprendimientos locales productivos y turísticos presentes en el territorio mediante la determinación de una tipología de emprendimientos con base en su desempeño y su eventual potencial de encadenamiento mediante una ruta o producto turístico a escala cantonal. Este enfoque propició el acercamiento de pequeños empresarios turísticos interesados en robustecer sus productos y servicios mediante el potencial encadenamiento de actividades que complementan su oferta y optar por eventuales estrategias de mercadeo conjunto.

Análisis espacial de emprendimientos turísticos

En este apartado de la metodología se describen las técnicas geoespaciales implementadas mediante el software ArcGIS (versión 10.7) para la identificación y análisis del patrón de comportamiento espacial de las tipologías de emprendimientos turísticos identificados en el cantón de Dota. En cuanto a la elaboración de material cartográfico asociado a la cantidad de emprendimientos según su tipología, se procedió a realizar un mapa de gráficos que represente por cada distrito del cantón de Dota (Jardín, Santa María, Copey) qué tipología es la más significativa en el área de estudio. La selección de un gráfico circular se debió a que este es útil para representar proporciones relativas de un total, por lo cual se muestra un gráfico circular de las superficies proporcionales a las cantidades correspondientes a cada tipología individualizadas por distrito. De esta manera se obtuvo un panorama general de la distribución espacial de la tipificación de los emprendimientos turísticos en el cantón.

En cuanto a la identificación de patrones de concentración de emprendimientos turísticos en el cantón, se procedió a realizar el método de estimación de densidad de Kernel mediante la herramienta disponible en el software ArcGIS. Esta herramienta se basa en la función de Kernel para conformar una superficie curva suave sobre cada punto utilizando cálculos de vecindad local fijada por bloques de celdas o píxeles y una función simétrica radial (De Cos, 2004). Para efectos de este estudio esto posibilita

el cálculo de la cantidad de emprendimientos turísticos por unidad de área. Si el comportamiento espacial de la distribución tiende a presentarse en agregados, mostrará distintas densidades en diferentes zonas.

Cabe mencionar que dentro de los parámetros a configurar para el funcionamiento de dicha herramienta destacan el método de cálculo de distancias y el valor del radio de búsqueda u ancho de banda. En este caso concreto, se opta por utilizar el método geodésico y un valor de radio de búsqueda calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$RadioDeBusqueda = 0.9 * \min \left(SD \sqrt{\frac{1}{\ln(2)}} * D_m \right) * n^{-2} \quad (1)$$

Donde,

SD es la distancia estándar.

D_m es la mediana de la distancia.

n es el número de puntos cuando no se usa campo de población, o la suma de los valores del campo de población cuando se utiliza.

min significa que se utilizará cualquiera de las dos opciones que dé como resultado el valor menor.

De esta manera, cada píxel expresa un valor de emprendimientos por kilómetro, lo cual da como resultado un mapa de densidad de emprendimientos turísticos por kilómetro cuadrado que muestra las áreas de aglomeración de emprendimientos turísticos presentes en el cantón.

Resultados

La actividad turística se manifiesta mediante diferentes patrones espaciales dependiendo de las características específicas de cada destino. La identificación de tipologías basadas en la oferta de microemprendimientos turísticos del cantón de Dota es una contribución al proceso de toma de decisiones para dinamizar este sector, ya que la planificación turística del cantón podría llegar a ser racional, sistemática y eficaz al tener identificados los grupos con características, necesidades y conflictos similares. En este sentido y con base en el trabajo de campo y los talleres participativos, se planteó una tipología de emprendimientos turísticos para el cantón de Dota (Ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Tipología de emprendimientos turísticos y su representatividad en el cantón de Dota

Tipología	Definición	Caracterización	Cantidad	Porcentaje
Artesanías	Lugar donde se encuentra "[e]l resultado de la creatividad y la imaginación, plasmado en un producto en cuya elaboración se ha transformado racionalmente materiales de origen natural, generalmente con procesos y técnicas manuales. Los objetos artesanales van cargados de un alto valor cultural y debido a su proceso son piezas únicas" (Rivas, 2018, p. 81).	Talleres donde se componen artefactos de madera – barro – metal – papel – tela – bambú, reutilización de residuos, cosméticos, jabones, textiles, bordados, restauración de muebles.	27	18%
Finca Integral	"Una finca cuya forma de manejo de la tierra es amigable con el ambiente, cuyo plan de acción productiva está basado en su capacidad de producción, que se aplica tanto con el propósito de mejorar la disponibilidad y calidad de los alimentos; como maximizando el uso de los recursos y energías del sistema de acuerdo con las características agroecológicas y socioeconómicas representativas de los sistemas de producción de una determinada área de influencia" (MAG, 2013).	Fincas que combinan la producción de café, hortalizas, frutas, ganado vacuno, entre otros; enfocadas hacia la seguridad alimentaria sustentable, la utilización máxima de energía, diversificación de productos para el mercado y la obtención de beneficios económicos.	10	6%
Hospedaje	Servicio que se presta en situaciones turísticas y que consiste en permitir que una persona o grupo de personas acceda a un albergue a cambio de una tarifa. Bajo el mismo término también se puede designar al lugar específico de albergue, ya sea este una casa, un edificio, una cabaña o un departamento (Bembibre, 2010).	Hoteles, cabañas, cabinas, apartamentos, albergues, hostales, lodges, campamentos, casas de habitación con alquiler de cuartos para visitas.	23	15%
Microbeneficio	"Una pequeña y mediana agroindustria rural, con una base organizativa familiar, o asociativa entre pequeños y medianos productores, que tienen como propósito generar mayor valor al producto que se cultiva en sus fincas" (Umaña, 2014, p. 7).	Productores de café a pequeña escala que procesan su propio producto y lo comercializan en pequeños lotes y/o a través de intermediarios.	10	6%

Tipología	Definición	Caracterización	Cantidad	Porcentaje
Oferta Gastronómica	Locales que se dedican de forma profesional y habitual a producir y ofertar servicios de comidas y bebidas a cambio de un precio estipulado (De Bonis, 2019).	Restaurantes, cafeterías, bares, soddas, comedores, servicio de cáterin, comidas para llevar, servicio de comidas a domicilio.	20	13%
Producción Alimentaria	Lugar en el que se produce o elabora toda sustancia o mezcla de sustancias naturales o elaboradas que, ingeridas por los seres humanos, aporten a su organismo los materiales y la energía necesarios para el desarrollo de sus procesos biológicos.	Producción de hortalizas, frutas, vegetales, huevos, diferentes tipos de carne, quesos u otros lácteos, jugos, cerveza, vino, miel de abeja, conservas, vinagre, pan y repostería, entre otros.	32	21%
Recreación	Lugares donde se puedan realizar actividades placenteras con potencial educativo y generando bienestar. Destacan los ejercicios físicos, deportivos o mentales para la práctica de alguna actividad placentera (Elizalde & Gomes, 2010).	Lugares con atractivos como lagunas, cerros, cataratas, rutas y/o miradores donde se pueden realizar actividades de senderismo, apreciación de naturaleza (flora, fauna, paisajes), deportes de aventura, meditación, entre otros.	10	6%
Servicio OVOP	Servicios básicos requeridos por parte de los turistas y que colaboran con el Comité OVOP-Dota	Supermercados, bancos, gasolineras, clínicas, farmacias, tiendas de abarrotes.	23	15%

Fuente: Elaboración propia.

La presente investigación solamente consideró aquellos emprendimientos asociados a la iniciativa OVOP-Dota que tuvieran potencial turístico o con capacidad de encadenamiento a actividades de este sector. La sistematización de la experiencia metodológica relacionada con el diseño de productos turísticos a partir de iniciativas de microemprendimiento local en el cantón de Dota se aborda en otro artículo.

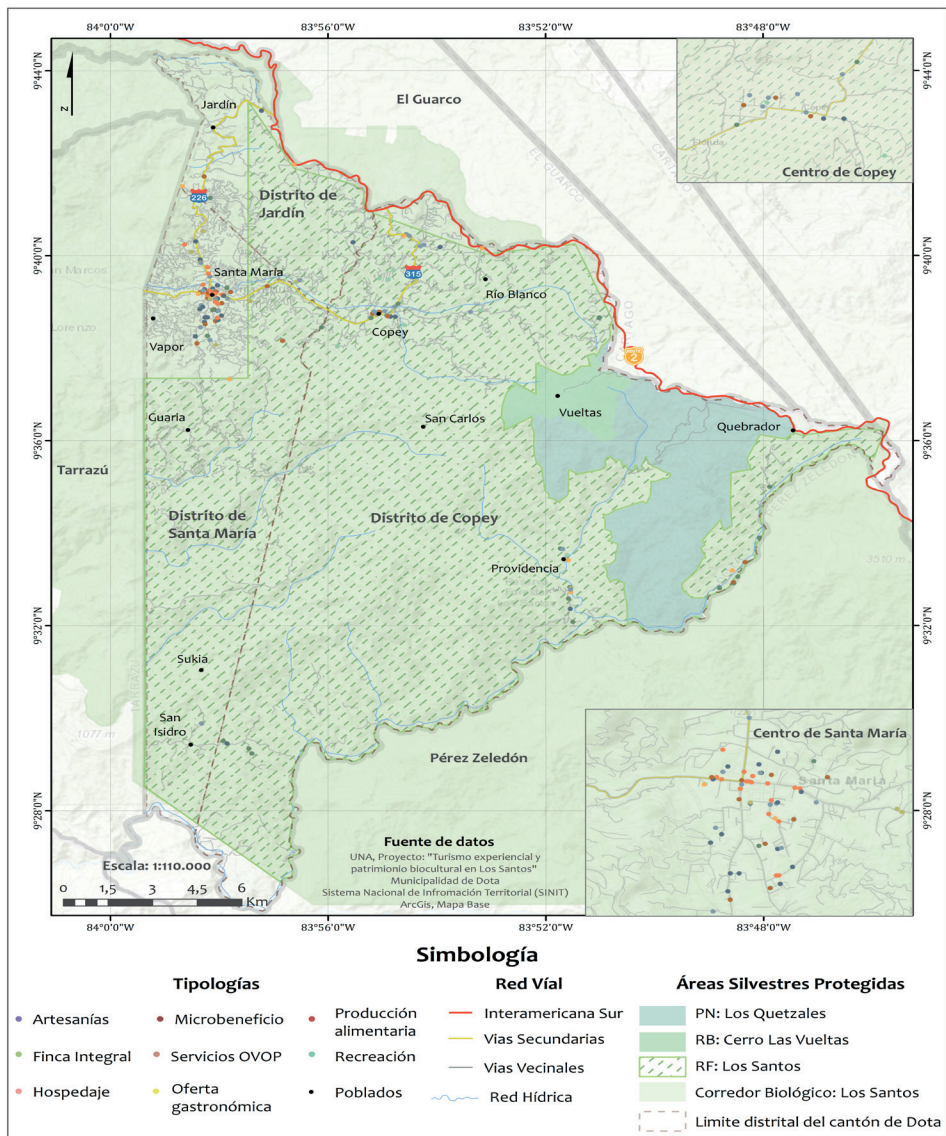
En total se identificaron 155 emprendimientos relacionados con actividades del sector turístico y caracterizados en ocho tipologías distintas. La mayor cantidad de estos emprendimientos identificados y encuestados corresponde a la tipología de producción alimentaria, que representa un 21% del total (Ver Cuadro 1); esto obedece naturalmente a las condiciones y características de la ruralidad del cantón, en la que una gran parte de la dinámica económica sigue ligada al sector agrícola. Esta tipología es seguida por las de artesanías, hospedaje, servicios y oferta gastronómica, que oscilan entre un 18% y un 13%. Por su parte, las categorías de fincas integrales, microbeneficios y recreación representan un 6% cada uno. De acuerdo con estos resultados, se puede deducir que la oferta turística del cantón de Dota es bastante heterogénea en cuanto a las actividades de los microemprendimientos asociados al OVOP. No existe un tipo de emprendimiento o producto turístico que sobresalga por encima de las otras y, por el contrario, existe una diversificación que se visualiza como una fortaleza debido a que existe un mayor potencial de articular y/o encadenar las diferentes ofertas, involucrando más participantes y conformando una oferta turística para el cantón que sea más integral.

Análisis espacial de los emprendimientos turísticos

A continuación, se comparte el análisis referente al comportamiento espacial (Ver Mapa 2) y la caracterización tipológica (Ver Mapa 3) de los emprendimientos turísticos. En cuanto a la distribución de los emprendimientos localizados en el cantón de Dota, se observa que el distrito que presenta mayor cantidad de emprendimientos es el de Santa María con 83. Se identifica claramente una aglomeración de emprendimientos que refleja su condición de distrito central, lo cual implica una mayor oferta de bienes y servicios, así como una mayor concentración de población (67% del total del cantón). Consecuente con lo anterior, las tipologías de emprendimiento turístico más predominantes son las de alimentación, servicios y artesanías. En relación con la densidad de los emprendimientos turísticos

(cantidad por kilómetro cuadrado), Santa María corresponde al lugar con más densidad de emprendimientos al reflejar un resultado de 13 emprendimientos cercanos por kilómetro cuadrado.

Mapa 2. Patrón espacial de los emprendimientos turísticos

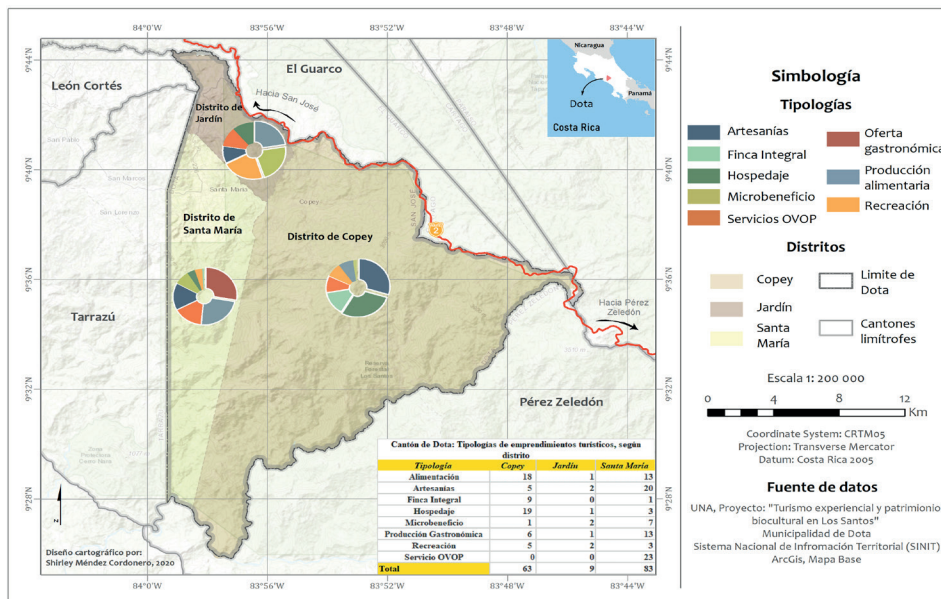


Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, el distrito de Copey presenta 63 emprendimientos turísticos donde predominan las tipologías de alimentación, hospedaje y fincas integrales. Estos emprendimientos se ubican principalmente entre los poblados de Copey y la Cima, sobre la Ruta 315, así como hacia el este del distrito en los poblados de Providencia y el polo turístico de San Gerardo de Dota (compartido con el cantón de Pérez Zeledón). La densidad de emprendimientos en el pueblo de Copey (6 por km²) representa menos de la mitad del valor establecido en Santa María.

El distrito de Jardín presenta menos emprendimientos con respecto a los otros distritos con solo 9 de estos, principalmente categorizados en las tipologías de artesanía, gastronomía y recreación. Cabe mencionar que, del total de emprendimientos del cantón, Jardín representa solo el 2,3%, lo que indica una baja oferta turística presente en el distrito, lo cual se asocia con su tamaño (8% del total del cantón). La oferta turística de este distrito se encuentra directamente relacionada con su ubicación sobre la Carretera Interamericana (Ruta 2) y la Ruta 226 que comunica dicha vía con el poblado central de Santa María.

Mapa 3. Caracterización tipológica de los emprendimientos turísticos por distrito



Fuente: Elaboración propia.

En correspondencia con la predominancia de actividades pertenecientes al sector primario en el cantón de Dota, la tipología de emprendimientos más común es la de alimentación (21%), la cual incluye la producción de hortalizas, frutas, vegetales, huevos, diferentes tipos de carne, quesos u otros lácteos, jugos, cerveza, vino, miel de abeja, conservas, vinagre, pan y repostería, entre otros. Resulta interesante que la segunda tipología con mayor presencia en el cantón sea la artesanía (18%), que corresponden a creaciones en madera, barro, metal, papel, tela, bambú, reutilización de residuos, así como la confección de cosméticos, jabones, textiles, bordados y servicio de restauración. Por su parte, el hecho de que los emprendimientos relacionados con la categoría de hospedaje (15%), servicios (15%) y oferta gastronómica (13%) compartan una presencia semejante y significativa resulta beneficioso para el desarrollo de la dinámica turística por la oferta de servicios esenciales que garantiza. Sobresale el hecho de que las tipologías de recreación, microbeneficios y fincas integrales, las cuales representan los atractivos turísticos per se, comparten una misma representatividad en el cantón (6% c/u).

En general, se puede afirmar que la cantidad de microemprendimientos en Costa Rica ha presentado una tendencia al alza, ya que para el 2012 se contaba con 102.177 microempresas, mientras que para el 2017 ya se contabilizaban 108.079 (Arce, 2019). El sector turístico del cantón de Dota no es la excepción a dicha tendencia, puesto que se han establecido emprendimientos turísticos como alternativa para dinamizar la economía del lugar y contribuir a su desarrollo. Como lo mencionan Oyarvide, Nazareno, Roldán y Ferrales (2016), el desarrollo de microemprendimientos “ha abierto el turismo rural como una nueva línea de desarrollo, el cual incluye actividades gastronómicas, costumbres, aventuras, cultura, entre otras, de manera que se establezca la oportunidad de generar rentas y disminuir las desigualdades socioeconómicas de las zonas donde se realizan actividades de emprendimientos turísticos relacionadas con el aporte a la matriz productiva” (p. 74).

En este sentido, el comité OVOP del cantón de Dota es consciente de que el turismo rural tiene potencial para contribuir al desarrollo integral de las comunidades y con ello mitigar la pobreza y desigualdad, evitar las migraciones, fomentar una distribución de ingresos justa, además de conservar el medio ambiente. Al identificar la oferta turística del cantón,

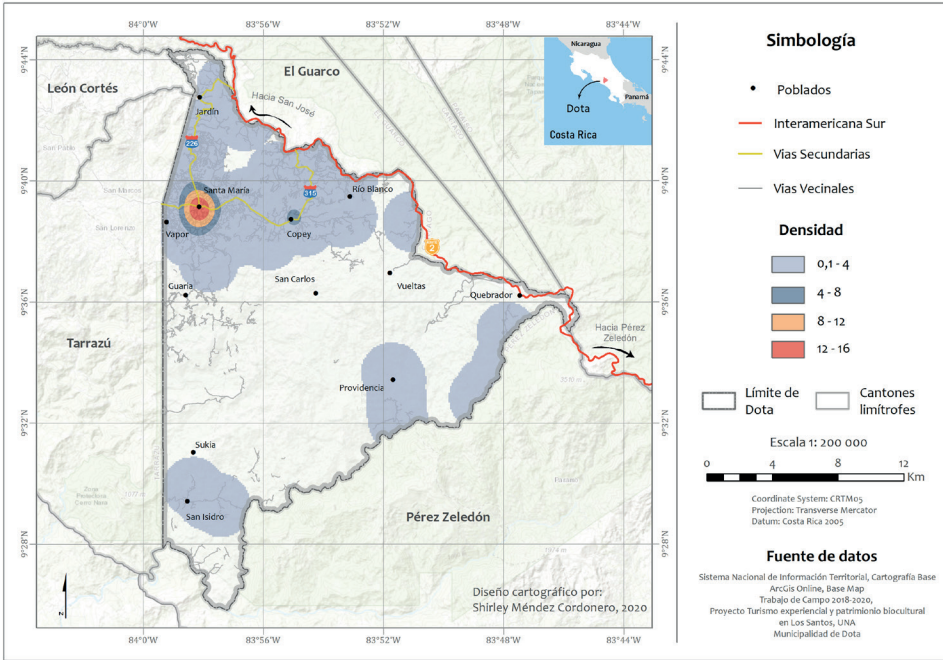
se puede señalar que Dota conjuga aspectos significativos que favorecen el afloramiento de microemprendimientos, como lo son su dinámica económica ligada al sector primario a través de la diversidad de sus actividades productivas y facilidad de encadenamiento, así como el turismo, basado en la belleza escénica del lugar que conjuga paisajes rurales productivos con la riqueza de sus espacios naturales protegidos. Combinar estos paisajes naturales y culturales con los emprendimientos locales es un factor estratégico de desarrollo local y territorial en espacios rurales.

Por su parte, el patrón de comportamiento de los emprendimientos turísticos localizados en el cantón de Dota se caracteriza por su aglomeración en el distrito de Santa María (Ver Mapa 4). Este aspecto se debe principalmente a que dicho distrito funciona como lugar central del cantón, término que *Christaller (1933)* utilizó en los años treinta para referirse a la oferta de bienes y servicios en la que una ciudad es más central en tanto ofrezca más bienes y servicios a su región circundante. De hecho, el Plan de Desarrollo Turístico de la Zona de Los Santos determina a Santa María como un centro de desarrollo que aglomerara servicios esenciales para la actividad turística según su planteamiento de Zonificación del Espacio Turístico.

Lo anterior justifica la clasificación del distrito de Santa María como el principal nodo de desarrollo turístico debido a la representatividad de las tipologías de servicios, alimentación y producción alimentaria en el distrito, además de presentar el mayor índice de concentración de emprendimientos en toda el área de estudio. Cabe destacar que la concentración de la tipología de artesanías se debe principalmente a dos situaciones: la primera de ellas asociada al modo de producción, el cual es manual y desarrollado en espacios adaptados dentro de las casas habitacionales; y la segunda que tiene que ver con su localización en el área urbana donde hay más población y, por ende, mayor probabilidad de encontrar insumos y personas que se especialicen en esta actividad.

Por su parte, los distritos de Jardín y Copey registran una baja densidad con relación al distrito de Santa María indicando que los emprendimientos turísticos se encuentran más dispersos. El distrito de Jardín presenta una mayor representatividad de las tipologías de artesanía, producción gastronómica y recreación (cada uno representando 25% del total), identificándolo como una zona de paso y no de estancia al ubicar los emprendimientos sobre la Carretera Interamericana Sur (Ruta 2) y la Ruta 226 que comunica con Santa María.

Mapa 4. Densidad de los emprendimientos turísticos



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al distrito de Copey, la distribución tipológica de los emprendimientos se caracteriza por la complementariedad de los emprendimientos de hospedaje y producción gastronómica. Este dinamismo se ve influenciado por su cercanía con las áreas silvestres protegidas que representan el ochenta por ciento del cantón, como lo son el Parque Nacional Los Quetzales, la Reserva Forestal Los Santos (incluyendo el Corredor Biológico con el mismo nombre) y la Reserva Biológica Cerro Las Vueltas. Lo anterior implica un potencial notorio para el desarrollo del ecoturismo y el turismo de aventura, así como ser reconocido a nivel mundial como un lugar para el avistamiento de avifauna. Su orografía resulta beneficiosa para la producción de diferentes cultivos (café, hortaliza, plantas ornamentales, entre otros) y, por ende, para la implementación de la modalidad de fincas integrales o fincas con cultivos asociados. Estas condiciones fundamentan la representatividad de los emprendimientos asociados a fincas integrales y alimentación.

El poblado de San Gerardo de Dota (distrito Copey) se caracteriza por presentar una dinámica económica ligada a las características antes mencionadas aunado a la conservación de los recursos naturales como el río Savegre. Estas condiciones influyeron en el desarrollo de una nueva ruralidad al identificarse una transición entre la producción agropecuaria tradicional hacia un enfoque primordial en el ecoturismo donde destaca una diversificación de actividades alrededor del turismo, como el alojamiento, alimentación, pesca de trucha recreativa y deportiva, áreas para acampar y áreas de investigación, así como el avistamiento y la fotografía de especies, principalmente aves.

En este escenario, el distrito de Santa María jugaría el rol de centro de desarrollo turístico al aglomerar la mayor cantidad de servicios esenciales para su desarrollo. El distrito Copey se destacaría por la oferta relacionada con un ecoturismo que gira en torno de la observación de avifauna, pesca de trucha y cabalgatas, así como del turismo rural comunitario por medio de fincas integrales, fincas de producción cafetalera y de otros cultivos. Por su parte, el distrito de Jardín participa a través de un producto turístico complementario al servir de enlace entre la Carretera Interamericana y Santa María.

Consideraciones finales

A partir del análisis espacial de los datos recolectados se logra establecer que el patrón del comportamiento espacial de los emprendimientos turísticos del cantón de Dota no es homogéneo ni aleatorio y surge de unas pautas asociadas a las actividades económicas de los distritos, lo cual influye en su distribución espacial. Es claro que el desarrollo turístico del cantón se ve influenciado por factores condicionantes como orografía, clima, recurso hídrico, vegetación y otras variables de naturaleza socioeconómica como población, patrones de asentamiento, sistema productivo, actividades agrícolas y ganaderas, actividades no agrícolas, equipos e infraestructuras, accesibilidad y políticas con impacto en los medios rurales.

Con base en la heterogeneidad de la oferta turística del cantón, interpretada a partir de la identificación de emprendimientos turísticos y su respectiva clasificación en tipologías, más que una competencia, se logra identificar una complementariedad que se ve fortalecida por la aglomeración de estos emprendimientos en zonas con orientaciones de turismo rural

diferenciadas. Dicha situación resulta beneficiosa para la competitividad del cantón, así como la posibilidad de plantear un producto turístico a nivel cantonal a partir del encadenamiento productivo.

El presente artículo plantea un aporte significativo al diseño del producto turístico de Dota a partir de la visualización del turismo desde la perspectiva de la geografía como una práctica social y económica que lleva implícita la producción y el consumo del espacio. Dicho espacio, en este caso cantón, se convierte en un lugar clave en el que acontecen los procesos de planificación y gestión de los productos turísticos que resulta en una disputa entre el beneficio económico de los agentes participantes, la conservación de los recursos naturales, los impactos ambientales, la producción y consumo de bienes y servicios, los objetivos de las políticas del Estado, entre otros; que deben ser considerados y articuladas por parte de la comunidad de Dota a la hora de su planificación.

La identificación de los patrones espaciales de los emprendimientos económicos relacionados con el turismo y su clasificación en tipologías contribuye a que el cantón de Dota, a través de su Comité OVOP y con el apoyo municipal y de otros actores clave, pueda proponer políticas que repercutan positivamente en el desarrollo turístico, tales como: a) la asignación de recursos específicos para apoyar microemprendimientos, incluyendo capacitación, financiamiento, organización y articulación; b) promocionar alianzas y articulaciones con otros municipios de la zona; c) mostrar apertura hacia nuevos mercados en ámbitos emergentes haciendo uso de herramientas digitales (ej. turismo virtual); d) promover tipos de turismo innovador (ej. turismo experiencial/vivencial); y e) controlar las actividades no reguladas y mejorar la tramitología de los diversos permisos.

A partir de la identificación de tipologías de emprendimiento turístico en el cantón, incluyendo su respectivo análisis espacial, se contribuye a potenciar los lugares y las actividades que se encuentran más dispersas y que cuentan con menor apoyo y así presentar una línea base para profundizar en la creación y promulgación del producto turístico cantonal mediante el encadenamiento de emprendimientos a partir de la creación de rutas turísticas. La tipología como herramienta de análisis espacial constituye un insumo muy importante para la planificación turística ya que resalta el reconocimiento y la importancia de la caracterización espacial. En ese sentido, al contar con la identificación de los emprendimientos con

potencial turístico, su clasificación en tipologías y la identificación de la oferta y actividades complementarias, el Comité-OVOP Dota cuenta con una base suficiente para proponer una serie de encadenamientos ligados al turismo que se traducen en productos turísticos diseñados conforme a estos ligámenes y traducidos en rutas turísticas para cada comunidad. Asimismo, la identificación y caracterización de los microemprendimientos y su comportamiento espacial facilita su participación y organización en la dinámica turística del cantón, creando la oportunidad de establecer un producto turístico para el cantón de Dota y buscar la estrategia para mercadear y promocionarlo.

A partir del enfoque planteado se resalta a cada uno de los emprendimientos como actores clave y la necesidad de que estos tengan una participación significativa en el desarrollo del turismo de su cantón para fortalecer los capitales sociales y políticos de los residentes, sin dejar de lado su capital humano (ej. conocimientos prácticos relacionados con la gestión del turismo). El desafío radica en que sus aspiraciones y necesidades sean escuchadas y puestas en práctica por los gobiernos locales, que favorablemente para el caso de Dota está comprometido con el fortalecimiento del desarrollo turístico.

Los resultados también resaltan la importancia de considerar los emprendimientos económicos relacionados con la actividad turística como punto de partida para determinar el producto turístico a escala cantonal. La implementación de este enfoque tiene el potencial de crear valor social mediante la generación de beneficios compartidos a partir de la promulgación del encadenamiento de actividades innovadoras que fomenten la participación comunitaria y se conviertan igualmente en terreno fértil para la implementación de buenas prácticas de sostenibilidad. Como se determinó en el cantón de Dota, la complejidad del sistema turístico está alimentada por múltiples actores/sectores y sus interacciones dinámicas.

En términos generales, para futuros estudios se recomienda realizar un análisis geoestadístico más minucioso, cuyos datos permitan crear análisis asociados a la autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial, así como análisis de la significancia estadística de clústeres de emprendimientos turísticos. Lo anterior contribuiría a identificar zonas con potencial para convertirse en sectores dinamizadores de la economía del cantón y considerarlo en las estrategias de desarrollo, así

como en la planificación y el ordenamiento territorial. Se recomienda mantener actualizada la información de las bases de datos respectivas; acción que podrá ser ejecutada por parte de un departamento del gobierno local, o capacitar a una persona del Comité OVOP-Dota para ello.

Referencias

- Alvarado, M., Miranda, P. & Avendaño, D. (2020). Sistematización de experiencias en extensión universitaria: Los proyectos del Programa de Estudios Turísticos Territoriales (2011-2015) como aporte a la Geografía del Turismo. En M. Flores & N. Sánchez. (Eds.), *Democratizando experiencias de extensión universitaria Tomo 5. Sistematización de experiencias: Visibilización de procesos con las poblaciones interlocutoras* (pp. 235-266). Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional.
- Arce, J. (2019). *Estudio Situacional de la PYME*. San José, Costa Rica: Ministerio de Economía, Industria y Comercio.
- Avendaño, D. (2016). Identificación de tipologías de asentamiento para el diseño de tratamiento descentralizado de aguas residuales. Caso de estudio: San Isidro de Heredia - Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 1(56), 183–207. <http://doi.org/doi: 10.15359/rgac.1-56.8>
- Bathelt, H., & Glückler, J. (2003). Toward a relational economic geography. *Journal of economic geography*, 3(2), 117-144.
- Bembibre, C. (junio de 2010). *Hospedaje. Definición ABC*. Recuperado de: <https://www.definicionabc.com/general/hospedaje.php>
- Centro de Apoyo para el Desarrollo de Denominaciones de Origen y Sellos de Calidad de Productos Agroalimentarios. (CADENAGRO, 2017). *Turismo experiencial y patrimonio biocultural en Los Santos: Organización comunitaria para la innovación y encadenamiento de la oferta de bienes y servicios turísticos*. Heredia, Costa Rica. Centro de Apoyo para el Desarrollo de Denominaciones de Origen y Sellos de Calidad de Productos Agroalimentarios, Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional.
- Chim-Miki, A. & Domareski Ruiz, T. (2018). Relational economic geography and its use in tourism clusters studies. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, 12(2), 129-151. doi: 10.7784/rbtur.v12i2.1392
- Christaller, W. (1933). *Die zentralen Orte in Süddeutschland*. Jena, Deutschland: Gustav Fischer.

- Coccosis, H., & Constantoglou, M. (2008). The use of typologies in tourism planning: problems and conflicts. En H. Coccosis & Y. Psycharis. (Eds.), *Regional Analysis and Policy* (pp. 273-295). Heidelberg, Germany: Physica-Verlag HD. <http://doi.org/doi.org/10.1007/978-3-7908-2086-7>
- De Bonis, G. (20 de agosto de 2019). *La oferta gastronómica*. Recuperado de: <https://germandebonis.com/la-oferta-gastronomica/>
- De Cos, O. (2004). Valoración del método de densidades focales (Kernel) para la identificación de los patrones espaciales de crecimiento de la población en España. *GeoFocus*, (4), 136-165.
- Elizalde, R. & Gomes, C. (2010). Ocio y recreación en América Latina: conceptos, abordajes y posibilidades de resignificación. *Polis*, 26, s.p.
- Espinoza, R., Chávez, R., Andrade, E. & Verduzco, M. (2018). Turismo rural: nuevos escenarios y actores en la gestión organizacional turística a través del emprendimiento social turístico. En A. Bojórquez, G. Hernández, G. Acevedo & C. Pedraza. (Eds.), *Turismo en los entornos rurales: teorías y experiencias* (pp. 211-234). San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Goodchild, M. & Janelle, D. (2004). *Spatially Integrated Social Science*. New York: Oxford University Press.
- Hall, M. (2012). Spatial analysis: A critical tool for tourism geographies. En J. Wilson. (Ed.), *The Routledge Handbook of Tourism Geographies* (p. 352). London: Routledge.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (INEC, 2011). *Censo Nacional de Población y Vivienda del 2011*. San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Japan International Cooperation Agency. (JICA, 2014). *Noticias desde la Cooperación Japonesa: Gobierno costarricense promueve movimiento "Un pueblo - Un producto" (OVOP)*. San José, Costa Rica: Japan International Cooperation Agency.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (MAG, abril de 2013). *Fincas Integrales Didácticas. Región Central Oriental, Área de Producción Sostenible*. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/regioncentraloriental/fincas-integrales-didacticas>
- Mora, G. & Torres, M. (2019). *Las concesiones de aprovechamiento del agua en la microcuenca hidrográfica del Río La Vieja (periodo 1972*

- 2017): *un análisis del proceso de formación espacial de los datos*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Morais, D., Ferreira, B., Nazariadli, S. & Ghahramani, L. (2017). Tourism microentrepreneurship knowledge cogeneration. En N. Scott, M. De Martino, & M. Van Niekerk. (Eds.), *Knowledge transfer to and within tourism: Academic, industry and government bridges* (pp. 73-95). Bingley, U.K.: Emerald Publishing Limited.
- Morera, C. & Miranda, P. (2015). De la geografía del turismo al análisis territorial del turismo: el rastro en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 1(54), 15-43. doi: <http://doi.org/10.15359/rgac.1-54.1>
- Municipalidad de Dota. (2009). *Plan de Desarrollo Humano Local del Cantón de Dota 2010-2020*. Santa María de Dota, Costa Rica: Municipalidad de Dota.
- O'Sullivan, D. & Unwin, D. (2003). *Geographic Information Analysis*. Hoboken, United States: John Wiley.
- Oyarvide, H., Nazareno, I., Roldán, A. & Ferrales, Y. (2016). Emprendimiento como factor del desarrollo turístico rural sostenible. *Retos de la Dirección*, 10(1), 71-93.
- Prayag, G. & Ozanne, L. (2018). A systematic review of peer-to-peer (P2P) accommodation sharing research from 2010 to 2016: progress and prospects from the multi-level perspective. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 27(6), 649-678. doi: <http://doi.org/10.1080/19368623.2018.1429977>
- Rain, D. (2007). Towards settlement science: a research agenda for urban geography. *GeoJournal*, 69(1), 1-8. doi: 10.1007/s10708-007-9107-7
- Rivas, R. (2018). La artesanía: patrimonio e identidad cultural. *Revista de Museología Kóot*, (9), 80-96. doi: <http://doi.org/10.5377/koot.v0i9.5908>
- Sarrión, M., Benítez, M. & Mora, E. (2015). Spatial distribution of tourism supply in Andalusia. *Tourism Management Perspectives*, 15, 29-45. doi: <http://doi.org/10.1016/j.tmp.2015.03.008>
- Schumpeter, J. (1961). *The Theory of Economic Development*. (3rd ed.). New York: Oxford University Press.
- Umaña, G. (2014). *Guía para el establecimiento de módulos para micro-beneficiado de café*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Q70-10721.pdf>

- Villalobos, K., Sancho, P., Rubí, J., Avendaño, D. & Granados, L. (2020). Inventario de oferta de bienes y servicios articulables para impulsar la estrategia OVOP-Dota, Costa Rica. *Perspectivas rurales*, 18(36), 23-50. doi: <http://doi.org/10.15359/prne.18-36.2>
- Zhang, T., Bufquin, D. & Lu, C. (2019). A qualitative investigation of microentrepreneurship in the sharing economy. *International Journal of Hospitality Management*, 79, 148-157. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijhm.2019.01.010>



Estado del arte de la evaluación de la política pública de planeación territorial ambiental en Colombia


State of the art of the evaluation of public policy on territorial-environmental planning in Colombia¹

Andrea Carolina García-Cabana²

Universidad Nacional Abierta y a Distancia y Pontificia Universidad Javeriana, Colombia

Resumen

La evaluación de política pública ha planteado diferentes desafíos que buscan mejorar el desempeño de la gestión pública, para lograrlo lo hace a través de la medición sistemática de la operación o impacto de los programas o políticas públicas, que al ser comparadas con estándares implícitos o explícitos permite contribuir a su mejoramiento (Weiss, 1998). El presente artículo realiza la revisión del estado de la literatura existente, frente a la evaluación de políticas públicas de planeación territorial ambiental en Colombia. Para ello, se procedió a realizar una revisión metódica de los artículos publicados en revistas indexadas, en las bases de datos SciELO.org y EBSCO Information Services en el período comprendido entre el año 1995 y 2020, período en el cual, se pueden encontrar adelantos de evaluación a las políticas implementadas, a partir de la Constitución Política de Colombia de 1991. Para el análisis de la información, se revisaron los artículos que respondieron principalmente, a las temáticas de evaluación de políticas públicas y planeación territorial ambiental en Colombia. Como resultado de la investigación, se obtuvo el estado de arte de la evaluación de política pública en el tema específico de planeación territorial ambiental en Colombia y se establecieron algunas recomendaciones, para fortalecer la divulgación de los procesos de evaluación de política pública en el país.

- 1 Este artículo hace parte de la investigación doctoral *Análisis del régimen sociotécnico de planeación territorial: una mirada a través del marco de SSE's*, financiada por la Gobernación de Boyacá y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación MINCIENCIAS, a través de la convocatoria de becas condonables 733/2015.
- 2 MSc. Desarrollo rural. Investigadora Grupo GIGAS. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y Pontificia Universidad Javeriana (PUJ), Colombia. Correo electrónico: andrea.garcia@unad.edu.co, garciaa.n@javeriana.edu.co  <https://orcid.org/0000-0002-4011-0154>

Palabras clave: Política pública; Planeación; territorial; implementación; evaluación.

Abstract

The evaluation of public policies has posed different challenges that seek to improve the performance of public management to achieve this it does so through the systematic measurement of the operation or impact of public programs or policies, which when compared with implicit or explicit standards allows to contribute to their improvement (Weiss, 1998). This article reviews the state of the literature, regarding the evaluation of public policies for environmental territorial planning in Colombia. A methodical review was made of the articles published in journals indexed in the databases SciELO.org and EBSCO Information Services in the period between 1995 and 2020. As a result of the research, the state of the art of the evaluation of public policies on the specific issue of territorial environmental planning in Colombia was obtained, and some recommendations were established to strengthen the dissemination of the public policy evaluation processes in the country.

Keywords: Public policies; planning; territorial; implementation; evaluation.

Introducción

Según Roth (2009a), la evaluación se considera una nueva disciplina en el ámbito, las políticas públicas en la cual se busca recolectar, verificar e interpretar la información sobre la ejecución y eficacia de las políticas o programas implementados (Majone, 1997). Se emplea como un instrumento de control de gestión, que de manera interactiva y participativa puede fortalecer el ideal democrático de la evaluación (Roth, 2009a).

El enfoque tradicional se ha concentrado en la fase de evaluación *ex ante*, que se caracteriza por evaluar principalmente, la etapa relacionada a la formulación de las políticas públicas como requisito para su aprobación, dejando un poco de lado la evaluación *ex post*, sin embargo, la evaluación se ha ido aplicando a las fases de implementación y resultados, con el fin de rendir cuentas y emprender las acciones de mejoras que se llegaran a necesitar (Feinstein et al., 2016).

En Colombia, la evaluación de política pública está en marcada en la Constitución Política de 1991, en el título XII (Régimen Económico y de la Hacienda Pública), capítulo II (Planes de Desarrollo), artículo 343, el cual señala que la entidad nacional de planeación, tendrá a su cargo el diseño y la organización de los sistemas de evaluación de gestión y resultados de la administración pública, esto también está incluido en la Ley 152 (1994) en su artículo 29 (DNP, 2014).

Aunque esto, está contenido en las leyes desde los años 90's, tal y como es señalado por Roth (2009b), al inicio de este proceso, la evaluación

de políticas públicas en el país no tuvo mucho auge, ha venido tomado fuerza debido a sus implicaciones y a sus efectos, sobre la efectividad en la gestión pública en los territorios (Roth, 2009b).

La evaluación de políticas públicas en Colombia, según lo establecido por el Departamento Nacional de Planeación DNP, se desarrolla en cuatro fases. La primera, la selección de la política a evaluar; segunda, diseño de la evaluación; tercera, ejecución de la evaluación y cuarta, socialización de los resultados (DNP, 2014, 2012). Es en ese último punto, que este artículo quiere contribuir verificando los procesos de socialización y divulgación de resultados de la evaluación de las políticas públicas, principalmente a las enfocadas en planeación territorial ambiental. Ya que, tal y como señala Roth (2009b) citado por Torres-Melo & Santander (2013), la evaluación de política pública, no solo sirve para conocer los resultados y validar las fases del proceso, sino que permite conocer aspectos claves de las políticas como intermediarias entre el Estado y los ciudadanos.

Si bien existe una serie de herramientas y técnicas para medir objetivamente y llevar a cabo procesos de evaluación, también es necesario saber a quiénes les ha llegado esa información, de manera tal que influya positivamente en la construcción de nuevas políticas públicas que se empleen para gestionar los territorios.

Aunque la responsabilidad del proceso de evaluación de las políticas públicas no recae directamente en la academia, se hace necesario analizar cuál ha sido su aporte frente al tema, puesto que tal como lo menciona Leca (1993), la evaluación consiste en articular las dimensiones científica y política, para lograr avanzar de manera constructiva. Por lo tanto, se busca conocer cuáles han sido los aportes realizados desde la academia, a través de las diferentes publicaciones científicas, que permitan conocer el avance en materia de la evaluación de políticas públicas.

Por medio de este artículo de revisión se pretende reunir el conocimiento en el tema de evaluación de política pública, destacando los avances obtenidos a través de los resultados de diferentes estudios, trabajos o investigaciones, lo cual aporta para tener un estado de arte, en especial, en el área de planeación territorial ambiental en Colombia (Grant & Booth, 2009; Higgins & Green, 2011).

De esta manera, el artículo buscará responder la siguiente pregunta: ¿Cuál es el aporte de conocimiento que ha hecho la academia, en cuanto a

la divulgación de procesos de evaluación de política pública de planeación territorial ambiental, que sirvan como elementos estructurantes de nuevas políticas para la gestión de los territorios?

Método

Se realizó el método de revisión bibliográfica; para el proceso de selección del material a consultar, se seleccionaron los artículos de las bases de datos *Scielo.org* (Scientific Electronic Library Online) y *EBSCO Information Services* utilizando las siguientes palabras clave en español e inglés: Evaluación, Políticas Públicas, Planeación, Territorial, Ambiental y Colombia. Se escogieron estos descriptores, dada la naturaleza tan amplia frente a las políticas públicas. En este trabajo, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión: artículos publicados en las bases de datos entre los años 1995-2020, tema principal evaluación de políticas públicas. La ecuación de búsqueda empleada en *SciELO* en español fue: (evaluación) AND (políticas públicas) AND (planeación) y en inglés (Evaluation) AND (public policies) AND (territorial planning). En cuanto a la ecuación de búsqueda empleada en *EBSCO Information Services* fue: (evaluation) AND (public policies) AND (territorial planning) AND (Colombia), tanto en español como en inglés.

Para capturar la información, se utilizó un protocolo que permitió organizar la información de cada artículo, tomando los siguientes aspectos: Base de datos fuente, año de publicación, autores, metodología empleada, objetivos y un breve resumen. Para describir y clasificar la metodología de cada estudio, se emplearon las siguientes clases: revisiones, estudios descriptivos e investigaciones experimentales, cualitativas y cuantitativas, según lo recomendado por [Goodwin, \(1995\)](#), [Higgins y Green \(2011\)](#) mencionados en ([Rosário et al., 2014](#)).

Todos los artículos referenciados, a través de los descriptores y que respondieran a la pregunta realizada en este artículo, se revisaron completamente y se procedió a sintetizar los aspectos más relevantes, registrándolos en la matriz de análisis (Anexo 1). Para analizar la producción científica consultada, se clasificó en las siguientes categorías: 1. Evaluación de política pública general, 2. Evaluación de política planeación territorial en Colombia y 3. Planeación territorial.

Desarrollo del tema

Resultados

En la búsqueda realizada en *SciELO* en español, se encontraron 11 artículos y en la búsqueda en inglés, el resultado fue de 3 artículos académicos. Los artículos provienen de diferentes países, siete de México, tres de Colombia, tres Brasil y uno de Chile. De los artículos encontrados doce, estaban en el idioma español, uno en inglés y uno en portugués. En la Tabla 1, se muestran los años a los que corresponden los artículos hallados.

Tabla 1. Número de publicaciones por año SciELO

<i>SciELO</i>	14
Brasil	3
2009	1
2015	1
2018	1
Chile	1
2017	1
Colombia	3
2014	1
2015	1
2019	1
México	7
2004	1
2007	1
2008	1
2010	1
2015	1
2016	1
2020	1

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la búsqueda realizada en *EBSCO Information Services*, se encontraron 998 publicaciones académicas. Sin embargo, no todas las publicaciones respondían plenamente al tema objeto de esta investigación, solamente 25, abarcaron el tema de evaluación de política pública desde diferentes campos.

Se encontraron artículos de enseñanza de política pública, la política pública como toma de decisiones, reflexiones frente a la política pública, hasta la evaluación de política pública en áreas de la salud y la educación; en cuanto a evaluación de política pública, enfocada a la planeación territorial, únicamente se encontraron 7 artículos.

Con respecto a los países de los artículos arrojados en la búsqueda, 24 corresponden a Colombia y 1 a España. En la Tabla 2, se muestran los años a los que corresponden los artículos analizados.

Tabla 2. Número de publicaciones por año EBSCO

Ebsco	25
Colombia	24
2013	1
2014	2
2015	3
2017	4
2018	6
2019	3
2020	5
España	1
2017	1

Fuente: Elaboración propia.

La información encontrada fue escasa, en cuanto a la temática específica de evaluación de política pública de planeación territorial ambiental en Colombia, sin embargo, se encontró información relevante en el área de evaluación de política pública en general, que permitió conocer los avances en el tema de evaluación de políticas públicas en diferentes sectores como el de la salud y la educación; experiencias que sirven como antecedentes, para fortalecer el proceso de evaluación en el área de planeación territorial ambiental en el país.

Por esta razón, se realizó el análisis de la información, clasificando los artículos según su contenido en las tres categorías de análisis mencionadas en la metodología. Se analizaron los artículos que encajaron en las categorías de 1. evaluación de política general con 29 artículos; 2. evaluación de política de planeación territorial en Colombia con cuatro (4) artículos, y 3.

Una categoría un poco más general de planeación territorial que incluyó experiencias de otros países con seis (6) artículos. A continuación, se analizan los aportes de las publicaciones, en cada una de las categorías.

Evaluación de política pública general

En esta categoría, se incluyeron los artículos que tienen alguna relación con la evaluación de política pública, independientemente del campo al que pertenezca la política y la utilidad de esta, en este caso se hallaron 29 artículos.

En los artículos estudiados, se encontraron trabajos relacionados con el campo de la salud pública, la evaluación de docentes y la enseñanza, entre otros campos. Algunos de los textos, proponen modelos con los cuales se pretende orientar el proceso de evaluación, lo cual es importante como antecedente, para recomendar en el tema de evaluación de planeación territorial ambiental.

Rueda (2004), abordó el proceso de evaluación educativa, considerando esta como el pilar de las políticas actuales en la educación superior, indicando que la evaluación forma parte de los procesos de planeación. El autor señaló que es necesario adelantar estudios que permitan conocer el efecto de las políticas aplicadas en las últimas décadas, mencionó que se debe mejorar la manera de implementar y evaluar estas políticas, pues se ha encontrado que muchas veces, no se hace con la equidad deseada para todos los actores involucrados.

Por otro lado, Morris (2007), en su artículo involucró el tema de evaluación de política pública, con el fin de saber hasta qué punto la política lingüística mexicana hacia los pueblos indígenas era congruente con las teorías multiculturales y de planeación en materia de lenguas, el autor realizó su investigación, a través de estudios comparativos entre dicha teoría multicultural, en torno a las lenguas y la norma nacional vigente en ese momento, encontró que falta una política lingüística nacional robusta y trascendente, que solamente puede darse con la continuidad de los programas y las políticas aplicadas.

En la misma línea de Rueda (2004), se encuentra el artículo de Lora y Chávez (2008), quienes describieron y propusieron los elementos clave para la evaluación del desempeño de los docentes y que así, se lograra dar alcance a las políticas públicas educativas mexicanas.

Para ello, analizaron el contexto de las instituciones y la influencia de las políticas sobre la evaluación, ellos profundizaron en el tema de: ¿qué evaluar?, ¿para qué evaluar? y ¿quiénes son las personas que emiten la valoración? y ¿cuáles son las implicaciones? Si bien este no es un trabajo que aborda la evaluación de la política pública como tal, si aporta al análisis de los elementos que las políticas buscan evaluar y cuáles son sus impactos finales.

Los autores encontraron que una de las dificultades de la evaluación, radica en no reconocer la multidimensionalidad de los fenómenos analizados y no seleccionar los indicadores más acertados para lograr que la valoración se acerque más a la realidad, esto se debe tener en cuenta, puesto que cada actividad a evaluar, responde a unas particularidades.

Esto también se encuentra resaltado en el trabajo de [Acosta \(2015\)](#), quien mencionó que las distintas instancias estatales, creen que las instituciones **sólo cambian a partir del uso intensivo o discreto de estímulos, castigos y recompensas**, a nivel general; esto se refleja en las políticas públicas implementadas y se convierte en temas fundamentales en la agenda pública y gubernamental.

Siguiendo esta línea del sector de educación, [Rivera-Aranzazu \(2014\)](#), adelantó un estudio sobre la evaluación de los programas de educación ambiental no formal en instituciones educativas rurales de Colombia, estos programas dan respuesta a la [Ley 1549 \(2012\)](#), denominada la Política Nacional de Educación Ambiental. El autor encontró que los beneficios de esta política, se centran en los intereses urbanos, olvidando los problemas ambientales estructurales de los territorios rurales y por ende, a las instituciones educativas que allí se encuentran.

También, evidenció una desarticulación entre los diferentes programas y proyectos municipales, departamentales y nacionales, lo que contribuye a que los programas implementados, no tengan continuidad y presenten una baja intensidad, al igual que lo mencionó [Morris \(2007\)](#), en su artículo.

Otro punto importante en el tema de educación y políticas públicas, encontrados en los artículos arrojados en la búsqueda, es lo que tiene que ver con la enseñanza de la evaluación sobre política pública en diferentes campos. En el trabajo de [Pimienta, Acosta y Nuñez \(2017\)](#), se encuentran algunas explicaciones frente a la importancia de educar en cómo evaluar la política pública, dentro de los procesos académicos de los programas de Derecho.

Así mismo, Centeno (2019) realizó la caracterización de la enseñanza sobre políticas públicas en Colombia, puesto que el autor menciona que aunque se ha avanzado en la institucionalización de las políticas públicas como campo de estudio, poco se ha reflexionado frente a la manera de enseñarla, el autor aporta un análisis frente a cuál es el perfil de los aprendices y señala algunos retos y oportunidades de mejora de la enseñanza en este campo.

Cambiando al tema de evaluación de las políticas públicas del sector de salud, Villalobos et al. (2010), investigaron frente al proceso de mercadotecnia social y de políticas públicas, evaluando un caso particular: *la campaña para promover espacios libres de humo de tabaco*. Ellos encontraron que este segmento de la evaluación en política pública, también es importante porque permite medir realmente el impacto que tuvo la política, en parte, gracias al proceso de difusión y de conocimiento de la población.

En este mismo campo, encontramos los trabajos de da Cunha et al. (2016), López-López, Del Pilar-Durango, y Arango-Tamayo (2017), Otalvaro C et al. (2018) y Pérez-Flórez, Ruiz-Buitrago, & Achcar (2019), quienes aportaron sobre la importancia de la evaluación de las políticas públicas para población con condiciones y requerimientos especiales de salud.

Siguiendo este mismo campo, el estudio de Gutiérrez-Ossa & Manrique-Hernández, (2015), realizó la revisión y la evaluación del CONPES 155 (2012), encontrando que la construcción de una política pública en el campo de la farmacéutica aún es muy incipiente y no se ha adelantado el proceso de evaluación, lo que no permite el óptimo desarrollo territorial en el tema de salud. Esto es un ejemplo de cómo el avance y evaluación de las políticas públicas sectoriales determinan el desarrollo y progreso de un territorio.

La evaluación de políticas públicas en el sector de la salud es un poco más amplia que en los otros sectores, en este sentido, se encontró el trabajo de Castaño, Isaza, Rueda, Jaramillo y Ochoa, (2015), en cual se realizó una revisión integral de los métodos de evaluación de programas nutricionales de gran escala en América Latina, se identificaron los diseños metodológicos empleados en diferentes países, encontrando que dichos procesos de evaluación se fundamentan en nuevos paradigmas y exploran la combinación de métodos, objetivos e indicadores.

El estudio concluyó que, el método de evaluación más empleado es el cuantitativo para medir el impacto biológico de los programas. Por las particularidades de los países de América Latina, se recomienda incluir nuevas aproximaciones a la evaluación una articulación de metodologías cuantitativas y cualitativas y la inclusión del contexto, es decir, de aspectos sociopolíticos en el proceso evaluativo.

De la misma manera, se encontraron estudios sobre la evaluación de la estructura del componente regular de los programas departamentales de hábitos y estilos de vida saludable en Colombia, arrojando información enriquecedora para los nuevos programas nacientes (Cifuentes-garz, 2020; Guzmán-Barragán, Gonzalez-Rivillas & Guzmán-Barragán, 2020, Torres & Prieto, 2018).

Se encontró el estudio de García y Cardozo (2017), el cual abordó de lleno el tema de evaluación de políticas públicas, en especial en programas y proyectos; el estudio presentó los casos de cuatro países, en los cuales se analizaron los métodos empleados para realizar la evaluación. La investigación aportó sobre actualización del concepto *impacto* y enriqueció los enfoques empleados.

Los autores concluyeron que, en los países analizados existe poca experimentación en los procesos evaluativos y se carece de programas de formación y bibliografía que difunda enfoques alternativos, la opción más difundida es la medición causa – efecto apoyados en métodos cuantitativos, recomiendan que no existe un solo enfoque teórico, ni un único método.

También, se encontraron algunos artículos que involucran la evaluación de políticas públicas con la toma de decisiones, el primero en el artículo de Ordóñez-Matamoros et al. (2018), quienes señalaron que la evaluación ejecutiva o rápida es una forma eficiente de apoyar el proceso de toma de decisiones, puesto que permite conocer los resultados alcanzados y proveer información útil, para mejorar el desempeño del programa o política en tiempo real.

Asimismo, González (2018) propone el uso de la herramienta de la teoría de juegos empleando la información resultado del seguimiento y evaluación de políticas públicas como insumo para la toma de decisiones, con el fin de promover políticas públicas más efectivas y eficientes. Rozo-Gutiérrez y Vargas-Trujillo (2017), analizaron la política de infancia y adolescencia de Bogotá 2011-2021, empleando la metodología de

Ordóñez-Matamoros et al. (2018), concluyendo que las necesidades de esta política, fueron interpretadas a conveniencia y de acuerdo a la estructura de gobierno, por lo tanto, es necesario que los tomadores de decisiones empleen metodologías disponibles para la elaboración de políticas públicas, basadas en la evidencia científica, para que sean medibles y ajustables.

Otros artículos encontrados desarrollaron reflexiones frente a la importancia de la evaluación de política pública, como el trabajo desarrollado por Vergara-Varela (2018), quien señaló que la evaluación de política pública es un objeto relevante de investigación. En su trabajo analizó las finalidades, los tipos y los niveles sobre la evaluación y concluyó que es necesario emplear métodos cualitativos y cuantitativos para que así, el proceso de evaluación de políticas públicas tenga rigor científico.

Mientras que González y Gallego (2018), reconocieron la importancia de la construcción de ciudadanía para incidir sobre la política pública, ya que ésta es considerada como un mecanismo para fortalecer los esfuerzos de grupos, organizaciones civiles y movimientos sociales, para influir en la construcción y establecimiento de una cultura de la legalidad para la generación de mejores políticas públicas, pero señalan que es necesario que existan mejores mecanismos de participación que vayan más allá de la democracia electoral y representativa.

Por último, se hallaron artículos que muestran como las políticas públicas son determinantes para establecer un enfoque territorial que fortalezca la responsabilidad social, la gobernanza y la sostenibilidad (Calvo, Pérez, & Romero ., 2019), también que sirven para dar respuesta a visiones globales desde el territorio con prácticas sustentables y que aporten al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (Cubillos, 2011).

Se encontró, además, el trabajo de Valencia-Tello y Karam de Chueiri (2014), quienes resaltaron que para determinar el impacto de la políticas pública en los territorios es necesario saber en sí, qué ha pasado frente al proceso de descentralización o recentralización en el país, ellos adelantaron un estudio que permitió conocer cuál ha sido el comportamiento del país en materia de descentralización y cómo esto ha impactado en la formulación de políticas públicas y su alcance a nivel territorial y nacional.

Evaluación de política planeación territorial en Colombia

En esta categoría, se encontraron cuatro artículos. Estos trabajos dan respuesta a la categoría de evaluación de política de planeación territorial

en Colombia. El primer artículo de Jiménez y González (2014), se enfocó hacia la evaluación de la calidad de vida urbana de los habitantes de Bogotá. En este trabajo, los autores propusieron las bases metodológicas para la evaluación, mediante el uso del índice de pobreza multidimensional –IPM.

Este artículo, se incluye en esta categoría porque muestra como Bogotá ha generado en los últimos años políticas públicas que buscan garantizar una mejor calidad de vida para sus pobladores desde la planeación de su territorio y a través de la metodología desarrollada en la investigación, se evaluaron las políticas implementadas en la capital del país, por lo tanto, es una experiencia real de un proceso de evaluación de política pública.

El segundo trabajo encontrado está directamente relacionado con la categoría y trata sobre la evaluación y seguimiento de los planes de ordenamiento territorial en los municipios de Colombia (Camelo, Solerte, & López, 2015). El artículo resaltó la importancia de la Ley 388 (1997), en términos de planeación territorial para el país.

Sin embargo, se destacó que existe un gran desafío y un largo camino por recorrer, en cuanto a su implementación y evaluación, es así que propusieron un modelo de evaluación de los planes de ordenamiento territorial municipal. La peculiaridad del trabajo fue que logró una integración de elementos tradicionales de la gestión urbana, con un enfoque evaluativo de gestión pública y social.

El tercer trabajo, surge en la coyuntura de acuerdo de paz en el país, es la propuesta del modelo espacial para la evaluación y gestión del territorio, para la incorporación de las unidades de planificación y gestión territorial al posconflicto colombiano (Villegas Rodríguez et al., 2017).

El estudio construyó la base de datos con información secundaria y la espacializó en el mapa de Colombia, dentro de los contextos municipales y departamentales dando alcance a la ley 388 de 1997 y la Ley 617 (Congreso de Colombia, 2000). También, desde una nueva visión denominada *segunda generación*, analizó y verificó el cumplimiento de las políticas públicas, inversiones de capitales nacionales e internacionales y comprobó la articulación con los planes de desarrollo.

Por último, el cuarto artículo, se refiere al trabajo denominado *Hábitat en deuda: años de políticas urbanas en América Latina* (Sobotová, 2017). Éste hizo una revisión de la agenda del Hábitat II y la formulación de la nueva agenda III, explicó las políticas de veinte años en América Latina

y reunió los impactos de políticas urbanas nacionales, que permitieron la construcción de ciudades inclusivas y sostenibles. El estudio, se desarrolló en seis países México, Chile, Colombia, Argentina, Brasil y Ecuador.

Planeación territorial

Esta categoría reúne los trabajos que hablan de planeación territorial en diferentes países y que no necesariamente, realizan un proceso de evaluación. Se hallaron tres artículos en la literatura revisada. Se encontró el trabajo adelantado por [Díaz et al. \(2019\)](#), que buscaba precisar la influencia de la planeación sectorial y de la evaluación sobre el diseño y el presupuesto de los programas vinculados al desarrollo rural en México.

Los autores analizaron el Programa Integral de Desarrollo Rural y su relación con instrumentos normativos, realizaron diferentes encuestas y entrevistas a los actores involucrados. Al fin, encontraron que el proceso de planeación sectorial sexenal es un ejercicio ordenado con diagnósticos precisos, incluyendo objetivos y metas, sin embargo, esta planeación no considera el diseño y la asignación presupuestal en cada programa, lo que obliga a buscar diversas fuentes de financiación a través de amparos del gobierno o gobernantes, sin garantizar su continuidad.

El estudio de [Luiz, Silva y Rauli \(2009\)](#), realizó la evaluación de las políticas públicas de desarrollo sostenible, implementadas en Curitiba en el período 1998- 2002. Este estudio, podría pertenecer a la anterior categoría, sin embargo, como corresponde a la evaluación realizada en otro país, se incluyó en esta categoría de planeación territorial que es más general.

El estudio evaluó las políticas públicas recientes en Curitiba, empleando un enfoque multidisciplinario, o sea, involucrando aspectos de orden económico, educativo, político y social, empleando como insumos los resultados del estudio de los planes plurianuales de Curitiba (1998-2001 y 2002-2005).

Para finalizar, encontramos el artículo de [Blanco-Barón \(2013\)](#), el cual realizó un recorrido del proceso de planificación del desarrollo en Colombia. No realizó un proceso evaluativo, sino más bien reflexivo, resaltando de manera positiva que el tema de desarrollo humano haya permeado el proceso de planificación, sin embargo, no lo considera suficiente, ya que, para la autora, el proceso de planificación del desarrollo en Colombia, no ha avanzado y sigue mostrando los mismos adelantos que hace doscientos años.

Discusión

Este trabajo, analizó la literatura científica disponible en las bases de datos *SciELO.org* y *EBSCO* sobre la evaluación de políticas públicas de planeación territorial ambiental en Colombia, publicada en el período de 1995 - 2020. El objetivo fue realizar un reconocimiento y un análisis del estado de esta temática, en estas bases de datos.

A continuación, se resaltan algunos aspectos a considerar después de la búsqueda y se analizan algunos temas importantes para la investigación, con respecto a la evaluación de políticas públicas, en especial lo concerniente a la planeación territorial ambiental.

Se hallaron 39 artículos que respondían a los criterios de la búsqueda. Se observó que entre los años 1995 y 2003, no se encontraron publicaciones acerca de los contenidos solicitados. Es a partir del año 2004, que se empezaron a publicar y a difundir artículos que abordaban los criterios de búsqueda: Los años que presentaron mayor número de publicaciones, fueron 2018 con siete y 2015 con seis, al igual que en los años 2017 y 2020.

La carencia de información en la primera década de búsqueda, no permite apreciar la importancia que pudiera tener el tema de evaluación de políticas públicas, en dicha época. El comportamiento de este tópico, permite apreciar que el tema se encuentra en construcción, en una etapa inicial y despertando el interés de distintos investigadores en publicar, acerca de la evaluación de la política pública y la planeación territorial en Colombia.

Se encontró que el 80% de los artículos identificados estaban relacionados de alguna manera con el tema general de evaluación de política pública en diferentes campos, a nivel conceptual o teórico o en algunos casos metodológicos, sin encontrar experiencias de ejecución de un proceso científico de evaluación de política pública, como tal.

Sin embargo, se hizo un recorrido y análisis por todos los escritos que se encontraron con respecto al tema, así no tuvieran relación directa con la planeación territorial en Colombia. Se hace necesario mencionarlos y reportarlos, para que sirvan como garantía y soporte del bajo desarrollo y publicación que la academia tiene frente a la evaluación científica de política pública, en particular lo relativo al tema de planeación territorial en Colombia.

Es así, que los resultados encontrados en este estudio, muestran que la evaluación de la política pública, no se ha desarrollado de manera amplia

en el país o por lo menos, la literatura publicada no se encuentra reportada en las bases de datos, pues de los 1012 resultados iniciales de aplicar los criterios de búsqueda, solamente 39 resultaron estar directamente relacionados con el tema de interés.

Jiménez (2019), señala que la evaluación de políticas públicas es una acción fundamental en la gestión pública, pero para esto se debe aplicar una metodología sólida, confiable y con profesionales preparados en la materia. Un buen desarrollo de un proceso evaluativo, garantiza que se generen recomendaciones que incrementen la eficacia y la eficiencia de las acciones de un gobierno.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), define la evaluación de políticas públicas como aquella actividad que permite valorar el desempeño de la acción política, ya sea en la forma de un programa, proyecto, ley, política sectorial, etc. Es una valoración sistemática de la concepción, la puesta en práctica y los resultados de una intervención pública, en curso o ya concluida (CEPAL, 2017), tal como señala Roth (2009a) puede ser una valoración *ex ante* o *pos* de la política pública implementada.

Si diferentes autores y organizaciones señalan la importancia de la evaluación de la política pública, se desconoce por qué se encuentra poco material sobre ésta y más aún en el tema de planeación territorial ambiental. No se sabe, si es porque la actividad se considera meramente técnica y se separa un poco de la actividad académica, que es donde se generan las publicaciones científicas que se encuentran en las bases de datos o si es porque en realidad, no se adelanta este proceso con la rigurosidad que merece.

En este estudio, encontramos 5 artículos que efectivamente ejecutaban un proceso de evaluación sobre la política pública (Castaño et al., 2015; García & Cardozo, 2017; Jiménez & González, 2014; Luiz et al., 2009; Villegas et al., 2017), el resto hacen recomendaciones metodológicas de cómo hacerlo, que si bien es un desarrollo académico bastante valioso, se requieren de estudios que muestren cuál ha sido el comportamiento de las políticas públicas, implementadas en diferentes sectores a los de salud y educación, que sí muestran mayores resultados.

En Colombia, el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2014), también brinda lineamientos de cómo realizar los procesos de evaluación de las políticas públicas implementadas, estos documentos por ser oficiales

no se encuentran en las bases de datos estudiadas, pero sí orientan a los entes municipales, a desarrollar su proceso de evaluación y rendición.

Sin embargo, no se encuentran estudios cualitativos y cuantitativos que evidencien la ejecución de los procesos de seguimiento y evaluación de la mayoría de las políticas públicas, la información que se reporta es la entregada por los gobernantes, en sus informes anuales de ejecución, sin mayor detalle.

En este sentido, se hace necesario avanzar en procesos de evaluación de políticas públicas en todos los sectores del país, pero también se requiere que el tema de evaluación en planeación territorial ambiental, sea más evidente, pues por la falta de información se desconoce si se está o no desarrollando.

Es necesario, conocer los resultados de los procesos evaluativos para que, así como menciona Jiménez (2019), se tomen decisiones adecuadas que puedan corregir acciones que garanticen que las políticas sean eficientes y eficaces para la gestión de los territorios.

Por lo tanto, como resultado del proceso de revisión y en conocimiento de la importancia que debe tener un proceso de evaluación de las políticas públicas, en especial las enfocadas al sector de la planeación territorial ambiental, se proponen los siguientes criterios para ser incluidos en la metodología a emplear en un proceso evaluación, ya que según las experiencias consultadas si se incluyen en conjunto, podrían garantizar el éxito.

Tabla 3. Criterios para la elaboración de la metodología de evaluación

Dimensión	Criterios
Planeación territorial ambiental	Conocimiento de los antecedentes de las políticas implementadas / Revisión de la continuidad de programas y políticas aplicadas
	Equidad con los actores que participan en el proceso de evaluación.
	Responder las preguntas ¿Qué evaluar? ¿Para qué evaluar?
	Tener claro quiénes son las personas que emiten la valoración y sus intereses.
	Reconocer la multidimensionalidad de los fenómenos analizados
	Revisión de los estímulos, castigos o recompensas empleados en las políticas implementadas.
	Fortalecer la articulación con diferentes entidades en el proceso evaluativo / Fortalecer la articulación con programas y proyectos en el proceso evaluativo

Dimensión	Criterios
Planeación territorial ambiental	Educar en cómo evaluar las políticas públicas / Fortalecer la capacitación de la evaluación en diferentes disciplinas.
	Capacitar y fortalecer las capacidades de las poblaciones / Incluir a la ciudadanía en el proceso
	Articular metodologías cuantitativas y cualitativas en el proceso de evaluación / Considerar varios enfoques y métodos en el proceso evaluativo
	Emplear la metodología de evaluación ejecutiva para conocer de manera preliminar el desempeño de las políticas implementadas
	Emplear metodologías basadas en la evidencia científica
	Enfoque multidisciplinario en la elaboración de la metodología.
	Socializar, divulgar y publicar los resultados de la evaluación.

Fuente: Elaboración Propia.

Consideraciones finales

El presente estudio se desarrolló analizando la información arrojada por las dos bases de datos seleccionadas, obteniendo un resultado de 39 artículos, que daban respuesta al tema de interés. Se conoce que los resultados de los informes de ejecución de las políticas públicas, no se encuentran publicados solamente en estas bases de datos, por lo tanto, se recomienda adelantar estudios que permitan comparar la información que se encuentran en las plataformas de libre acceso y la información contenida en los diferentes informes de ejecución, según sea el sector a investigar.

Esto es un trabajo dispendioso, pero necesario para conocer al detalle cuál es el comportamiento de las políticas públicas que se implementan. En este sentido, se puede concluir que el aporte, que ha hecho la academia frente a los procesos de evaluación de política pública ha estado más enfocado a dar lineamientos metodológicos y procesales que de divulgación de resultados, que, si bien no está mal, se hace necesario conocer en sí qué ha pasado con las políticas que se han implementado, para así conocer que acciones de mejora se deben tomar o si efectivamente, las políticas implementadas son eficientes para los territorios.

Referencias

- Acosta, A. (2015). Políticas universitarias para el siglo XXI en México. Del ajuste institucional a la planeación conservadora. *Propuesta Educativa* 43 (1), 65.
- Blanco-Barón, C. (2013). La Planificación Del Desarrollo: ¿Problema Económico, Político O Jurídico? *Opinión Jurídica*, 12(24), 169–188.
- Calvo, G., Pérez, O. I., & Romero, M. C. (2019). Miradas cruzadas sobre el enfoque territorial de la responsabilidad social, la gobernanza y la sostenibilidad. *Opera*, 26, 3–14. doi: <http://doi.org/10.18601/16578651.n26.02>
- Camelo, N., Solarte, L., & López, O. (2015). Evaluación y seguimiento de planes de ordenamiento territorial en los municipios de Colombia. *Sociedad y Economía*, 28, 180.
- Castaño, L. S. Á., Isaza, E. J. P., Rueda, J. D. G., Jaramillo, A. R., & Ochoa, C. P. (2015). Métodos de evaluación de programas nutricionales de gran escala en América Latina: Una revisión integrativa. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 143–154. doi: <http://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7498>
- Centeno, J. P. (2019). Textos tipo manual para la enseñanza de las políticas públicas en Colombia: un caso de estudio. *Opera*, 25, 159–183. doi: <http://doi.org/10.18601/16578651.n25.09>
- CEPAL. (2017). *Acerca de Evaluación de políticas y programas públicos* | Static Page | Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/temas/evaluacion-de-politicas-y-programas/acerca-evaluacion-politicas-programas-publicos>
- Cifuentes-garz, E. (2020). Concepciones de corrupción en niños y jóvenes de una Institución Educativa Rural de Villagómez, Cundinamarca (Colombia) *Anfora*, 27 (48) 93–114. doi: <http://doi.org/10.30854/anf.v27.n48.2020.670>
- Congreso de Colombia. (2000). *Ley 617 de 2000*. EVA. Recuperado de: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=3771>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación, & Republica de Colombia. (2012). Política Farmaceutica Nacional Documento Conpes Social 155. *Conpes Social. Consejo Nacional de Política Económica y Social*. Recuperado de: <https://www.minsalud.gov.co/Documentos y Publicaciones/Politica Farmac?utica Nacional.pdf>

- Cubillos, A. (2011). *El proceso de transformación del páramo de guerrero por sistemas de ganadería bovina (1960-2010), con énfasis en políticas públicas*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55054>
- Da Cunha, D. M. M., dos Anjos, T. S., Gois, C. F. L., de Mattos, M. C. T., Carvalho, L. V., de Carvalho, J., Silva, F. A., Sobral, D. A. S., Fialho, K. de M. & Rodriguez, E. O. L. (2016). Depressive symptoms in patients with coronary artery disease. *Investigacion y Educacion En Enfermeria*, 34(2), 323–328. <https://doi.org/10.17533/udea.iee.v34n2a12>
- Díaz, A. G., Aguilar, N., Santoyo, V. H., Muñoz, M. & Altamirano, J. R. (2019). Restricciones para orientar a resultados los programas de desarrollo rural en México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 16(2), 199–2018. <https://doi.org/10.22231/asyd.v16i2.1007>
- DNP. (2014). *Guía metodológica para el Seguimiento y la Evaluación a Políticas Públicas*. Sinergia. Recuperado de: [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Cartilla Guia para Seguimiento y Evaluación Ago 13.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Cartilla_Guia_para_Seguimiento_y_Evaluacion_Ago_13.pdf)
- DNP & ESAP. (2012). *Planeación para el desarrollo integral en las entidades territoriales. El plan de desarrollo 2012-2015*. Recuperado de: [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo Territorial/ Guía Elaboración Planes de Desarrollo 2012-2015.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo_Territorial/Guia_Elaboracion_Planes_de_Developo_2012-2015.pdf)
- Feinstein, O., Ligerio Lasa, J. A., Rein, M., Schon, D., Giandomenico, M., Weiss, C., Carden, F., Alkin, M., Ballart, X., Vendung, E., Mayne, J. & Picciotto, R. (2016). Modelos teóricos para la práctica de evaluación de programas. En *La evaluación de políticas. Fundamentos conceptuales y analíticos*. Recuperado de: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1008>
- García, E. & Cardozo, M. (2017). Evaluación de impacto: más allá de la experimentación. *Política y Cultura*, 47, 65–91.
- González, D. (2018). Uso de la información de seguimiento y evaluación (sye) de políticas públicas para la toma de decisiones. *Gestión y Política Pública*, 27(57), 39–77.
- González, M. & Gallego, J. (2018). Aproximación cualitativa para abordar la Construcción de ciudadanía y su incidencia en políticas públicas.

- Los ejemplos de Pereira, en Colombia, y de la Ciudad. *Espacio Abierto Cuaderno Venezolano de Sociología*, 27(2), 47–70.
- Goodwin, C. (1995). Co-Constructing Meaning in Conversations With an Aphasia Man. *Research on Language and Social Interaction*, 28(3), 233–260. doi: http://doi.org/10.1207/s15327973rlsi2803_4
- Grant, M. J. & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26(2), 91–108. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Gutiérrez-Ossa, J. A. & Manrique-Hernández, R. D. (2015). Estructuración y formulación de la política pública farmacéutica regional y territorial en Colombia. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 14(29), 41–59. doi: <http://doi.org/10.11144/Javeriana.rgyyps14-29.efpp>
- Guzmán-Barragán, B. L., Gonzalez-Rivillas, M. A. & Guzmán-Barragán, P. A. (2020). Evaluación De La Implementación De La Estrategia Escuela Saludable En Zona Rural De Ibagué: Estudio De Casos. *Hacia La Promoción de La Salud*, 25(1), 76–89. doi: <http://doi.org/10.17151/hpsal.2020.25.1.6>
- Higgins, J., & Green, S. (2011). Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions, Version 5*. Recuperado de: https://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/public/uploads/Manual_Cochrane_510_reduit.pdf
- Jiménez, W. G. & González, J. I. (2014). Calidad de vida urbana: Una propuesta para su evaluación. *Revista de Estudios Sociales*, 49, 159–175. doi: <http://doi.org/10.7440/res49.2014.12>
- Jiménez, J. C. (2019). *¿Qué es la Evaluación de Políticas Públicas?* IEXE. Recuperado de: <https://www.iexe.edu.mx/pagblog/que-es-la-evaluacion-de-politicas-publicas.html>
- Leca, J. (1993). El papel del conocimiento en la modernización del Estado y el estado de la evaluación. *Revue Francaise D'Administration Publique*, 66. Lavoursier.
- Ley 152. (1994). *Ley Orgánica del Plan de Desarrollo*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=327>
- Ley 1549. (5 de julio 2012). Ley 1549 de 2012 - Institucionalización de la Política Nacional de Educación Ambiental. *Diario Oficial No 48.482*

- p.4. Recuperado de: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/ley154905072012.pdf>
- Ley 388. (18 de julio 1997). Congreso de Colombia. *Diario Oficial No. 43.091*, 1997 1–99. Recuperado de: http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/m/m_norma.jsp?i=339
- López-López, M. V., Del Pilar-Durango, M. & Arango-Tamayo, G. A. (2017). Sinergias y continuidades en las políticas públicas relacionadas con enfermedades cardio-cerebro-vasculares. Medellín, Colombia, 2000–2013. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 16(32), 138–149. doi: <http://doi.org/10.11144/Javeriana.rgps16-32.scpp>
- Lora, L. E. & Chávez, R. R. (2008). Elementos clave para la evaluación del desempeño de los docentes. *Revista Electronica de Investigacion Educativa*, 10(SUPPL.), 1–13.
- Luiz, C., Silva, D. & Rauli, F. D. C. (2009). Avaliação De Políticas Públicas Para O Desenvolvimento Sustentável : Um Estudo De Caso Dos Programas De Educação De Curitiba De 1998 a 2005. *Semestre Económico*, 12, (23), 77-96.
- Majone, G. (1997). *Evidencia , argumentación y persuasión en la formulación de políticas*. Fondo de Cultura Económica.
- Morris, R. (2007). Al borde del multiculturalismo: evaluación de la política lingüística del Estado mexicano en torno a las comunidades indígenas. *CONfines de Relaciones Internacionales y Ciencia Política*, 5, 4.
- Ordóñez-Matamoros, G., Centeno, J. P., Santander Ramírez, D., Llanos Congote, O., Sierra Daza, M. C. & Remolina Pulido, J. P. (2018). La evaluación ejecutiva y la toma de decisiones de política pública: el caso de la E2+SGR en Colombia. *Opera*, 22, 53–79. doi: <http://doi.org/10.18601/16578651.n22.04>
- Otalvaro C, G. J., Milena, S., Salazar, Z., Delgado, G. J., Hern, J., & Pulido, T. (2018). Políticas de Salud Bucal en Colombia en el marco del sistema general de seguridad social en salud . *Observatorio Iberoamericano de Políticas Públicas En Salud Bucal. Construyendo Un Bloque Por Más Salud Bucal*. Recuperado de: <http://udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/6ec032af-6b35-409a-96a7-e68483ab477c/PPSB+en+Colombia-una+revisión+panorámica+-+ebook+2a+edición+2018.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mjY0rC&CVID=mjY0rC>

- Pérez-Flórez, M., Ruiz-Buitrago, I. C. & Achcar, J. A. (2019). Tendencias de la mortalidad en los departamentos de la región del Pacífico de Colombia (2002-2014). *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 38(1), 1–17. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2020000100103&lng=es&tlng=es
- Pimienta, J. L. R., Acosta, L. V. R. & Nuñez, H. N. (2017). Política pública en los procesos de internacionalización para programas de derecho en Colombia. *Revista Lasallista de Investigacion*, 14(1), 66–71. <https://doi.org/10.22507/rli.v14n1a5>
- Rivera-Aranzazu, J. (2014). Evaluación de los programas de Educación Ambiental no formal en Instituciones Educativas Rurales de Santa Rosa de Cabal y Santuario. *Scientia et Technica*, 19(1), 111–120. doi: <http://doi.org/10.22517/23447214.8641>
- Rosário, P., Pereira, A., Högemann, J., Nunes, A. R., Figueiredo, M., Núñez, J. C., Fuentes, S. & Gaeta, M. L. (2014). Autorregulación del aprendizaje: Una revisión sistemática en revistas de la base SciELO. *Universitas Psychologica*, 13(2), 781–798. doi: <http://doi.org/10.11144/Javeriana.UPSY13-2.aars>
- Roth, A.N. (2009a). La evaluación de políticas públicas en Colombia: Una mirada crítica a partir de las prácticas evaluativas oficiales de los programas de la Red de Apoyo Social. *Reforma y Democracia*, 45(45), 7–9.
- Roth, A.N. (2009b). *Política públicas: Formulación, Implementación y evaluación*. Bogotá: Aurora. Recuperado de: http://www2.uca.edu.sv/mcp/media/archivo/f5abaa_evaluacionpoliticaspublicasroth.pdf
- Rozo-Gutiérrez, N. & Vargas-Trujillo, Z. (2017). Análisis de Política Pública de Infancia y Adolescencia , 2011-2021 , en Bogotá , D . C . Colombia. *Desafíos*, 30(2), 279–314. doi: <http://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/desafios/a.5325>
- Rueda, M. (2004). La evaluación de la relación educativa en la universidad. *REDIE: Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 6(2), 6.
- Sobotová, L. (2017). Reseña del libro: Hábitat en deuda: veinte años de políticas urbanas en América Latina (2016). *Opera*, 21, 211–214.

- Torres-Melo, J. & Santander, J. (2013). *Introducción a las políticas públicas: Conceptos y herramientas desde la relación entre estado y ciudadanía*. IEMP Ediciones. Recuperado de: https://issuu.com/cpcseaags/docs/introduccion_a_las_politicas_public
- Torres Moya, O. R. & Prieto Alvarado, F. E. (2018). Evaluación de la estructura del componente regular de los programas departamentales de hábitos y estilos de vida saludable, Colombia, 2014-2015. *Gerencia y Políticas de Salud*, 17(34), 2014–2015. doi: <http://doi.org/10.11144/javeriana.rgps17-34.esrc>
- Valencia-Tello, D. C. & Karam de Chueiri, V. (2014). Descentralización y re-centralización del poder en Colombia. La búsqueda de equilibrios entre la nación y las entidades territoriales. *Dikaion*, 23(1), 171–194. doi: <http://doi.org/10.5294/dika.2014.23.1.7>
- Vergara-Varela, R. (2018). Reflexiones en torno a la relevancia temática de la evaluación de políticas públicas. *Opinión Jurídica*, 17(34), 191–209. doi: <http://doi.org/10.22395/ojum.v17n34a9>
- Villalobos, V., Ortiz-Ramírez, O., Thrasher, J. F., Arillo-Santillán, E., Pérez-Hernández, R., Cedillo, C. & González, W. (2010). Mercado-tecnia social y políticas públicas de salud: Campaña para promover espacios libres de humo de tabaco en México. *Salud Pública de México*, 52(4), 129-137. Recuperado de: <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/4965>
- Villegas, E., Díaz, A. Y. & Nieto, L. (2017). Propuesta del modelo espacial para la evaluación y gestión del territorio, para la incorporación de las Unidades de Planificación y Gestión Territorial (UPGT) al pos-conflicto colombiano. *Agora U.S.B.*, 17(2), 472. doi: <http://doi.org/10.21500/16578031.3286>
- Weiss, C. (1998). *Evaluation: Methods for Studying Programs and Policies*. Prentice Hall. Recuperado de: https://wiki.sugarlabs.org/images/3/3d/Weiss_Analyzing.pdf



Estimación de la deformación superficial de las laderas del volcán Turrialba (Costa Rica) después de una erupción mediante interferometría diferencial de imágenes radar de apertura sintética (SAR) Sentinel-1A

Estimation of the surface deformation of the slopes of the Turrialba volcano (Costa Rica) after an eruption using Sentinel-1A differential synthetic aperture radar interferometry (SAR)


Rubén Martínez Barbáchano¹

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Resumen

La interferometría diferencial con radar de apertura sintética (SAR) es una técnica conocida en teledetección por sus aplicaciones en la generación de modelos digitales del terreno y el monitoreo de deformaciones de la corteza terrestre. Esta técnica se basa en la fase, un parámetro presente en las imágenes SAR y sensible a la topografía del terreno. Las diferencias de fase se relacionan con cambios de elevación ocurridos entre dos barridos del satélite sobre un mismo espacio. Para la obtención de información topográfica se requiere un modelo digital del terreno y la diferencia de fase permite realizar estimaciones de desplazamiento vertical del terreno con precisiones superiores a 1 centímetro. El presente trabajo permitió estimar la deformación superficial experimentada en la ladera oeste del cráter del volcán Turrialba tras la erupción del 1 de agosto de 2020. Para ello se utilizaron varias imágenes captadas por el sensor Sentinel 1A, de la Agencia Espacial Europea.

Palabras clave: Teledetección, radar, SAR, interferometría, vulcanismo

1 Geógrafo especializado en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: rubenztm@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-9176-3112>

Abstract

Differential synthetic aperture radar interferometry (SAR) is a technique known in remote sensing for its applications in the generation of digital terrain models and the monitoring of deformations of the earth's crust. This technique is based on the phase, a parameter present in SAR images and sensitive to terrain topography. Phase differences are related to elevation changes that occur between two satellite scans over the same space. To obtain topographic information, a digital terrain model is required and thus, phase differences provide information for estimating vertical terrain displacement to an accuracy greater than 1 centimeter. In the present work it was possible to estimate the surface deformation that occurred on the western slope of the crater of the Turrialba volcano after the eruption of August 1, 2020. For this purpose, several images captured by the Sentinel-1A sensor of the European Space Agency were used.

Keywords: Remote sensing; Radar; SAR; Interferometry; Volcanism.

Introducción

La Agencia Espacial Europea (European Space Agency-ESA) tiene en marcha el programa Copérnico, un ambicioso proyecto espacial de observación de la tierra, que desde 2011 proporciona información de la superficie terrestre y de la atmósfera de forma sistemática, actualizada y de fácil acceso, con el objetivo de comprender y mitigar los efectos del cambio climático, a través de los datos procedentes de más de 30 satélites. Entre dichos satélites, cabe mencionar las cinco familias de misiones Sentinel, comenzando por las imágenes radar de Sentinel-1, que desde 2014 nos proporciona observaciones de la superficie de la Tierra en cualquier condición meteorológica, de día o de noche. La teledetección mediante radar de apertura sintética (SAR) ha experimentado un renovado impulso en los últimos años, con nuevos sensores y plataformas que han permitido la obtención de magnitudes o variables geofísicas de enorme valor geográfico. Desde el punto de vista del espectro electromagnético, los sistemas RADAR trabajan en el rango de las microondas como sensores activos, debido a que la emitancia de los objetos es difícilmente perceptible en esa banda (Chuvieco, 2010).

Entre las técnicas recientes más utilizadas con tecnología radar destaca la interferometría. Esta técnica ha permitido, tanto a escala regional como local, medir deformaciones centimétricas, e incluso milimétricas, de la superficie topográfica bajo ciertas condiciones. En este sentido destacan las aplicaciones en desplazamientos sísmicos relacionados con fallas activas (Massonet et al., 1993), movimientos de masas glaciares (Goldstein, Zebker & Werner, 1988) o deformaciones relacionadas con la actividad

volcánica e intrusiones de magma (Sigmudsson, Durand & Massonnet, 1999). También cabe mencionar estudios de subsidencia kárstica (Guerro, 2008), minera (Herrera et al., 2007), urbana (Cascini et al. 2006), o la producida por extracción de aguas subterráneas (Amelung, Galloway, Bell, Zebker & Laczniak, 1999).

Marco conceptual

Los sistemas RADAR basan su funcionamiento en una señal electromagnética emitida a través de una antena, en sentido lateral a la plataforma. La señal se dispersa y choca con la superficie u objeto al que va dirigido y la antena radar capta una parte de esas ondas reflejadas. El sistema, por tanto, se considera teledetección activa, al utilizar la información de la señal emitida y la información de las señales reflejadas para construir una imagen de la zona observada.

Desde el punto de vista de la longitud de onda, estos sistemas trabajan en una banda comprendida entre los 0,1 cm y 1 m. Aunque la observación de la superficie terrestre en esta longitud de onda entraña dificultades complejas y diferentes a las del espectro óptico, su principal ventaja reside en que es prácticamente transparente a la cobertura nubosa y las influencias atmosféricas, debido a que se basa en longitudes de onda mayores a 0,1 mm, que es el tamaño habitual de las gotas de agua. El hecho de que la teledetección con microondas se base en el uso de sensores activos se debe a la escasa emisividad espectral que se da en esta región del espectro, como demuestra la de Planck calculada por Rayleigh-Jeans:

$$M_{\lambda} = 2\pi kT / \lambda^4$$

Donde M_{λ} es la emitancia espectral, T es la temperatura en grados Kelvin y λ es la longitud de onda. La anterior expresión demuestra que la emitancia de los objetos es difícilmente detectable en la región de las microondas, razón por la cual la teledetección activa mediante radar es la más extendida en usos y aplicaciones.

Los píxeles que conforman una imagen radar representan el coeficiente de retrodispersión de la superficie del terreno, con valores directamente proporcionales a la intensidad de la señal de retorno. A diferencia de los sensores pasivos que trabajan en el espectro óptico, la principal virtud

o ventaja que ofrece la tecnología radar es que puede trabajar en cualquier condición atmosférica (Chuvienco 2010).

Un sensor radar puede configurarse de muy diversas formas, obteniendo así señales de retorno igualmente diversas. De hecho, resulta habitual encontrar sensores radar con distintas bandas de observación, diferentes alturas, diferentes ángulos de observación, diferentes polarizaciones y antenas de tamaño diverso.

La ecuación fundamental del radar es la siguiente:

$$P_r = P_t G^2 \lambda^2 \sigma / (4 \pi)^3 r^4$$

Siendo P_r la potencia de la señal retrodispersada, P_t la potencia emitida por el sensor, G el factor de ganancia de la antena, σ la sección eficaz de retrodispersión y r la distancia entre el sensor y la cubierta. De la expresión anterior se puede deducir que la señal de retorno es altamente dependiente de la potencia emitida y de la altura de observación (Chuvienco2010). Tal afirmación puede confirmarse a través de la siguiente ecuación:

$$P_r = P_t A^2 \sigma / 4 \pi \lambda^2 r^4$$

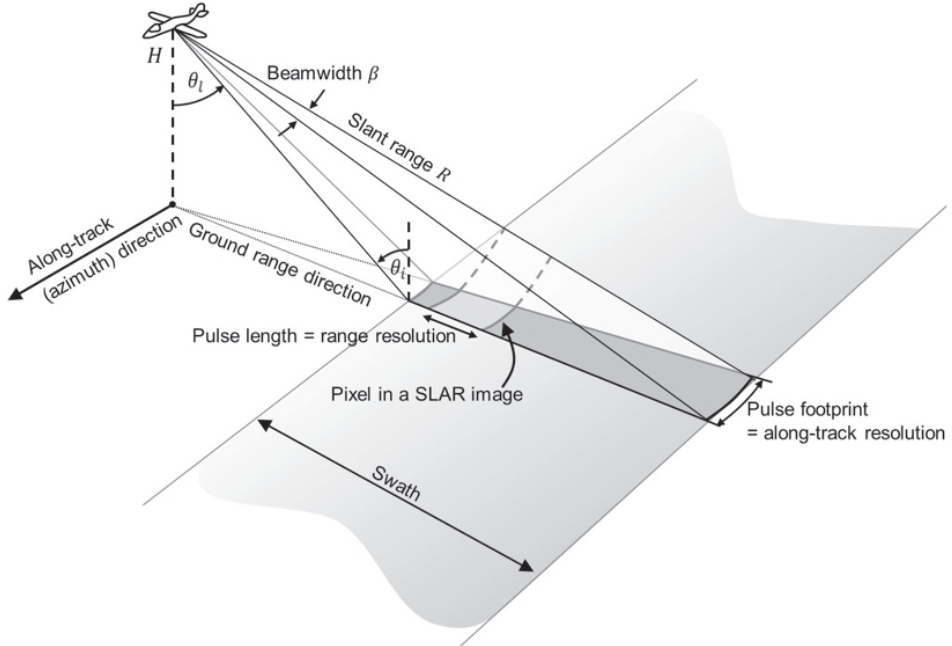
En la que A representa la superficie de la antena receptora, lo que implica que, a mayor altura de observación del sensor, el tamaño de la antena debería ser mayor para obtener una buena señal. Por ello, a la hora de incorporar sensores radar a plataformas orbitales se requiere de antenas de gran tamaño, que garanticen una gran potencia o elevada ganancia efectiva. Ello plantea un reto logístico o de diseño, dado que para obtener una resolución aceptable los sensores orbitales deberían contar con enormes antenas. Pero este problema puede solventarse en parte con el diámetro de apertura de la antena, representado por Φ en la siguiente expresión:

$$R_s = \lambda r / \Phi$$

El radar de apertura sintética (SAR) permite simular distintos tamaños de antena mediante el denominado efecto *Doppler*, consistente en que la resolución del sensor se basa en la obtención de dos señales de retorno de un mismo punto de la superficie terrestre en dos instantes diferentes de

la trayectoria del sensor. De este modo, la resolución no depende del tamaño real de la antena, sino de la que se obtendría de una antena de la misma longitud a la distancia existente entre esos dos puntos (Elachi, 1987).

Figura 1. Geometría de observación de una imagen SAR. El radar vuela a largo de una línea de altitud H y observa la superficie terrestre con un ángulo oblicuo θ_i



Fuente: Siqueira, 2019.

Dado que la imagen se forma con las lecturas de las señales retrodispersadas en la superficie y que son captadas y procesadas por la antena del satélite, se genera en cada punto de la imagen un número complejo:

$$i = A \cdot \cos \varphi$$
$$q = A \cdot \sin \varphi$$

Siendo i la parte real y q la imaginaria, A la amplitud de la señal y φ la fase medida.

Estos dos valores son los existentes en cada píxel de la imagen, en consecuencia, se puede extraer la información de fase e intensidad del punto:

$$A = \sqrt{i^2 + q^2}$$
$$\Phi = \text{atan}(q/i)$$
$$\text{Int} = i^2 + q^2$$

La interferometría se centra en el estudio y explotación de la información proporcionada por las imágenes de fase de las imágenes complejas SAR (Hanssen, 2001). Tanto la técnica de interferometría SAR (InSAR) como la interferometría diferencial (DInSAR) se basan en la explotación contenida en uno o más interferogramas (Klees & Massonnet, 1999). Concretamente, en obtener la posición de un punto hipotético, en función de la observación (desde un radar SAR) de dicho punto desde dos posiciones distintas. Por tanto, las imágenes SAR contienen en cada píxel información de la amplitud y la fase correspondiente a los elementos del terreno. La amplitud varía en función de las características de que la zona de estudio ejerce sobre la señal retrodispersada, mientras que la fase contiene la información de la distancia de la antena al suelo de la zona de estudio (Moreira, et al., 2013).

Un interferograma se forma con dos imágenes SAR, mediante un proceso en el cual cada píxel de la primera imagen se multiplica por el conjugado del mismo píxel de la segunda imagen, obteniéndose una nueva imagen en la que los valores que contiene son la multiplicación de los valores de la amplitud y la diferencia de fase en cada uno de los píxeles de una imagen respecto de la otra.

En la señal retrodispersada que recibe el sensor, además de la distancia al punto y las características de la superficie, influyen otros factores como el ruido inherente al sistema de medida o las condiciones atmosféricas, que influyen en la calidad del producto obtenido (Moreira et al., 2013).

Tal y como ha sido expuesto, por tanto, se puede determinar la posición de un punto mediante el cálculo de la variación de distancia que existe al observar el punto desde dos posiciones distintas del satélite, pudiendo ocurrir también que la variación del valor de distancia se deba a una variación en la posición del punto.

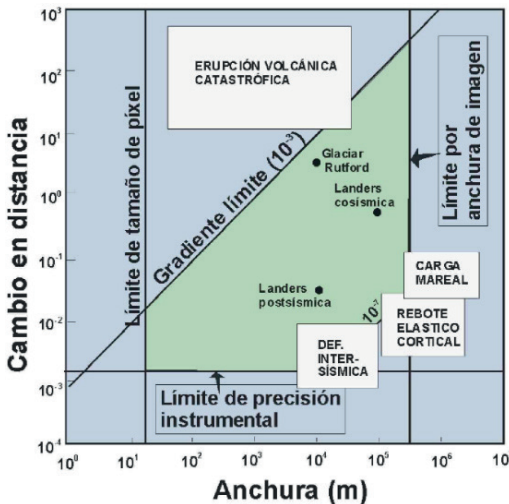
Por todo ello, para poder aislar y cuantificar el valor de la diferencia de fase correspondiente al desplazamiento del punto nació la interferometría diferencial SAR conocida como DinSAR. Su rasgo más característico es que elimina los efectos topográficos incluidos en la fase del punto utilizando un modelo digital de elevaciones, generando lo que se conoce como un interferograma diferencial. Al suprimir el componente topográfico del valor de la fase quedarían otros factores que contribuyen al desplazamiento sufrido por el punto; se trata de las condiciones atmosféricas y el ruido de fase debido a la decorrelación temporal y variaciones del medio de propagación. (Moreira et al., 2013).

En cuanto a la capacidad y límites de esta técnica en la identificación de procesos volcánico-sísmicos como el que nos ocupa, existe un límite interferométrico que viene dado por la expresión:

$$2L (\text{sen } \phi_1 - \text{sen } \phi_2) < \lambda$$

Donde L es la longitud del píxel perpendicular a la trayectoria, ϕ_1 y ϕ_2 son los ángulos de incidencia (desde la vertical local) en la primera y segunda imagen comparada, y λ es la longitud de onda de la radiación emitida.

Figura 2. Representación de algunos procesos geológicos susceptibles de ser detectados por INSAR, en color verde



Fuente: Jiménez-Perálvarez (2013).

La figura 2 relaciona el cambio de distancia o deformación producida por el proceso, estimada en metros para la zona afectada. El “gradiente límite” representa el máximo gradiente de desplazamiento que puede llegar a identificarse con esta técnica (Massonnet & Feigl, 1998).

Área geográfica de estudio

El volcán Turrialba se localiza en la provincia de Cartago, en el cantón de Turrialba

(distrito de Santa Cruz). Se trata de un estratovolcán complejo y activo, que forma parte del extremo oriental de la cordillera Central de Costa Rica. Con una elevación máxima de 3340 m, es el segundo volcán más alto del país, presenta una temperatura promedio anual de 16 °C y una precipitación de 3000 mm a 4000 mm anuales. Las laderas occidentales, objeto del presente estudio, se encuentran situadas en las coordenadas 10° 0' 58" de latitud norte y 83° 46' 37" oeste a una altitud de 2796 metros, con pendientes que oscilan entre el 12% y el 50%.

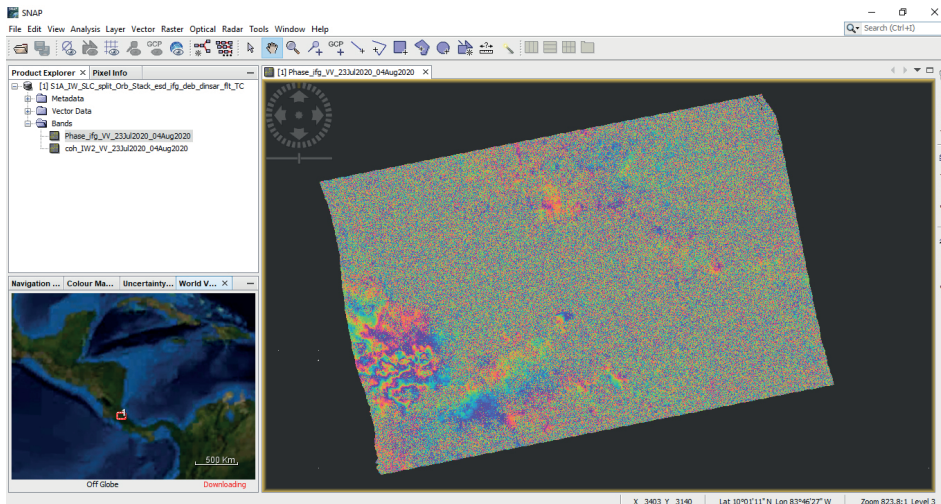
La erupción magmática más reciente que se conoce tuvo lugar entre los años 1864-1866, con un extenso período de calma relativa posterior. Sin embargo, comenzó a mostrar signos de reactivación a partir del mes de marzo del 2012, con una fuerte actividad fumarólica, gases a altas temperaturas, incandescencia, lluvia ácida y ocasionales erupciones freáticas, por lo que algunos pobladores ubicados al sur, suroeste y oeste del volcán han tenido que abandonar sus hogares (González et al., 2015). Entre mayo y junio de 2016 se produjeron al menos tres erupciones estrombolianas, alternadas con períodos de calma., siendo la más reciente la del 1 de agosto de 2020, que provocó una columna de ceniza de 500 metros de altura. Según el Boletín semanal del Programa de Vigilancia Volcánica (del 3 de agosto del 2020) del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI, 2020) se observaron “varias emisiones de ceniza diluidas, y al menos un pulso corto un poco más denso, con una actividad sísmica que presenta un nivel de fondo estable desde al menos enero del 2020 y una tendencia a la contracción y la subsidencia del macizo Turrialba-Irazú que continúa” (OVSICORI, 2020, p. 1).

Materiales y métodos

Para el presente trabajo se utilizaron exclusivamente recursos libres online y software de código abierto. Todo el procesamiento de imágenes que sustenta la presente metodología se realizó con el software SNAP desarrollado por la Agencia Espacial Europea (Figura 3).

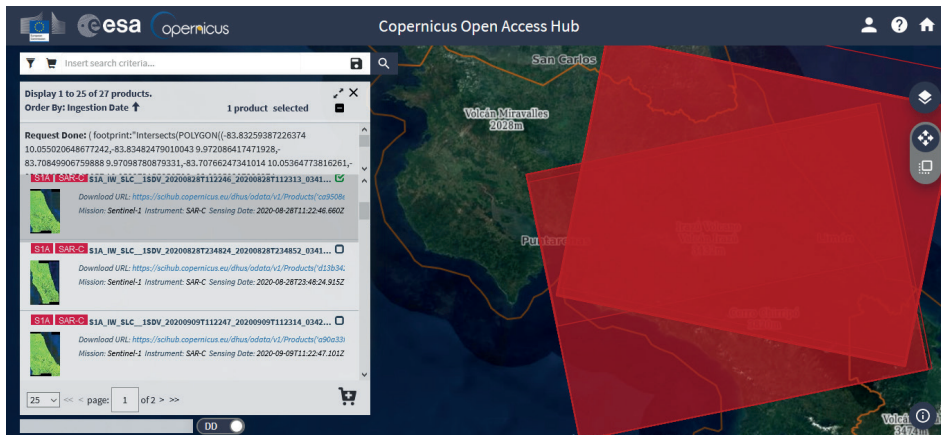
Dado que la técnica DInSAR (InSAR diferencial) se basa en los cambios de elevación ocurridos entre dos barridos del satélite sobre una misma área, el primer paso consistió en escoger las imágenes inmediatamente anteriores y posteriores a la fecha de erupción del volcán, el 1 de agosto de 2020. Las imágenes Sentinel 1 están disponibles para libre descarga en

Figura 3. Software SNAP en su versión 8.0.2



el sitio web Copernicus Open Access Hub (anteriormente conocido como Sentinels Scientific Data Hub) que proporciona acceso completo, gratuito y abierto a los productos de usuario de las misiones Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 y Sentinel-5P.

Figura 4. Sitio web Copernicus Open Access Hub



Fuente: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Las imágenes utilizadas correspondían al 23 de julio y al 04 de agosto de 2020, del satélite Sentinel 1A, nivel de producto SLC (Single-Look Complex) en modo Interferometric Wide Swath (IW) que implica un barrido de 3 franjas paralelas dirigiendo la antena a tres posiciones *across-track* (a lo ancho del barrido) cuyo resultado es un ancho de escena de 250 km con una resolución de 5 x 20 m. Las imágenes seleccionadas para el presente estudio fueron las más cercanas al evento eruptivo del volcán, por lo que se descartaron otras imágenes Sentinel 1 de pasada ascendente, más alejadas de la fecha del evento (25 días) y, por tanto, más propensas a reflejar en la rampa de fase eventos o factores ajenos a la erupción del 1 de agosto de 2020.

El flujo de procesamiento de las imágenes radar en interferometría divide en varias fases, tal y como muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Elaboración propia a partir de la guía para usuarios de Sentinel 1A de la Agencia Espacial Europea

Tipo de procesamiento	Herramientas de software
1. Corregistro de imágenes.	1.1. Back Geocoding.
	1.2. Corrección orbital.
2. Creación del interferograma y estimación de la coherencia.	2. Interferogram Formation
3. Eliminación de bandeado.	4. Herramienta TOPS Deburst.
5. Reducción del ruido de la imagen.	5. Filtro Goldstein.
6. Desenrollado de franjas de la imagen de fase.	6. Plugin SNAPHU Unwrapping
7. Conversión de la fase a desplazamiento.	7. Herramienta Phase to Displacement
8. Corrección geométrica.	8. Range Doppler Terrain Correction
9. Generación de productos finales.	9.1. Aplicación de máscara de coherencia.
	9.2. Exportar a formatos cartográficos.

Fuente: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-types-processing-levels/level-1>

Como paso previo al procesamiento, se realizó un subset consistente en seleccionar únicamente las franjas de barrido de ambas imágenes que abarcaban el área de estudio, mediante la herramienta S-1 TOPS Split, tal y como muestra la Figura 5.

Una vez realizado el subset de franjas de barrido, el siguiente paso fue el corregistro de imágenes obtenidas en el paso anterior, pero antes es necesario aplicar en las imágenes obtenidas anteriormente los archivos con la información detallada de las órbitas, mediante la herramienta de SNAP “Apply Orbit File” tal y como muestra la Figura 6.

Figura 5. Creación de un subset con las franjas de barrido del área de estudio

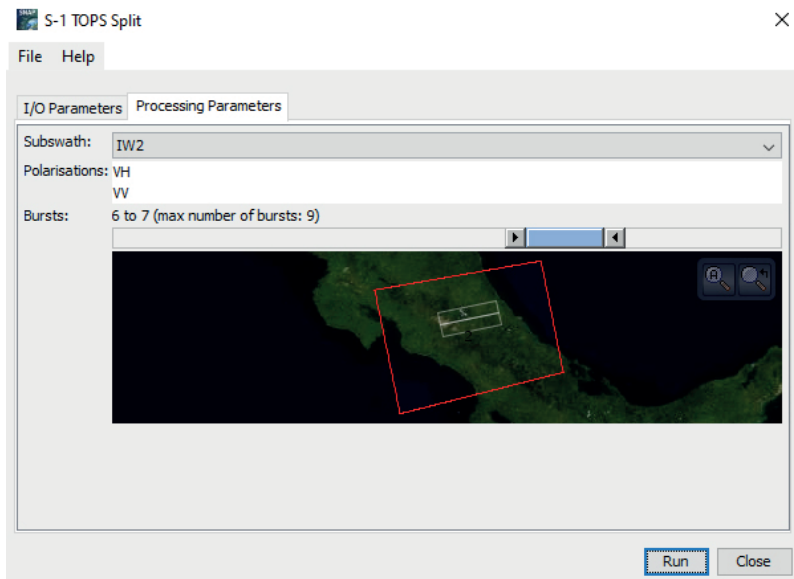
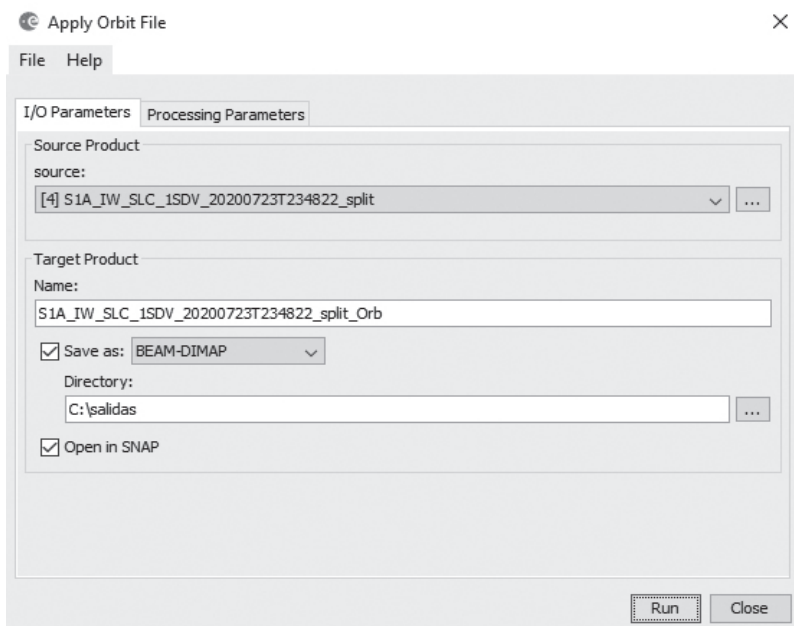
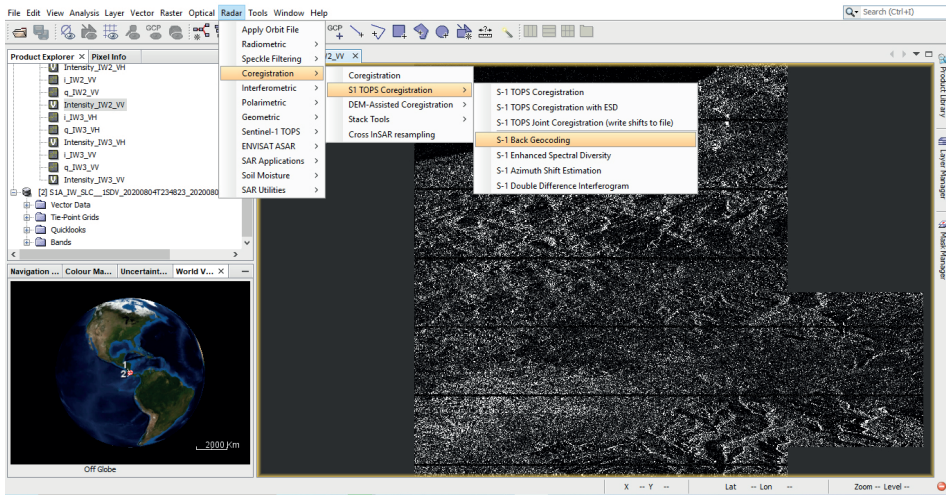


Figura 6. Aplicación de la información de órbita



Una vez aplicada la información de la trayectoria orbital en las imágenes, se procede a aplicar el correjistro. Se trata de un proceso consistente en posicionar los píxeles de una imagen (la del 23 de julio) con los mismos píxeles correspondientes a otra imagen (la del 04 de agosto) para poder generar correctamente un interferograma. Para ello se selecciona una imagen (normalmente la más antigua) como imagen de referencia y la otra imagen (la más reciente) se selecciona como subordinada. La herramienta que el software SNAP proporciona para ello se denomina **S-1 TOPS Coregistration**.

Figura 7. Correjistro de la imagen de referencia y de la imagen subordinada

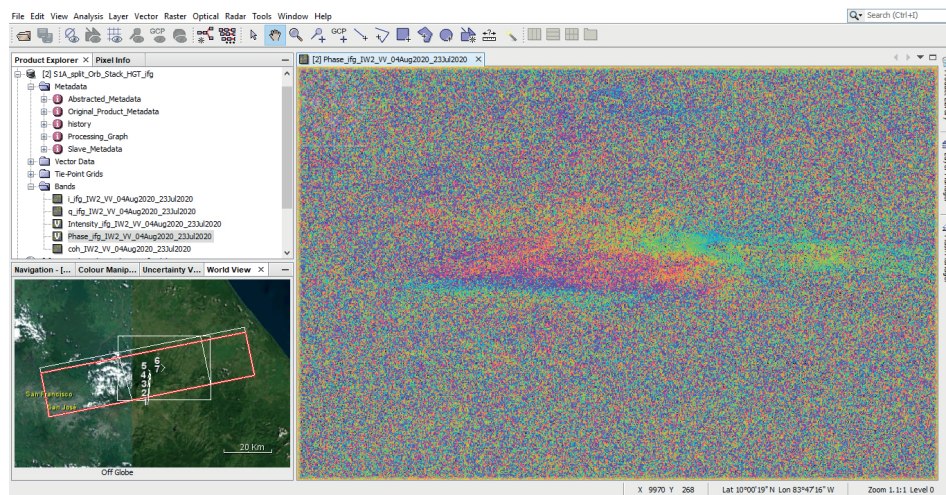


Para que este proceso se realice con éxito se requiere la información precisa de las órbitas del satélite y un modelo digital de elevación del área abarcada. SNAP permite descargar automáticamente de internet tanto las órbitas (vistas en el paso anterior) como la información topográfica (modelo digital de elevación). Para el presente trabajo se utilizó el modelo digital SRTM 1 sec HGT, un producto de la NASA (Shuttle Radar Topography Mission) generado a partir de datos radar SAR de banda C y X con una resolución de 3 arcosegundos, es decir, 30 metros. El método de remuestreo para alinear los puntos de la imagen subordinada con los de la imagen de referencia fue el de interpolación bilineal, recomendada para conjuntos de datos continuos sin límites definidos. Cabe mencionar por último que

la presente técnica y el software solo permiten registrar una subfranja (IW2) con una única polarización (vertical-vertical).

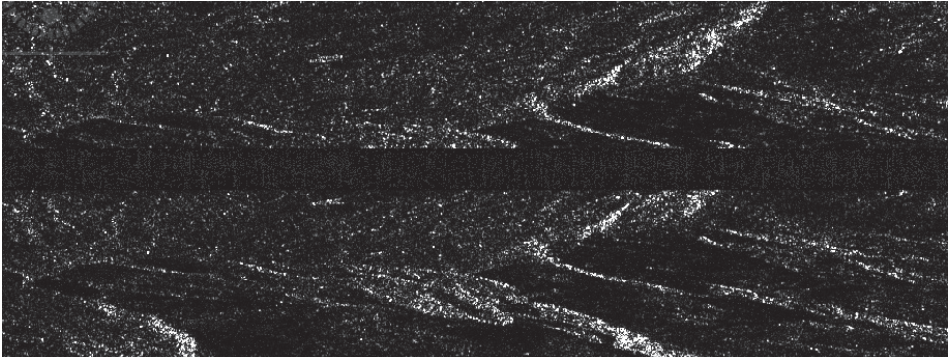
El siguiente paso que se realizó fue la formación del interferograma. El interferograma (Figura 8) se genera al multiplicar la imagen de referencia con la imagen subordinada, lo que produce tres nuevas imágenes complejas: de amplitud, de fase y de coherencia interferométrica.

Figura 8. Interferograma generado a partir de las imágenes de 23 de julio y 04 de agosto de 2020 en el cráter del volcán Turrialba (Costa Rica)



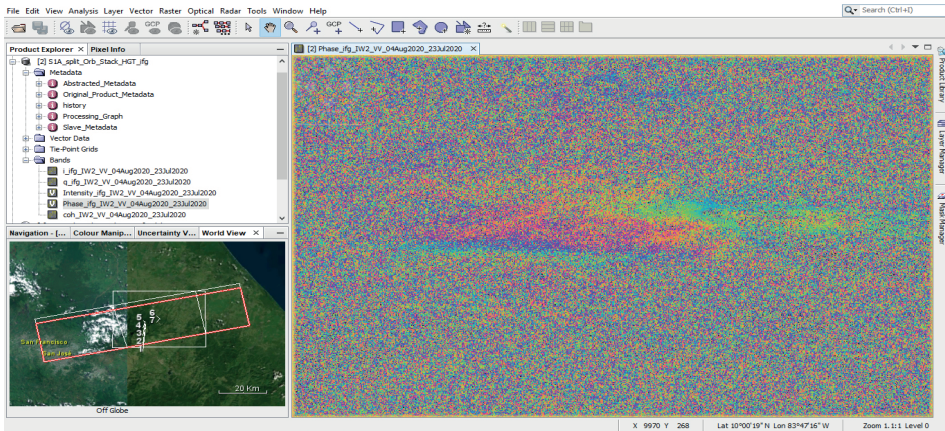
Una vez generados, los interferogramas necesitan un pre-procesado que corresponde fundamentalmente con la eliminación del ruido (speckle) y un posterior procesamiento de la imagen mediante un protocolo previamente establecido (Richards, Scheer & Holm, 2010). Concretamente, y debido a la forma de adquisición de los datos Sentinel 1, las imágenes pueden presentar subfranjas dentro de las cuales se producen solapes. Para ello, el software SNAP proporciona la herramienta “S1 TOP Deburst”, que une las distintas ráfagas teniendo en cuenta el solape, por lo que desaparecen las líneas intermedias, quedando una imagen continua.

Figura 9. Imagen de intensidad de la zona de estudio con subfranja sin información, previa aplicación de la herramienta de SNAP “S1 TOP Deburst”



El paso siguiente consistió en la creación del interferograma diferencial, eliminando el efecto de la topografía de la zona sirviéndose de un modelo digital de elevaciones (se utilizó siempre el modelo digital SRTM 1 HGT de 3 arcosegundos). La herramienta que lo permite en SNAP es “Topographic Phase Removal”.

Figura 10. Herramienta “Topographic Phase Removal” aplicada sobre el sector del volcán Turrialba

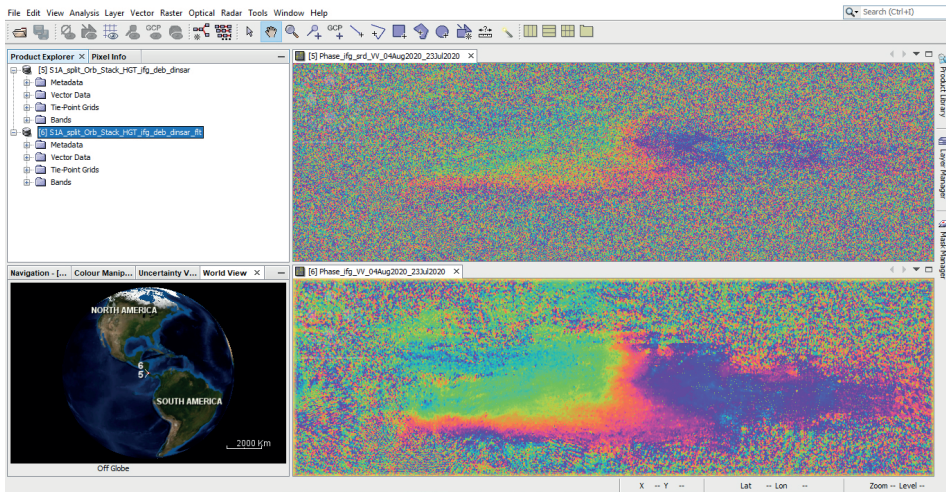


Algunos de los problemas asociados a la generación de interferogramas de fase es el ruido por problemas de decorrelación geométrica, retrodispersión y otros errores de procesamiento (Braun & Veci, 2015). Y

aunque la información de fase en áreas decorreladas no puede ser restituida en tales casos, la calidad de las franjas existentes en el interferograma puede ser incrementada aplicando filtros como el de Goldstein, basado en la función transformada rápida de Fourier (FFT), un algoritmo que reduce el tiempo de cálculo de n^2 pasos a $n \cdot \log_2(n)$ con resultados óptimos en la mayor parte de la imagen tratada, y donde no es así, el usuario es advertido por los cortes (o cambios de color) de las franjas (Goldstein et al., 1988).

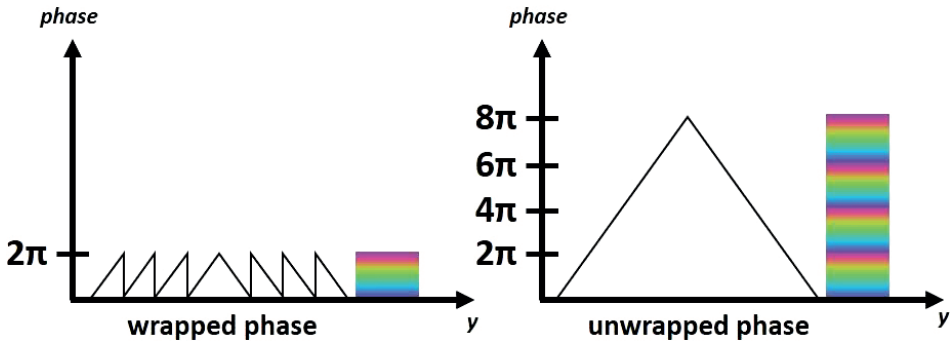
De la Figura 11 podía deducirse fácilmente que el ruido de las imágenes interferométricas diferenciales dificulta su interpretación y entre los filtros disponibles en el software SNAP, destaca el citado filtro de fase de Goldstein.

Figura 11. Interferograma del volcán Turrialba antes (parte superior) y después (parte inferior) de la aplicación del filtro Goldstein



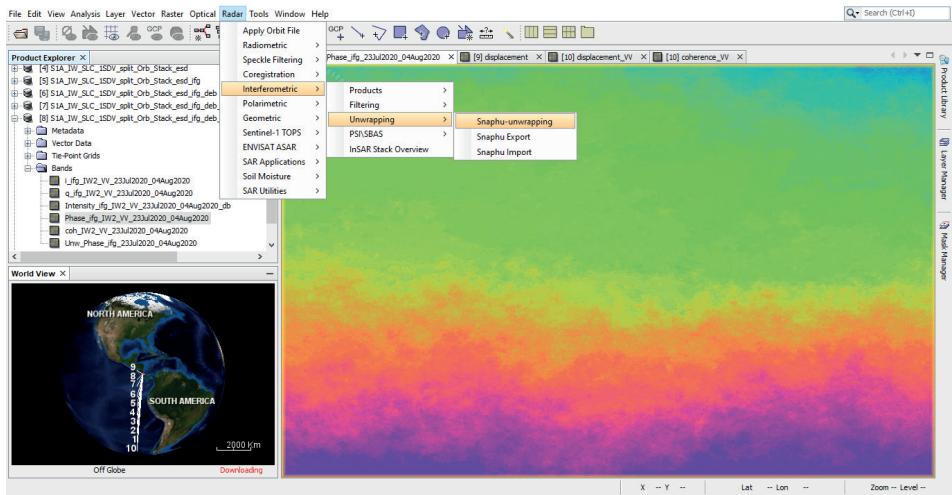
El interferograma presenta, no obstante, algunos inconvenientes aún. El principal es que para poder establecer una correlación entre la fase interferométrica y la altura topográfica hay que desenvolver el archivo correspondiente a la fase. La razón es que los valores de fase están ceñidos a un intervalo de 2π y al desenvolver la imagen se integran la diferencia de fase entre pixeles vecinos. Por tanto, la imagen desenvuelta puede ser interpretada como la altura/desplazamiento entre pixeles de dos imágenes (Braun & Veci, 2015).

Figura 12. Imagen de fase sin desenvolver (izquierda) y desenvuelta (derecha) en relación con la gradación de cambios en la altura (Braun & Veci, 2015)



La herramienta que permitió realizar este proceso en el software de SNAP es un plugin denominado “SNAPHU Phase Unwrapping”.

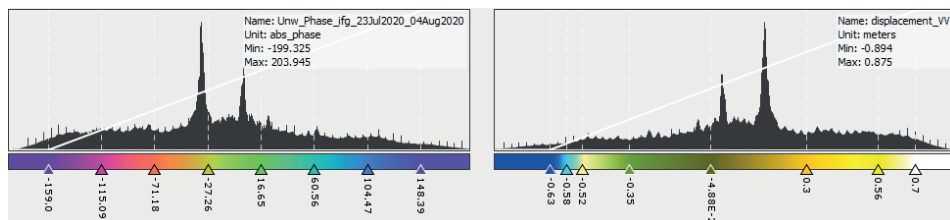
Figura 13. Imagen de fase desenvuelta (en radianes) con la herramienta “SNAPHU Phase Unwrapping” de SNAP



Una vez obtenido el raster de fase desenvuelto, para poder establecer relaciones paramétricas hay que convertir las unidades de la imagen de radianes en desplazamientos cuantificables. La herramienta de SNAP que permite realizar este proceso es “Phase to Displacement” y el producto

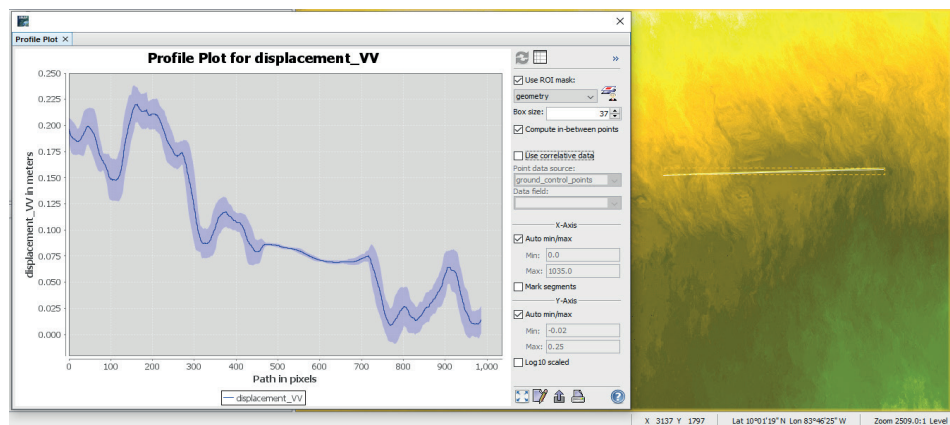
generado es una capa de tipo raster en la que cada píxel representa los valores de desplazamiento (Figura 14).

Figura 14. Histogramas de las imágenes de fase desenvuelta (izquierda) y de desplazamiento (derecha)



La herramienta de SNAP “Profile Plot”, mediante el trazado de un transecto sobre el raster de desplazamiento, permitió confirmar que la deformación se produjo en sentido vertical ascendente y de una forma creciente hacia la base del cráter del volcán Turrialba, tal y como se muestra en la Figura 15.

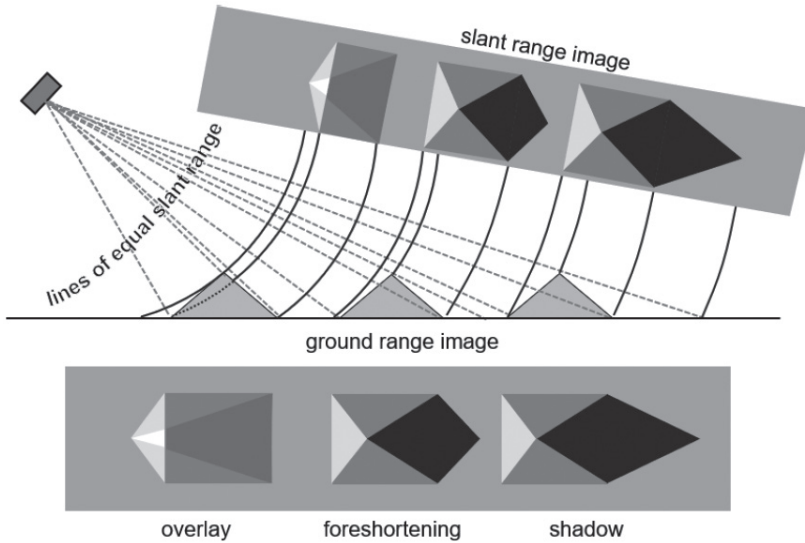
Figura 15. Perfil de desplazamiento de un transecto del volcán Turrialba, mediante la herramienta de SNAP “Profile Plot”



El último paso en el procesamiento interferométrico sería la corrección geométrica. La herramienta de SNAP “Range Doppler Terrain Correction” permite crear un interferograma diferencial mediante la susstracción de la topografía de la zona (como “foreshortening” o sombras

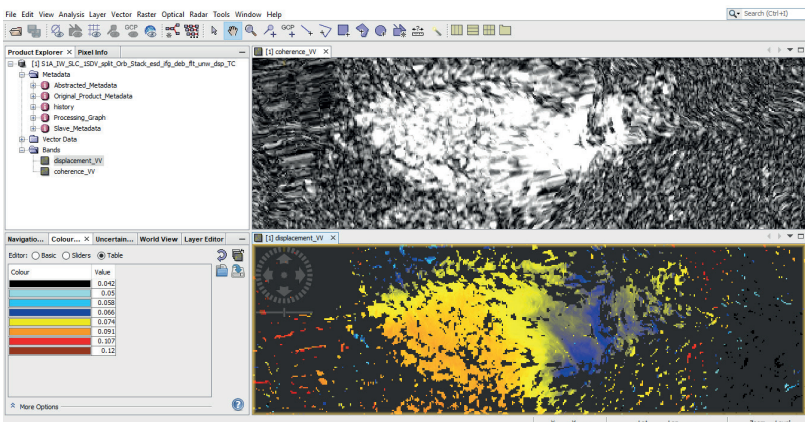
topográficas) utilizando un modelo digital de elevaciones, en este caso el SRTM 1 HGT de 3 arcosegundos utilizado anteriormente.

Figura 16. Distorsiones geométricas en imágenes radar (Braun, 2019)



El resultado es un producto cartográfico proyectado y georreferenciado, como el que muestra la Figura 17.

Figura 17. Imágenes de coherencia (parte superior) y de desplazamiento (parte inferior) del volcán Turrialba



Finalmente, se exportaron el raster de desplazamiento y la coherencia, geoméricamente corregidos, a formato raster para generar los productos cartográficos, tal y como se muestra en las Figuras 18 y 19.

Figura 18. Mapa de desplazamiento vertical (ascendente) de la ladera occidental del volcán Turrialba

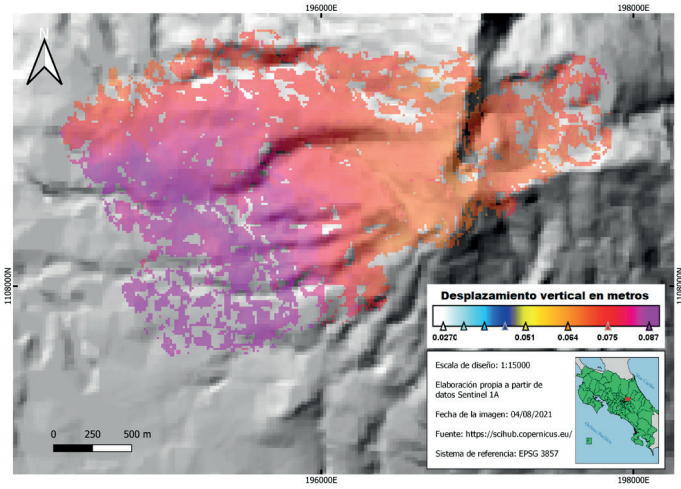
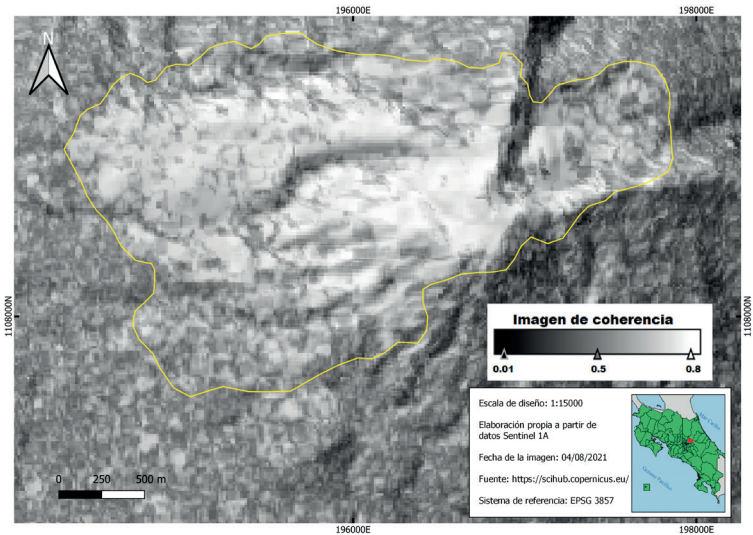


Figura 19. Mapa de coherencia interferométrica de la ladera occidental del volcán Turrialba



Conclusiones

La presente metodología revela que, a pesar de la general contracción y subsidencia del macizo Turrialba-Irazú (de acuerdo con el boletín semanal del [Programa de Vigilancia Volcánica de 3 de agosto del 2020 del OVSICORI](#)) tras un evento eruptivo como el acontecido el 1 de agosto de 2020 las faldas del cráter experimentaron una deformación ligeramente ascendente; de unos 7 cm en la cumbre (por encima de los 3090 m de altitud) hasta los 9 cm de las laderas del cráter (entre 2600 y 2900 m de altitud) tal y como indican las Figuras 18 y 19.

Como limitaciones cabe mencionar que no es posible atribuir exclusivamente a la erupción del 1 agosto las deformaciones estimadas. Se requeriría de un estudio más profundo para establecer correlaciones entre actividad sísmica, volcánica y deformación de la superficie. En todo caso, la robustez de los datos de deformación obtenidos viene respaldada por la imagen de coherencia (Figura 19) que indica valores superiores a 0,7. Cabe recordar en este sentido que la coherencia (γ) es un parámetro cuya magnitud está relacionada con la calidad conseguida en la estimación de la fase interferométrica, y varía entre 0 (baja calidad) y 1 (alta calidad) ([Herrera et al., 2009](#)). Generalmente se obtienen altos valores de coherencia temporal en superficies con poca vegetación, tal y como sucede en la ladera occidental del volcán Turrialba, prácticamente desprovista de vegetación actualmente. Es importante, en todo caso, realizar las observaciones de imágenes SAR simultáneamente, o tan cercanas en el tiempo como sea posible ([Siqueira, 2019](#)) razón por la cual no se utilizaron otras imágenes Sentinel 1 en el presente estudio.

En cuanto a las condiciones meteorológicas, los cambios atmosféricos enmascaran u ocultan la parte de la fase interferométrica debida a los movimientos del terreno ([Herrera et al., 2009](#)). En este sentido el período transcurrido entre la adquisición de las dos imágenes se caracterizó por una canícula más o menos estable desde el 20 de julio hasta la primera semana de agosto (de acuerdo con el boletín de julio-setiembre de 2020 del [Instituto Meteorológico de Costa Rica](#))

Finalmente, conviene recordar que las técnicas de interferometría diferencial con radar de apertura sintética se han desarrollado y validado en los últimos años en estudios de deslizamientos y movimientos sísmicos,

pero su aplicación en la mejora de los modelos de predicción de esos eventos se encuentra aún en una fase incipiente.

Referencias

- Amelung, F., Galloway, D.L., Bell, J.W., Zebker, H.A., & Lacznia, R.J. (1999). Sensing the ups and downs of Las Vegas: InSAR reveals structural control of land subsidence and aquifer-system deformation. *Geology*, 27(6), 483-486.
- Braun, A. & Veci, L. (2015). Sentinel-1 Toolbox: TOPS Interferometry Tutorial. (2020) SkyWatch Space Applications Inc. European Space Agency. Braun, A. (2019). *Radar satellite imagery for humanitarian response. Bridging the gap between technology and application*. (Tesis doctoral). Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Eberhard Karls Universität, (Tübingen). doi: <http://doi.org/10.15496/publikation-32698>
- Cascini, L., Ferlisi, S., Fornaro, G., Lanari, R., Peduto, D. & Zeni, G. (2006). Subsidence monitoring in Sarno urban area via multi-temporal DInSAR technique. *Int. J. Remote Sens*, 27(8), 1709-1716.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio* (3° ed.). Barcelona, España: Ariel Ciencia.
- Elachi, C. (1987). Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley. *Geological Magazine*, 125(4), 467-467. doi: <http://doi.org/10.1017/S0016756800013133>
- Goldstein, R., Zebker, H., & Werner, C. (1988). Satellite Radar Interferometry: Two-Dimensional Phase Unwrapping. *Radio Science*, 23(4), 713-720. doi: <http://doi.org/10.1029/RS023i004p00713>
- González, G., Mora-Amador, R., Ramírez Umaña, C., Rouwet, D., Alpízar, Y., Picado, C., & Mora, R. (2015). Actividad histórica y análisis de la amenaza del volcán Turrialba, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (52), 129-149. doi: <http://doi.org/10.15517/rgac.v0i52.19033>
- Guerrero, J. (2008). *Dinámica fluvial y riesgos naturales derivados de la subsidencia kárstica en los valles del Huerva y del Ebro*. (Tesis doctoral). Universidad de Zaragoza.

- Hanssen, R. (2001). *Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis*. Kluwer Academic, Dordrecht, Boston. doi: <http://doi.org/10.1007/0-306-47633-9>
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (2020). *Boletín Meteorológico Mensual*, agosto 2020.
- Herrera, G., Tomás, R., Lopez-Sanchez, J., Monserrat, O., Cooksley, G. & Mulas, J. (2009). Sistemas radar aplicados a la investigación de subsidencia y movimientos de ladera. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (17.3), 316-324.
- Herrera, G., Tomas, R., López-Sánchez, J.M., Delgado, J., Mallorquí, J.J., Duque, S., & Mulas, J. (2007). Advanced DInSAR analysis on mining areas: La Unión case study (Murcia, SE Spain). *Eng. Geol.* 90(3-4), 148-159.
- Jiménez Perálvarez, J. D. (2013). *Movimientos de ladera en la vertiente meridional de Sierra Nevada (Granada, España): identificación, análisis y cartografía de susceptibilidad y peligrosidad mediante SIG*. (Tesis doctoral). Universidad de Granada, España. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10481/23770>
- Klees, R. & Massonnet, D. (1999). Deformation measurements using SAR interferometry: potential and limitations. *Geologie en Mijnbouw* 77, 161-176.
- Massonnet, D. & Feigl, M. (1998). Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. *Review of Geophysics*, 36(4): 441-500.
- Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K. & Rabaut, T. (1993). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*, 364: 138-142.
- Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I. & Papathanassiou, K. (2013). A Tutorial on Synthetic Aperture Radar. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine (GRSM)*, 1(1), 6-43. doi: <http://doi.org/10.1109/MGRS.2013.2248301>
- Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica. (2020). *Boletín semanal del Programa de Vigilancia Volcánica del 3 de agosto del 2020*. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Richards M. A., Scheer J. A. & Holm, W. A. (2010). *Principles of Modern Radar: Basic Principles*. Unites States: SciTech Publishing.

- Sigmudsson, F., Durand, P. & Massonnet, D. (1999). Opening of an eruptive fissure and seaward displacement at Piton de la Fournaise volcano measured by Radarsat satellite radar interferometry. *Geophys. Res. Lett.*, 26(5), 533-536.
- Siqueira, P. (2019). Forest Stand Height Estimation. *SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*. A. Flores, K. Herndon, R. Thapa, E. Cherrington. (Eds.). E. NASA. doi: <http://doi.org/10.25966/4530-7686>



Creación de escenarios ante el aumento del nivel del mar, para las localidades de Moín y Cahuita, Limón, Costa Rica

Creation of sea level rise scenarios for the localities of Moín and Cahuita, Limón, Costa Rica

Melvin A. Lizano-Araya¹

Universidad de Costa Rica, Costa Rica


Omar G. Lizano-Rodríguez²


Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Resumen

Se analiza el aumento del nivel del mar tomando como base el nivel promedio de mareas altas para la región Caribe de Costa Rica. Este estudio se realizó a partir de modelos conceptuales, observaciones y mediciones efectuadas en campo, que presentan un nivel del mar y su respectivo ascenso para cuatro escenarios de acuerdo con los siguientes años: 2030, 2050, 2070 y 2100. Se elaboran escenarios para simular el comportamiento del nivel del mar relativo en los próximos 100 años para las localidades de Cahuita y Moín en la provincia de Limón. Se estudian los niveles de mareas astronómicas a partir de predicciones mareales. El aumento del nivel del mar en los próximos años por calentamiento global es, según los escenarios de la CEPAL (2012, p. 24), 3 mm por año para la costa del Caribe en general y se utiliza como base para crear las distintas combinaciones y generar los niveles mareográficos representados en este artículo. Los resultados muestran los niveles de inundación para cada uno de los años en las localidades de Moín y Cahuita e indica que ambas localidades podrían ser inundadas para el año 2100.

Palabras clave: nivel del mar, cambio climático, inundación, topografía, mareas.

1 M.Sc. Docente e investigador, Escuela de Geografía. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. E-mail: melvin.lizanoaraya@ucr.ac.cr.  <https://orcid.org/0000-0003-3437-3502>

2 Dr. Docente e investigador, Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) Universidad de Costa Rica, Costa Rica. E-mail: omar.lizano@ucr.ac.cr.  <https://orcid.org/0000-0001-9407-0322>

Abstract

Sea level rise is analyzed based on the average level of high tides registered for the Caribbean region of Costa Rica. The present study utilized conceptual models, field observations and field measurements, which provide sea level data and its respective rise, for the modelling of possible scenarios for four different years: 2030, 2050, 2070 and 2100. Scenarios were developed to simulate the behavior of the relative sea level in the next 100 years for the localities of Cahuita and Moín, both in the province of Limón, Costa Rica. Astronomical tidal levels are studied from tidal predictions. The rise in sea level in the coming years due to global warming is, according to ECLAC scenarios/predictions (2012, p. 24), 3 mm per year for the Caribbean coast in general and is used as a basis for the creation of the different combinations and generation of the tidal levels represented in the present article. Results show flood levels for each considered year and indicate that both Moín and Cahuita could be flooded by the year 2100.

Keywords: Sea level; Climate change; Flood; Topography; Tides.

Introducción

Dentro del Sistema Tierra los efectos de las actividades humanas pueden detectarse a escala planetaria. Los geógrafos físicos han reconocido desde hace tiempo la gran importancia de conocer los rasgos presentes en el terreno a través de los procesos de alteración de las formas del terreno y de los procesos geomorfológicos, incluido el tema de flujos y depósitos hidrológicos hasta los procesos de remoción en masa, erosión y deposición de material en el suelo, los cuales han permitido conocer rasgos antropogénicos para detectar cambios asociados a las actividades humanas realizadas sobre el terreno (Tarolli, Cao, Sofia, Evans & Ellis, 2019). A lo anterior se le suma que, con base en evidencias que muestran que los procesos atmosféricos, geológicos, hidrológicos y biológicos del Sistema Tierra, entre otros; están siendo alterados por las actividades humanas (PNUMA, 2013, p. XVIII). Los cambios más fácilmente reconocidos incluyen el incremento de las temperaturas globales y de los niveles del mar, así como la acidificación de los océanos asociada al aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (PNUMA, 2013, p. XVIII). Como lo mencionan Dawahidi, Ibarra y Gomariz (2019, p. 40): “El cambio climático producido principalmente por el aumento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) generadas por la actividad humana es un fenómeno que ha aumentado recientemente debido a otros factores como la explotación de combustibles fósiles, petróleo y carbón”.

La extensión de los hielos marinos árticos ha disminuido en 3.5% y el 4.1% por decenio, con disminuciones estivales aún más acentuadas

entre el 9.4% y el 13.6% por decenio (IPCC, 2014, p. 44). En promedio, los glaciares de montaña y la cubierta de nieve están decreciendo de manera acelerada, cambio que se ha manifestado en los últimos decenios, a tal punto que es probable que antes de mediados de siglo el océano Ártico esté casi libre de hielo en el mes de septiembre, momento mínimo estival de hielo marino (IPCC, 2014, p. 12). Como lo indica Lambrechts (2007, p. 4): “La extensión de la capa de nieve media mensual en el hemisferio norte ha disminuido a un ritmo d. 1,3% por decenio en los últimos 40 años, registrándose las mayores pérdidas en la primavera y el verano, lo que supone reducciones en la capa de nieve”.

Cambio climático

Los cambios climáticos reflejan un decremento en las masas glaciares, pero no en todas las regiones se tiene una disminución de la cubierta de nieve. En las regiones del hemisferio norte, los escurrimientos máximos de los glaciares y el derretimiento de la nieve se presentan más temprano en el año provocando la retirada de los glaciares, la fracturación de las grandes plataformas de hielo, el aumento del nivel del mar y el derretimiento del hielo permanente (PNUMA, 2013, p. 118). Todo esto es una influencia directa del calentamiento global, expresado en el informe escrito por el IPCC (2014, p. 10), donde se apunta que es probable que el aumento de la temperatura media global en superficie a final del siglo XXI (2081-2100) respecto de 1986-2005 sea de 0,3° C a 1,7 °C bajo el escenario RCP 2.6 y donde la región del Ártico seguirá calentándose más rápidamente que la media global. A la vez, el documento indica que es prácticamente seguro que se produzcan temperaturas extremas calientes más frecuentes y frías menos frecuentes en la mayoría de las zonas continentales, en escalas temporales diarias y estacionales, conforme vaya aumentando la temperatura media global en superficie.

A escala global se prevé la inundación de miles de kilómetros cuadrados de humedales costeros y tierras bajas (Bedia, 2004, p. 1). También es previsible el retroceso de playas y la ruptura de infraestructuras litorales de protección, la salinidad de acuíferos y la pérdida de tierras productivas para la agricultura y la ganadería (Bedia, 2004, p. 1). “Los patrones de erosión y sedimentación litorales se verán modificados y afectarán instalaciones portuarias, enclaves turísticos y ecosistemas de especial valor,

entre otras zonas sensibles” (Van der Meulen, Witter & Marens, 1991, p. 106). “Las consecuencias previsibles son el retroceso por los cambios en la dinámica litoral, como por la proliferación de estructuras de protección que alterará el ambiente costero en general” (Bedia, 2004, p. 1).

Asimismo, se conoce del último modelo climático, elaborado por Otto-Bliesner et al. (2006, p. 1751) que concuerda con datos obtenidos de registros paleoclimáticos de testigos de hielo, polen fósil, sedimentos marinos y marcas químicas utilizados para comprobar la precisión del modelo. Se efectuó un cálculo del aumento para el año 2100, el cual indica que las costas del sur, suroeste y surestes de los Estados Unidos se verán seriamente afectadas, pues se registra un aumento aproximado de 6 metros del nivel del mar. Ciudades como Nueva Orleans desaparecerán para esa fecha, al igual que ciertas zonas de la Florida, como los cayos (Otto-Bliesner et al., 2006, p. 1752). Otros estudios indican, por ejemplo, que para mediados de siglo los niveles relativos del mar en ciudades como Nueva York, Florida o Miami pueden superar los indicados a inicios del año 2000 en 1.2 m (Wright, Syvitski & Nichols, 2019). Sin embargo, es importante recalcar que hay otras proyecciones de aumento del nivel del mar que son condicionadas por los RCP y no se ajustan a los diferentes objetivos establecidos en el acuerdo de París donde se pretende mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2°. Los RCP varían en sus cálculos entre un aumento de la temperatura que ronda los 1.5° y 2° y de ahí las proyecciones de aumento en mayor o menor medida del nivel del mar (Horton et al., 2018).

A nivel mundial, el calentamiento paulatino al que se han visto sometidos los océanos del mundo asociados a las pérdidas de masas de hielo y la expansión térmica causará graves problemas en las áreas costeras, consideradas como uno de los ambientes más frágiles del medio terrestre (Ibarra, Belmonte, Gomariz & Pérez, 2015). Lo anterior ocasiona pérdidas de tierras habitables y cultivables, intrusión de agua salada y erosión costera (Ibarra-Marinas, 2016).

De igual forma, en la comunidad científica actual hay mucha incertidumbre sobre la respuesta de las grandes capas de hielo de Groenlandia y la Antártida Occidental ante los aumentos de la temperatura de 4°C o más para el 2100 y que, eventualmente, situaría el aumento del nivel de los océanos entre los 0.5 m a 2 m. Consideran que la probabilidad de que se

produzca un aumento superior es baja, pero no se puede descartar a futuro (McInnes, Walsh, Hubbert & Beer, 2003).

A partir de observaciones satelitales realizadas por los altímetros de la misión TOPEX/Poseidón y las plataformas Jason-1, Jason-2 y Jason-3, estas muestran una aceleración del aumento del nivel de los océanos del mundo con una tasa de incremento de 0.025 ± 0.084 mm/y² para los últimos 25 años y que, al juntarse con la tasa media de aumento del nivel del mar, impulsada por el cambio climático durante estos mismos 25 años, da un promedio de aumento de 2.9 mm/año (Neremet et al., 2018).

Se debe recalcar que el calentamiento que sufren los océanos se ha distribuido por todo el mundo y no como se ha pensado, que es una distribución localizada, pues varias regiones han mostrado un aumento de la energía térmica presente en las masas de agua (Cheng et al., 2018). Esta energía genera un aumento del nivel del mar por expansión térmica, que unida a otros fenómenos mareográficos como el Niño, apilamiento de oleaje u otros, puede causar un impacto mayor sobre las áreas costeras.

Costa Rica no escapa ante tal situación y, principalmente, a lo que es el aumento del nivel de los océanos (Lizano, 1997, p. 172; Lizano & Salas, 2001, p. 172; Lizano, 2013, p. 9), debido a que al estar en un istmo y tener costas en ambas vertientes (Pacífica y Caribe) lo hace vulnerable ante futuros eventos de este tipo. Como lo indica Díaz (1999, p. 5), Costa Rica tiene más de 1100 km de línea de costa en el océano Pacífico y más de 200 km en el mar Caribe. Patrones de erosión, desde leves, moderados y hasta severos, ya se está viendo en las costas del país, como lo señala Lizano (2013, p. 10), tanto en el Pacífico como en el Caribe.

Para el caso de Costa Rica, se cuenta con el estudio efectuado por Díaz (1999), el cual determinó las zonas de riesgo ante un ascenso del nivel del mar: Punta Morales-Tárcoles. En este estudio Díaz utilizó la técnica AVVA (Análisis de Vulnerabilidad Asistido por Videograbación Aérea, propuesta por Leatherman Nicholls & Dennis (1995), y efectuó una clasificación del frente costero de acuerdo con su vulnerabilidad ante la acción de las olas o de los cambios del nivel del mar. Combinó ese método con el reconocimiento terrestre, el estudio estereoscópico de las aerofotos, para trazar sobre ellas los límites de regresión e inundación (transgresión). Es de resaltar que ese estudio se realizó con unos pocos datos topográficos aproximados alrededor de la ciudad de Puntarenas, y en los cuales se sobrepusieron los escenarios

del nivel del mar por calentamiento solamente. Nadie ha realizado escenarios de nivel del mar relativos a los demás componentes mareográficos, y más aún, refiriendo estos niveles al nivel “0” (cero) del mar o promedio de sicigias (Lizano, 2006, p. 53; 2009, p. 19).

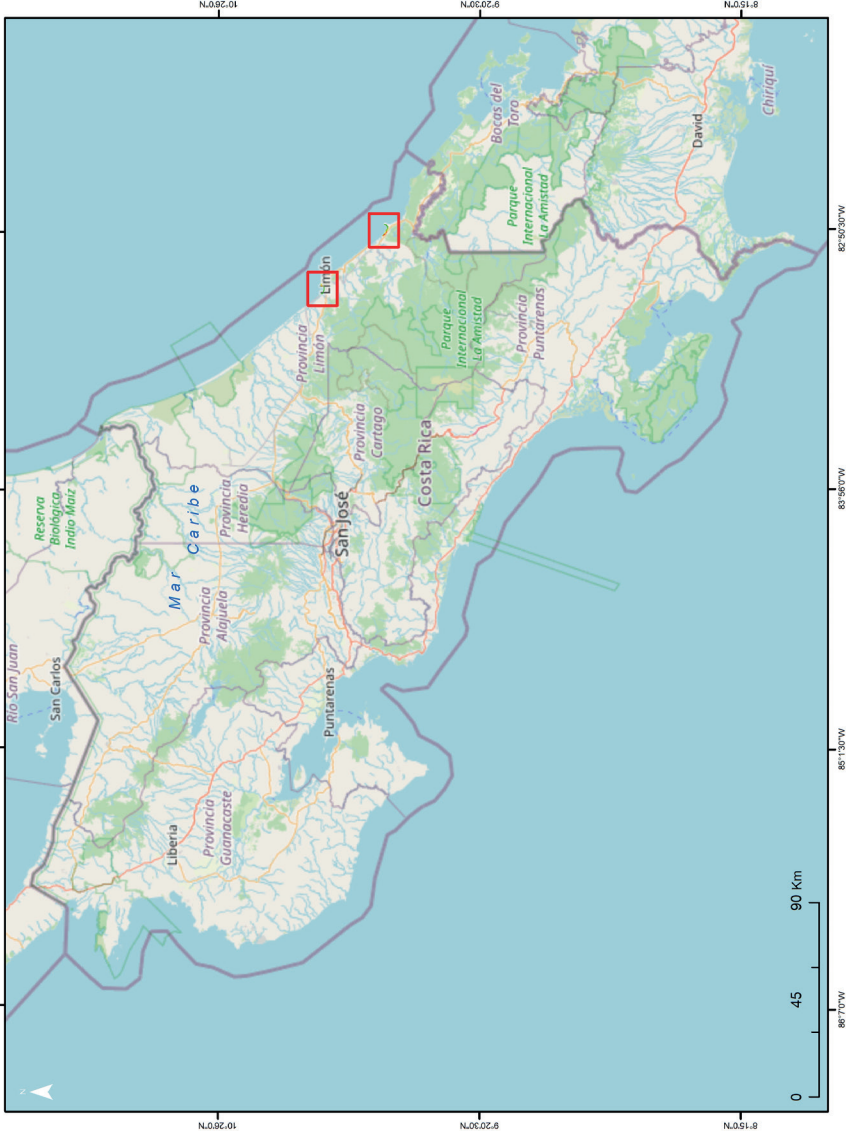
Otro de los estudios es el de Lizano y Lizano (2010), que es una buena primera aproximación a la generación de escenarios ante el aumento del nivel del mar y otros tres componentes oceanográficas para la ciudad de Puntarenas, que se toma como referencia base. Adicionalmente, está el estudio sobre el análisis de vulnerabilidad de las zonas oceánicas y marino-costera de Costa Rica frente al cambio climático, donde se realiza un análisis a partir de datos satelitales en función de datos altimétricos obtenidos por satélite (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2013).

En este artículo se elaboran los escenarios de inundación por aumento del nivel del mar en dos regiones del Caribe de Costa Rica. Con ello, se pretende alertar a la población costera y a las instituciones gubernamentales sobre estos escenarios para que tomen las decisiones correspondientes ante el inminente cambio del nivel del mar. Se proponen combinaciones de nivel del mar, de tal forma que otros componentes no incluidos en este estudio, como tsunamis, puedan ser simulados también, y ayude en la toma de decisiones ante estos posibles eventos.

Metodología

El levantamiento topográfico de las zonas de Moín y Cahuita (ver Figura 1) se realizó mediante la técnica LIDAR que deriva en una gran nube de puntos para ambas zonas permitiendo obtener modelos de elevación, de alta resolución espacial del orden de 50 cm. Estos datos son facilitados por la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) de un sobrevuelo realizado para cubrir las costas del Pacífico y Caribe del país, entre los años 2015-2016. Tras revisar y validar los datos LIDAR de acuerdo con la clasificación internacional de la ASPRS, se procede a verificar la calidad y, en algunos casos, se tiene que, de la nube de puntos de ambas zonas, entre un 30 y 40% de los datos de suelo se encuentran en la categoría de no clasificados, por lo que se debió proceder a la fotointerpretación y corrección de estos para contar con un área totalmente densificada que permita la obtención de cartografía a gran detalle menor a 1:1000.

Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio, Moín y Cahuita (recuadro color rojo)



Fuente: Elaboración propia.

Para la zona de Moín se obtuvo, posterior a la clasificación y fotointerpretación, un total de 1750926 puntos de elevación; para la zona de Cahuita, 1141553. Esto permite obtener para ambos casos modelos de alta resolución espacial con un tamaño de celda de 50 cm como se ilustra en las figuras 2 y 3.

Una vez que se han reclasificado los datos, se procedió a realizar el trabajo de campo para realizar las mediciones del nivel 0 de marea en función de un punto conocido (hito) de la red geodésica del IGN y, adicionalmente, se hace uso de las predicciones de marea para Limón de ese día (Lizano, 2006, p. 53). Luego se realiza el traslado a un punto terrestre conocido para con ello obtener un factor de ajuste respecto al punto de elevación, según la siguiente fórmula:

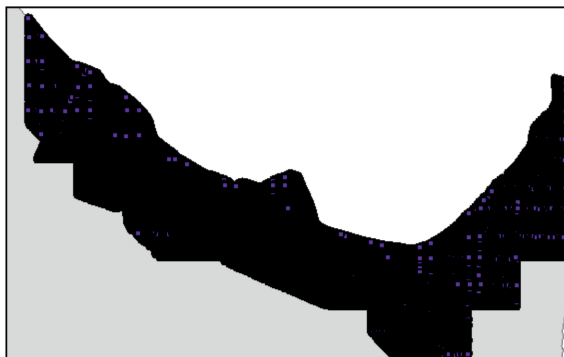
$$FC = EPM - EPCT$$

FC: Factor de Corrección

EPM: Elevación Punto Marea

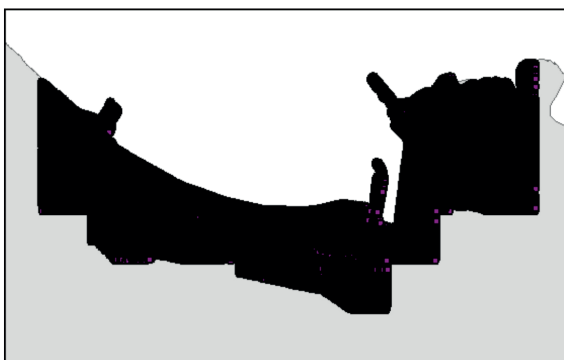
EPCT: Elevación Punto Control Terrestre

Figura 2. Nube de Puntos Cahuita



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Nube de puntos Moín



Fuente: Elaboración propia.

Al existir una carencia de un modelo Geoidal propio para el país al momento del estudio, se toma como referencia el modelo Geoidal WGS84, garantizando con ello la estandarización de toda la información sobre dicho geoide. El “datum” para elevaciones usualmente es el “datum” que define la línea de costa (Lizano, 2010, p. 19).

Con los datos obtenidos en el levantamiento de campo, en el que fueron realizadas 4 tomas de puntos utilizando un receptor Geodésico GeoMax Zenith 40, y con los datos de topográficos obtenidos del LIDAR se procedió a unificar los niveles de referencia topográficos, de manera que se tuviera en una sola capa para realizar la modelización conceptual.

El nivel “0” (cero) del mar (nivel de marea de sicigias) al que se refirieron los datos fue medido y establecido para el caso de Moín sobre el Muelle Petrolero (RECOPE) y para el caso de Cahuita sobre un espejo de agua o embarcadero hacia el oeste de la entrada principal del Parque Nacional. Es importante mencionar que los datos tomados en campo se levantan en función del nivel 0 de marea establecido en la tabla de mareas para los días y horas en que se realizó el trabajo de campo.

Se estableció un promedio entre el valor de los datos dados por el LIDAR y los obtenidos en campo del nivel de referencia “0” de la marea. La altura de marea obtenida a partir de los datos de campo para la zona de Moín fue de 0.37 m, en tanto para la zona de Cahuita es de 0.51 m. Al comparar los puntos anteriores con los dados por el LIDAR para la zona de Moín, indica 0,57 m y la de Cahuita de 0.69 m. La diferencia absoluta para el primer punto es de 0.20 cm y para el segundo de 0.18 cm, valor que se restó a los datos topográficos, con el fin de homologarlos al nivel “0” del mar, que corresponde al promedio de sicigias (Lizano, 2006, p. 53; 2009, p. 19).

Para trabajar la información de mareas astronómicas se utilizó el software para PC llamado Tidal & Currents (Lizano, 2006, p. 53), cuyas predicciones incluidas en el programa van desde el año 1901 hasta 2099.

Los distintos niveles del mar se modelaron conceptualmente utilizando un software de Sistema de Información Geográfica (SIG), asumiendo un aumento del nivel del mar (sobre el “0” de sicigias) entre 0.36 cm (marea astronómica máxima en la zona) (Lizano 2006, p. 59) y aumentos de 0.72 cm, 1 m y 2 m, según los criterios del informe de la CEPAL (2012,

p. 24), como se muestra en la Tabla 1. Para el caso de estudio, al nivel promedio de las mareas máximas para el mar Caribe de Costa Rica (Lizano, 2006, p. 56) se le sumará a cada uno de los incrementos mencionados, que dicho sea de paso son conservadores, no extremos. La tasa de acenso utilizado es de alrededor de 3 mm por año.

Tabla 1. Aumento del Nivel del Mar para el Caribe

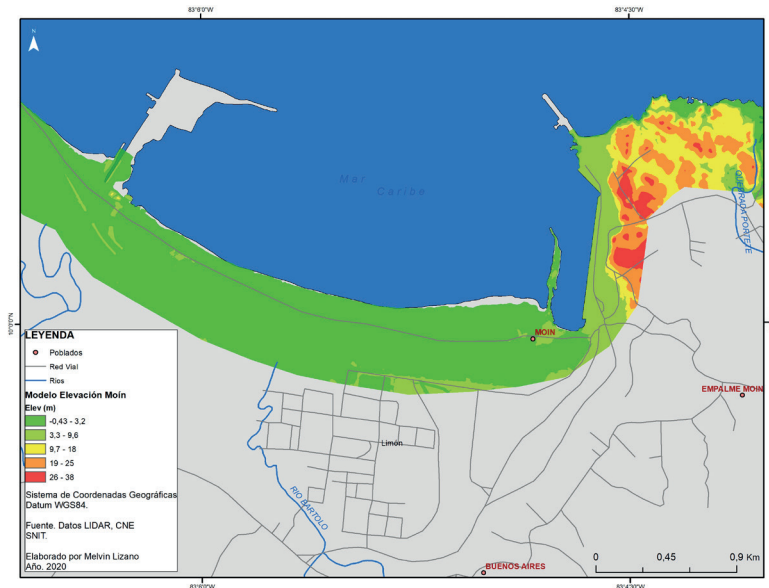
Año	Aumento (m)*
2030	0.36
2050	0.72
2070	1
2100	2

Fuente: Elaborado con datos CEPAL (2012).

Resultados

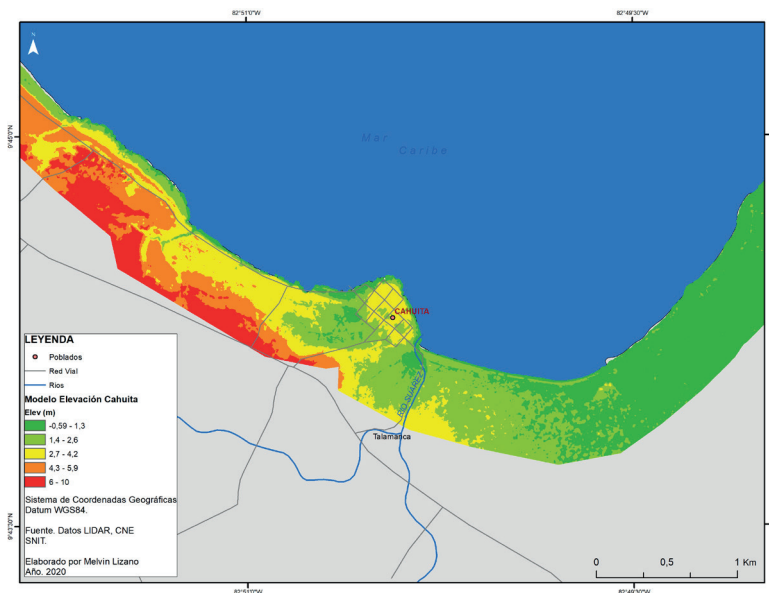
La altura topográfica promedio para la zona de Moín es de 7.838 m, en tanto que para la zona de Cahuita es de 6.688 m, referidos al nivel “0” del mar, lo cual indica que tanto Moín como Cahuita son zonas sumamente vulnerables a fenómenos meteorológicos y oceanográficos. Con estos datos se encontró que la máxima altura topográfica para los primeros 500 metros a partir de la costa, para la zona de Moín, es de 38.350 m, y la de Cahuita de 10.046 m a partir del nivel “0”. El punto en Moín se encuentre en el sector noreste a partir del Muelle Petrolero, propiamente en el área de Portete. Para el caso de Cahuita se ubica en el sector noroeste a partir del centro del núcleo poblacional de la comunidad. Las mayores elevaciones se dan en el sector noreste en Moín, así como en el noroeste en Cahuita, como se aprecia en las figuras 4 y 5.

Figura 4. Modelo de Elevación, Moín



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Modelo de Elevación, Cahuita



Fuente: Elaboración propia.

Mareas máximas

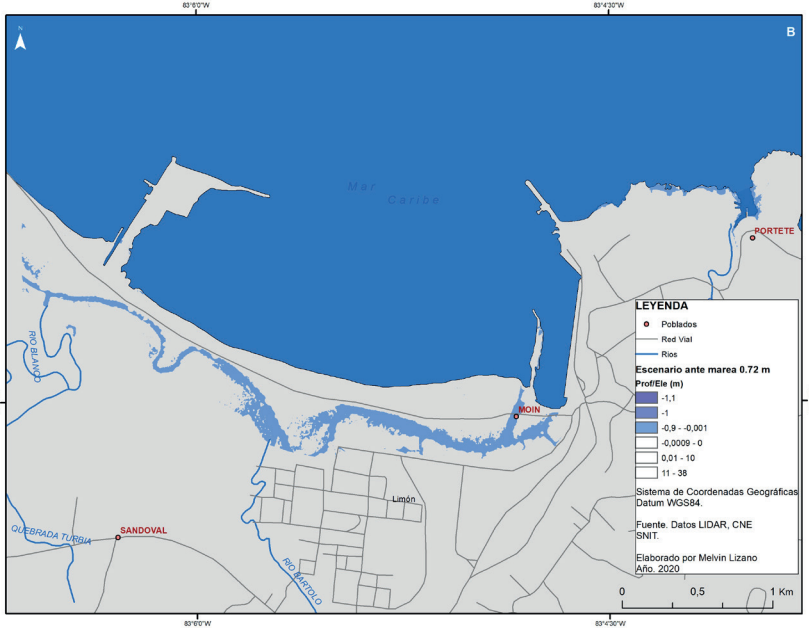
Se sabe que para Cahuita una marea astronómica mayor de 0.36 m (Lizano, 2006, p. 59) comienza a inundar regiones del Parque Nacional Cahuita, así como en las cercanías del Muelle Petrolero en Moín, como se aprecia en las figuras 6 y 7.

Figura 6. Nivel de inundación para Moín, marea máxima promedio 0.36 m.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Marea de 0.72 m.



Fuente: Elaboración propia.

Múltiples escenarios se podrían construir para ambas zonas a partir de los diferentes niveles de marea astronómica: nivel “0”, nivel promedio (0.36 m), etc., con las distintas combinaciones de los componentes mareográficos, en este caso, el aumento del nivel del mar. Sin embargo, algunos no tendrían alturas importantes que alcancen niveles de inundación para las zonas. Lo importante entonces son aquellos niveles ante el aumento del nivel del mar que tienen potencial de inundación para las zonas de estudio. Las combinaciones seleccionadas de estos niveles se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Niveles mareográficos utilizados como posibles escenarios ante el aumento del nivel del mar

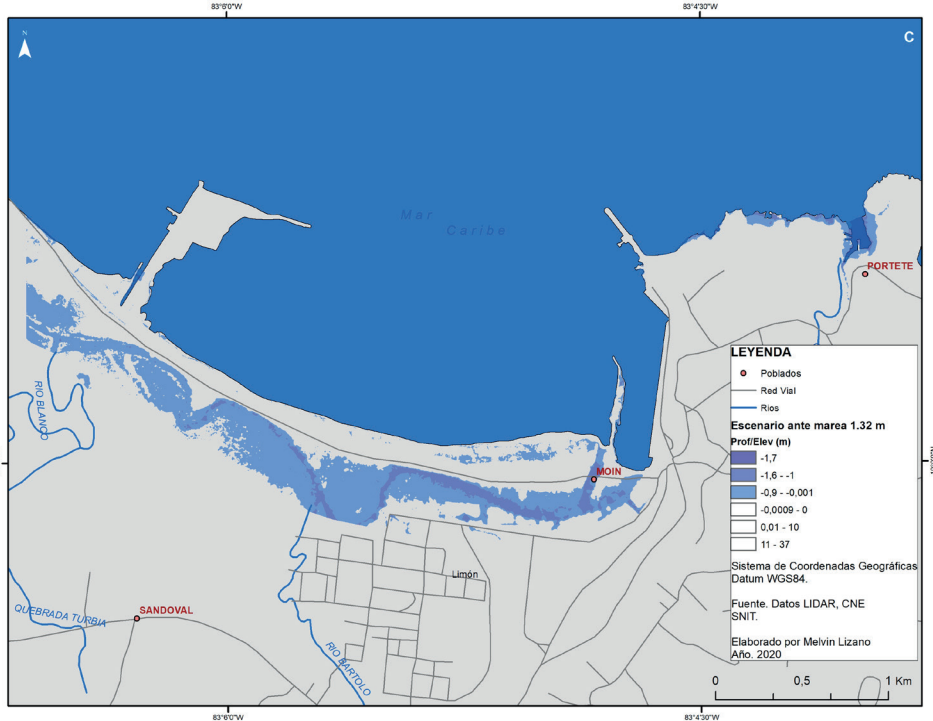
Escenario	Año	Aumento (m)	Marea Total* (m)
1	2030	0,36	0,72
2	2050	0,96	1,32
3	2070	1	1,36
4	2100	2	2,36

*Marea base= 0,36 m.

La marea total es la sumatoria de los valores de marea anuales más el aumento proyectado.

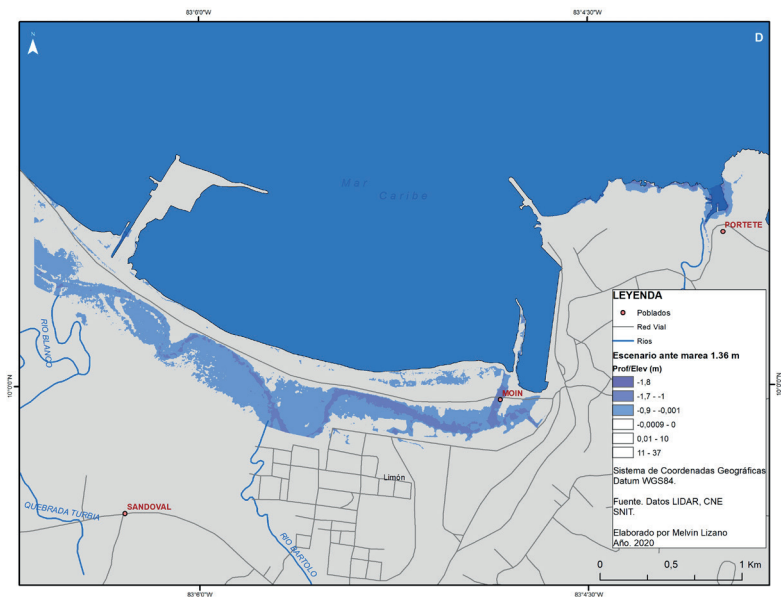
Las figuras 8, 9 y 10 muestran los niveles de inundación para la zona de Moín. Las observaciones que se hicieron en las zonas de estudio coinciden con los señalados en ambas figuras.

Figura 8. Niveles de inundación por mareas 1.32 m (2050), para Moín



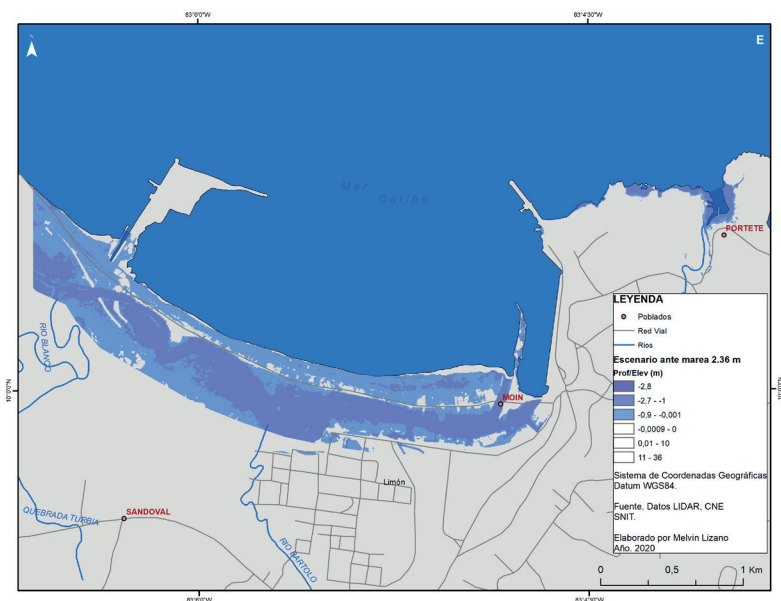
Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Niveles de inundación por mareas 1.36 m (2070), para Moín



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Niveles de inundación por mareas 2.36 m (2100), para Moín

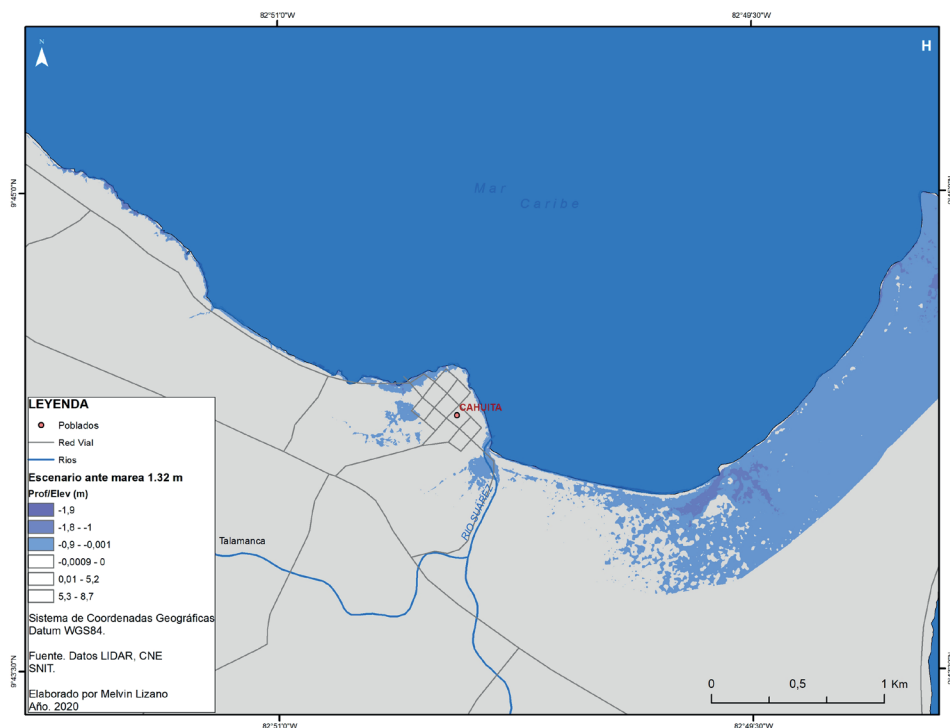


Fuente: Elaboración propia.

Para el escenario D con niveles del mar de 1.36 m (para el 2070), como muestra la figura 9, el agua inunda el estero y con el escenario de 2.32 m (para el 2100) figura 10, prácticamente toda la zona de Moín, incluyendo los puertos o terminales de RECOPE y APM se verían afectadas.

Las figuras 11, 12 y 13 muestran los niveles de inundación para la zona de Cahuita.

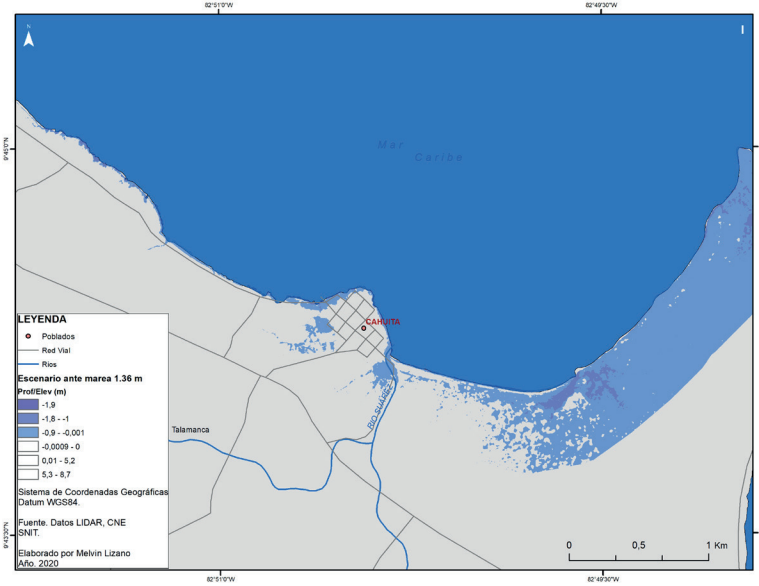
Figura 11. Niveles de inundación por mareas 1.32 m (2050), Cahuita



Fuente: Elaboración propia.

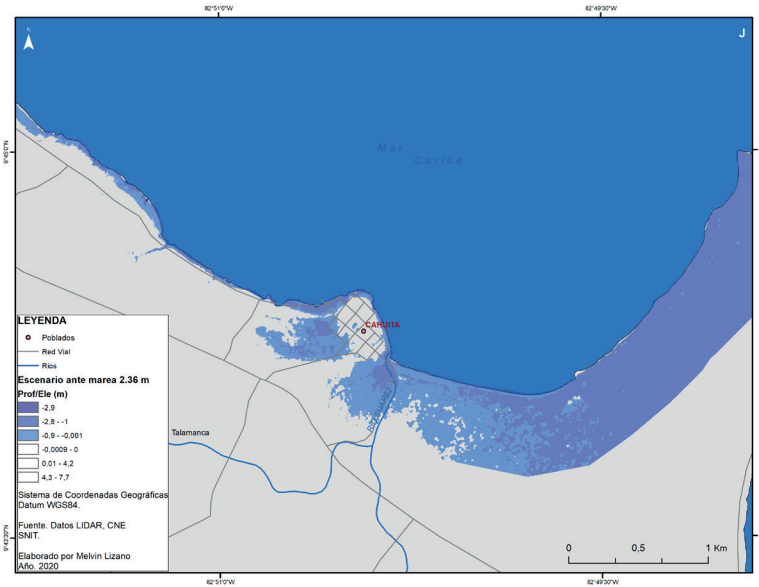
Las figuras 12 y 13 muestran cómo se inunda toda el área principal del Parque Nacional Cahuita con los escenarios de 1.32 y 1.36 m y se aísla la comunidad de Cahuita para el caso del escenario de 2.36 m.

Figura 12. Niveles de inundación por mareas 1.36 m (2070), Cahuita



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Niveles de inundación por mareas 2.36 m (2100), Cahuita



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

El ascenso del nivel del mar por cambio climático supondrá un problema en el corto plazo (30 años) (IPCC, 2007, p. 21) por un aumento de la frecuencia de las mareas que causan un impacto costero y su asociación con eventos hidrometeorológicos. Desde la mitad del siglo pasado el ritmo del aumento ha sido muy superior a la media de los dos milenios que le precedieron (IPCC, 2014, p. 46). Lo anterior queda reflejado en las estimaciones que muestran un ascenso significativo del nivel del mar, cuya causa directa está asociada con el aumento de la temperatura global, lo cual ha originado y está causando un derretimiento acelerado de los glaciares en muchas partes del mundo, con el consecuente problema de un mayor aporte de agua en todos los océanos (Lizano, 2013, p. 7) así como una creciente expansión térmica ligada al aumento de la temperatura de los océanos (Ibarra, Pöllänen, Álvarez, Belmonte & Ballesteros, 2017). Lo anterior ha generado un aumento creciente del nivel del mar y se mantendrá hacia posteriores años; como se ha valorado en este documento. En consecuencia, se debe valorar la forma de prevenir eventos y desastres mayores.

Una peculiaridad obtenida a partir de los escenarios construidos es que la inundación en la zona de Moín comienza por el estero, en tanto que en Cahuita comienza por el sector del Parque Nacional donde se han venido suscitando problemas recurrentes de erosión costera y el grueso de la vegetación de la punta es hidrófila por el humedal que existe en el Parque Nacional. Ambas zonas se caracterizan por presentar las menores elevaciones, lo que provoca que, durante un ascenso del nivel de marea paulatino o extraordinario, las inundaciones se manifiesten con mayor frecuencia hacia los asentamientos que colindan con estas zonas. Como lo muestran las figuras 3 y 4, los sectores al noreste de Moín como en el noroeste de Cahuita son las zonas que presentan las mayores elevaciones y, por ende, menos problemas ante los escenarios creados.

El ascenso del nivel es algo sumatorio, a partir del año 2090 los sectores circundantes al Parque Nacional, en el caso de Cahuita, así como en el frente de costa y en la entrada del estero por el Muelle de RECOPE, en Moín, estarán inundados a partir de mareas astronómicas o mareas altas que suceden años tras año. Posterior al año 2100 es muy factible que los sectores donde tradicionalmente se ha inundado por alguna marea extraordinaria o eventos extremos de oleajes estén completamente inundados

bajo una capa de agua que oscilará entre los 200 cm o más. Esas zonas se encontrarán en Portete, Moín, así como en las áreas aledañas al centro poblacional de Cahuita y la punta del Parque Nacional.

El promedio de las mareas más altas en esta zona (Lizano, 2006, p. 59), es de 0.36 m. En un estudio adicional de las mareas altas de 20 años de esta zona, a partir de los datos obtenidos por el software para PC llamado Tidal & Currents (Lizano, 2006, p. 53), se demuestra que la frecuencia de superar una marea de 0.36 m para ambos sitios, es de 102 veces/año. Para el año 2030, con un escenario adicional de 0.36 m, la frecuencia de tener niveles del mar con valores mayores o iguales a 0.36 m sería de 935.85 veces/año. Para los demás escenarios (2050, 2070 y 2100), la probabilidad de tener niveles del mar superiores a ellos será todos los días para las zonas señaladas en este trabajo.

Otro de los fenómenos que puede conllevar algunos tipos de problemas para las poblaciones cercanas sería el causado por las tormentas lejanas y/o locales (Lizano & Lizano, 2010), que provocan el apilamiento del oleaje no modelado en este estudio (Lizano, 2007), pero que, al suceder al mismo tiempo con un período de marea alta, podría incidir en generar mayores inundaciones en zonas cercanas más allá de los escenarios aquí planteados para las zonas de Moín y Cahuita. Aunque este componente también podría producir un nivel de inundación más fuerte por la parte del estero en Moín, así como en el sector costero de Cahuita. Bajo crecientes aumentos del nivel del mar, el oleaje se constituye en el factor más dinámico y una fuente de energía suficiente para causar impacto costero en estas áreas hasta el grado de favorecer problemas de erosión más acrecentados en las zonas del estudio, aumentando los que ya tiene (Lizano, 2013, p. 19). La dinámica que produce el oleaje haría que estos sitios se inunden y modifiquen la morfología costera de forma más rápida que los escenarios pasivos mostrados en este artículo.

El panorama mostrado en este documento se puede tornar difícil si a parte del aumento del nivel del mar se consideran otras variables o fenómenos que puedan ocurrir para un día particular, como lo puede ser el apilamiento del oleaje y el fenómeno del niño por nombrar al menos dos, y que en un mismo día estos pueden llegar a mezclarse o darse todos juntos, pues implicarían aumentos importantes en el nivel del mar, al punto que podrían ocasionar inundaciones aún mayores a las mostradas en este documento. A

partir de lo anterior, las autoridades correspondientes deberían tener algún plan de acción o de emergencia para eventos que produzcan impacto costero, o construir la infraestructura necesaria para proteger la zona y comenzar a trabajar en la posible reubicación de toda la población.

El otro componente que no se incluyó en este estudio es el aumento del nivel del mar por un tsunami. De manera que los escenarios incluidos aquí también sirven para sobreponer este componente a las condiciones de la marea existente en el momento de arribo de un tsunami, y constituye una herramienta válida para que las autoridades respectivas avalúen las condiciones del nivel del mar ante un evento de este tipo en el mar Caribe.

Adicionalmente, es importante tomar en cuenta que la variabilidad de la subida del nivel del mar y los efectos que puede tener sobre áreas concretas hacen necesarios estudios de carácter regional que tomen en cuenta los cambios a escala global (Dawahidi et al., 2019) como los reflejados en este estudio, así como otras características geográficas presentes en las áreas costeras.

Con los resultados obtenidos, cobran especial importancia los escenarios abordados en este artículo, sobre todo por el impacto que este tipo de fenómenos puede ocasionar sobre el territorio y la posible afectación de forma directa al modo de vida de los habitantes de estas zonas en términos culturales y económicos principalmente.

Conclusión

Por el grado de importancia que tiene este tema, en el cercano, mediano y largo plazo, hacia las poblaciones de las comunidades de Moín y Cahuita de la provincia de Limón, las autoridades respectivas deberían invertir en equipo tecnológico que permita cuantificar estos escenarios de manera más precisa. Se recomienda instalar un mareógrafo que permita medir y obtener patrones sobre el nivel del mar, con el fin de tener un registro continuo de esas variaciones, lo cual puede ayudar a prevenir y mitigar posibles amenazas, así como otras que puedan ocurrir y que no se encuentran citados en este documento.

En este estudio se han tratado los distintos niveles mareográficos como una superposición de niveles pasivos, sin tomar en cuenta que la dinámica de ciertos componentes como las corrientes marinas y el oleaje tienen la capacidad de modificar la geomorfología costera en un corto

tiempo ante eventos extraordinarios. Esto puede desequilibrar el sistema para siempre antes de lo imaginable si no se toman las medidas respectivas pronto, pues, como lo señala Lizano (2013), ya el aumento del nivel del mar es una realidad en nuestras costas.

Un valor agregado del trabajo es que brindará a las autoridades de Costa Rica las herramientas necesarias para que la variable de aumento del nivel del mar sea incluida en los temas y leyes relacionados al ordenamiento territorial y la planificación urbana, así como su incorporación en los planes reguladores costeros.

Las instituciones y organizaciones nacionales que rigen estas materias o afines deben conocer este tipo de investigaciones, con el fin de que se antecedan a los escenarios acá descritos y que tengan margen de acción para mitigar posibles daños sociales, económicos y culturales de las comunidades que se pueden ver directamente afectadas por este fenómeno en un mediano y largo plazo.

Se recomienda una vigilancia permanente de las autoridades sobre el nivel del mar en estas áreas geográficas para eventualmente detectar de forma pronta cualquier aceleración en la tasa de aumento del nivel de marea y, con ello, ajustar y mejorar los modelos acá presentados.

Agradecimientos

A los estudiantes Andrés Vargas Mena y Jennifer Fernández Garro, estudiantes de Geografía de la Universidad de Costa Rica, por la colaboración en la elaboración de este artículo. A la Vicerrectoría de Investigación por apoyo a través del proyecto No. B5267.

Referencias

- Bedia, J. (2004). *Creación de un modelo digital de elevación para la predicción de futuros escenarios de inundación en el estuario del Río Loughor (Sur de Gales)*. Proyecto fin de carrera Bachelor (Honours) Environmental Science Wolverhampton University, School of Applied Sciences (U.K.).
- Biodiversidad Marino Costera en Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático, Sistema Nacional de Áreas de Conservación & Deutsche Gesellschaft für Internationale

- Zusammenarbeit. (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2013). *Análisis de vulnerabilidad de las zonas oceánicas y marino-costeras de Costa Rica frente al cambio climático*. San José, Costa Rica.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (CEPAL, 2012). *Efectos del Cambio Climático en la costa de América Latina y el Caribe: Impactos*. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL. Santiago, Chile: Naciones Unidas.
- Cheng, L., Zhu, J., Abraham, J., Trenberth, K., Fasullo, J., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., & Song, Z.. (2018). Continues Record Global Ocean Warming. *Advances in Atmospheric Sciences*, 36(3), 249-252. doi: <http://doi.org/10.1007/s00376-019-8276-x>
- Dawahidi, T., Ibarra, D. y Gomariz, F. (2019). Estimación de la subida del nivel del mar por efecto del Cambio Climático mediante datos de mareógrafos y la serie de satélite NASA Topex-Poseidon/Jason. El caso de Valencia. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 39(1), 39-58. doi: <http://doi.org/10.5209/AGUC.64676>
- Díaz, J. (1999). *Determinación de las zonas de riesgo ante un ascenso del nivel del mar: Punta Morales-Tárcoles (Informe Final)*. San José, Costa Rica: MINAE-IMN.
- Horton, B., Kopp, R., Garner, A., Hay, C., Khan, N., Roy, N. & Shaw, T. (2018). Mapping Sea-Level Change in Time, Space, and Probability. *Annual Review of Environment and Resources*, 43, 482-511. doi: <http://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-025826>
- Ibarra, A.D., Belmonte, F., Gomariz, F. & Pérez, P. (2015). Evolución de la línea de costa en la Región de Murcia (1956-2013). *Geo-Temas*, (15), 33-36.
- Ibarra-Marinas, A.D. (2016). *Análisis y Evolución de las Playas de la Región de Murcia (1956-2013)* (Tesis doctoral). Universidad de Murcia, España.
- Ibarra, D., Pöllänen, T., Álvarez, M., Belmonte, F. & Ballesteros, G. (2017). *Estimación de futuros escenarios del nivel del mar en Valencia a través de datos de mareógrafos*. XXV Congreso de la Age. Naturaleza, territorio y ciudad en un mundo global. 647-654.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (IPCC, 2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Informe del Grupo Intergubernamental

- de Expertos sobre el Cambio Climático. R. Pachauri & L. Meyer (Directores). Ginebra, Suiza: IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (IPCC, 2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. R.K. Pachauri & L.A. Meyer (Eds.). Ginebra, Suiza: IPCC.
- Lambrechts, C. (2007). *Global Outlook for Ice & Snow*. H. Main. (Directora), -Arendal, Noruega: UNEP/GRID.
- Leatherman, S., Nicholls, R. & Dennis, K. (1995). Aerial Videotape-Assisted Vulnerability Analysis: A Cost-Effective Approach to Assess Sea-Level Rise Impacts. *Journal of Coastal Research. Special Issue*, (14), 15-25.
- Lizano A.M. & Lizano R.O. (2010). Creación de escenarios de inundación en la Ciudad de Puntarenas ante el aumento del nivel del mar. *InterSedes*, XI(21), 215-229.
- Lizano, O.G. (1997). Las Mareas Extraordinarias de 1997 en la Costa del Pacífico de Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanogr.*, 4(2), 169-179.
- Lizano, O.G. & Salas, S. (2001). Variaciones geomorfológicas en los últimos 50 años de la Isla Damas, Quepos, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 49(2), 171-177.
- Lizano, O.G. (2006). Algunas Características de las Mareas en la Costa Pacífica y Caribe de Centroamérica. *Ciencia y Tecnología*, 24(1), 51-64.
- Lizano, O.G. (2007). Climatología del viento y el oleaje frente a las costas de Costa Rica. *Ciencia y Tecnología*, 25(1 y 2), 43-56.
- Lizano, O.G. (2009). Batimetría, modelo de elevación digital y sus aplicaciones. *Revista Azimuth*, 4(10): 18-21.
- Lizano, O. (2010). Batimetría, modelo de elevación digital y sus aplicaciones. *Revista AZIMUTH 10 DIGITAL*, 18-21.
- Lizano, O.G. (2013). Erosión en las playas de Costa Rica, incluyendo la Isla del Coco. *InterSedes*, 14(27), 6-27. doi: <http://doi.org/10.15517/ISUCR.V14I27.10405>
- McInnes, K., Walsh, K., Hubbert, G. & Beer, T. (2003). Impact of Sea-level Rise and Storm Surges on a Coastal Community. *Natural Hazards*, (30), 187-207. doi: <http://doi.org/10.1023/A:1026118417752>

- Neremet, R. S., Beckley, B. D., Fasullo, J. T., Hamlington, B. Masters, D. & Mitchum G. T. (2018). Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(9), 2022-2025. doi: 10.1073/pnas.1717312115
- Otto-Bliesner, J., Marshal, T.S., Overpeck, I.J., Miller, G.H., Hu, A. & CAPE Last Interglacial Project members. (2006). Simulating Arctic Climate Warmth and Icefield Retreat in the Last Interglaciation. *Science*, 311(5768), 1751-1753. doi: <http://doi.org/10.1126/science.1120808>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (PNUMA, 2013). *GEO-5 Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. Medio ambiente para el futuro que queremos*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Tarolli, P., Cao, W., Sofia, G., Evans, D. & Ellis, E. (2019). From features to fingerprints: A general diagnostic framework for anthropogenic geomorphology. *Progress in Physical Geography*, 43(1), 95-128. doi: <http://doi.org/10.1177/0309133318825284>
- Van der Meulen, F., Witter, J.V. & Marens, S.M. (1991). The use of a GIS in Assessing the Impacts of Sea-Level Rise on Nature Conservation along the Dutch Coast. *Landscape Ecology*, 6(1/2), 105-113.
- Wright, L., Syvitski, J. & Nichols, C.R. (2019). Sea Level Rise: Recent Trends and Future Projections. En L. Wright & C. Nichols (Eds.), *Tomorrow's Coasts: Complex and Impermanent*. Coastal Research. Springer, Cham. Library, vol 27.



ESTUDIOS DE CASO

CASE STUDIES



El impacto sobre la forma urbana de los nuevos proyectos de Vivienda de Interés Social en Costa Rica

Impact on urban form of the new Social Housing projects
developed in Costa Rica

Helga von Breymann Miranda¹

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Valeria Alexandra Chacón Reyes²

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Mauricio Ramírez Ramírez³

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Lucía Rodríguez Ramírez⁴

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Paola Rojas Álvarez⁵

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Andrés Mora Sandoval⁶

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

- 1 Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: helga.vonbreymann@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0002-6841-5953>
- 2 Arquitecta. Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: valeria.chacon@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0002-6067-4854>
- 3 Arquitecto. Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: mauricio.ramirezramirez@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0001-9262-5013>
- 4 Arquitecta. Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: lucia.rodriguezramirez@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0002-6743-6664>
- 5 Arquitecta. Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: paola.rojasalvarez@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0003-2578-3542>
- 6 Arquitecto. Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: andres.morasandoval@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0002-6938-0588>

Resumen

En Costa Rica, los proyectos de vivienda de interés social desarrollados en la última década, se han localizado en zonas alejadas de centros urbanos o con limitado acceso a equipamientos e infraestructuras, debido al elevado costo del suelo en los sectores más céntricos de la ciudad. Las condiciones y características de estos entornos, los usos del suelo, las configuraciones morfológicas, la continuidad y la contigüidad entre los proyectos de Vivienda de Interés Social y las piezas urbanas donde se insertan, son analizadas en esta investigación, a través del estudio de cinco conjuntos residenciales desarrollados en la Gran Área Metropolitana. Los proyectos, construidos entre 2011 y 2018, fueron analizados a partir del estudio de planos, cartografía del ámbito, revisión documental y estudio de datos secundarios. Los resultados alcanzados posibilitaron identificar las principales dificultades desprendidas del encaje morfológico y tipológico que siguieron los conjuntos residenciales, así como las problemáticas contextuales por la locación de los proyectos⁷.

Palabras clave: Configuración urbana, Conjuntos residenciales, Morfología urbana, Planificación urbana, Vivienda de Interés Social

Abstract

In Costa Rica, the social interest housing (VIS) projects developed in the last decade have been located in areas far from urban centers of limited access to facilities and infrastructure due to the prohibitive cost of land ownership in most central sectors of metropolitan cities. The conditions and characteristics of these contexts, available land uses (zoning), morphological configurations, continuity and contiguity between social interest housing projects and the urban pieces where they are inserted, are analyzed in this research through the study of five residential complexes developed in the Greater Metropolitan Area of Costa Rica. The projects, constructed between 2011 and 2018, were analyzed from the study of construction blueprints, cartography of the area, documentary review and analysis of secondary data. From the obtained results it is possible to identify the main difficulties arising from the morphological and typological fit that followed after the establishment of the residential complexes, as well as the contextual problems derived from the location of the projects.

Keywords: Urban configuration; Residential complexes; Urban morphology; Urban planning; Social Interest Housing.

Introducción

En los últimos años, muchos de los proyectos de interés social en Costa Rica se construyeron en zonas con carencias de infraestructuras y equipamientos por la dificultad de acceder a suelo barato en los sectores más centrales de la ciudad. Esto ha supuesto condiciones desventajosas para dichos conjuntos residenciales y ha limitado las oportunidades de sus moradores de acceder a bienes y servicios importantes para el transcurrir de la vida cotidiana y la buena calidad de vida.

El estudio de la morfología urbana surge como apuesta teórico-metodológica que posibilita un mayor entendimiento de las implicaciones de

7 Una versión preliminar de este trabajo fue presentada en el IV Congreso ISUF-H Barcelona 2020.

la forma urbana y sus efectos en la dimensión social. La poca variedad de usos de suelo, la ausencia de continuidad del tejido o la existencia de barreras son solo algunas de las manifestaciones que se evidencian, cuando hay una falencia en el encaje morfológico de nuevas piezas en entramados urbanos existentes y poco equilibrados, desarrollados sin una adecuada planificación y control urbano.

En Costa Rica, el desarrollo de la Vivienda de Interés Social (VIS) involucra diversos actores, siendo los principales las desarrolladoras -quienes asumen la labor de planificar y desarrollar los conjuntos residenciales- y el Banco Hipotecario para la Vivienda (BANHVI), quien revisa, financia y fiscaliza la ejecución de dichos proyectos.

La selección de los terrenos para la construcción de las viviendas, la llevan a cabo los desarrolladores y la contraparte gubernamental, verifica el cumplimiento de los requisitos técnicos. Esta forma de proceder ha posibilitado el desarrollo de nuevas urbanizaciones de vivienda pública descontextualizadas y con importantes carencias. La selección de los terrenos, no solo adolece de procedimientos claros, sino que los requerimientos son básicos, con criterios endebles que no incluyen elementos sustanciales para asegurar acceso a algunos servicios e infraestructuras en función de una buena calidad de vida para los habitantes de dichos proyectos.

También, hay un importante vacío en los procedimientos que permitirían desarrollos tipológicamente congruentes y en consonancia con el paisaje urbano del contexto en el que se desarrollan, lo cual está generando importantes rupturas en la continuidad, legibilidad y el paisaje urbano de muchos sectores de la ciudad.

Ante ese panorama, el estudio morfológico de las piezas urbanas donde se insertan los proyectos de VIS resulta revelador y permite formular estrategias que posibiliten una mejor articulación urbano-arquitectónica, que repercuta en una mejora de la calidad de vida de los habitantes de dichos proyectos, aspecto clave también, para comprender la dialéctica entre el espacio físico y la sociedad, tal y como lo planteaba Halbach en sus escritos sobre morfología social (Martínez, 2003).

Siguiendo a Capel (2002), la morfología urbana y el espacio construido, reflejan la organización social y económica, así como las estructuras políticas de los grupos sociales dominantes. Por tanto, el análisis de la estructura urbana, su disposición, conexiones, tipologías, etc. son claves para entender la

complejidad de los entornos urbanos. Los problemas funcionales en determinados entornos de la ciudad manifiestan las debilidades en la organización de las formas y los procesos de gestión urbana y refuerzan el necesario enfoque dinámico y global del medio y las formas (Munizaga, 2000).

Siguiendo esta argumentación, la ubicación de las actividades económicas terciarias, y principalmente, su extensión territorial tal y como lo apuntaba Christaller (1933), también son determinantes para comprender las dinámicas de la ciudad y su estructura.

Abordar el tema desde el diseño urbano, como proponían desde hace varias décadas autores como Christopher Alexander (1964), con el estudio de la complejidad y las relaciones urbanas o Fumihiko Maki (1964), a través del entendimiento de los diversos modos de agregación o asociación de las formas urbanas, ha posibilitado una mejor comprensión sobre los efectos de los elementos morfológicos en el desarrollo de las ciudades.

Otras aproximaciones, como la de Oliveira (2013), buscan evaluar la madurez de los procesos urbanos, para lo cual combinan variables de accesibilidad como las calles -a partir de medidas de centralidad-, año de construcción de edificios, densidad de parcelas, alineación de edificios, dimensión de manzanas, proporción entre altura de edificios y ancho de calle y los usos de los edificios. Independientemente de cómo sea abordado, este tipo de análisis ha podido demostrar que tanto la variedad urbana, como la locación de las infraestructuras, servicios, comercio, etc. en el territorio, son fundamentales para la provisión de condiciones espaciales necesarias para una buena calidad de vida de sus habitantes (González, 2000).

En Costa Rica, los estudios sobre morfología urbana son escasos, sin embargo se han realizado aportes desde la disciplina geográfica e histórica con análisis sobre la evolución de la estructura urbana y su vínculo con las transformaciones productivas (Quesada, 2014), sobre la jerarquía urbana de los núcleos (Hall, 1974), sobre el impacto del tejido urbano en la percepción de seguridad y relaciones de convivencia (Barrantes, 2019) y otros aportes más concretos sobre barrios específicos, como el estudio de Gómez, Guillén y Salas (2018), para comprender la evolución y transformación de la estructura urbana y las dinámicas de un barrio central en el país.

Partiendo de lo anterior, el objetivo de este estudio es evaluar, desde un abordaje morfológico, el tejido urbano y tipológico de los entornos en los que se asientan los proyectos de vivienda de interés social, a partir

del análisis de cinco casos desarrollados en la Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica en años recientes.

El estudio permite ir aportando evidencias sobre las prácticas urbanísticas relacionadas con el desarrollo de VIS, para a través de diagnósticos y análisis complementarios, poder promover procedimientos que permitan mejorar la localización, configuración y encaje de estos proyectos con las piezas urbanas donde se construyen.

Metodología

La investigación fue basada en la metodología de casos de estudio. Se seleccionaron cinco proyectos de Vivienda de Interés Social, localizados en diferentes distritos del área metropolitana de Costa Rica con características distintas, para ser analizados en cuanto al impacto de su emplazamiento en el entorno y efectos de la estructura urbana sobre el proyecto. El estudio es de tipo descriptivo-analítico, elaborado a partir de revisión documental y el análisis cartográfico, planimétrico y fotográfico de los ámbitos seleccionados.

El procedimiento para el estudio se estructuró a partir del análisis de tres elementos básicos de los estudios morfológicos: La tipología y estructura urbana, usos de suelo y análisis de la continuidad del tejido urbano (Capel, 2002). Para ello, se desarrolló un levantamiento de los siguientes elementos morfológicos a nivel meso y micro:

- a. Servicios, dotaciones e infraestructuras principales.
- b. Ejes viarios, jerarquía y conectividad.
- c. Áreas verdes, bosques urbanos y vacíos.
- d. Disposición del parcelario y tipologías edificatorias.

A nivel meso, se analizó el contexto urbano dentro de un radio de 1 kilómetro de distancia del proyecto, tomando como base una distancia accesible a toda la población. Se estudió la proximidad, conexión y estructura del tejido urbano en donde se ubican los proyectos, para así entender el contexto en el cual son insertadas estas piezas urbanas. A escala micro, se evaluó la pieza urbana del conjunto residencial y su contexto inmediato, para observar con mayor detalle, aspectos de la morfología, tipología del proyecto y encaje, considerando aspectos de continuidad y contigüidad presentes.

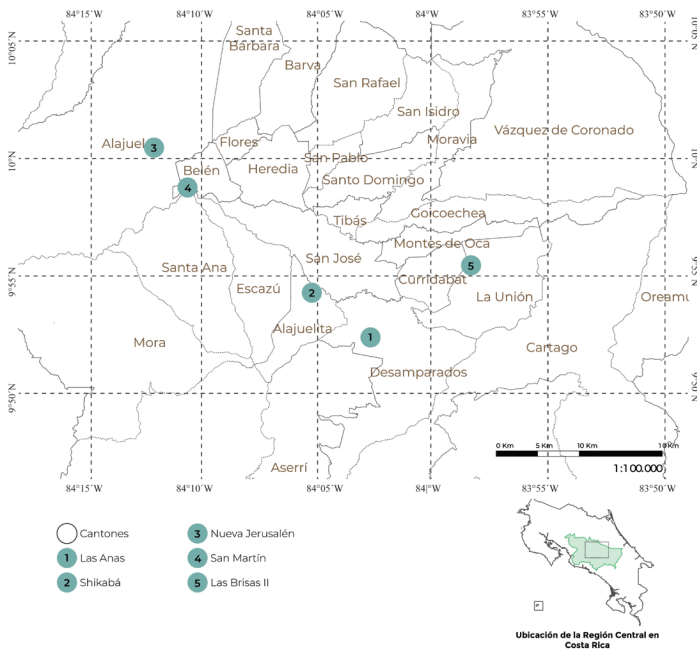
Una vez recolectada la información y registrada sobre los diversos mapas elaborados, se realizó un análisis y se compararon los cinco casos de estudio, a partir del cual se extrajeron conclusiones y recomendaciones para su consideración.

Casos de estudio

Los casos de estudio elegidos se localizan en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, donde se concentra más del 52,7% de la población (INEC, 2011) y fueron construidos entre el año 2011 y 2018 (ver mapa 1). Para la selección de los casos, se tomaron en consideración las tipologías residenciales de los proyectos, el número de viviendas desarrolladas y la locación geográfica, buscando que representaran la diversidad existente en la totalidad de la GAM.

En la siguiente sección, se presentan los cinco casos de estudio seleccionados, revisando su contextualización geográfica, para luego hacer un análisis sobre los elementos morfológicos del contexto urbano donde se asientan.

Mapa 1. Ubicación de los proyectos seleccionados



Fuente: Elaboración propia.

Proyecto Las Anas

El condominio de Vivienda de Interés Social Las Anas, está ubicado en el sector 4 de Los Guido, del cantón de Desamparados, en la provincia de San José. Desamparados es uno de los cantones más poblados del Gran Área Metropolitana y alberga gran cantidad de viviendas de interés social y varios asentamientos informales. El distrito Los Guido, aceleró su proceso de urbanización, a partir de 1986, durante el primer gobierno de Oscar Arias, ya que con la creación del “Bono de Familia” se empezó a construir en el sector, una importante cantidad de VIS. El bono brindó oportunidades de vivienda a familias nacionales y extranjeras, provenientes de todo el país, que vivían en situación de pobreza y no tenían acceso a vivienda y servicios básicos.

El proyecto Las Anas, finalizado en el año 2018 fue llevado a cabo por la Fundación Promotora de Vivienda (FUPROVI). Se propuso con el objetivo de erradicar el precario Las Palmas, dando así vivienda a un total de 198 familias en extrema necesidad.

A partir del análisis cartográfico del desarrollo urbano existente en la zona donde se localiza el proyecto, resalta que el crecimiento del sector, se ha ido dando de forma irregular sobre un territorio en su mayoría plano. No se

Figura 1. Fotografía Condominio Las Anas

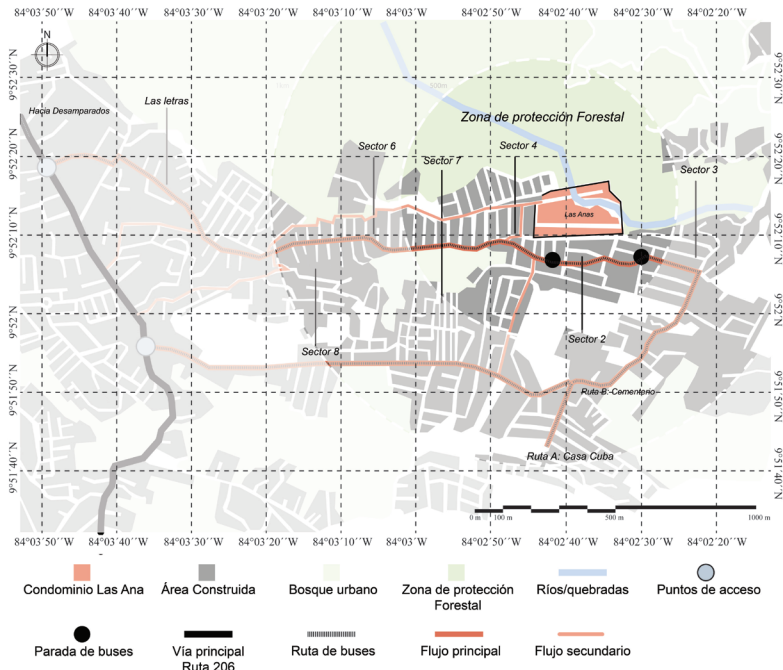


Fuente: FUPROVI.

definió inicialmente un trazado urbano que siguiera una pauta específica, sino que fue construyéndose de forma espontánea a medida que iba creciendo. Se identifica una jerarquía vial que se refleja en las dos vías principales que atraviesan y dan acceso al

distrito (ver Mapa 2) y a partir de las cuales, se organizan las vías secundarias de poca redundancia vial. Los dos ejes primarios permiten la continuidad en la movilidad y el acceso al centro de Desamparados, ubicado a una distancia de 5,3 km. No se identifica un amanzanamiento homogéneo, aunque prevalece la forma rectangular y priman lotificaciones de pequeñas dimensiones con tipologías residenciales de vivienda unifamiliar de uno o dos niveles.

Mapa 2. Entorno del Proyecto Las Anas



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales.

En cuanto a los usos de suelo, predomina el uso residencial y se observa una significativa variedad de comercios y servicios. Dentro de un radio de 1000 metros de distancia del proyecto, se localizan otras dotaciones básicas como escuelas, centros de salud, iglesias y parques. De acuerdo con el Plan de Ordenamiento de la Municipalidad de Desamparados ([Municipalidad de Desamparados, s.f.](#)), el sector donde se ubica el proyecto, es Zona Residencial de Baja Densidad y las zonas verdes son Zonas de Protección Especial Forestal.

El proyecto consta de 73 edificios de dos niveles, distribuidos en 37 lotes y tiene dos espacios de recreación al aire libre y una zona comercial. Cada

lote corresponde a un condominio de uso residencial, con un promedio de 480 m²; todos ellos están conectados por medio de calles públicas, conformando una urbanización de condominios con un solo acceso. Cada condominio contiene en promedio, cinco viviendas, así como tres espacios de parqueos.

En general, las soluciones habitacionales presentan las mismas características programáticas, aunque organizadas en cuatro tipologías residenciales distintas: vivienda unifamiliar de 47.5 m² (dos dormitorios), vivienda unifamiliar de 54,9 m² (tres dormitorios), vivienda unifamiliar de 56,5 m² (dos dormitorios para persona con discapacidad) y vivienda unifamiliar de 64.3 m² (tres dormitorios para persona con discapacidad).

En términos de conectividad y contigüidad, el proyecto tiene una sola entrada con acceso restringido (sector A) (ver Mapa3). Todo el perímetro está delimitado por un muro, que restringe la accesibilidad y conexión con el exterior. A pesar de lo anterior, el proyecto cuenta con dos sectores, donde podrían habilitarse otros accesos (ver Mapa 3, sectores B y C).

Mapa 3. Contexto inmediato y distribución del Proyecto Las Anas



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales.

El proyecto es atravesado por una quebrada, lo que genera un corredor verde dentro del mismo y establece una conexión directa con el medio natural que rodea el lote. Es un recurso que permite una apertura del proyecto hacia su contexto y crea una ruptura en el paisaje y forma del proyecto, pues lo divide en dos. Es una barrera vegetal que, de sur a norte, funciona como la antesala del bosque protegido en la parte posterior del proyecto, y que paisajísticamente es un gran vacío que envuelve a prácticamente, la mitad del lote. A escala meso, este vacío funciona como un separador del conjunto habitacional, con respecto al centro de la ciudad.

A lo interno, el proyecto rompe con la morfología irregular del sector circundante, pues presenta un orden en la disposición de las viviendas y además, está compuesto por condominios que siguen una disposición, tanto física como de funcionamiento. No hay una clara contigüidad con los sectores adyacentes.

Proyecto Shikaba

El Conjunto Residencial Shikaba es un proyecto de Vivienda de Interés Social, realizado bajo la figura de urbanización por la desarrolladora FUPROVI, que benefició a 254 familias de escasos recursos que vivían en condición de extrema pobreza. Está ubicado en el distrito Alajuelita, del cantón homónimo, en la provincia de San José. Fue finalizado en 2019 y a raíz de atrasos burocráticos y la emergencia sanitaria por el COVID-19, fue entregado un año después, en diciembre del 2020. Al igual que el distrito de Los Guido, en los años 80, con la aparición del “Bono de Familia”, Alajuelita se convirtió en uno de los cantones con mayor desarrollo de proyectos de vivienda social.

La acelerada llegada de poblaciones socioeconómicamente vulnerables y la falta

Figura 2. Vista aérea del Conjunto Residencial Shikaba



Fuente: FUPROVI.

de planificación provocó, con el paso del tiempo, una fuerte segregación que tuvo impactos en la transformación urbana.

El trazado urbano del centro de Alajuelita es regular, aunque conforme se avanza hacia el norte, en dirección al proyecto, este orden va cambiando y se vuelve más irregular. También, puede identificarse en el sector donde se localiza Shikaba una composición parcelaria de pequeñas dimensiones, con poca presencia de lotes de mayores dimensiones. El proyecto se encuentra rodeado por el Río Tiribí al norte, las quebradas La Guaria al oeste y Mancha al este, y al costado sur, se encuentra la única calle de acceso, colindando con los asentamientos en precario Juan Pablo II y La Deportiva, formados desde 1982 y 1997, respectivamente.

El distrito cuenta con una vía principal de acceso, que conecta con el anillo de Circunvalación, uno de los principales conectores vehiculares de la capital (ver Mapa 4), pero a su vez un importante borde a nivel peatonal,

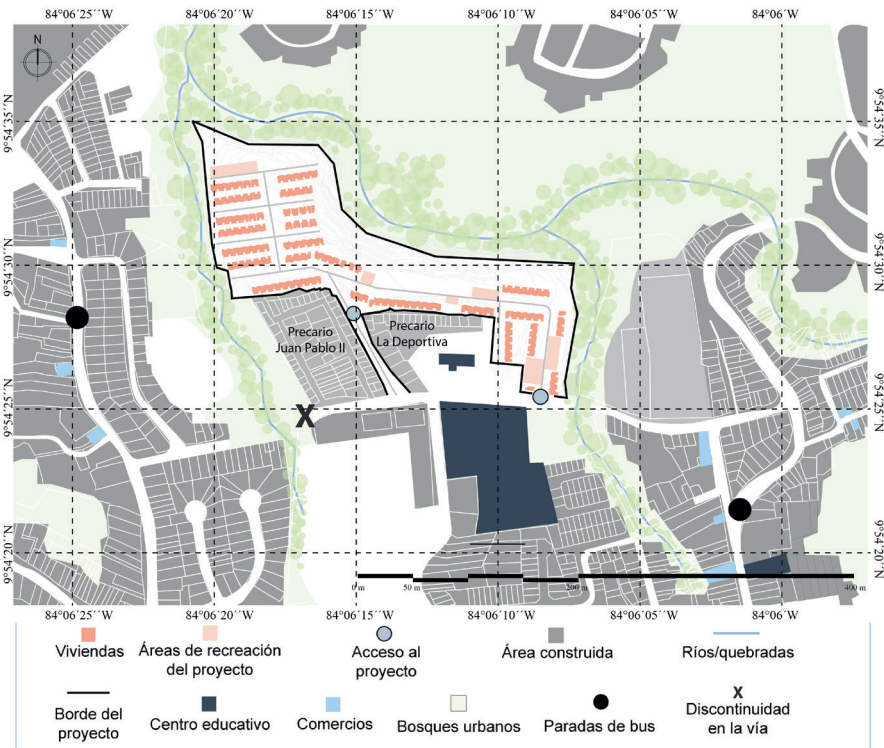
Mapa 4. Entorno del Proyecto Shikaba



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales.

con aceras de menos de 1,5 metros, escasos puentes peatonales, poco mobiliario urbano y vegetación, incidiendo de forma negativa en la conectividad peatonal. La calle de acceso al proyecto, también enlaza directamente con la carretera principal del distrito por el sector este y sur, pero carece de conexión con el sector de San Felipe de Alajuelita, por la ausencia de infraestructura vial sobre la quebrada La Guaría, afectando la accesibilidad y cercanía a otros servicios, que el sector provee (ver Mapa 5).

Mapa 5. Contexto inmediato y distribución del Proyecto Shikaba



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales.

En cuanto a los usos de suelo del área estudiada, el proyecto cuenta dentro de un radio de 1000 metros, con equipamientos y servicios esenciales, así como colegios y centros de salud. El uso es primordialmente residencial con viviendas unifamiliares de uno o dos niveles.

La urbanización se compone de 244 viviendas unifamiliares de un sistema constructivo de mampostería con bloques de concreto y con seis tipologías diferentes: la Tipo 1 de dos niveles con un área de 53 m² (dos dormitorios), la Tipo 2 de dos niveles y 54.4 m² de área (dos dormitorios), la Tipo 3 de dos niveles y 65.2 m² de área (tres dormitorios), la Tipo 4 de dos niveles con un área de 63.3 m² (tres dormitorios), la Tipo 5 de 52 m² (dos dormitorios, para personas con discapacidad) y la Tipo 6 de dos niveles y 71.1 m² (dos dormitorios, para adulto mayor).

Dentro del diseño de conjunto, se contempló un área de parqueo, cinco áreas de juegos infantiles, tres de facilidades comunales, 29 lotes de uso mixto residencial-comercial y 215 lotes de uso residencial y una amplia zona de parque a reforestar, que colinda con la zona de protección del Río Tiribí y las quebradas.

El diseño del conjunto responde a la optimización del espacio en un lote con forma irregular, encajando la mayor cantidad de viviendas y llevando las áreas comunes y los parques a reforestar, al lado del área protegida al margen del río. La presencia de las quebradas y el Río Tiribí, define las características topográficas del emplazamiento. Este se encuentra en un terreno con una ladera pronunciada hacia el norte, generada por la presencia del río y a los lados, está abrazado por las quebradas que generan pendientes leves. Estos cuerpos de agua y la vegetación que los cubre, dotan al conjunto de un borde natural que lo separa de su entorno. Además, la conformación a partir de hileras de viviendas contrasta y rompe con la irregularidad de la trama urbana, por lo que el proyecto se percibe, aún más separado de su contexto inmediato.

Proyecto Nueva Jerusalén

El proyecto Nueva Jerusalén se encuentra ubicado en el distrito Desamparados del cantón de Alajuela, en la provincia de Alajuela. El proyecto se ubica en una zona urbanizada a 2,5 km del centro de Alajuela. El proyecto fue desarrollado por la empresa Construcciones Modulares de Costa Rica S.A., durante el año 2011, con la finalidad de erradicar un asentamiento en precario localizado donde hoy se asienta el desarrollo, dando así vivienda a 56 familias.

Históricamente, el sector ha tenido un uso mayormente residencial, situación que se ha modificado poco hasta la actualidad. Los principales cambios en cuanto a los elementos morfológicos del ámbito,

Figura 3. Fotografía del Proyecto Nueva Jerusalén

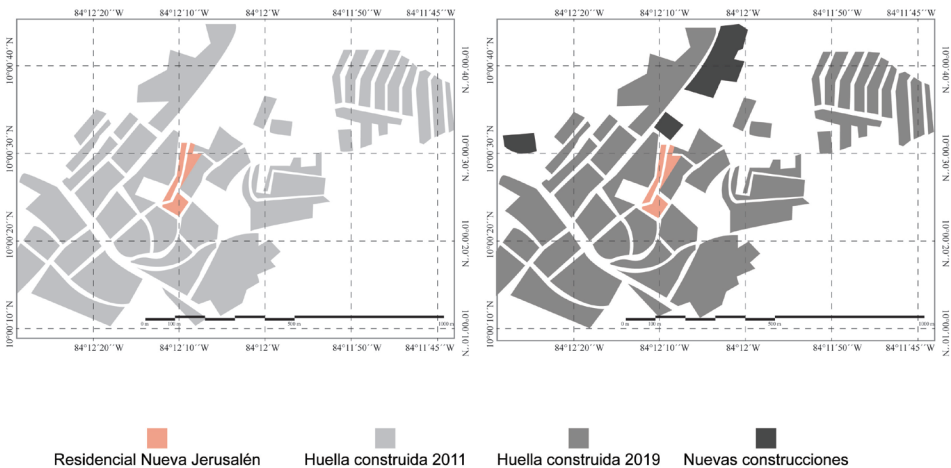


Fuente: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2013.

responden a un aumento en densidad habitacional, principalmente por un ligero incremento de la huella construida.

La topografía del distrito de Desamparados es regular, aunque posee algunos desniveles asociados al curso de algunos ríos, los cuales han sido determinantes en la configuración de las vías de acceso al sector.

Mapa 6. Análisis de la huella construida y vacíos en el contexto inmediato del Proyecto Nueva Jerusalén

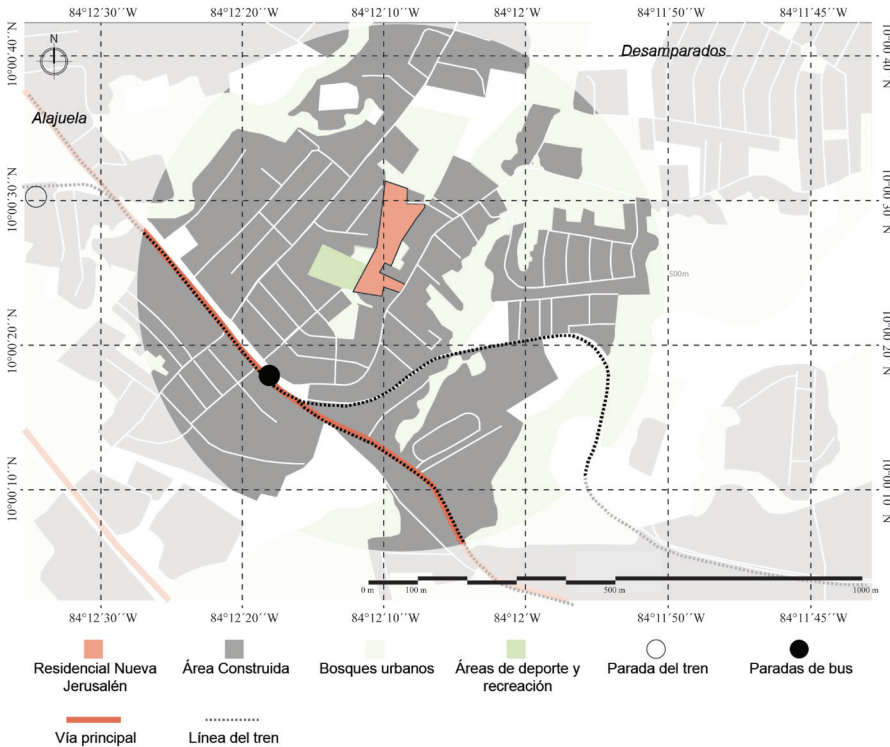


Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales.

A partir del estudio de la configuración morfológica del sitio, se observa que este es bastante irregular (ver mapa 7), en contraste con la malla urbana cuadriculada, que presenta el centro de la ciudad de Alajuela. A nivel de distrito, no hubo una planificación que permitiera continuar con ese

tejido regular, a partir de manzanas ortogonales, sino que se dio un desarrollo irregular con parcelaciones de pequeñas dimensiones, vinculadas a ejes viarios de poca jerarquía y con múltiples zonas agrícolas intercaladas en las nuevas piezas urbanizadas.

Mapa 7. Entorno del Proyecto Nueva Jerusalén



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales.

La zona es primordialmente de uso residencial, conformada mayormente por edificaciones de un nivel, sin embargo, en sus alrededores se encuentran también algunas zonas de uso agrícola. Su ubicación estratégica, ha influido en la disponibilidad de equipamientos y servicios urbanos como centros religiosos, equipamientos deportivos, de salud y educativos en las cercanías. A una distancia mayor, se encuentran todos los servicios que ofrece el centro urbano de Alajuela, como parques, comercio, espacios culturales y otros servicios.

El proyecto se desarrolló contiguo a un eje viario de gran relevancia, que conecta el centro de la ciudad consolidada de Alajuela con otras ciudades cercanas, como lo son Heredia y San José.

En cuanto a la configuración del proyecto, se identifica un eje viario principal que atraviesa de norte a sur, que, a su vez, une con la vía pública “Pasito”, a través de una calle y una alameda existentes en el sitio (ver Mapa 8).

A pesar de la ubicación y emplazamiento estratégico del proyecto, los ejes conectores con el sector se dan únicamente en el costado Este del proyecto, pero la mayoría de bienes y servicios cercanos se encuentran en el sector Suroeste, lo que supone una mala integración y poca accesibilidad a estos. La falta de redundancia vial y la configuración del proyecto entorpecen la continuidad y contigüidad del conjunto residencial con el ámbito donde se emplaza, limitando el acceso a algunas de las necesidades básicas de la población que habita en el sitio.

Mapa 8. Contexto inmediato y distribución del Proyecto Nueva Jerusalén



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales.

En lo que respecta al proyecto, este consta de 11984,5 metros cuadrados, donde se encuentran 56 viviendas de 44,1 metros cuadrados cada una. Su tipología corresponde a viviendas de un nivel, adosadas y están distribuidas en cuatro bloques. El conjunto residencial cuenta con áreas verdes y juegos infantiles, así como espacio para facilidades comunales. El proyecto no rompe con la irregularidad morfológica de su contexto inmediato y mantiene una distribución en parcelas pequeñas, que no son regulares, a lo largo del proyecto.

Proyecto Condominio San Martín

El condominio San Martín se encuentra ubicado en el distrito de San Antonio de Belén en Heredia. Cuenta con un total de 40 viviendas y fue desarrollado con la finalidad de dar vivienda a las familias de la comunidad de Belén, que se estaban viendo afectadas por el desbordamiento del río Quebrada Seca y el deslizamiento de la ladera en la Rivera.

Este proyecto fue desarrollado por Construcciones Modulares S.A., en el año 2015, construyendo obras y viviendas unifamiliares en primer y segundo nivel bajo la figura de condominio.

El centro urbano del cantón de Belén tiene un damero poco tradicional por su forma alargada. Se compone por manzanas rectangulares donde se localizan la iglesia y la plaza central y es atravesado por las vías primarias, en sentido este-oeste

Figura 4. Fotografía del proyecto San Martín

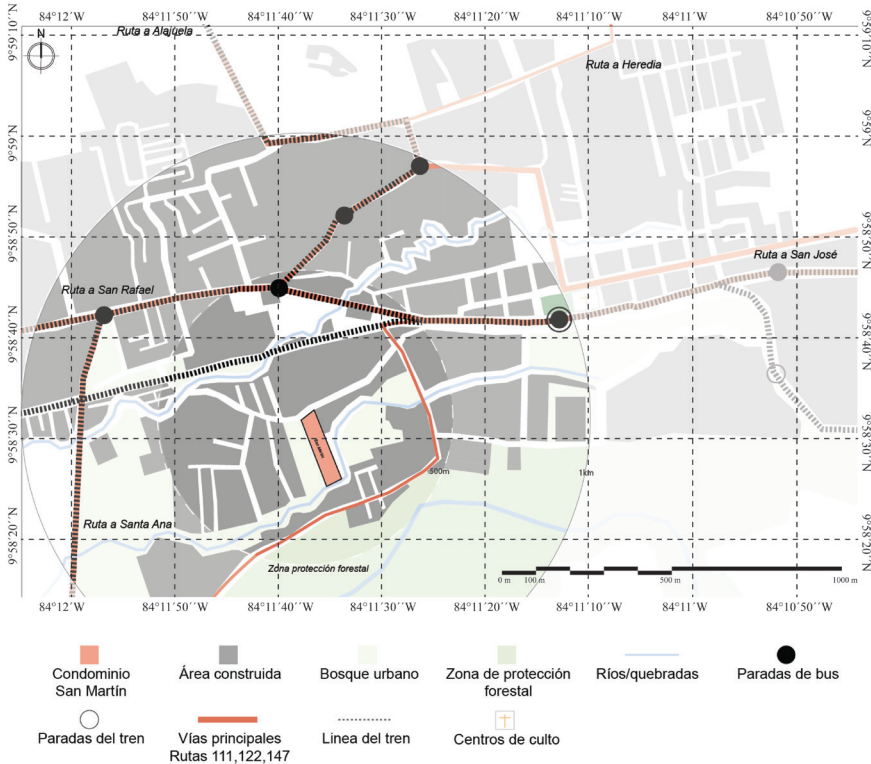


Fuente: BANHVI.

y las secundarias, en sentido norte-sur. Las estructuras del trazado inicial han convivido con los trazados planificados posteriores, manteniendo un cierto equilibrio entre antiguas y nuevas geometrías. Esta retícula se pierde rápidamente al alejarse del centro urbano, por lo que, aunque el condominio San Martín se ubique dentro de una zona de alta densidad, su forma no es de cuadrante.

En cuanto a los usos del suelo, al ser un sector tan céntrico, se caracteriza por el uso mixto; cuenta con diferentes equipamientos, servicios, comercios e industria. El proyecto tiene también en las cercanías centros de cuido y centros educativos de diversos tipos y las zonas de protección del río Pirro, proveen una extensa franja de áreas verdes al sector (ver Mapa 9).

Mapa 9. Entorno del Proyecto San Martín

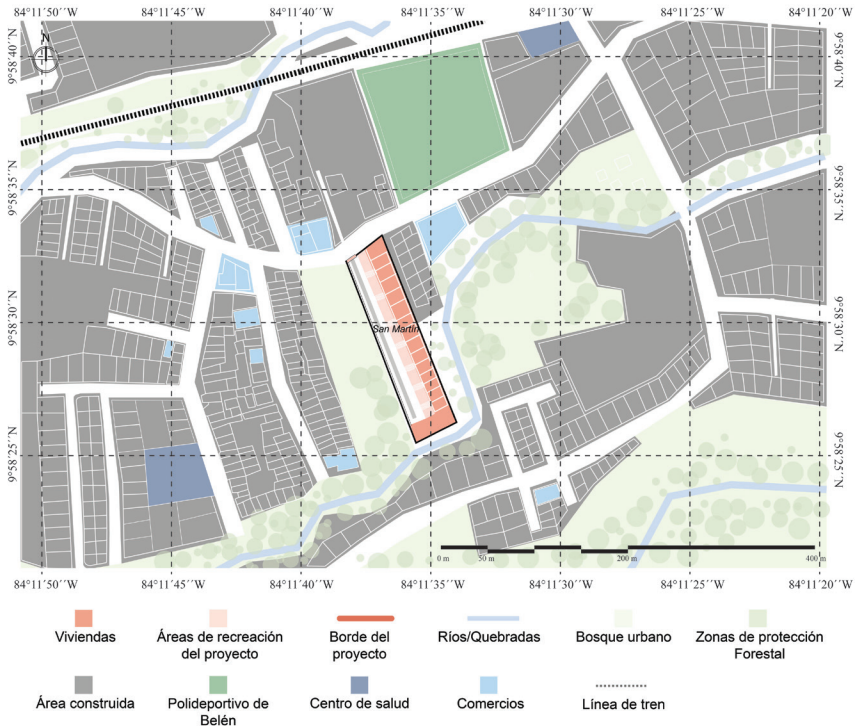


Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales.

La densidad habitacional del contexto no se ha visto mayormente alterada en los últimos 10 años, sumando solo algunos nuevos desarrollos de unidades de viviendas en los alrededores. Tampoco se han modificado los ejes viales, por lo que la morfología ha tenido poca transformación en la última década. Es decir, el desarrollo urbano ha mantenido una continuidad en cuanto a la forma y la construcción del condominio San Martín, no representó una ruptura en esa tendencia.

Las vías secundarias que ramifican del eje principal se ven limitadas por la presencia del Río Pirro y la topografía irregular de la zona, lo cual condiciona las configuraciones urbanas que se han desarrollado en el ámbito. Estos ejes fluviales representan barreras en la continuidad y contigüidad urbana del sector. Además, la irregularidad de las vías que dirigen a diferentes residenciales y condominios de la zona genera escasa redundancia vial, afectando la conectividad.

Mapa 10. Contexto inmediato y distribución del Proyecto San Martín



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales.

En cuanto al diseño del conjunto residencial, resalta que las viviendas se distribuyen de manera lineal, paralelo a la calle principal del conjunto, la cual remata con la quebrada. Tiene además dos espacios de juegos infantiles y solamente, contempla una tipología de vivienda, todas con un tamaño de 49,2 metros cuadrados, construidas con el sistema de mampostería.

Proyecto Las Brisas II

El condominio Las Brisas II se localiza en la comunidad de Dulce Nombre del cantón de La Unión, en la provincia de Cartago. El desarrollo del proyecto estuvo a cargo de la Fundación para la vivienda rural Costa Rica-Canadá, la cual trabajó en conjunto con la municipalidad de La Unión. Este proyecto es el resultado de la finalización de la segunda etapa de un proyecto mayor. La primera etapa, se llevó a cabo entre los años 2003-2008 y consistió en la dotación de vivienda a 172 familias que habitaban la zona desde el año 1989. Estas personas provenían principalmente de los sectores de Los Guido en Desamparados y El Alto del Carmen en Dulce Nombre de la Unión.

En el 2002, se creó un asentamiento informal en el sector destinado al área verde y recreativa. La segunda etapa, se planteó para brindarle una solución de vivienda a quienes habitaban ese asentamiento, dando lugar al proyecto Las Brisas II. Este se finalizó en el 2019 y dotó de vivienda a 156 familias en condición de extrema necesidad.

En base a un análisis cartográfico, se observa cómo la zona donde se asienta el proyecto se caracteriza por tener una topografía irregular, debido a su cercanía con la cordillera central de Costa Rica. Además, este sector presenta cuatro bordes naturales. Al norte colinda con una Zona de Protección

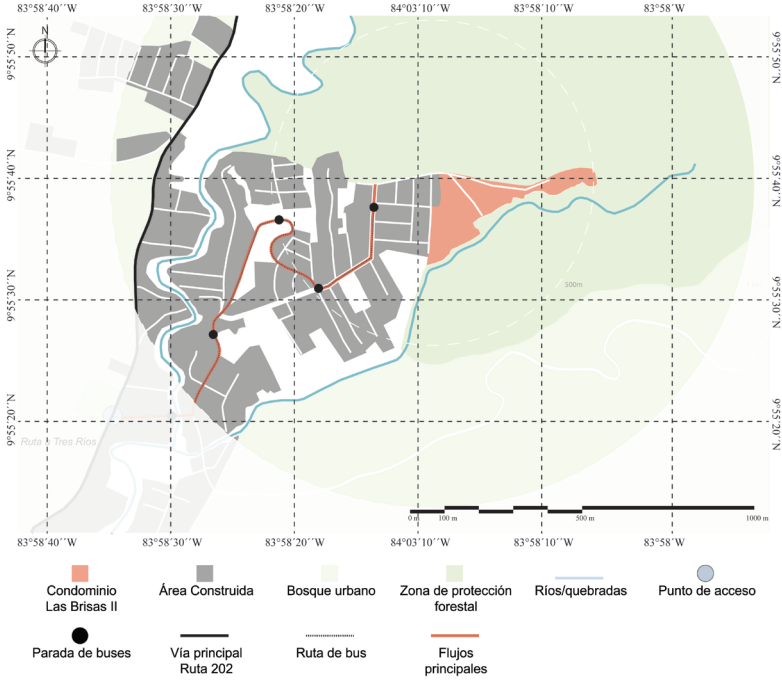
Figura 5. Fotografía del contexto inmediato y del Proyecto Las Brisas II



Fuente: Andrés Mora (2020).

Forestal, al este y sur se presenta una depresión importante hacia la quebrada El Cantillo y al oeste el río Tiri-bí, el cual divide al barrio en dos (ver Mapa 11). Dichas condiciones, han afectado el crecimiento del entramado urbano, el cual ha ido desarrollándose de forma irregular. No se definió un trazado urbano del cual partir, sino que se fue construyendo a medida que la comunidad iba creciendo.

Mapa 11. Entorno del Proyecto Las Brisas II



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales.

Se identificó una jerarquía vial organizada a partir de un eje principal que atraviesa el barrio de oeste a este y es a partir de este, que se organizan las vías secundarias, generando así poca redundancia vial, limitando el acceso a diferentes servicios y comercios. Este eje principal permite la continuidad de la movilidad al centro urbano de Tres Ríos, ubicado a una distancia de tres kilómetros.

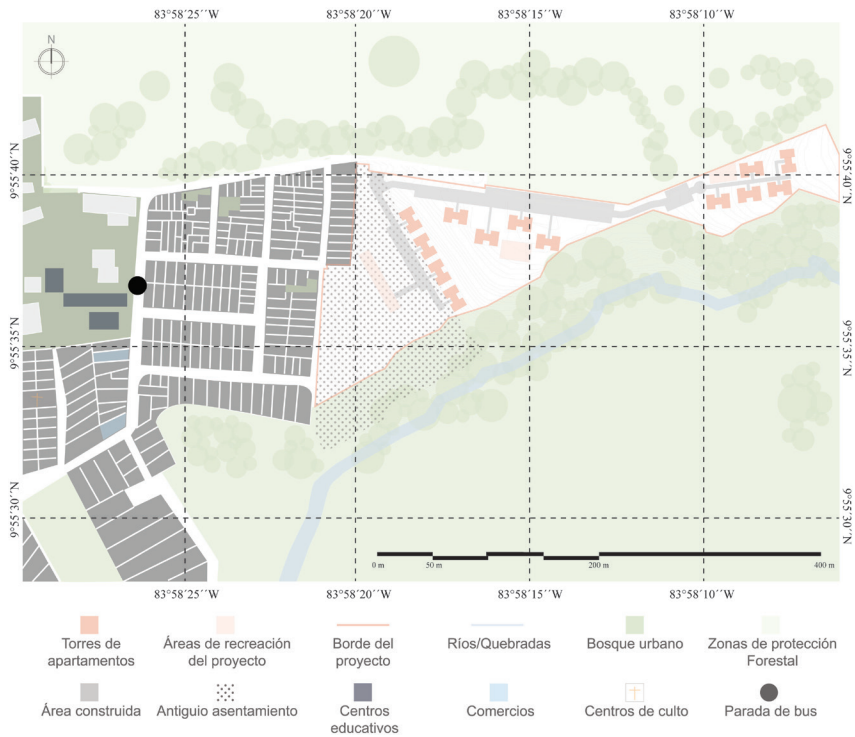
Esta configuración ramificada, derivada de la calle principal, genera una morfología irregular, donde predominan parcelas de pequeñas dimensiones con tipologías residenciales de uno o dos niveles, en concordancia con lo establecido en el plan regulador de la Municipalidad de La Unión, el cual indica que este sector es una Zona Residencial de Baja Densidad y poca urbanización.

Dentro de un radio de 1 km, se localizan pocas dotaciones -centros educativos, de salud y religiosos- y resalta la falta de equipamiento urbano como espacios públicos, parques y espacios de recreación. Cabe resaltar

que, por las pendientes pronunciadas que se encuentran en diferentes sectores de la zona, se ven limitadas las posibilidades de una movilidad peatonal accesible a toda la población.

En términos de conectividad y contigüidad, resalta que el proyecto cuenta con una malla perimetral y un único acceso, que lo conecta con el contexto inmediato. Así mismo, la topografía irregular presente en el sector donde está emplazado el proyecto, genera una división natural con el resto del barrio. La configuración interna del proyecto, se adapta a la topografía natural del sitio y el emplazamiento sobre la colina, le confiere una dominancia en la visual y paisaje urbano del ámbito.

Mapa 12. Contexto inmediato y distribución del Proyecto Las Brisas II



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales.

Las Brisas II, al ser vivienda en altura y de una huella mayor, rompe con el lenguaje presente en la zona y con la morfología irregular y de parcelas de pequeños tamaños, presentes en el barrio. Además de esto, por el

hecho de ser un condominio cerrado, interrumpe la accesibilidad y conexión con el resto del ámbito, lo que reafirma su condición de aislamiento o desconexión con su contexto.

Resultados

El análisis de los proyectos de vivienda de interés social seleccionados para el estudio, mostró resultados relevantes, tanto en lo individual de cada caso, como a partir de los análisis comparativos de los mismos.

Siguiendo las clasificaciones de [Lynch \(1961\)](#), es notorio que la mayoría de los proyectos estudiados se localizan en entornos de trama dispersa con grano fino e irregular, con crecimiento expansivo hacia las periferias. Se reconoce que, en cuanto a la continuidad morfológica del contexto que rodea los proyectos, en los casos de Nueva Jerusalén y San Martín, la presencia de estos no modifican sustantivamente las estructuras morfológicas existentes en el contexto. Se logró detectar que mantuvieron ejes viales preexistentes y se adaptaron a las retículas urbanas de su contexto inmediato, por lo que su desarrollo no significó mayor impacto a nivel físico-espacial. Por el contrario, los proyectos Las Anas y Shikaba, interrumpen en el tejido urbano existente, con impactos notorios sobre el contexto. La ruptura de la estructura irregular de la trama se da principalmente por la inserción de grandes piezas con cerramiento perimetral y por la organización interna del proyecto, que contrasta con el tejido circundante.

Para el caso del proyecto Las Brisas II, tampoco se da una continuidad al lenguaje y forma urbana del ámbito donde se inserta, y las condiciones geográficas condicionan las posibles conexiones con el entorno. La tipología de vivienda, también resulta un factor de ruptura, pues el proyecto se organiza a partir de núcleos de vivienda vertical que rompen con la tipología de vivienda unifamiliar de uno o dos niveles existente en el ámbito.

Estas interrupciones generadas a nivel morfológico responden principalmente a tres circunstancias: 1. A los requerimientos de los desarrollos bajo la figura en condominio, 2. A la necesaria optimización del espacio, dadas las distintas condiciones naturales de los emplazamientos y 3. A la falta de planificación, en lo que corresponde a la relación contextual del proyecto.

Resulta interesante resaltar que, los proyectos que rompen la morfología del contexto inmediato son aquellos que están ubicados en barrios que crecieron de forma irregular. Hay un intento de regular la morfología

mediante diseños urbanos que sigan una lógica estructurada, en vez de continuar con el crecimiento que ya se daba.

Siguiendo a [Roy \(2013\)](#) esto podría responder a la visión de que lo informal, dentro de la teoría urbana, está visto como lo desregulado o lo irregular. Esta idea de irregularidad, se ve influenciada por un imaginario concebido desde el punto de vista formal, que convierte lo informal en algo considerado como periférico y secundario ([Laguerre, 1994](#)). Este imaginario de ilegalidad y de la supervivencia de los pobres y marginados, hace que los barrios que son concebidos de esa manera, traten de ser “corregidos”.

Al valorar la contigüidad de la estructura urbana y principalmente, de las opciones y actividades, a partir de los usos del suelo, presentes en los ámbitos de estudio, se logra identificar una notoria segregación espacial en varios casos de estudio, así como elementos que impiden una adecuada vinculación de las zonas más residenciales, con otras de usos mixtos y con mayor oferta de servicios y equipamientos. La mayoría de los proyectos no cuentan con diversidad de actividades en el contexto inmediato; es decir, hay una limitación de las actividades sociales, económicas y urbanas. Y es que un factor importante considerado en la calidad de vida urbana es el acceso próximo a servicios y equipamientos básicos, tomando en cuenta el acceso en tiempo, distancia y calidad ([Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2008](#)).

Además, debido al tratamiento que se da a los bordes de los proyectos, hay una negación del espacio externo, principalmente por los muros que rodean los desarrollos y la presencia, en varios proyectos, de un único acceso. Tampoco, facilitan la posibilidad de moverse caminando a servicios y equipamientos y esto resulta importante pues ello propicia la interacción social y la valoración del entorno urbano, lo que ayuda a aumentar la participación, el voluntariado, la salud social y el sentido de comunidad ([Pozueta, Lamiquíz & Porto, 2009](#)).

A pesar de que la mayoría de los complejos residenciales estudiados tienen una ubicación cercana a puntos de comercio y de calles principales, se pierde el potencial de fusionarse con las dinámicas sociales y de desarrollo del exterior. Además, la cercanía a los sistemas de transporte público, se ven perjudicados por dicha disposición morfológica. Proyectos como Las Anas, Nueva Jerusalén y Las Brisas II, presentan escasas opciones de transporte público para ir a lugares de carácter comercial o recreativo.

El modelo de urbanización bajo la figura de condominio cerrado está generando una serie de externalidades, como son por ejemplo la afectación en la redundancia vial, reducción de espacios públicos, aumento de la percepción de inseguridad e incremento de la segregación residencial (Pujol, Sánchez & Pérez, 2011; Barrantes, 2019).

Gehl (2010) resalta la importancia de ‘bordes suaves’ entre el espacio público y privado, donde pueda darse la oportunidad de activar las calles y aceras, que es donde gran parte de la vida urbana se lleva a cabo. Con el estudio de estos casos de VIS, se puede comprobar que las problemáticas urbanas derivadas de los desarrollos de urbanizaciones cerradas o “gated communities”, ampliamente estudiadas en contextos socioeconómicos medios y altos, se repiten de forma similar en los proyectos de vivienda de interés social analizados y los efectos socio-espaciales, también resultan análogos.

A partir del análisis de la parcelación y por tanto de la estructura de ocupación de suelo, de la edificación, así como de la urbanización y consecuente distribución de servicios e infraestructuras, es evidente que los modelos seguidos en los ámbitos donde se están desarrollando los proyectos de vivienda pública, no son los adecuados y condenan a los desarrollos a probables deficiencias ante aumentos de densidad o expansión de las áreas residenciales, así como a un desmejoramiento de la calidad de vida de sus residentes. Esto debido a que, el tipo de parcelario y la mala dotación de infraestructuras, condenan a estos ámbitos a un uso casi exclusivamente residencial.

En conclusión, la comparación realizada sobre los cambios a nivel morfológico, que ha habido tras el emplazamiento de los proyectos, reveló que estos desarrollos no han contribuido en la integración o contigüidad urbana, han desaprovechado oportunidades para mejorar los problemas de segregación socio-espacial y han aumentado la presión sobre el sistema vial, sin mayores aportes a su redundancia.

Conclusiones

Esta investigación, permite promover reformas en los procedimientos que se siguen en la actualidad para la construcción de vivienda de interés social, en especial para mejorar la articulación de los proyectos con la ciudad existente y, por ende, la calidad de vida de sus residentes.

El diseño de los proyectos estudiados, no propone estrategias para promover mayor heterogeneidad en cuanto a servicios y comercios, sino que limitan su uso al residencial y a los espacios recreativos obligatorios. Sin embargo, esto responde a los reglamentos y legislación existente y la imposibilidad de promover una mayor variedad urbana. Además, los tamaños de las parcelas en los sectores donde se desarrollan los proyectos de vivienda de interés social, también limitan las opciones de servicios, comercios y dotaciones, afectando la variedad urbana.

Lo anterior, remarca la importancia de realizar estudios más detallados, en futuras contribuciones en esta línea de trabajo, para así lograr identificar la relación del tamaño del parcelario, con los valores del suelo y las centralidades urbanas de cada sector. Un mayor análisis de las características de la estructura urbana, donde se están insertando los conjuntos residenciales, facilitaría proyectar el posible desarrollo y diversificación de actividades en el ámbito.

Las características topográficas y orográficas del sitio donde se realizan los proyectos, deben evaluarse con mayor detenimiento, pues no basta con resolver la infraestructura del conjunto y su adaptación a ese medio, sino que estos elementos naturales, crean importantes barreras que afectan la continuidad y la contigüidad urbana; estos son factores que condicionan la forma del crecimiento y la configuración de nuestras ciudades, afectando también, la manera en la que se movilizan sus habitantes.

También, un mayor análisis de los ejes viarios desde un enfoque del desarrollo orientado al transporte, posibilitaría entender las áreas de crecimiento y expansión donde proyectos como estos, con altas densidades, debería localizarse y acompañarse de la multiplicidad de infraestructuras, que estos desarrollos requieren. Un buen emplazamiento puede simbolizar reducción en costos de desplazamiento y accesibilidad a equipamientos.

Es importante que el planeamiento y diseño de los proyectos tomen en cuenta la necesidad del barrio y de sus residentes y posibiliten espacios que fomenten el comercio en sus diferentes formas, a la vez que se diversifican las distintas actividades dentro del espacio urbano, ya que en las ciudades modernas son necesarias estas multiplicidades y heterogeneidades (Roy, 2013).

Los resultados del análisis señalan que las instituciones y empresas privadas encargadas del desarrollo de vivienda de interés social, continúan

diseñando con base en un modelo de urbanizaciones cerradas, que mantienen a los conjuntos residenciales y sus habitantes aislados del contexto. Los proyectos no están teniendo un impacto positivo en su entorno, pues no se da una continuidad integral que permita generar actividades que diversifiquen la dinámica de sus alrededores.

Acorde a lo expuesto por [Jiménez \(2017\)](#), en las últimas décadas, Costa Rica ha venido implementando un modelo de ciudad que ha fragmentado el espacio urbano, que ha promovido la segregación y ha aumentado las desigualdades sociales.

En consonancia con lo expuesto por [Capel \(2002\)](#), el estudio morfológico puede tener importantes repercusiones en los aspectos normativos, ya que "...a partir del análisis morfológico puede mejorarse el diseño de la ciudad, al conocer mejor el comportamiento de los elementos componentes y los procesos de transformación de la ciudad" (p. 22).

En este sentido, la participación activa de las Municipalidades desde sus Planes Reguladores, se vuelve elemental para el planteamiento de estos proyectos de vivienda de interés social, pues determina factores que se pueden traducir en buena calidad de vida. Además, siguiendo a [Harvey \(2014\)](#), los cambios y mejoras en una infraestructura urbana que hayan sido realizados únicamente por contratistas, tendrán en la mayoría de los casos, propósitos específicos para adquirir mayores réditos económicos con la comercialización de lotes y no necesariamente, en el verdadero bienestar de la población que lo habita.

En conclusión, el estudio resalta la necesidad de realizar un trabajo integral entre la empresa privada, fundaciones, el BANHVI, el INVU, los residentes y los gobiernos locales, para lograr que los proyectos de vivienda de interés social, cuenten con diseños permeables que eviten que se promueva la segregación física y social de los territorios donde son emplazados.

Los planes municipales deberían contemplar el trazado de nuevos elementos, dando instrucciones para que se configure el emplazamiento de forma tal, que se dé una adecuada integración con el entorno edificado y se maximice su confort, seguridad y atractivo ([Pozueta, Lamiquí & Porto, 2009](#)).

Así mismo, considerar que, por la situación socioeconómica de los habitantes de los proyectos, se hace necesario incluir otros usos, además

del residencial dentro de los desarrollos y fomentar una mayor accesibilidad y cercanía al transporte público, transpirabilidad peatonal y acceso inmediato a los servicios más básicos.

La elaboración de estudios de este tipo es importante, ya que nos permite entender la incidencia de estos proyectos en un determinado entorno urbano y por ende, su habitabilidad. Además, posibilitan una mejor comprensión y consideración de estrategias para el mejoramiento de estructuras urbanas, redes de transporte y estructura espacial (Aguilar, Ajiaco & López, 2011).

Finalmente, comprender el tipo de conjunto residencial que se va a construir y la morfología del lugar donde se planea ubicar, es primordial para visualizar cómo el proyecto funcionará en el futuro, para así impactar de manera positiva, tanto el entorno como la calidad de vida de sus residentes.

Referencias

- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2008). *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla*. Barcelona.
- Aguilar, C. A., Ajiaco, D. A., & López, L. F. (2011). *Lo urbano de la economía espacial: Una aproximación teórica*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia. Recuperado de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000260.pdf>
- Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. (vol. 5). Harvard University Press.
- Barrantes, K. (2019). Barrios ‘conviviendo’ con comunidades cerradas: entre el miedo y la segregación. Caso de la GAM-Costa Rica. *REVISTARQUIS*, 8(2), 66-76. <https://doi.org/10.15517/ra.v8i2.37923>
- Capel, H. (2002). *La morfología de las ciudades. Sociedad, cultura y paisaje urbano*. Barcelona: Serbal.
- Christaller, W. (1933). *Die zentralen Orte in Süddeutschland: eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmässigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen*. University Microfilms.
- Colegio Federado de Ingeniero y Arquitectos. (2013). *VIII Auditoría de Vivienda de Interés Social*. San José, Costa Rica.

- Gehl, J. (2010). *Cities for People*. Washington: Island Press.
- Gómez A., Guillen, D. & Salas, G. (2018). Morfología, vida urbana y segregación socioespacial: La Carpio, San José, Costa Rica, 2017. *Revista Geofacies*. Recuperado de: <https://medium.com/revista-geofacies/morfolog%C3%ADa-vida-urbana-y-segregaci%C3%B3n-socioespacial-la-carpio-san-jos%C3%A9-costa-rica-2017-c35749104445>
- González, I. (2000). La variedad urbana: Una condición necesaria para la calidad de vida en la ciudad. Documentación social. N° 119: *Ciudades habitables y solidarias*, (119), 115-136.
- Hall, C. (1974). La Jerarquía Urbana de Costa Rica: Una Consideración de la Aplicación de Modelos Geográficos. *Revista Geográfica De América Central*, 1(1), 25-48. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2051>
- Harvey, D. (2014). *Cidades Rebeldes: Do direito a cidade à revolução urbana*. David Harvey; tradução Jeferson Camargo. – São Paulo: Martins Fontes – selo Martins.
- INEC. (2011). *Censo de Costa Rica 2011*. Recuperado de: <http://www.inec.go.cr/censos/censos-2011>.
- Jiménez, A. (2017). La ciudad como límite: crítica a un modelo de ciudad latinoamericana. *La Brecha*, 3(4), pp. 93-98.
- Laguerre, M. S. (1994). *The Informal City*. In *The Informal City*. https://doi.org/10.1007/978-1-349-23540-7_1
- Lynch, K. (1961). The pattern of the metropolis. *Daedalus*, 90(1), 79-98.
- Maki, F. (1964). Investigations in collective form. *The School of Architecture*.
- Martínez, E. (2003). Necesidades colectivas y desarrollo urbano. La planificación urbana en la perspectiva morfológica de Maurice Halbwachs. *CIUDAD Y TERRITORIO Estudios Territoriales*, XXXV (138), 617-638.
- Municipalidad de Desamparados (s.f.). *Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón de Desamparados, San José, Costa Rica*.
- Munizaga, G. (2000). *Diseño Urbano: teoría y método*. Universidad Católica de Chile.
- Oliveira, V. (2013). Morpho: A methodology for assessing urban form. *Urban Morphology*, 17(1), 149-161.

- Pozueta, J., Lamiquí, F. & Porto, M. (2009). *La ciudad paseable: recomendaciones para la consideración de los peatones en el planeamiento, el diseño urbano y la arquitectura*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- Pujol, R., Sánchez, L. & Pérez, E. (2011). La segregación social como determinante del desarrollo urbano. *Ciencias Económicas* (29), 445-477.
- Quesada, F. (2014). *La modernización entre cafetales*. San José, Costa Rica, 1880-1930.
- Roy, A. (2013). Las Metrópolis del Siglo XXI. Nuevas Geografías de la Teoría. *Andamios: Revista de Investigación Social. México* (22), 149-182.



Impact on urban form of the new Social Housing projects developed in Costa Rica *

El impacto sobre la forma urbana de los nuevos proyectos de Vivienda de Interés Social en Costa Rica¹

Helga von Breymann Miranda²

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Valeria Alexandra Chacón Reyes³

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Mauricio Ramírez Ramírez⁴

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Lucía Rodríguez Ramírez⁵

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Paola Rojas Álvarez⁶


Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Andrés Mora Sandoval⁷


Universidad de Costa Rica, Costa Rica

* Este texto es una traducción literal del artículo “El impacto sobre la forma urbana de los nuevos proyectos de Vivienda de Interés Social en Costa Rica”, incluido en este mismo número.


1 A preliminary version of this work was presented at the IV ISUF-H Barcelona 2020 Congress.


2 Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: helga.vonbreymann@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0002-6841-5953>

3 Arquitecta. Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: valeria.chacon@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0002-6067-4854>

4 Arquitecto. Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: mauricio.ramirezramirez@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0001-9262-5013>

5 Arquitecta. Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: lucia.rodriguezramirez@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0002-6743-6664>

6 Arquitecta. Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: paola.rojasalvarez@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0003-2578-3542>

7 Arquitecto. Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Email: andres.morasandoval@ucr.ac.cr  <https://orcid.org/0000-0002-6938-0588>

ABSTRACT

In Costa Rica, the social housing (VIS) projects developed in the last decade have been located in areas far from urban centers of limited access to facilities and infrastructure due to the prohibitive cost of land ownership in most central sectors of metropolitan cities. The conditions and characteristics of these contexts, available land uses (zoning), morphological configurations, continuity and contiguity between social housing projects and the urban pieces where they are inserted, are analyzed in this research through the study of five residential complexes developed in the Greater Metropolitan Area of Costa Rica. The projects, built between 2011 and 2018, were analyzed from the study of construction plans, cartography of the area, documentary review and analysis of secondary data. From the obtained results it is possible to identify the main difficulties arising from the morphological and typological fit that followed after the establishment of the residential complexes, as well as the contextual problems derived from the location of the projects.

Keywords: Urban configuration; Residential complexes; Urban morphology; Urban planning; Social Housing.

Resumen

En Costa Rica, los proyectos de vivienda de interés social desarrollados en la última década se han localizado en zonas alejadas de centros urbanos o con limitado acceso a equipamientos e infraestructuras, debido al elevado costo del suelo en los sectores más céntricos de la ciudad. Las condiciones y características de estos entornos, los usos del suelo, las configuraciones morfológicas, la continuidad y la contigüidad entre los proyectos de Vivienda de Interés Social y las piezas urbanas donde se insertan, son analizadas en esta investigación, a través del estudio de cinco conjuntos residenciales desarrollados en la Gran Área Metropolitana. Los proyectos, construidos entre 2011 y 2018, fueron analizados a partir del estudio de planos, cartografía del ámbito, revisión documental y estudio de datos secundarios. Los resultados alcanzados posibilitaron identificar las principales dificultades desprendidas del encaje morfológico y tipológico que siguieron los conjuntos residenciales, así como las problemáticas contextuales por la locación de los proyectos.

Palabras clave: Configuración urbana, Conjuntos residenciales, Morfología urbana, Planificación urbana, Vivienda de Interés Social.

INTRODUCTION

In recent years, many of the so-called social housing projects (VIS) in Costa Rica were built in areas lacking in infrastructure and urban facilities due to the difficulty of accessing cheap land in the most central sectors of the city. This has supposed disadvantageous conditions for these residential complexes and thus limited the opportunities of their residents to access goods and services commensurate with daily life and to secure a good quality of life.

The study of urban morphology emerges as a theoretical-methodological approach that enables a greater understanding of the implications of urban form and its effects on the social dimension. The limited diversity

in land uses, the absence of continuity in the urban layout or the existence of barriers are just some of the manifestations that are evidenced when there are flaws in the morphological fit of new pieces within existing and poorly balanced urban frameworks, developed without adequate urban planning and control.

In Costa Rica, the development of Social Housing involves various actors, primarily developers—who assume the task of planning and developing the residential complexes—and the Banco Hipotecario para la Vivienda (BANHVI) [translated as Mortgage Bank for Housing], a government banking institution which reviews, finances and supervises the execution of said residential projects.

Land selection for the construction of houses is carried out by developers and the government counterpart (government institutions) verifies the compliance of technical requirements. This methodology has made possible the development of new decontextualized public housing developments suffering from significant deficiencies. The selection of the land not only lacks clear procedures but is also based on inadequate basic technical requirements with deficient criteria that do not include substantial elements to ensure access to some services and infrastructure necessary for providing the residents of said projects with a good quality of life.

Furthermore, there is an important void in the procedures that would allow the execution of typologically congruent developments and in consonance with the urban landscape of the context in which they are developed, which is generating important fractures in the continuity, legibility and urban landscape of many sectors of cities.

In light of this, the morphological study of the urban pieces where VIS projects are inserted is revealing and allows the formulation of strategies that favor a better urban-architectural articulation to improve the quality of life its inhabitants, key aspect in understanding the dialectic between physical space and society, as stated by Halbach in his writings on social morphology (Martínez, 2003).

Following Capel (2002), urban morphology and the built environment reflect the social and economic organization, as well as the political structures of the dominant social groups. Therefore, the analysis of urban structure, its arrangement, connections, typologies, etc., are key to understanding the complexity of urban environments. Functional problems in certain city

environments manifest the weaknesses entailed in the organization of forms and urban management processes, and reinforce the need for a dynamic and global approach to the environment and forms (Munizaga, 2000).

In line with this argument, the location of tertiary economic activities, and mainly, their territorial extension as pointed out by Christaller (1933), are also determining factors in understanding the dynamics of the city and its layout.

To embark on the subject matter from the urban design perspective, as proposed for several decades by authors such as Christopher Alexander (1964) with the study of complexity and urban relations, or Fumihiko Maki (1964) through the understanding of the various modes of aggregation or association of urban forms, has enabled a better comprehension of the effects of morphological elements in the development of cities.

Other approximations, such as that of Oliveira (2013), seek to assess the maturity of urban processes, for which they combine accessibility variables such as spatial accessibility of the street system, year of construction of buildings, parcel density, alignment of buildings, the dimension of street blocks, the ratio between height of buildings and street width, and the uses given to the buildings. Regardless of how it is approached, this type of analysis has been able to demonstrate that both urban variety, as well as the location of infrastructure, services, commerce, etc., in the territory, are fundamental for the provision of spatial conditions necessary for a good quality of life of its residents (González, 2000).

In Costa Rica, studies on urban morphology are scarce, however contributions have been made from the disciplines of geography and history by way of analysis of the evolution of the urban structure and its link with productive transformations (Quesada, 2014); the urban hierarchy of urban cores (Hall, 1974); the impact upon the urban layout with regard to the perception of security and coexistence relations (Barrantes, 2019); and other more concrete contributions on specific neighborhoods, such as the study by Gómez, Guillén and Salas (2018) carried out to understand the evolution and transformation of the urban layout and the dynamics of a central neighborhood in Costa Rica.

Based on the above, the objective of the present study is to evaluate, from a morphological approach, the urban and typological fabric of the surroundings in which social housing projects are located, based on the

analysis of five cases developed in the Greater Metropolitan Area (GMA) of Costa Rica in recent years.

The study allows to advance evidence regarding urban practices related to the development of VIS, through complementary diagnoses and analyses, to enable the promotion of procedures for improving the location, configuration and fit of these projects within the surrounding urban pieces where they are constructed.

METHODOLOGY

The research was based on the case study methodology. Five Social Housing projects, located in different districts of the Greater Metropolitan Area (GMA) of Costa Rica, were selected possessing different characteristics. The five projects were analyzed in terms of the impact of their location on the surroundings and the effects of urban layout on the project. The study is of descriptive-analytical nature and is prepared from documentary review and cartographic, planimetric and photographic analysis of the selected geographical areas.

The procedure for the study was structured from the analysis of three basic elements of morphological studies, namely: typology and urban structure, land use and analysis of the continuity of the urban layout (Capel, 2002). Hence, a survey of the following morphological elements was developed at the meso and micro levels:

- a. Services, land endowments destined for public use and public facilities, and main infrastructure.
- b. Main roads network, hierarchy and connectivity.
- c. Green areas, urban forests and vacant areas.
- d. Layout of parcels and building typologies.

At the meso level, the urban context within a radius of 1 kilometer from the project was analyzed as this was considered an accessible distance for the entire population. The proximity, connectivity and structure of the urban fabric of the locations were studied to understand the context in which these urban pieces are inserted. At the micro level, the urban piece of each residential complex and its immediate context were evaluated to observe in greater detail aspects of morphology, project typology and fit, while considering existing aspects of continuity and contiguity.

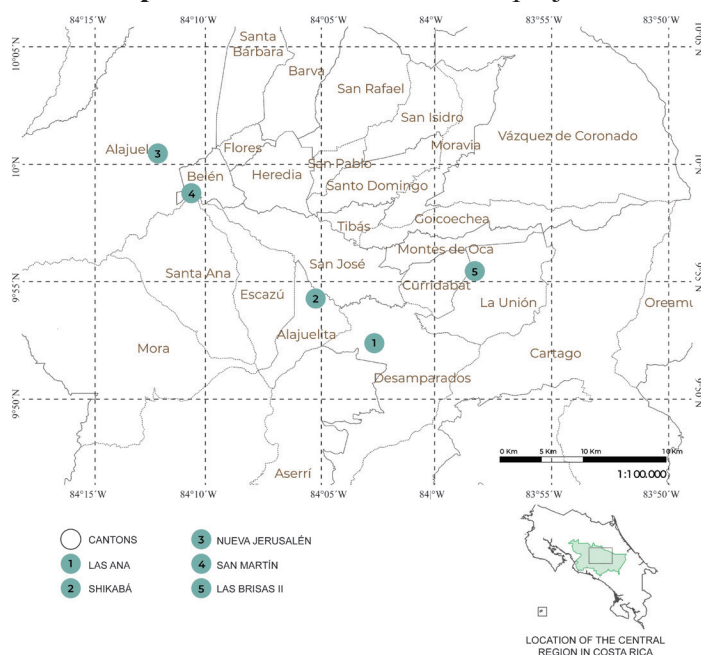
Once the information had been collected and registered through the creation of various maps, an analysis was carried out and the five case studies were compared, from which conclusions and recommendations were drawn for consideration.

Case studies

The selected case studies are located in the Greater Metropolitan Area of Costa Rica (see map 1), a geographical area that concentrates over 52.7% of Costa Rica's population (INEC, 2011); the corresponding VIS projects were constructed between the years 2011 and 2018. Case selection took into consideration the residential typologies of the projects, the quantity of constructed houses, and geographical location, seeking to adequately represent the urbanistic diversity existing across the entire Greater Metropolitan Area.

In the following section, the five selected case studies are presented and their geographical contextualization reviewed, followed by an analysis of the morphological elements of the urban context of their localities.

Map 1. Location of the selected projects.



Source: Own elaboration.

Las Anas Residential Project

The Las Anas is a Social Housing Condominium located in sector 4 of the district of Los Guido, in the canton of Desamparados, province of San José. Desamparados is one of the most densely populated cantons in the Greater Metropolitan Area and is home to a large number of social housing projects and several informal settlements. The Los Guido district accelerated its urbanization process starting in 1986, during the first presidency of Oscar Arias, mainly due to the creation of the government aid program “Bono de Familia” (translated as Family Bond), and resulted in the development of a significant number of VISs in this sector. The aid program provided housing opportunities to foreign and national families from all over the country, who lived in poverty and lacked access to housing and basic services.

The Las Anas Condominium, completed in 2018, was carried out by the Fundación Promotora de Vivienda (FUPROVI). The project was proposed with the aim of eradicating the Las Palmas informal settlement, thus providing housing for a total of 198 families in dire need.

From the cartographic analysis of the existing urban development in the area, it stands out that the growth of the sector has been taking place irregularly over a mostly flat territory. An urban layout following a

Figure 1. Photograph of Las Anas Condominium

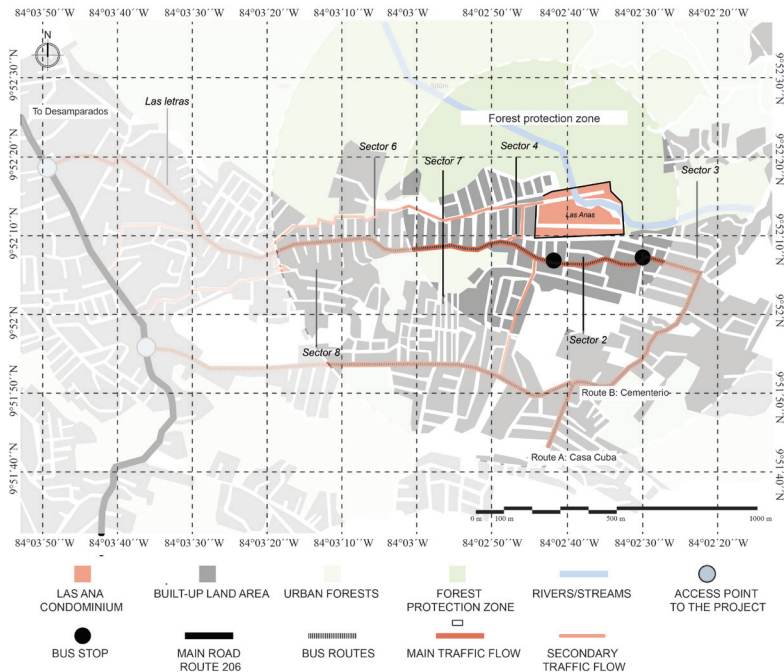


Source: FUPROVI (Fundación Promotora de Vivienda, translated as Housing Promotion Foundation).

specific pattern was not initially defined, instead the layout was constructed spontaneously as the population expanded. A road hierarchy is identified and reflected in the two main roads that cross and give access to

the district (see Map 2) and from which stem secondary roads that provide limited redundancy. The two primary axes provide continuity in mobility and access to the city center of Desamparados, located at a distance of 5.3 km. A homogeneous division into blocks is not identified, although rectangular blocks prevail and the division into small-size lots with residential typologies of one or two-level single-family housing dominate.

Map 2. Surroundings of the Las Anas Residential Project.



Source: Own elaboration from satellite images.

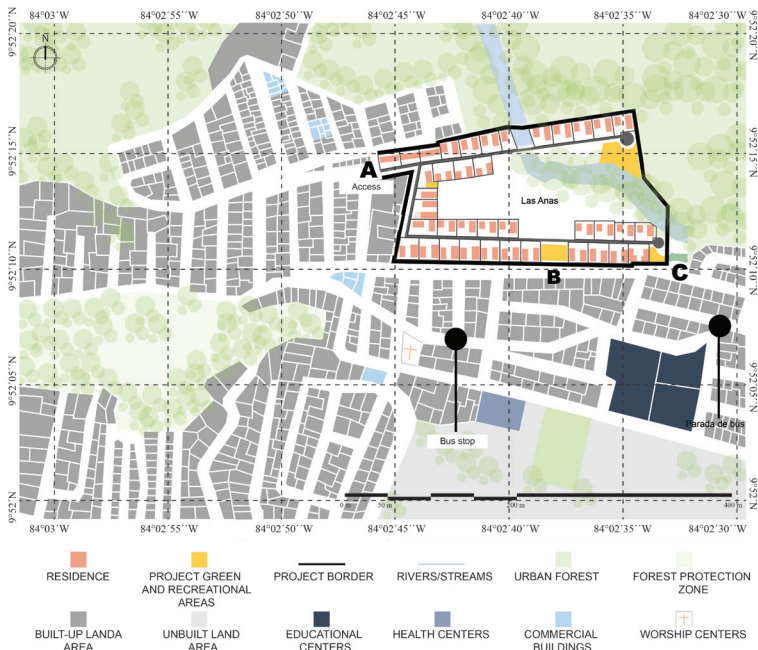
Regarding land use, residential use predominates and a significant variety of commerce and services buildings are observed. Within a radius of 1000 meters from the project, other basic facilities such as educational centers, health centers, churches and recreational parks are located. According to the Zoning Ordinance Plan (known in Costa Rica as Plan Regulador) of the Municipality of Desamparados ([Municipalidad de Desamparados, n.d.](#)), the area where the project is located is classified as Low Density Residential Zone and existing green and recreational areas belong to a Forest Protection Zone.

The project consists of 73 two-level buildings, distributed in 37 lots and has two outdoor recreational spaces (i.e., green and recreational areas) and a commercial zone. Each lot corresponds to a residential condominium with an average area of 480 m²; all condominiums are connected by public roads, forming a condominium housing complex with only one access point. Each condominium is comprised of an average of five houses and three parking spaces.

In general, the housing solutions present the same programmatic characteristics, although organized in four different residential typologies: 47.5 m² single-family house (two bedrooms), 54.9 m² single-family house (three bedrooms), 56.5 m² single-family house (two bedrooms, designed for people with disabilities) and a 64.3 m² single-family house (three bedrooms, designed for people with disabilities).

In terms of connectivity and contiguity, the project has a single restricted access point (sector A) (see Map 3). The entire perimeter is delimited by a wall, which restricts accessibility and connection with the exterior. Despite the latter characteristics, the project has two sectors that could be enabled as access points (see Map 3, sectors B and C).

Map 3. Immediate context and distribution of the Las Anas Residential Project.



Source: Own elaboration from satellite images.

The housing project is crossed by a stream, which generates a green corridor and establishes a direct connection with the natural environment that surrounds the land plot. It is a resource that allows aperture of the project to its context and creates a break in the project's landscape and form, as it divides the project in two. It constitutes a vegetation barrier, running south to north, that serves as the prelude to the protected forest zone located at the north backend of the project. Scenically, the barrier is a grand void that engulfs practically half of the project's land plot. At the meso scale, this void functions as a separating element between the housing complex and the city center (i.e., downtown Desamparados).

Internally, the project breaks with the irregular morphology of the surrounding sector, as it presents an orderly arrangement of houses and also, because it is comprised of condominiums that follow a disposition, both physical and functional. There is no clear contiguity with the adjacent sectors.

Shikaba Residential Project

The Shikaba Residential Complex is a Social Housing (VIS) project, developed under the figure of a housing complex by the developer FUPROVI, which benefited 254 low-income families living in extreme poverty. It is located in the Alajuelita district, of the Alajuelita canton, province of San José. It was completed in 2019 but as a result of bureaucratic delays and the public health emergency caused by COVID-19, the project was delivered a year later, in December 2020. Similar in outcome to the Los Guido district, the appearance of the "Bono de Familia" government aid program in the 1980s, saw Alajuelita become one of the cantons with the greatest development of social housing projects.

The accelerated arrival of socioeconomically vulnerable

Figure 2. Aerial view of the Shikaba Residential Residential Project



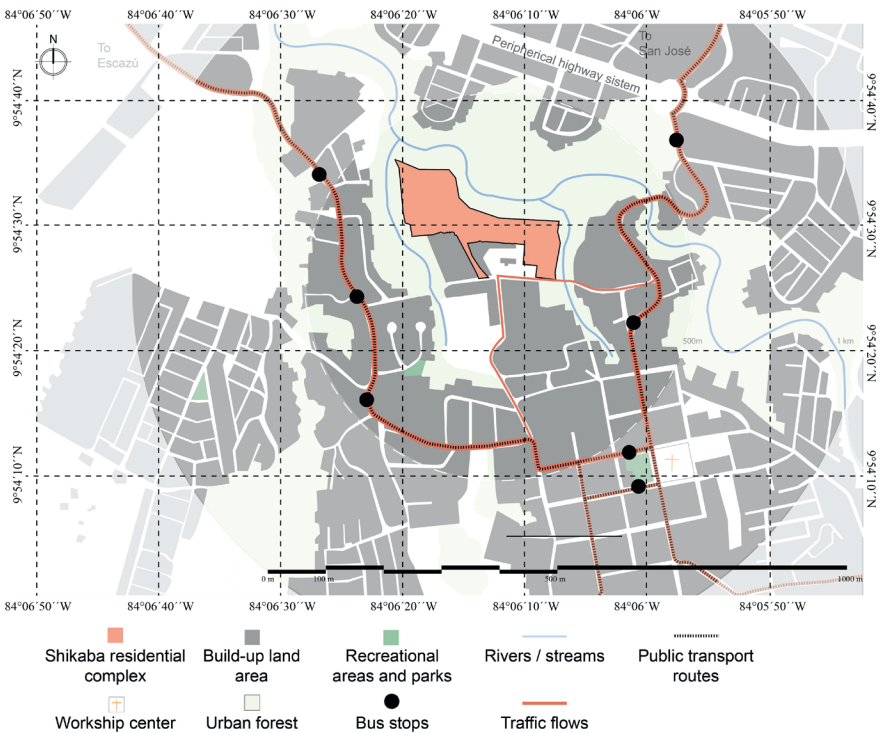
Source: FUPROVI.

populations and the lack of urban planning caused, over time, a stark segregation that had an impact on urban transformation.

The urban layout of downtown Alajuelita is regular, however as one moves north towards the project it turns more irregular. Furthermore, in the sector where Shikaba is located, a small-size parcel composition can be identified with limited presence of large-size plots. The project is surrounded by the Tiribí River to the north, La Guaria Stream to the west and the Mancha Stream to the east. The south side leads to the only access road and adjoins the informal settlements of Juan Pablo II and La Deportiva, erected since 1982 and 1997, respectively.

The district has a main access road which connects with the *Anillo de Circunvalación*, a main peripheral vehicular highway system connecting with the capital city of San José (see Map 4). This peripheral system constitutes at the same time an important physical border at the pedestrian level

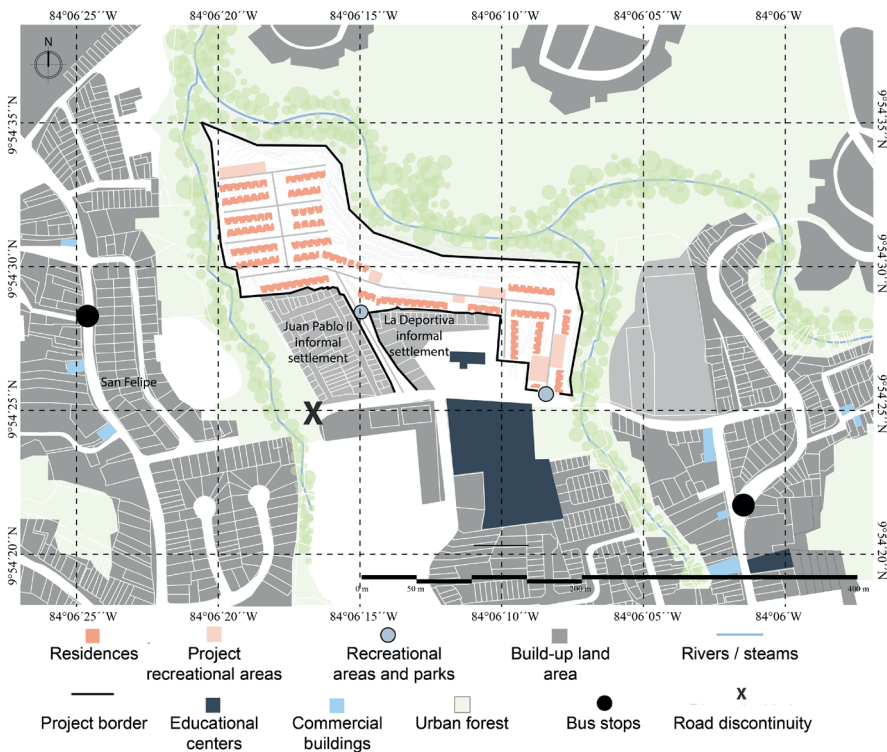
Map 4. Surroundings of the Shikaba Residential Complex.



Source: Own elaboration from satellite images.

by virtue of narrow sidewalks of less than 1.5 meters wide, few pedestrian bridges, insufficient urban furniture and vegetation, all negatively affecting pedestrian connectivity. The access road to the project also connects directly with the district's main highway on the east and south sectors, but lacks connection with the west sector of San Felipe de Alajuelita, due to the absence of road infrastructure over the La Guaria Stream thus affecting the accessibility and proximity to services found in the western sector (see Map 5).

Map 5. Immediate context and distribution of the Shikaba Residential Complex.



Source: Own elaboration from satellite images.

Regarding the land use of the studied area, within a radius of 1000 meters the project is provided with essential utilities and services, as well as high schools and health centers. Land use is primarily residential with one or two-level single-family houses.

The housing complex is made up of 244 single-family houses erected using a masonry construction system with concrete blocks and offered in six different typologies: Type 1 is a two-level construction with an area of 53 m² (two bedrooms), Type 2 is two-level and 54.4 m² (two bedrooms), Type 3 is two-level and 65.2 m² (three bedrooms), Type 4 is two-level and 63.3 m² (three bedrooms), Type 5 is one-level and 52 m² (two bedrooms, designed for people with disabilities) and Type 6 is two-level and 71.1 m² (two bedrooms, adapted for the elderly).

Within the bounds of the housing complex, the design contemplated a parking lot, five playground areas for children, three communal facilities, 29 residential-commercial mixed-use lots, 215 residential-use lots, as well as a vast park area to be reforested, which adjoin the protection zones of the Tiribí River and La Guaria and Mancha Streams.

The design of the housing complex responds to the optimization of space in an irregular shaped lot by fitting the greatest possible number of houses and realizing the reforestation of common areas and parks adjacent to the protected area along the banks of the river and streams. The presence of both streams and the Tiribí River define the topographic characteristics of the site. This is located on a terrain with a steep slope to the north created by the presence of the river, while the west and east sides are both embraced by streams that create less pronounced slopes. These bodies of water and the vegetation cover enrich the housing complex with a natural border that separates it from its surroundings. In addition, the distribution of the houses by rows is highly contrasting and breaks with the irregularity of the urban fabric, thus the project is perceived even more detached from its immediate context.

Nueva Jerusalén Residential Project

The Nueva Jerusalén Residential Project is located in the Desamparados district of the Alajuela canton, province of Alajuela. The project is located in an urbanized area 2.5 km from downtown Alajuela. The project was developed by the company Construcciones Modulares de Costa Rica S.A., during 2011, with the aim of eradicating an informal settlement installed on the same land plot, thus providing new housing for 56 families.

Historically, this area has been mostly of residential use, a situation that has changed little to date. The main changes, in terms of the

Figure 3. Photograph of the Nueva Jerusalén Residential Project

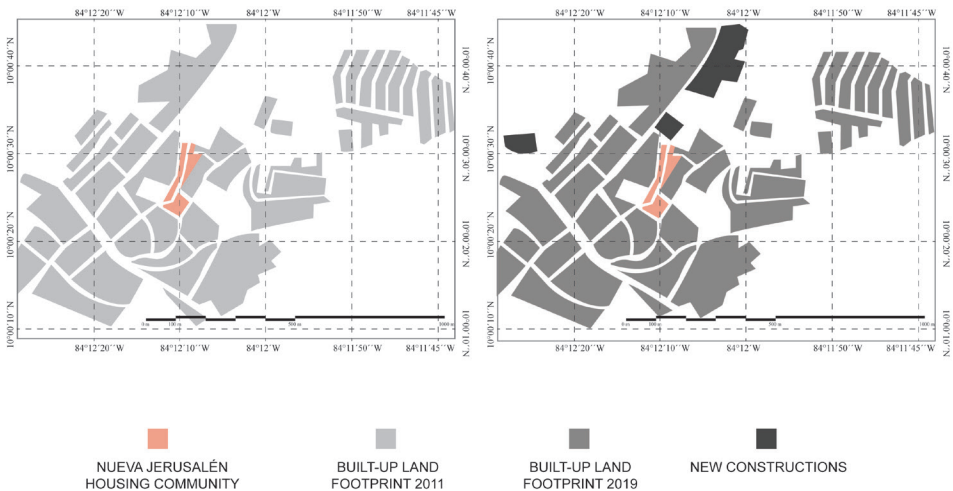


Source: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2013.

morphological elements of the area, respond to an increase in housing density mainly due to a slight increase in the built-up land footprint.

The topography of the Desamparados district is regular, although it exhibits some slopes associated with the course of some rivers, which have been decisive in the configuration of the access roads to this sector.

Map 6. Analysis of the built-up land footprint and vacant areas in the immediate context of the Nueva Jerusalén Residential Project.

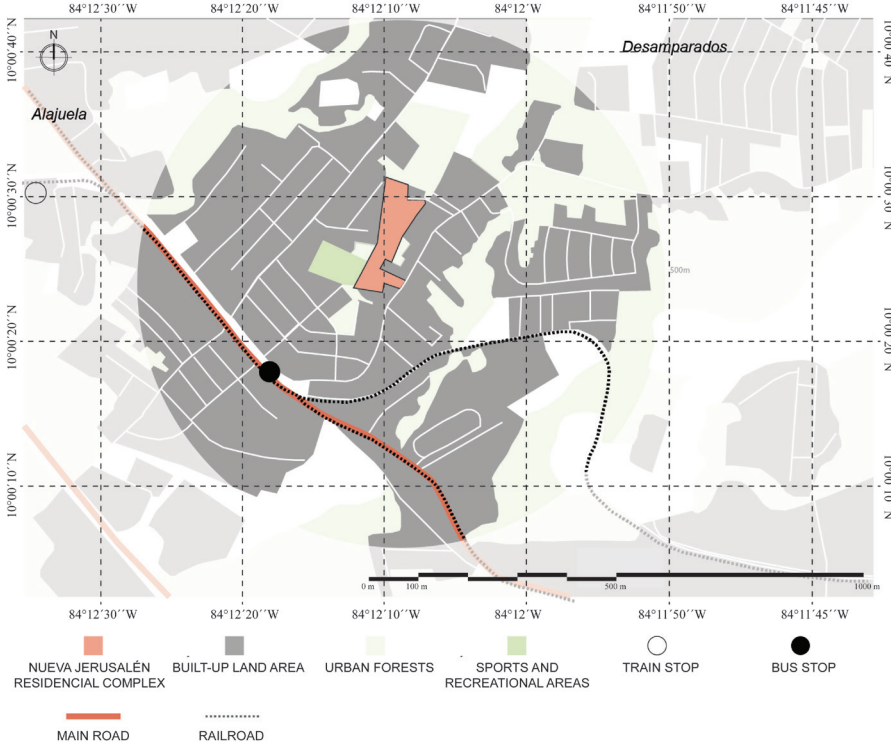


Source: Own elaboration from satellite images.

From the study of the morphological configuration of the site, it is observed that it is quite irregular (see map 7), in contrast to the distinctive squared urban grid of downtown Alajuela. At the district

level, the absence of planning prohibited the expansion of the regular urban fabric starting from orthogonal blocks, but rather gave way to an irregular development of small-size parcels, linked to road axes of low hierarchy and to multiple agricultural zones interspersed within new urbanized pieces.

Map 7. Surroundings of the Nueva Jerusalén Residential Complex.



Source: Own elaboration from satellite images.

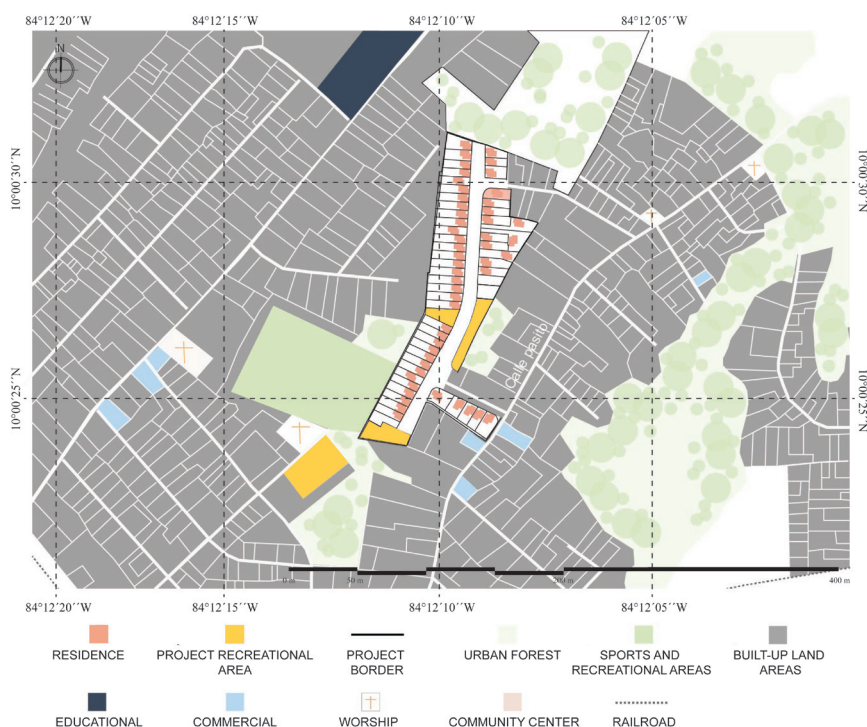
The zoning in this area is primarily residential, exhibiting mostly one-level buildings, nonetheless, the vicinity also presents some agricultural land use zones. Its strategic location has influenced the nearby availability of urban facilities and urban services such as worship centers, sports, health and educational facilities. At a greater distance, the urban city center of Alajuela offers parks, commerce, cultural spaces and other services.

The project was developed adjacent to a major road axis, which connects the center of the consolidated city of Alajuela with other main cities such as Heredia and San José.

Regarding the configuration of the project, a main road axis that crosses from north to south is identified, which, in turn, connects with the “Pasito” public road through a street and a non-vehicular avenue (in Spanish “*alameda*”) existing on the site (see Map 8).

Despite the project’s strategic location, connecting axes only exist on the east side, although most of the nearby goods and services are found in the Southwest sector, thus supposing a poor integration and limited accessibility. The lack of road redundancy and the project’s configuration hinder the continuity and contiguity of the residential complex with the surrounding area, limiting access to some of the basic needs of its inhabitants.

Map 8. Immediate context and distribution of the Nueva Jerusalén Residential Complex.



Source: Own elaboration from satellite images.

Regarding the project, it consists of 11,984.5 square meters, accommodating 56 houses of 44.1 square meters each. Their typology corresponds to one-level, semi-detached houses, distributed in four blocks. The residential complex has green areas and playgrounds, as well as space for communal facilities. The project does not break with the morphological irregularity of its immediate context and maintains its distribution as small-size parcels, which are not regular, throughout the project.

San Martín Residential Project

San Martín Condominium is located in the San Antonio district of the Belén canton, province of Heredia. It is comprised of 40 houses and was developed to provide housing for the families of the community of Belén, who were being affected by the overflow of the Quebrada Seca River and landslide events that occurred in the hill slope of the sector known locally as the La Ribera de Belén. This project was developed by Construcciones Modulares S.A., in 2015, who constructed one and two-level single-family houses under the figure of a condominium.

The urban center of the canton of Belén has an unconventional layout due to its elongated configuration. It is made up of rectangular blocks wherein are located the church and central square, crossed by primary roads, in an east-west direction, and by secondary roads from north to

Figure 5. Photograph of the San Martín Residential Project

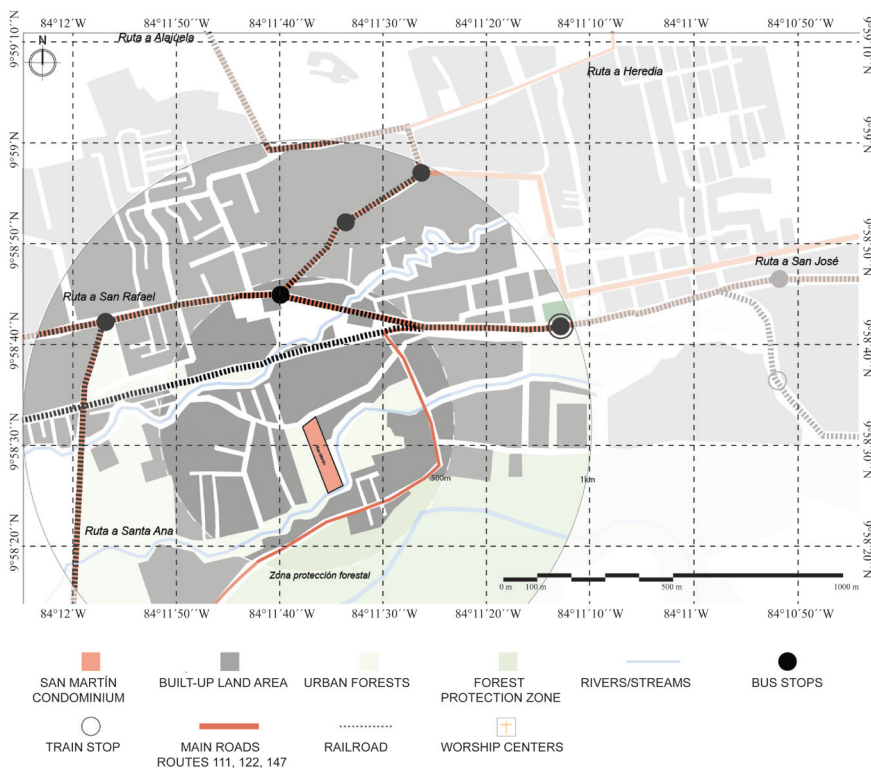


Source: BANHVI.

south. The structures of the initial layout have coexisted with subsequent planned layouts, maintaining a certain balance between old and new geometries. This grid is quickly lost when moving away from the urban center and, although San Martín Condominium is located within this centric high-density area, its shape is not the traditional quadrant.

Regarding land use, this sector being centric is characterized by possessing mixed-used zoning; it offers diversity of facilities, services, commerce and industry. In the vicinity of the project there are also care centers and educational centers of various types, and the protection zones of the Pirro River provide the sector with an extensive strip of green areas (see Map 9).

Map 9. Surroundings of the San Martín Residential Project.

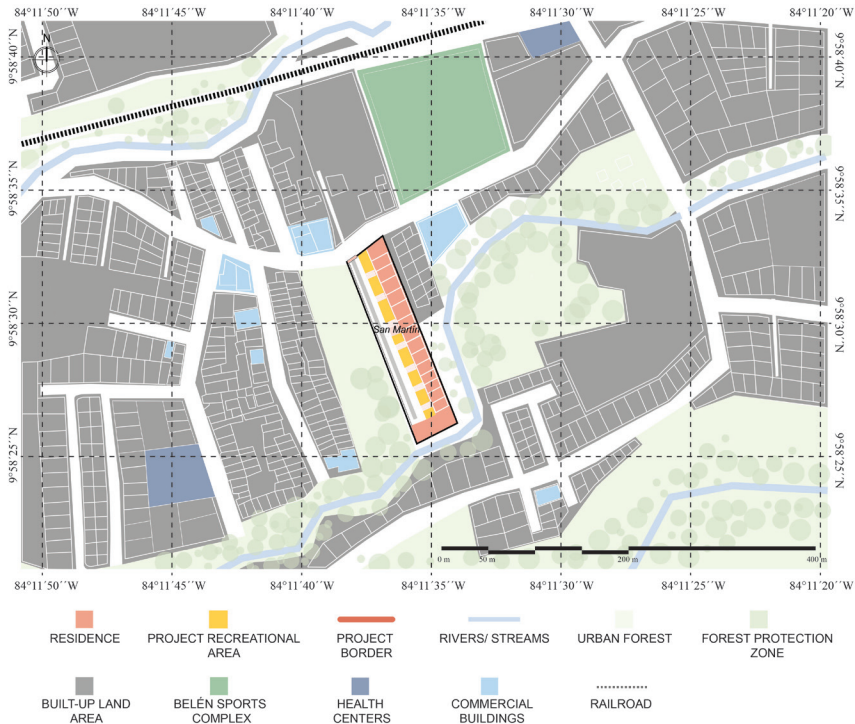


Source: Own elaboration from satellite images.

The housing density around the project's context has not been greatly altered in the past 10 years, incorporating only a few new housing developments in its surroundings. Nor have the road axes been modified, thus the morphology has undergone little transformation in the last decade. Namely, urban development has maintained continuity in terms of form, and the construction of the San Martín Condominium has not represented a break in that trend.

Secondary roads that branch off from the main axis are limited by the presence of the Pirro River and the irregular topography of the zone, which has conditioned the urban configurations developed in the area. These fluvial axes represent barriers in the urban continuity and contiguity of the sector. In addition, the irregularity of the roads that lead to different residential communities and condominiums in the area create limited road redundancy, affecting connectivity.

Map 10. Immediate context and distribution of the San Martín Residential Project.



Source: Own elaboration from satellite images.

Regarding the design of the residential complex, it stands out that the houses are distributed in a linear manner, parallel to the main street within the complex which leads to and ends at the stream. The complex offers two play areas for children and only contemplates one type of house of 49.2 square meters and built using a masonry construction system.

Las Brisas II Residential Project

Las Brisas II Condominium is located in the community of Dulce Nombre in the canton of La Unión, province of Cartago. The development of the project was undertaken by Fundación para la vivienda rural Costa Rica-Canada, which worked together with the Municipality of La Unión. This project is the result of the completion of the second stage of a larger project. The first stage was carried out between 2003-2008 and consisted of providing housing to 172 families residing in that area since 1989. These people came mainly from the sectors of Los Guido in Desamparados and El Alto del Carmen in Dulce Nombre de La Union.

In 2002, an informal settlement was erected in the project's sector destined for the green and recreational areas. The second stage was proposed as a housing solution for those families who inhabited the informal settlement thus giving rise to the Las Brisas II Condominium Project. The project was completed in 2019 and provided housing to 156 families in dire need.

Based on a cartographic analysis, it is observed how the area where the project is located is characterized by having an irregular topography due to its proximity to the Central Mountain Range of Costa Rica, known locally as the Cordillera Central. Additionally, this sector has four natural borders: to the north it adjoins a Forest Protection Zone, to the east and

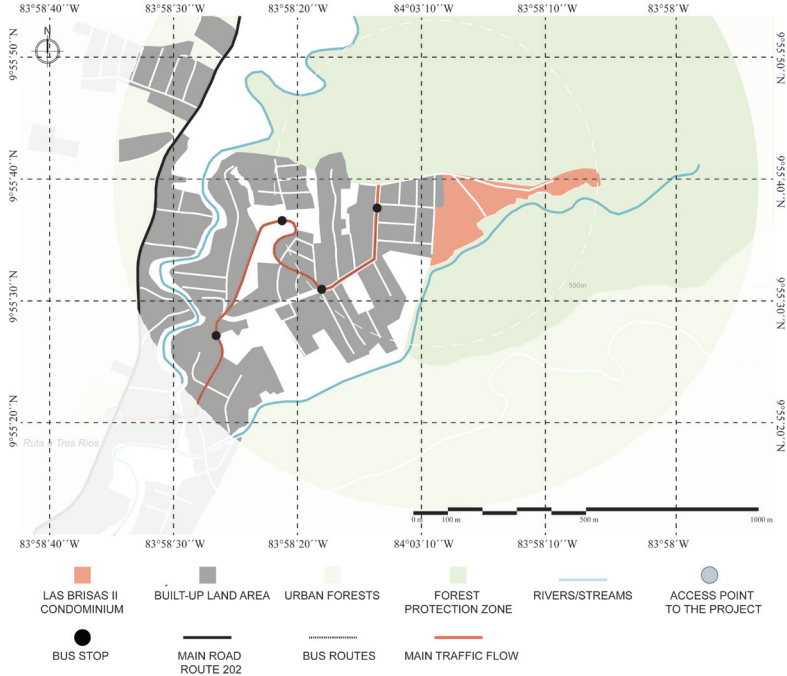
Figure 6. Photograph of the immediate context of the Las Brisas II Condominium



Source: Andrés Mora (2020).

south there exists an important depression towards the El Cantillo Stream, and to the west lies the Tiribí River which divides the neighborhood in two sections (see Map 11). Such conditions have affected the growth of the urban fabric, which has followed an irregular development. An initial urban layout was not defined, rather it was created on the go as the community grew.

Map 11. Surroundings of the Las Brisas II Residential Project.



Source: Own elaboration from satellite images.

An organized road hierarchy was identified initiating from a main axis that crosses the neighborhood from west to east, from which secondary roads are organized, thus creating poor road redundancy that limits the access to different services and commerce. This main axis permits traffic flow continuity to the main urban center of Tres Ríos, located at a distance of three kilometers.

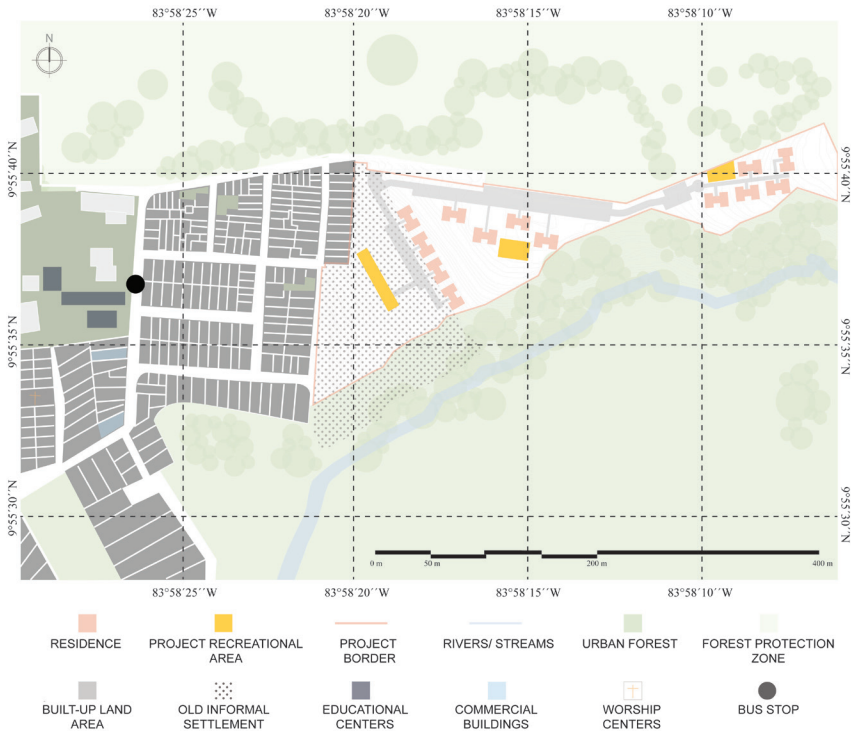
This branched road configuration derived from the main axis, creates an irregular morphology, where small-size plots predominate, exhibiting residential typologies of one or two-levels, in accordance with municipal guidelines established in the Zoning Ordinance Plan (known in Costa Rica as Plan Regulador) for Low Density Residential Zone with slight urbanization activity.

Although few facilities are located within a radius of 1 km—educational, health and religious centers— it is notorious the absence of urban facilities such as public spaces, parks and recreational spaces. It is worth noting that, due to the steep slopes found throughout the different sectors

of this area, accessible pedestrian mobility is quite limited for the entirety of its residents.

In terms of connectivity and contiguity, it stands out that the project has a perimeter fence and a single access, which connects it to the immediate context. Likewise, the irregular topography of the project's sector creates a natural division with the rest of the neighborhood. The internal configuration of the project adapts to the natural topography of the site and its location on the hill endows the project with a dominance over the visual scenery and surrounding urban landscape.

Map 12. Immediate context and distribution of the Las Brisas II Condominium.



Source: Own elaboration from satellite images.

Las Brisas II Condominium, being a housing complex located at a higher altitude and possessing a larger footprint, breaks with the continuance present in the zone and with the irregular morphology and small-sized

plots characteristic of the neighborhood. Furthermore, due to the fact that it is a gated condominium, it interrupts the accessibility and connection to the rest of the surroundings, which reaffirms its condition of isolation or disconnection with its context.

Results

The analysis of the social housing projects selected for study showed relevant results, both individually and comparatively.

Following [Lynch's \(1961\)](#) classifications, it is noticeable that most of the studied projects are located in dispersed sheet pattern surroundings with fine and irregular grain, with expansive growth towards the peripheries. It is recognized that, in terms of the morphological continuity of the contexts surrounding the projects, in the cases of Nueva Jerusalén and San Martín, their presence does not substantively modify the morphological structures already existing thereabout. It was possible to detect that they maintained pre-existing road axes and adapted to the urban grids of their immediate context, so that their development did not signify a major impact at the physical-spatial level. On the contrary, the Las Anas and Shikaba projects interrupt the existing urban layout with notable impacts on their contexts. The breakaway from the irregular structure pattern is mainly due to the insertion of large pieces possessing perimeter enclosures (i.e., walls and fences) and by virtue of the internal organization of the project itself, which contrasts with the surroundings.

In the case of the Las Brisas II Condominium, there is also no continuity given to the architectural language and urban form of the context where the project is inserted whilst the geographical features condition the possible connections with its surroundings. The housing typology is also a disruptive factor, as the project is organized from vertical housing cores that interrupt the one or two-level single-family house typology that already existed in the surroundings.

The interruptions generated at the morphological level respond mainly to three circumstances: 1. Specific requirements of the developments administered under the figure of a condominium complex, 2. The compulsory optimization of space given the different natural conditions of the sites and 3. The lack of planning relative to the contextual relationship of the project.

It is interesting to note that the projects that break the morphology of the immediate context are those located in neighborhoods that grew irregularly. There is an attempt to regulate morphology through urban designs that follow a structured logic instead of continuing the growth that was already taking place.

According to Roy (2013), this could respond to the view that the informal, within urban theory, is seen as deregulated or irregular. This idea of irregularity is influenced by an imaginary, conceived from the formal point of view, which turns the informal into something thought of as peripheral and secondary (Laguerre, 1994). This imaginary of illegality and of the survival of the poor and marginalized, makes neighborhoods that are conceived in this way, try to be “corrected”.

When assessing the contiguity of the urban structure, and mainly of the options and activities based on land uses, present in the study areas, it is possible to identify a notorious spatial segregation in several of the case studies, as well as elements that prevent an adequate connection between residential and mixed-use zones that offer a greater range of services and facilities. Most of the projects do not possess a diverse portfolio of activities within their immediate context; that is, there is a limitation of social, economic and urban activities. Indeed, an important pondering factor considered in the quality of urban life is the proximate access to basic services and facilities, taking into account access in terms of time, distance and quality (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2008).

Additionally, due to the treatment given to the borders of the projects, there is a negation of the external space, mainly brought upon by the walls and fences that surround the developments and the presence, in several projects, of a single access point. Neither of those features facilitate the possibility of residents walking to services and facilities which is important activity as it encourages social interaction and appreciation of the urban surroundings and promote increase participation, volunteering, social health and a sense of community (Pozueta, Lamiquí & Porto, 2009).

Despite the fact that most of the residential complexes studied are located close to commercial points and main roads, their potential to merge with external social dynamics and development is lost. Also, the proximity to public transportation systems is affected by this morphological arrangement. Projects such as Las Anas, Nueva Jerusalén and Las Brisas II have

few public transportation options for their residents to easily mobilize to commercial or recreational spaces.

The urbanization model under the figure of a gated community is generating a series of externalities, for example, the impact on road redundancy, reduction of public spaces, increased perception of insecurity and increased residential segregation (Pujol, Sánchez & Pérez, 2011; Barrantes, 2019).

Gehl (2010) highlights the importance of ‘soft edges’ between public and private space, as a space of opportunity to activate streets and sidewalks, which is where much of urban life takes place. From the study of these social housing (VIS) cases, it can be verified that urban problems derived from the developments of self-contained housing communities, so-called “gated communities”, vastly examined in middle and upper class socioeconomic contexts, are repeated in a similar manner in the analyzed social housing projects (i.e., low-income class); socio-spatial effects are also analogous.

From the analysis of plot subdivision, and therefore of the structure of land use, the study of construction elements themselves, as well as of the housing community and the distribution of services and infrastructure, it is evident that the models followed in the areas where public housing projects are being constructed, are inadequate and condemn the developments to probable deficiencies upon an increase in population density or expansion of residential areas, as well as a deterioration in the quality of life of its residents. The latter situations are consequences of the practiced subdivision of plots and the poor provision of infrastructure that condemn these areas almost exclusively to residential use.

The comparisons made on the changes at the morphological level created after the construction of the projects, revealed that these developments have not contributed to urban integration or contiguity, they have missed opportunities to improve the problems of socio-spatial segregation, and have increased traffic burden on the road system, without major contributions to its redundancy.

Conclusions

The findings of this investigation allow the promotion of reforms on the current procedures followed for the construction of social housing, especially to improve the articulation of such projects within the existing city and, therefore, the benefit the quality of life of its residents.

The designs of the studied projects do not propose strategies to promote greater heterogeneity in terms of services and commerce, but rather limit their land use to residential zones along with their mandatory recreational spaces. However, such ineffective characteristics respond to the demands of existing legal regulations, and the impossibility of promoting greater urban variety. Furthermore, the small size of the parcels existing in the sectors, also limit the options for services, commerce and facilities, thus affecting the urban variety.

The foregoing discussion highlights the importance of conducting more detailed studies in future contributions in this line of work, to identify the relationships among the size of parcels, land values and urban centralities of each sector. A greater analysis of the characteristics of the urban structure where the residential complexes are being inserted would facilitate projecting the possible development and diversification of activities within a given area.

The topographic and orographic characteristics of candidate construction sites must be evaluated in greater detail, it does not suffice to solve for the infrastructure of the housing complex and its adaptation to the surroundings. Existing natural elements create important barriers that affect urban continuity and contiguity and constitute conditioning factors for the type of growth and configuration of our cities, also affecting the way in which its inhabitants mobilize.

A greater analysis of road axes from a transport-oriented development approach would make possible a better understanding of the areas of growth and expansion where such high densely populated projects, and the required accompanying infrastructure, should be located. Adequate project siting can translate in reduced transportation costs and greater accessibility to facilities.

It is important to contemplate the needs of the neighborhoods and its residents as early as the planning and design stages of the projects, and to allow for spaces that promote commerce in its different manifestations, while admitting diversification of activities within urban spaces as it is recognized that modern cities benefit from these multiplicities and heterogeneities (Roy, 2013).

The results of our analyses suggest that the government institutions and private companies commanding the development of social housing,

continue to design based on a model of self-contained housing communities (gated communities) which keep residential complexes and their inhabitants isolated from the context. The projects are not having a positive impact on their surroundings due to the absence of an integral continuity that would support the creation of activities to diversify the dynamics of the context.

According to [Jiménez \(2017\)](#), in recent decades, Costa Rica has been implementing a city archetype that has fragmented the urban space, promoted segregation and increased social inequalities.

In line with the teachings of [Capel \(2002\)](#), the morphological study can have important repercussions on normative aspects, because "...the design of the city can be improved from the morphological analysis by better understanding the behavior of the component elements and the processes of transformation of the city" (p. 22).

In this sense, the active participation of the municipalities, on account of their Zoning Ordinance Plans, becomes essential for approaching these social housing projects, as they determine factors that can translate into a good quality of life. Further, [Harvey \(2014\)](#) argues that changes and improvements in urban infrastructure executed exclusively by contractors will, in most cases, be governed by specific purposes that gravitate around maximizing economic revenues by the commercialization of lots, and may not necessarily have the true well-being of the project's inhabitants in mind.

In conclusion, the study highlights the need to carry out comprehensive work between the private sector, foundations, BANHVI, INVU, project residents and local governments (i.e., municipalities), to ensure that social housing projects have permeable designs that avoid the promotion of physical and social segregation in the territories where they are located.

Municipal Zoning Ordinance Plans should contemplate the layout of new elements, providing instructions so that the site is configured in such a way as to ensure the adequate integration with the built environment and maximize comfort, security and attractiveness ([Pozueta, Lamiquíz & Porto, 2009](#)).

Considering the socioeconomic situation of the residents of these types of projects, it seems necessary to include other land uses in addition

to the already granted residential use, and to promote greater accessibility and proximity to public transportation, pedestrian breathability and immediate access to the most basic services.

The preparation of these kinds of studies are important because they allow us to understand the incidence of these types of projects upon a given urban environment and, therefore, the habitability of the project itself. Additionally, they enable a better understanding and consideration of the strategies necessary for the improvement of urban structures, transport networks and spatial structure (Aguilar, Ajiaco & López, 2011).

Finally, understanding the type of residential complex that will be constructed and the morphology of the construction site are essential to visualize how the project will function in the future to guarantee a positive impact both on the surroundings, and the quality of life of its residents.

References

- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2008). *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla*. Barcelona.
- Aguilar, C. A., Ajiaco, D. A., & López, L. F. (2011). *Lo urbano de la economía espacial: Una aproximación teórica*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia. Recuperado de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000260.pdf>
- Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. (vol. 5). Harvard University Press.
- Barrantes, K. (2019). Barrios ‘conviviendo’ con comunidades cerradas: entre el miedo y la segregación. Caso de la GAM-Costa Rica. *REVISTARQUIS*, 8(2), 66-76. <https://doi.org/10.15517/ra.v8i2.37923>
- Capel, H. (2002). *La morfología de las ciudades. Sociedad, cultura y paisaje urbano*. Barcelona: Serbal.
- Christaller, W. (1933). *Die zentralen Orte in Süddeutschland: eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmässigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen*. University Microfilms.
- Colegio Federado de Ingeniero y Arquitectos. (2013). *VIII Auditoría de Vivienda de Interés Social*. San José, Costa Rica.

- Gehl, J. (2010). *Cities for People*. Washington: Island Press.
- Gómez A., Guillen, D. & Salas, G. (2018). Morfología, vida urbana y segregación socioespacial: La Carpio, San José, Costa Rica, 2017. *Revista Geofacies*. Recuperado de: <https://medium.com/revista-geofacies/morfolog%C3%ADa-vida-urbana-y-segregaci%C3%B3n-socioespacial-la-carpio-san-jos%C3%A9-costa-rica-2017-c35749104445>
- González, I. (2000). La variedad urbana: Una condición necesaria para la calidad de vida en la ciudad. Documentación social. N° 119: *Ciudades habitables y solidarias*, (119), 115-136.
- Hall, C. (1974). La Jerarquía Urbana de Costa Rica: Una Consideración de la Aplicación de Modelos Geográficos. *Revista Geográfica De América Central*, 1(1), 25-48. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2051>
- Harvey, D. (2014). *Cidades Rebeldes: Do direito a cidade à revolução urbana*. David Harvey; tradução Jeferson Camargo. – São Paulo: Martins Fontes – selo Martins.
- INEC. (2011). *Censo de Costa Rica 2011*. Recuperado de: <http://www.inec.go.cr/censos/censos-2011>.
- Jiménez, A. (2017). La ciudad como límite: crítica a un modelo de ciudad latinoamericana. *La Brecha*, 3(4), pp. 93-98.
- Laguerre, M. S. (1994). *The Informal City*. In *The Informal City*. https://doi.org/10.1007/978-1-349-23540-7_1
- Lynch, K. (1961). The pattern of the metropolis. *Daedalus*, 90(1), 79-98.
- Maki, F. (1964). Investigations in collective form. *The School of Architecture*.
- Martínez, E. (2003). Necesidades colectivas y desarrollo urbano. La planificación urbana en la perspectiva morfológica de Maurice Halbwachs. *CIUDAD Y TERRITORIO Estudios Territoriales*, XXXV (138), 617-638.
- Municipalidad de Desamparados (s.f.). *Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón de Desamparados, San José, Costa Rica*.
- Munizaga, G. (2000). *Diseño Urbano: teoría y método*. Universidad Católica de Chile.
- Oliveira, V. (2013). Morpho: A methodology for assessing urban form. *Urban Morphology*, 17(1), 149-161.

- Pozueta, J., Lamiquí, F. & Porto, M. (2009). *La ciudad paseable: recomendaciones para la consideración de los peatones en el planeamiento, el diseño urbano y la arquitectura*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- Pujol, R., Sánchez, L. & Pérez, E. (2011). La segregación social como determinante del desarrollo urbano. *Ciencias Económicas* (29), 445-477.
- Quesada, F. (2014). *La modernización entre cafetales*. San José, Costa Rica, 1880-1930.
- Roy, A. (2013). Las Metrópolis del Siglo XXI. Nuevas Geografías de la Teoría. *Andamios: Revista de Investigación Social. México* (22), 149-182.



Identificación de interacciones espaciales asociadas con el culto al Cristo Mojado en la iglesia de Santa Cecilia en Los Ángeles, California, Estados Unidos

Identification of spatial interactions associated with the worship to *Cristo Mojado* (*Wetback Christ*) in the Saint Cecilia Catholic Church in Los Angeles, California, United States

*Leonardo Daniel Rosas Paz*¹



Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México

*Enrique Propin Frejomil*²

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México

Resumen

En el año 2003, migrantes de origen centroamericano, trasladaron de manera indocumentada a la ciudad de Los Ángeles, California una réplica del Señor de Esquipulas, un Cristo de tez oscura de origen guatemalteco, quien a partir de ese hecho sería reconocido, también como Cristo Mojado. Con su llegada a la Iglesia de Santa Cecilia, la devoción a la imagen se expandió entre otros sectores de la población, quienes comenzaron a articular relaciones sociales y espaciales cuyo impacto es perceptible en distintos niveles geográfico-escalares. En este contexto, este trabajo hace uso de la teoría de la interacción espacial, para explicar lo anterior y emplea un diseño de investigación cualitativo para evidenciar, a través de la indagación descriptiva-explicativa, la importancia espacial del culto. Para ello, se usaron instrumentos de recolección de información, tales como entrevistas semi-estructuradas con informantes clave y observación participante, en la fiesta patronal de enero de 2018 y análisis de redes sociales. Los hallazgos señalan que, el culto al Cristo Mojado, genera

- 1 Doctorante en Geografía. Posgrado en Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad México (CDMX), México. Correo electrónico: leonardodaniel@outlook.com  <https://orcid.org/0000-0003-3606-1916>.
- 2 Doctor en Geografía. Investigador Titular "A" de Tiempo Completo del Instituto de Geografía, Departamento de Geografía Económica, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad México (CDMX), México. Correo electrónico: propinfrejomil@jgg.unam.mx  <http://orcid.org/0000-0002-1650-1032>.

interacciones espaciales a corta y larga distancia, producto del movimiento cíclico de bienes materiales, personas e información.

Palabras clave: interacción espacial, religión, Cristo Mojado, Señor de Esquipulas, Los Ángeles.

Abstract

In 2003, migrants of Central American origin, illegally relocated to the city of Los Angeles, California, a replica of *Señor de Esquipulas*, a dark-skinned Christ of Guatemalan origin, which from then on came to be recognized as *Cristo Mojado* (translated as *Wetback Christ*). With its arrival at the Saint Cecilia Catholic Church, devotion to the image spread among other sectors of the population, who began to articulate social and spatial relationships whose impact is perceptible at different geographic-scalar levels. In this context, the present work makes use of the theory of spatial interaction to explain the above phenomenon and uses a qualitative research design to evidence, through descriptive-explanatory inquiry, the spatial importance of worship. Accordingly, information collection instruments, such as semi-structured interviews with key informants and participative observation, were employed during the patronal festival, celebrated in January 2018, and for the analysis of social media. The findings indicate that worship to *Cristo Mojado*, creates short- and long-distance spatial interactions, as a consequence of the cyclical movement of material goods, people and information.

Keywords: Spatial interaction; Religion; *Cristo Mojado*; *Señor de Esquipulas*; Los Angeles (California).

Introducción

Desde su construcción en 1927, la Iglesia de Santa Cecilia en Los Ángeles, ha sido centro magnético espiritual de grupos sociales heterogéneos, aunque fue hasta la década de 1970, cuando se visibiliza como centro de culto preferencial de migrantes provenientes de México y Centroamérica, en particular de aquellos que decidieron establecerse en la porción sur y suroccidental de Estados Unidos.

En la actualidad, el recinto religioso reúne a distintas comunidades latinoamericanas organizadas en torno a imágenes representativas de sus lugares de origen; el magnetismo espiritual propiciado por cada una de ellas, lo cual genera una dinámica espacial que involucra diferentes lugares, servicios y actores sociales. Una de las más representativas es la del Cristo Mojado, una réplica del Cristo Negro de Guatemala, llevada de manera indocumentada a Estados Unidos por la Fraternidad de Esquipulas, integrada principalmente, por migrantes de origen guatemalteco, en el año 2003.

Dada las circunstancias que mediaron en el arribo a la Ciudad de Los Ángeles y los esfuerzos realizados por la Fraternidad, actualmente existe una preferencia espacial por parte de los visitantes hacia esta imagen,

respecto a otras existentes en el recinto e inclusive, respecto a otras réplicas del Cristo de Esquipulas distribuidas en el suroeste de Estados Unidos. A partir de ello, emerge un intercambio cíclico de bienes tangibles e intangibles que trasgrede las fronteras nacionales y se desarrollan una serie de prácticas sociales, cuyo impacto es perceptible en mayor o menor medida en distintos niveles escalares.

En el contexto referido, la presente investigación tiene como objetivo revelar la importancia geográfica del culto, a través de la identificación de interacciones espaciales asociadas con la devoción al Cristo Mojado de la Iglesia de Santa Cecilia en Los Ángeles; para tal fin, se empleó un diseño de investigación cualitativo, basado esencialmente en la descripción de la triangulación de información primaria de actores sociales locales, vinculados con el culto a la imagen referida y a la observación participante, realizada en la fiesta patronal de enero de 2018.

Posiciones cognoscitivas

Una de las preocupaciones de la sociedad, ha sido entender las relaciones geográficas entre lugares, sea para medir un flujo migratorio o peregrinación, seguir una ruta comercial o planear un viaje recreativo; esta perspectiva cognoscitiva, la teoría de la interacción espacial (TIE) se erige como un medio para entender los nexos espaciales generados por actividades humanas (Propin, 2003; Wilson, 1971).

Considerada como esencial en la organización del espacio geográfico (Maturama, Poblete & Vial, 2012), la TIE aborda aquellos fenómenos de interdependencia espacial como un sistema de relaciones, en donde las localizaciones o sitios, las distancias y los vínculos o flujos, desempeñan un rol importante en la definición de espacios funcionales (Buzai, 2010).

Los principios sobre los que se sustentan las aproximaciones realizadas de la TIE pueden rastrearse en por lo menos, dos trabajos escritos durante la segunda mitad del siglo XIX: el primero elaborado por Henry Carey en *Principles of Social Science* en 1858 (Fotheringham, Brunson & Charlton, 2000), que destaca la importancia de los flujos de población entre lugares y el segundo es un escrito realizado por Ernest Ravenstein en 1885, quien plasmó en *The laws of migration*, los resultados obtenidos a partir de la observación empírica de intercambios migratorios, mediante los cuales formuló algunas leyes relacionadas con el movimiento de

personas, tomando como sustento principal la distancia entre los lugares involucrados, así como otros elementos, tanto económicos como sociales, que influyen en el desplazamiento (Arango, 1985; Ghosn, Kassie, Jouglá, Rican, & Rey, 2013).

A partir de los trabajos anteriores y en función de los paradigmas dominantes en el contexto histórico en que fueron generados, los académicos han propuesto diversos modelos para señalar los procesos de relación entre lugares, tomando como base tres tipos de movimientos: 1) los procesos de recepción o atracción, 2) los procesos de expulsión o empuje (dispersión o difusión) y 3) los procesos de retroalimentación, igualación o mediación.

En todos ellos, el foco de atención es el desplazamiento o intercambio entre lugares producto de una motivación determinada, que se analiza a partir de la consideración de otros factores, asociados al mismo como la cantidad de personas desplazadas, la distancia, el tiempo, la dirección, los patrones de movilidad, entre otros (Celemín, 2009a, 2009b).

Con base en esos principios, surgieron distintos modelos interpretativos, que van desde las posiciones que se sustentan en concepciones cuantitativas derivadas de la teoría de grafos y las leyes de la gravitación universal, donde el espacio se concibe como un ente isotrópico (Reilly, 1931; Ullman, 1954; Boisier, 1980; Cattán, Pumain, Rozenblat, & Saint-Julien, 1999), hasta aquellas donde se prioriza el análisis basado en técnicas de corte cualitativo y mixto, donde la interacción espacial no se analiza en función de un espacio restringido a sus características físicas, sino en las relaciones de índole económico, político, cultural, histórico y simbólico que se materializan en él (Blumer, 1969; Ortega, 2000; Santos, 2000; Pardo, 2012).

Para estas últimas perspectivas, al analizarse las interacciones como procesos sociales, se considera que las mismas son mayores o menores en función de su temporalidad; mientras que para algunos casos la recurrencia de las interacciones mantendrá cierta continuidad, como pudieran ser los flujos de personas a un recinto religioso (donde la motivación será simbólica y en donde las fechas de importancia espiritual marcadas de manera cíclica en el calendario litúrgico incidirán en la magnitud de las relaciones en el transcurso del año), para otros la recurrencia será más limitada y, en ocasiones, efímera (Rosas & Propin, 2017).

Asimismo, es posible realizar una aproximación de la TIE, no solo trazando y midiendo la intensidad y frecuencia de los desplazamientos en una ruta, red o circuito, sino mediante la interpretación del significado, que éstos tienen para las personas. Con ello, se puede establecer un puente entre el investigador, los símbolos y subjetividades materializados en el espacio (Hirai, 2012).

A partir de ello, la interacción espacial puede llegar a aprehender los factores tangibles e intangibles, las instituciones y grupos sociales que se vinculan en estos procesos; esta perspectiva cognoscitiva, también se ha utilizado para el análisis histórico-territorial (Rihll & Wilson, 1987).

En el caso de las relaciones de movimiento detonadas por cultos religiosos, es necesario hacer énfasis en algunos elementos particulares como:

- El valor que las personas atribuyen al espacio como una categoría, en la que se circunscriben tradiciones, costumbres, memoria histórica, rituales, representaciones, concepciones, creencias y otras formas de organización social, cimentadas en el contenido emocional de la sociedad (Romano, 2004), que se construyen a partir de lo que las personas experimentan, perciben e imaginan en su espacio mediante su producción y reproducción social (Harvey, 2004).
- Los vínculos tejidos a partir de la religión trasgreden fronteras y también, generan vínculos, especialmente a partir de las relaciones que sostienen las personas que por alguna razón, tuvieron que migrar con respecto a sus lugares origen. A raíz de esto, existe un intercambio de bienes y servicios, reflejado en elementos como el mercado nostálgico, las transferencias unilaterales como las remesas, los desplazamientos en medios de transporte aéreo o terrestre y la comunicación mediante tecnología digital (Márquez, 2012).

Estos movimientos son una suerte de procesos transnacionales mediante los cuales "...los inmigrantes forjan y mantienen múltiples relaciones sociales simultáneamente entrelazadas, que unen sus sociedades de origen y las sociedades de asentamiento" (Glick-Schiller, Basch, & Blanc-Szanton, 1995, p. 48); en este sentido, los migrantes transnacionales han empleado a la religión en la creación de nuevos espacios, a través de los cuales establecen una conexión con sus lugares de origen, donde además

de generar un sentido de pertenencia o identidad, crean y fortalecen lazos, a partir de los ritos y creencias que llevan consigo y que enriquecen con su experiencia el lugar de acogida (Levitt y Glick-Schiller, 2004, p. 1027).

Es por esta causa, que diversos símbolos religiosos son usados como estandartes, especialmente mediante aquellas figuras que en el imaginario colectivo son considerados santos patronos (Odgers, 2007); la misma fuente, los refiere como figuras que en el contexto de la migración hacia Estados Unidos, representan la intervención divina que necesitan los migrantes para poder cruzar y mantener vínculos; algunos están plenamente asociados al imaginario migratorio latinoamericano, como el caso de Santo Toribio de Romo y Juan Soldado, mientras que otros son reconocidos como parte de la cultura local de los migrantes, como la Virgen de Guadalupe o el Señor de Esquipulas.

La devoción a estas imágenes permite construir faros o anclajes dentro de un territorio dinámico. Lejos de representar la reproducción de una práctica tradicional, los santos patronos reflejan una compleja forma de articulación de los distintos niveles espaciales, mientras se resignifican en el proceso (Odgers, 2007).

Contexto histórico-geográfico del culto al Cristo Mojado

El culto al Cristo Mojado es producto de varias historias, que se cruzan en algún punto de una línea de tiempo, cuya cronología involucra además del registro de las fechas, los hechos y los personajes significativos vinculados con el culto; ello significa la interrelación, a menor o mayor distancia, entre lugares.

En su conjunto, concebir al fenómeno de estudio como el resultado de un proceso espacio-temporal, provee un panorama más amplio que realza su singularidad. De forma resumida, los hechos más trascendentes que motivaron el desarrollo del culto al Cristo Mojado, en el recinto de Santa Cecilia, se presentan a continuación.

El primer hecho a considerar es el acontecimiento histórico-fundacional de la imagen en Guatemala, en 1594, los habitantes de la comunidad de Esquipulas, localizada en lo que hoy es el triffinio guatemalteco colindante con Honduras y El Salvador, financiaron la talla de un Cristo en madera de cedro con una altura de vara y media de tamaño esculpida por el escultor portugués Quirio Cataño (García, 1954).

La imagen llegó a Esquipulas, el jueves 9 de marzo de 1595 y fue colocada en una pequeña ermita construida con paja, que conforme paso el tiempo se volvió insuficiente para albergar a las personas, que anualmente se daba cita para ver al que sería reconocido, más tarde como el Señor de Esquipulas (López, 2010). Es por esta causa, que la imagen se traslada a la Iglesia de Santiago de los Caballeros en 1620 y posteriormente, a la Basílica, que la resguarda actualmente, inaugurada el 6 de enero de 1759.

La tez oscura que caracteriza al Cristo ha sido motivo de controversia, ya que se ha asociado a hechos que van desde lo sobrenatural y milagroso, hasta la propia intencionalidad de Quirio Cataño para señalar su empatía con el color de la piel de los pobladores de la región. La versión más aceptada en la actualidad, refiere a que el humo de las velas y el incienso a los que estaba expuesta la imagen, la obscurecieron con el transcurrir del tiempo (Navarrete, 1999).

A partir de su creación y debido a su localización en un punto de confluencia de caminos, el culto se expande; en los primeros años hacia las provincias próximas y posteriormente, hacia territorios de los actuales Nuevo México y Texas, hacia principios de 1800 (Pacheco, 2005), siguiendo la “Ruta Real de Tierra Adentro” o “Camino de Santa Fe”, que unía a las provincias del sur, con las del norte de la Nueva España (Navarrete, 2013).

Por otra parte, la fundación de la Ciudad de Los Ángeles, se remonta hasta la creación de la Misión de San Gabriel Arcángel, en 1771 por el fraile franciscano Junípero Serra. Primeramente, bajo dominio de la corona española y posteriormente, en 1781 como "El Pueblo de Nuestra Señora la Reina de los Ángeles del Río de Porciúncula" (Barrows, 1899), incorporándose a la Unión Estadounidense como municipio hasta el 4 de abril de 1850, cinco meses antes de que California alcanzara la categoría de Estado de los Estados Unidos (Los Ángeles County, 2014).

Llegado el siglo XX, paralelamente a la llegada de católicos procedentes de Europa y en menor medida hasta ese momento de México y América Central, se da el crecimiento paulatino del catolicismo en la Ciudad de Los Ángeles. En la sección sur de la ciudad se gesta la idea de construir una Iglesia por parte de Monseñor Conaty, quien designa al reverendo Paul Dillon como rector de este recinto.

El nombre otorgado al mismo fue Santa Cecilia, en honor a una noble romana convertida al cristianismo y martirizada por su fe, entre los años 180 y 230, reconocida como Patrona de los Músicos. La Iglesia nació de la necesidad de sufragar la demanda de los fieles católicos en el sur de Los Ángeles, que habían crecido considerablemente durante esos años. Así, la primera misa celebrada, antes incluso de la inauguración formal del primer recinto de Santa Cecilia, se celebró el 19 de diciembre de 1909, durante el Cuarto Domingo de Adviento ([St. Cecilia. Org., s.f.](#)).

Para diciembre de 1919, el reverendo Edward H. Brady asumió el cargo de pastor en Santa Cecilia y lideró los esfuerzos para la construcción de un nuevo espacio que pudiera albergar a la creciente comunidad católica de las inmediaciones del sur de Los Ángeles y que es el que cobija al Cristo Mojado actualmente (Figura 1). El proyecto fue aprobado en marzo de 1926, con un costo estimado en aproximadamente 225 000 dólares y fue inaugurada el 20 de noviembre de 1927, con un altar mayor tallado en piedra de Caen francés, con una capacidad de 1000 lugares; cifra que se conserva hasta la actualidad ([Los Ángeles Times, 19 de junio de 1927](#)).

A pesar de que Los Ángeles fue fundada en 1781 (originalmente como parte del Virreinato de la Nueva España) y que siempre hubo resquicios del pasado español en la Ciudad, no existió un vínculo sólido entre estos territorios. Fue hasta el siglo XX, que la presencia de grupos de migrantes de origen mexicano-centroamericano, llegados a Estados Unidos, mediante programas como el “Bracero” y los conflictos sociopolíticos en Centroamérica, cambia la imagen de la ciudad y la sitúa como punto de referencia de las relaciones entre este país con la migración hispana.

Figura 1. Localización geográfica de la Iglesia de Santa Cecilia en Los Ángeles, California



Fuente: Elaborado con base en Natural Earth (2017).

Ello tuvo un impacto positivo en el catolicismo, en esta zona. Durante la década de 1980, el número de feligreses de origen anglosajón comienza a decrecer, entre otras causas, por los escándalos de la Iglesia estadounidense, que afectaron también a la Iglesia de Santa Cecilia. Al llegar a las distintas ciudades estadounidenses y acercarse a las Iglesia, los católicos de origen centroamericano avivan los recintos e incorporan elementos de sus lugares de origen como imágenes religiosas y prácticas sociales colectivas, que generaron nuevas relaciones espaciales ([Fraternidad del Señor de Esquipulas, 2015](#)).

Estrategia metodológica

Para revelar la importancia geográfica del culto al Cristo Mojado en el recinto de Santa Cecilia, se utilizaron diversas técnicas cualitativas de investigación como “bola de nieve”, para identificar a los actores clave en el desarrollo de la devoción, entrevistas (semiestructuradas a devotos y a profundidad a actores claves y otros temporales que se asocian con la festividad anual de la imagen) y observación participante de baja interferencia. La información descriptiva acopiada, durante dos trabajos de campo, facilitó la sucesiva fase explicativa, que permitió identificar causas y circunstancias que median en el carácter multidimensional de las interacciones espaciales.

Con la finalidad de informar, en la perspectiva empírica y secuencial, la estrategia metodológica seguida, se resaltan los datos y acciones siguientes:

- Se realizaron dos trabajos de campo: en el primero, de carácter exploratorio, se llevó a cabo un reconocimiento de la Iglesia de Santa Cecilia y sus alrededores a finales de mayo y principios de junio de 2017; en el segundo, entre los días 10 y 21 de enero de 2018, se contactó a la Fraternidad de Esquipulas mediante su página oficial en la red social “Facebook”, para solicitar información respecto a la devoción al Cristo Mojado y ayuda para la visita a la Iglesia y concretar una entrevista a profundidad con alguno de sus miembros y devotos a la imagen; se obtuvo respuesta del vicepresidente de la Fraternidad, el mexicano-americano Edgar G. Mota quien en compañía de

su familia, fue uno de los responsables de llevar la imagen del Cristo a Los Ángeles.

- A partir del contacto con la familia Mota, se usó la técnica “bola de nieve” para identificar a otras personas importantes en el desarrollo histórico-espacial de la devoción al Cristo Mojado, como miembros de la Fraternidad de Esquipulas, el párroco y otros visitantes eventuales al recinto de Santa Cecilia.

Con todos ellos, se realizaron entrevistas a profundidad respecto a la devoción, el alcance geográfico de la misma y la experiencia que han tenido en torno a su participación en la festividad del Cristo el 15 de enero; asimismo, brindaron información o ahondaron en la historia de la imagen y en su importancia espacial, espiritual y cultural. Este tipo de entrevista, también permitió identificar a líderes de otros grupos de devotos al Señor de Esquipulas distribuidos en otros recintos católicos de la ciudad de Los Ángeles, como el organizado en torno a la Placita Olvera.

- Se realizaron entrevistas semiestructuradas a visitantes devotos al Cristo y abiertas a comerciantes, pintores de alfombras, danzantes y miembros de otras fraternidades religiosas, residentes en la Iglesia de Santa Cecilia como la de la Virgen de Guadalupe.

- Durante el día 14 de enero, se practicó la observación participante en misas realizadas en honor al Cristo Mojado, tanto en inglés como en español: en ellas, se observó una diferencia en asistencia y perfil social de los visitantes; también se tomó parte en la procesión y en un tramo del trayecto, se cargó en hombro (junto a otros participantes) el anda con la imagen: se observó que en el anda, hecha de madera se representaban pasajes bíblicos o vinculados a un tema específico relacionado con la imagen.

- En trabajo de gabinete posterior, se realizó una triangulación de la información reunida en campo, para refutar o aceptar los datos, se seleccionaron fotografías documentales relevantes y se elaboraron figuras temáticas inéditas y cuadros de síntesis con la información primaria reunida, cuya fuente hace referencia a su obtención en trabajo de campo.

Relato de la llegada del Cristo Mojado a la Iglesia de Santa Cecilia

De acuerdo con información brindada por miembros de la Fraternidad de Esquipulas, antes de la llegada del Señor de Esquipulas a la Iglesia de Santa Cecilia, (Figura 2) no había una comunidad sólida de latinoamericanos, especialmente de origen centroamericano, viviendo en los alrededores del recinto. Los más cercanos eran los de la comunidad, que rendía devoción a la Virgen de Guadalupe, pero incluso ellos estaban dispersos.

Figura 2. Iglesia de Santa Cecilia



Fuente: Trabajo de campo (2018).

Un hecho crucial en el posterior desarrollo del culto, fue la llegada de la familia compuesta por Guillermo y Ethel Palencia y sus hijas, a principios de 1990 y su ligamiento con la Iglesia de Santa Cecilia. Católicos desde sus días en su natal Guatemala, de inmediato tratan de acercarse al recinto donde encontraron el apoyo del Presbítero Luigi Zanotto, quien también desempeñaría un rol importante en el resurgimiento de la Iglesia, que había experimentado una merma en el número de asistentes.

Con su esfuerzo, la cantidad de fieles creció considerablemente en los años venideros, especialmente los de origen centroamericano, quienes comenzaron a comprar los predios aledaños a la Iglesia de Santa Cecilia. Para el año 2002, aunque el número de fieles había crecido con la llegada de los grupos de origen latinoamericano, la Iglesia aún tenía problemas de asistencia, por lo que el Padre Luigi Zanotto, hace el llamado a las distintas comunidades existentes en la Iglesia, para que trajeran a sus “Santos Patrones”, ofreciéndoles para ello, un espacio al interior del recinto.

Para que el Cristo de Esquipulas llegará a la Iglesia, en agosto de ese mismo año, el Padre Luigi se acercó al señor Guillermo y le manifestó que quería que él trabajara con la comunidad guatemalteca. Después de tomar la decisión de colocar una imagen del Cristo en la Iglesia de Santa Cecilia, comparten la idea con Verónica Turrís, devota asidua a la Iglesia de Santa Cecilia y comenzaron a juntar el dinero, con la finalidad de mandar a realizar una réplica de la imagen de bulto en Guatemala (entrevista a Guillermo Palencia, 2018).

Después de reunirse en casa de la familia Palencia, el señor Guillermo, la señora Verónica Turrís, el Padre Luigi Zanotto y el presbítero Xavier y otros miembros de la comunidad, que se había creado en torno al Señor de Esquipulas, fundan oficialmente el 12 de octubre de 2002, la Fraternidad de Esquipulas, cuyo primer objetivo fue traer el Cristo Negro desde Guatemala para la celebración del 15 de enero, día del Señor de Esquipulas, mediante el denominado “Proyecto de Fe”.

Una vez que se recaudaron los fondos, Verónica Turrís y Consuelo de Cobar, otra integrante de la Fraternidad, contactan al abogado guatemalteco José Luís Marroquín Girón, quien fue el intermediario con el escultor Moisés Yún, que realizó dos réplicas del Señor de Esquipulas, una de las cuales fue llevada a la Iglesia de Santo Tomas, localizada también en Los Ángeles, por lo que de cierta manera, está hermanado con el Cristo de Santa Cecilia.

Para que la fraternidad de Santa Cecilia llevara su Cristo hasta Los Ángeles, tuvo que lidiar con una serie de retos, tanto por el transporte como por la documentación necesaria para poder trasladarla de manera “legal” hacía Estados Unidos. La imagen viaja por tierra desde Guatemala hasta la garita fronteriza en Tijuana, pero como el autobús donde se trasladaba no tenía papeles, otro miembro de la Fraternidad, el señor Edgar G. Mota viaja desde Arizona hasta Tijuana en compañía de algunos miembros de la Fraternidad para recoger la imagen.

Al llegar, encontraron al autobús que transportaba al Cristo custodiado por la policía de inmigración. En palabras de Edgar Mota, la preocupación de ese día se hacía más grande debido a algunos de sus acompañantes carecían de papeles migratorios y tenían que trasladar pronto a la imagen, debido al inicio venidero de su celebración (entrevista a Edgar Mota, 2018).

Pese a ello, el señor Edgar tomó al Cristo y lo cruzó por la gari-ta fronteriza hasta su camioneta. Una vez ahí, el grupo inicia el camino de regreso hasta la Ciudad de Los Ángeles. Edgar describe ese momento como algo especial, pues las cosas se dieron de tal manera que los guar-dias fronterizos no los detuvieron y les abrieron el paso y tanto él como sus acompañantes, pudieron entrar y salir de Estados Unidos, sin ningún problema. Dentro del imaginario de las personas más allegadas a la fraternidad y de quienes conocen la historia, Edgar es considerado el “coyote” del Cristo, por haberlo cruzado hacia Estados Unidos (entrevista a Juan Carlos Briones, 2018).

La imagen llegó a la casa de la Familia Palencia, el 5 de enero de 2003 (Figura 3) y fue recibida por los miembros de la fraternidad; al día siguiente, fue llevada a la Iglesia de Santa Cecilia, para hacerle su novena (entrevista a Guillermo Palencia y Edgar Mota, 2018).

Figura 3. Llegada del Cristo Mojado, 5 de enero de 2003.



Fuente: Imagen proporcionada en trabajo de campo por Edgar Mota (2018).

El 15 de enero del año 2003, se oficia la misa en honor al Cristo, después de finalizada la novena ante la presencia de aproximadamente mil devotos de origen centroamericano. Actualmente, la asistencia ha crecido y promedia para la fiesta patronal, entre 8,000 y 10,000 devotos, ya no solo de centroamericanos sino de sus hijos y personas de otras partes del mundo, como Filipinas.

Con respecto a su reconocimiento como “Cristo Mojado”, se sabe que el responsable de esta distinción fue un miembro de la fraternidad, quien respaldándose en lo que había escuchado por parte de los demás miembros de la comunidad, comenzó con la labor de difusión de la imagen, aunque posteriormente, ello no fue aprobado por los miembros de la Fraternidad (entrevista a Guillermo Palencia, 2018).

Si bien dentro de la Ciudad de Los Ángeles, el Cristo Mojado no es ni la primera ni la única imagen del Cristo de Esquipulas, en torno a la que se reúne una comunidad de devotos (en gabinete y en trabajo de campo se localizaron imágenes del Cristo de Esquipulas en algunas parroquias de Los Ángeles como San Rafael, Santo Tomas, Sagrado Corazón, Loreto, Concepción, San Emilio, San José, Las Palmas, Inglewood, Southgate y de otras ciudades como Nuestra Señora de Lourdes en Chicago, Corpus Chisti en Miami y la Catedral de San Patricio en Nueva York), la Fraternidad de Esquipulas se ha organizado de tal modo, que atrae a una cantidad de fieles considerable y mantiene una comunidad organizada, dispuesta a materializar los actos conmemorativos en su honor.

En este sentido, se ha erigido como una de las más representativas por distintas causas que tienen que ver con su origen, la organización interna, la localización del recinto y la difusión informativa, que hace para invitar a los devotos a unirse a sus festividades.

Prácticas espacio-rituales en torno a la imagen del Cristo Mojado

Aunque el recinto de Santa Cecilia, no fue construido expresamente para esta imagen, la misma sostiene un vínculo en apariencia indisoluble que vuelve complicado que el Cristo se mueva a otro recinto como la Catedral de Nuestra Señora de Los Ángeles, como ya se ha propuesto (trabajo de campo, 2018). En Santa Cecilia, se materializan y se llevan a cabo todas las prácticas rituales de los devotos al Cristo: los códigos y los imaginarios mediante los cuales viven, imaginan y representan su espacio,

ligadas con su condición de inmigrantes que añoran su vida pasada y que tienen que adaptarse a la vida en un país ajeno, sin perder en el camino su propia identidad; a esto se unen otras narrativas asociadas a los grupos que se incorporan al culto, como los hijos de los migrantes, quienes nacen en un contexto distinto y experimentan las vivencias de sus antepasados y las de su contexto cotidiano como ciudadanos estadounidenses.

Las festividades, a lo largo del año litúrgico, difieren a las que se llevan a cabo en la localidad de Esquipulas, en Guatemala, donde los actos eucarísticos están en función de la Basílica consagrada al Señor de Esquipulas. Al estar supeditados a la Iglesia de Santa Cecilia en un contexto transnacional, el número de eventos importantes para la Fraternidad de Esquipulas, es reducido relativamente. Aunque el trabajo se lleva a cabo durante todo el año, los momentos en que la comunidad esquipulteca se hace presente de manera protagónica en la Iglesia, son básicamente dos: las misas de cada primer domingo de mes y la festividad del 15 de enero.

La misa mensual es importante para la cohesión interna de la comunidad de Esquipulas, pero el mayor esfuerzo se hace para la materialización de la fiesta patronal del Cristo, que se realiza una vez al año, en torno al 15 de enero. Los días se escogen de acuerdo con las condiciones del ritmo de vida en Estados Unidos, en donde al no ser considerada una fiesta oficial y provenir de una minoría (centroamericana y católica), no hay asueto para que los devotos, acudan el día de la consagración del Cristo. Esa decisión no es exclusiva de la Fraternidad de Esquipulas; otras comunidades de Esquipulas en Estados Unidos, como los de la Placita Olvera (en la Iglesia de Nuestra Señora de Los Ángeles, en el centro de la ciudad), también la han implementado (trabajo de campo, 2018).

Los esfuerzos para realizar la celebración del Cristo de Esquipulas en Santa Cecilia, son exhaustivos e inician con la novena del Señor de Esquipulas, la cual se realiza durante nueve noches, antes del día conmemorativo (durante la realización del presente trabajo, la fecha de inicio fue el 7 de enero).

Días antes del 15 de enero, en un acto ceremonial que va acompañado de una misa, el Cristo Negro es colocado en un Anda, un mueble hecho de madera con un tamaño aproximado de 8x2 metros y un peso considerable, que se adorna para representar una escena particular, que puede ser un pasaje bíblico, un santoral o algún evento extra religioso

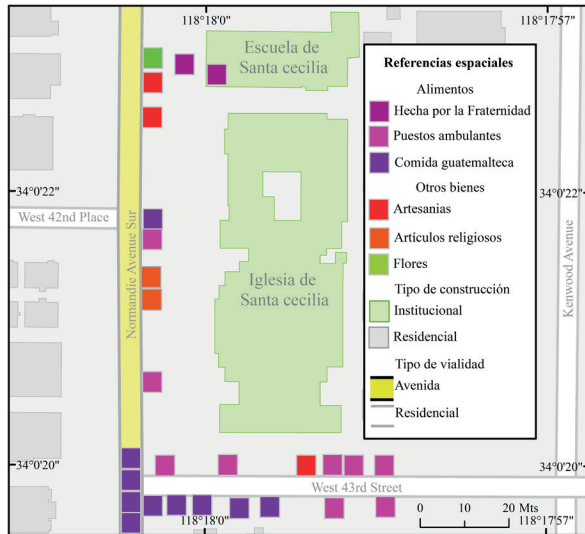
que ataña a la comunidad que organiza la procesión. En el caso del Anda realizada para el 2018, el motivo fue una representación de la vida de Santa Cecilia, patrona de la morada del Cristo Mojado, en una escenificación que empleó los íconos asociados a su imagen como las azucenas y los instrumentos musicales. El Anda tiene un motivo espacial y otro temporal para las personas, pues en ella se vierten las representaciones del imaginario social de la comunidad involucrada (entrevista a William Santos, enero de 2018).

El punto cúspide de la celebración de la festividad de 2018, fue el domingo 14 de enero, donde fue posible observar un cambio en la dinámica espacial del recinto motivado por la devoción al Cristo. Ese día, tanto al interior como al exterior de la Iglesia, el espacio que comúnmente es ocupado por el Cristo de Esquipulas, se expande. Alrededor del templo, se colocan distintos puestos de comercio ambulante con mercancía de origen guatemalteco, que se suman de manera temporal a los que de manera recurrente se instalan en las inmediaciones.

En estos establecimientos, es posible observar venta de alimentos originarios de la región del Trifinio centroamericano, así como recuerdos y artículos religiosos con motivo del Cristo de Esquipulas, traídos expresamente desde esa región (Figura 4). A lo largo del día, la cantidad de personas que llega al recinto aumenta y con ello, el consumo de mercancía para estos locales.

Alrededor de las 2:30 p.m., comenzó el levantamiento del Anda que con el Cristo en ella, hace un recorrido alrededor

Figura 4. Uso de suelo de la Celebración del Cristo Mojado, 2018



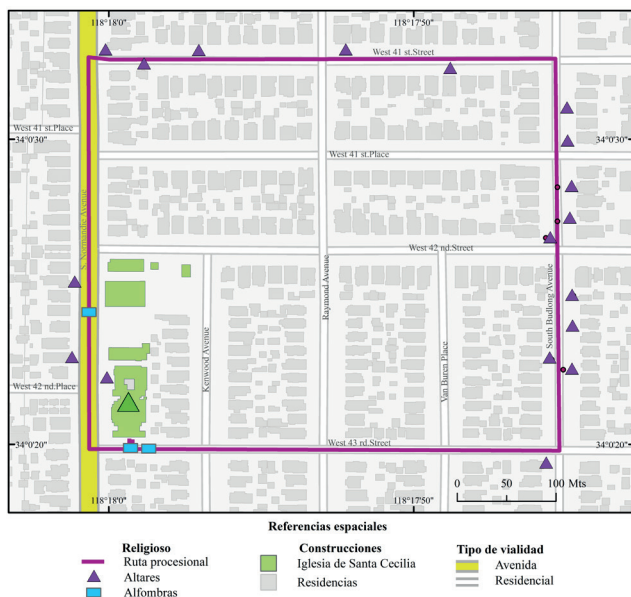
Fuente: Elaborado con base en trabajo de campo (2018).

de la parroquia (Figura 5), donde los devotos acompañan a la procesión del Cristo siguiendo el Anda, cosa que aprovechan algunos comerciantes ambulantes para vender sus productos. En su recorrido, la procesión se detiene algunos minutos en los altares colocados a las afueras de los hogares próximos a la ruta procesional, construidos con imágenes religiosas y diferentes adornos como banderas o flores, donde se reza por algún motivo asociado a la familia dueña del hogar.

Después de cuatro horas, ya entrada la noche, la procesión entró a la Iglesia pisando una de las alfombras elaboradas por artistas de origen guatemalteco. Al interior, ya la esperaban miles de personas, quienes al percibirse de la entrada de la imagen, manifestaron algunas prácticas como caminar por debajo del anda en movimiento o realizar danzas típicas.

El Anda y el Cristo fueron colocados frente a los murales de la Iglesia, en la nave central antes de iniciar la misa dirigida por el Presbítero Román Arzate y el Diacono Félix, quien funge como líder espiritual de la fraternidad. Al finalizar la ceremonia, las personas podían optar por retirarse hacia sus hogares o asistir al salón localizado a un costado de la Iglesia, donde

Figura 5. Ruta procesional de la celebración del Cristo Mojado, 2018



Fuente: Elaborado con base en trabajo de campo (2018).

la Fraternidad de Equipulas les ofreció alimento en gratitud por su asistencia.

Si bien, al día siguiente (15 de enero) aún había eventos significativos como “las mañanitas” al Cristo (a las 6 de la mañana) donde acude un grupo de “mariachis” y la misa de clausura (donde se dan cita incluso los medios de comunicación) a las 19:00 horas, la dinámica espacial es distinta. Las

personas van en un plano menos festivo y los espacios ocupados por los altares y los comercios desaparecen.

Además de la parte espiritual, la efímera dinámica espacio-temporal del 15 de enero expone elementos “no visibles” durante la mayor parte del año, por el resto de la población (la población centroamericana, los espacios sagrados, los medios que se articulan en la festividad); se trata de devolver la identidad al guatemalteco que vive en Estados Unidos, según relata el artista Oscar de Salcajá (Entrevista, 2018).

Las personas, además de vivir el acto ritual que conlleva la procesión, aprovechan la ocasión para mostrarse como parte de una comunidad alejada por cientos de kilómetros y de reivindicar su lugar en el país, sintiéndose respaldado por otros que, como ellos, también han experimentado situaciones similares. Es por esta causa, que las banderas, los trajes típicos, las comidas y la música salen a relucir por parte de la sociedad, los cuales son usados por ellos, para apropiarse y transformar por breves instantes ese espacio.

Interacciones espaciales generadas por el culto al Cristo Mojado

Lo plasmado anteriormente, contribuye a entender el rol que tiene el Cristo Mojado en un sector de la sociedad católica de origen hispano en la Ciudad de Los Ángeles. A partir de ello, es posible dimensionar los factores que se articulan y permiten dimensionar los alcances del culto, no solo a nivel espacial, sino también humano.

Así, se exploran tres tipos de interacciones que permiten explicar lo anterior; las mismas están en función de la propuesta de interpretación de la Teoría de la Interacción Espacial, expuesta en la primera parte de la investigación: el análisis de flujos de personas, de bienes materiales y de información.

Con ello, se muestra el grado de interdependencia entre lugares involucrados con el culto al Cristo Mojado y se evidencia, la repercusión en las relaciones de los grupos de devotos.

a. Flujo de personas

Se reveló que el grueso de los desplazamientos de personas, proviene de los condados próximos a Los Ángeles, quienes se reconocen a sí mismos como devotos y son recurrentes en su desplazamiento a Santa Cecilia. Para el caso de los que se consideran miembros de la Fraternidad de Esquipulas, la mayoría de ellos proviene de la Ciudad de Los Ángeles

(57%). El resto, aunque en menor número, se encuentra disperso en ciudades cercanas al recinto como Inglewood, Hawthorne, Van Nuys, Long Beach, Huntington Park, Southgate, Gardena, North Hollywood, Palmdale, Compton, Sunvalley, Anaheim, Bell Gardens o Pomona (40% de los miembros de la fraternidad).

El 3% restante vive en ciudades más alejadas de Los Ángeles dentro del Estado de California, como Ontario y San Francisco o bien, en ciudades de otros Estados cercanos a California como Las Vegas, Nevada, Phoenix o Arizona. De acuerdo con testimonios, se puede interpretar que, mientras más lejos se viva, la recurrencia será menor y se tomará el trayecto como peregrinaje. En su mayoría, a no ser que tengan otra razón para pernoctar, estas personas solo hacen un viaje de ida y vuelta (trabajo de campo, 2018).

Con base en el análisis posterior del trabajo de campo, puede afirmarse que los visitantes al recinto del Cristo Mojado, especialmente durante la fiesta patronal son en su mayoría personas de origen centroamericano (principalmente guatemalteco), no necesariamente miembros de la Fraternidad de Esquipulas, quienes cuentan con una edad mayor a los 30 años.

Las personas se desplazan por motivos asociados a la fe, ya sea un plan activo o para ser partícipes pasivos de la experiencia. Asimismo, el magnetismo espiritual se constriñe en su mayor parte a la Ciudad de Los Ángeles y sus alrededores, debido a la forma en que se desplazan los devotos; se considera que el tipo de movimiento predominante es el de atracción.

b. Flujo de bienes materiales

Tiene una interacción geográfica de alcance mayor: la mayoría de los artículos se comercializa, durante la celebración del 15 de enero, sobre todo aquellos con un tiempo de caducidad limitado que son conseguidos en las centrales de abasto y negocios de la misma Ciudad de Los Ángeles; por su parte, los artículos religiosos y artesanías son llevados desde Guatemala y algunas partes de México hasta Santa Cecilia, por parte de las personas que tienen la posibilidad de hacer viajes hacia estos países; al poderse conservar más tiempo, estos son guardados y comercializados, de manera recurrente no solo en la fiesta patronal, sino también en las misas mensuales o a pedido de algún comprador.

El flujo de dinero, también tiene un papel importante, ya que éste no solamente tiene un movimiento de atracción hacia el recinto, por la cantidad de devotos que se dan cita para ver al Cristo y la derrama económica que generan, sino de difusión cuando es redistribuido en apoyo de los miembros de la comunidad de Esquipulas cuando lo requieren; en este caso, trasciende las fronteras nacionales en dirección preferencial a Guatemala.

Al respecto, este tipo de desplazamiento hasta Guatemala, tiene que ver con la labor de apoyo de la Fraternidad hacia sectores de población vulnerables de ese país y en gratitud hacia el Cristo de Esquipulas, a cuya Basílica han beneficiado con la construcción de los sanitarios (trabajo de campo, 2018).

c. Flujos de información

Se realiza a través de diversos medios, a nivel nacional e internacional; desde el envío de correspondencia, hasta las transmisiones de radio realizadas por *Radio Estrella*, una emisora guatemalteca y televisivas de cadenas como UNIVISIÓN y TELEMUNDO. De igual modo, el empleo de redes sociales como FACEBOOK y páginas web como Jesús en Guatemala, permiten que personas en distintos lugares del mundo, interactúen con la comunidad devota al Señor de Esquipulas, que acude a Santa Cecilia.

La comunicación a través de Internet, llega a lugares tan distantes de Los Ángeles como Europa, Suramérica y Asia, aunque la mayor parte de los vínculos tejidos son con personas de origen centroamericano, residentes en otras ciudades de Estados Unidos y con Guatemala, de donde son originarios la mayoría de los devotos a esta imagen; en este sentido, se reveló la importancia del aprovechamiento de las telecomunicaciones, especialmente del uso de redes sociales ya que, a partir de este medio, el interés por la imagen ha crecido y ha abarcado nichos en distintos espacios; este hecho ha expandido la red de apoyo de la Fraternidad.

El reconocimiento que se hace a la imagen del Cristo Mojado, genera interacciones a distintos niveles escalares. Pese a ello, aún causa controversia, puesto que para las personas es más propio reconocerlo como una réplica del Señor de Esquipulas. Aun así, uno de los factores que causa admiración y hace que las personas se desplacen hasta Santa Cecilia, para ver la imagen sí está vinculada a su pasado migrante, como señala enfáticamente Carlos Sandoval, miembro de la Fraternidad de Esquipulas:

Gracias a Dios, nosotros sí tenemos nuestros papeles, pero gente que se identifica con eso son las personas que han pasado la línea. En mi caso, yo pasé en el baúl de un carro, pasé mojado igual que el Cristo [...], él [el Cristo Mojado] no vivió lo mismo [pasar indocumentado], pero es increíble que él quiso pasar de esa manera porque él hubiera podido pasar sin ningún problema, pero él se impuso así, él quería ser parte de eso. Mucha gente se identifica con él por los mismos problemas que la gente pasa la línea de mojados... también se les ocurrió poner que es el patrono de los migrantes, es un buen título para él también [...] [la gente] se identifica con eso [que cruzó mojado]. Llamarle de esa manera hace que la gente se identifique con su patrón, de los centroamericanos. No solo de Guatemala, sino de Honduras, El Salvador, Costa Rica, todos los países de Centroamérica incluyendo partes de México” (entrevista a Carlos Sandoval, 2018).

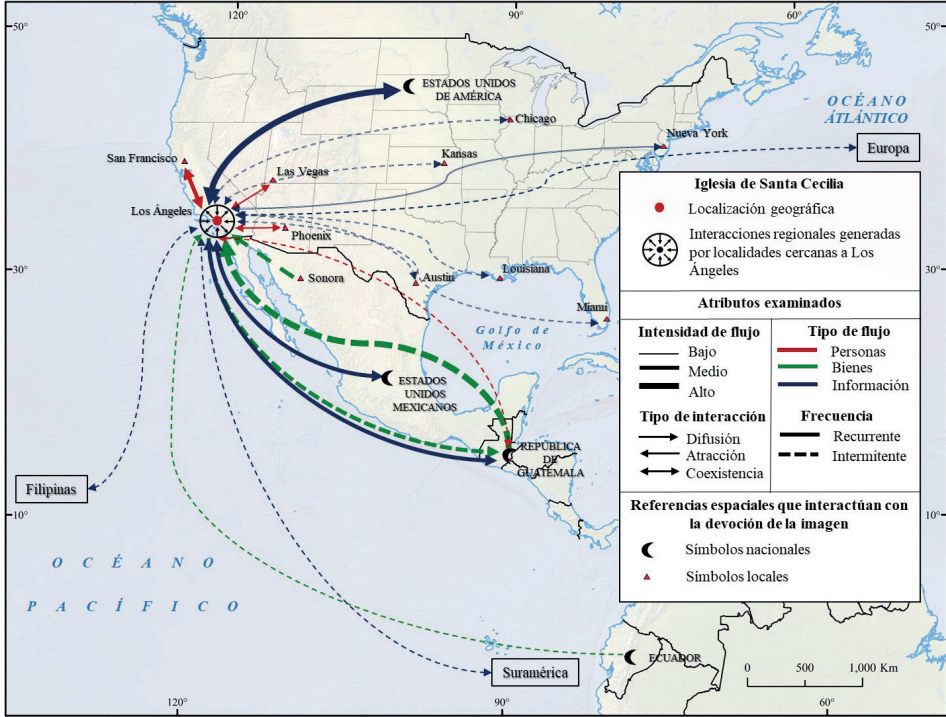
Por todo lo anterior, es entendible que los flujos y relaciones que sustentan a la interacción espacial del culto al Cristo Mojado, no sean estáticos y que cambien periódicamente. Incluso, debido a que la imagen no tiene movilidad constante dado que reposa en la Iglesia, de manera casi permanente, se buscó la manera de llevarla de otra forma a otros lugares, donde la pedían los devotos que se sumaban a la Fraternidad de Esquipulas, para reafirmar el sentido de comunidad y la fe, siendo el Cristo Peregrino, una réplica más pequeña del Cristo de Esquipulas, la solución a ello.

Como puede verse en el Figura 6, la mayor cantidad de relaciones suceden en un plano local y regional, dado que el culto está focalizado en la Ciudad de Los Ángeles y que la mayor parte de los devotos al Señor de Esquipulas, proviene de localidades californianas, principalmente por la herencia histórica ya señalada.

Las causas que motivan a estas personas a acercarse a Santa Cecilia y que han servido como punto de arraigo del culto con la parroquia, van desde aquellas relacionadas a la identidad migrante del Cristo, hasta aquellas que se vinculan a la organización social, en torno a la imagen impulsada por la Fraternidad de Esquipulas; esto genera en el visitante sentimientos que lo impulsan a regresar. A este nivel, el grueso de las interacciones es de atracción y coexistencia, dada la frecuencia y el tiempo que permanecen los visitantes en la Iglesia y los encadenamientos que se generan alrededor.

Asimismo, las personas que se movilizan hasta el recinto, traen consigo elementos de corte tangible (dinero y artículos religiosos, principalmente)

Figura 6. Interacción espacial del culto al Cristo Mojado, 2018



Fuente: Elaborado con base en trabajo de campo (2018).

e intangible (asociados a valores e ideas que enriquecen las actividades) que le dan forma al culto y amplían el espacio sagrado relacionado con el Cristo, así como su área de magnetismo espiritual, la cual, a pesar de expandirse internacionalmente, es claramente de alcance regional.

Los movimientos de atracción hacia el Santuario de Santa Cecilia, se reducen considerablemente conforme, se amplía la escala geográfica y se avanza hacia el norte y hacia el este. A pesar de ello, existe una interdependencia entre localidades en territorio estadounidense: los nexos devocionales en Los Ángeles, se realizan a través de la difusión de información, tanto en los medios tradicionales (medios impresos, radio y televisión) como los que atañen a la comunicación directa, por teléfono e internet.

En un nivel nacional, la difusión de información desde Los Ángeles hacia otras localidades en Estados Unidos en redes sociales, crea vínculos de complementariedad entre la Fraternidad de Esquipulas, con otros

devotos al Cristo Negro residentes en distintas localidades estadounidenses, quienes siguen las actividades que se suben a los distintos vínculos web del Cristo Mojado. Aunque no tengan un impacto directo, sí amplían los vínculos en Estados Unidos, que fortalecen el carácter identitario de los grupos y personas. En este sentido, la difusión de información en este nivel, es la más grande y frecuente.

Al cruzar los límites nacionales, se detecta la existencia de otros vínculos tejidos hacia el sur de la frontera. Aunque en México, también llega la información procedente de Los Ángeles, ésta no tiene la misma intensidad ni frecuencia que en Estados Unidos. La más importante después de las interacciones en Estados Unidos, se encuentra más al sur, en Guatemala y la región del Trifinio.

Pese al factor distancia, la devoción y las relaciones que tienen los migrantes con sus países de origen, generan un vínculo recurrente y sólido entre esta región y la Iglesia de Santa Cecilia en Los Ángeles; hay movimientos de atracción hacia Los Ángeles, principalmente de artículos religiosos y alimentos y en menor medida de dinero y personas, todos en movimientos ocasionales o esporádicos. Las personas provenientes de esta región, más que participar como visitantes, desempeñan un papel importante en el desarrollo de las actividades del Cristo Mojado como el caso de William Santos, quien viaja desde Guatemala para realizar las transmisiones, a través de Internet (trabajo de campo, 2018).

De manera recíproca, de Los Ángeles hacia esta región, hay movimientos de difusión de manera ocasional, principalmente de bienes materiales como dinero, usado para apoyar tareas en algunas localidades y en la Basílica de Esquipulas, que reafirman el compromiso y el vínculo, con esta zona. Asimismo, existe comunicación recurrente a través de redes sociales, entre la comunidad devota al Cristo Mojado y los habitantes, en esta región. Más al sur, existe un último flujo comprobado, que fue el de comercio de flores, aunque este no es consistente y puede no ser perdurable.

Conclusiones

La interacción espacial es un fenómeno dinámico, cambia con el tiempo e involucra diferentes relaciones en el espacio geográfico, que articulan grupos sociales, en distintos niveles escalares. En el caso del Cristo Mojado, la magnitud de las interacciones generada por el culto a su

imagen, ha crecido paulatinamente desde su arribo a la Iglesia de Santa Cecilia impulsado por los esfuerzos de la comunidad devota, especialmente de la Fraternidad de Esquipulas. A raíz de ello, se ha generado un vínculo que fortalece la identidad de las personas que acuden al recinto, quienes ven en el espacio un vehículo para acercarse a su lugar de origen y una forma de mantener viva su identidad.

Los movimientos y acciones que realizan los devotos en el espacio físico correspondiente a la Iglesia de Santa Cecilia, a través de las prácticas y elementos que emplean para apropiarse temporalmente del espacio, recrean mental y materialmente, un espacio que remite a su lugar de origen. Más aún, la devoción y el sentir de las personas detona flujos de personas, bienes materiales e información que rompen las barreras nacionales y articulan espacios que fortalecen su identidad migrante.

Si bien, la perspectiva de la TIE sostenida en esta investigación, tiene una ruta definida construida a partir del estudio de los desplazamientos, también es posible interpretar que existe una interacción espacial que se construyó durante el desplazamiento del Cristo de Esquipulas hacia Santa Cecilia, donde a partir de las relaciones que se tejieron espacial y socialmente, se resignificó su imagen para convertirse en Cristo Mojado.

Referencias

- Arango, J. (1985). Las "Leyes de las Migraciones" de EG Ravenstein, cien años después. *Reis*, 32, 7-26.
- Barrows, H. (1898). Gov. Felepe de neve. *Annual Publication of the Historical Society of Southern California and Pioneer Register*, 4(2), 151-153.
- Blumer, H. (1969). Fashion: From class differentiation to collective selection. *The Sociological Quarterly*, 10 (3), 275-291.
- Boisier, S. (1980). *Técnicas de análisis regional con información limitada*. Santiago de Chile: Cuadernos del ILPES.
- Buzai, G. (2010). Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica: sus cinco conceptos fundamentales. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones*. Luján, Argentina : Universidad Nacional de Luján – GESIG.
- Cattan, N., Pumain, D., Rozenblat, C., & Saint-Julien, T. (1999). *Le Système Des Villes Européennes*. Paris: Anthropos.

- Celemín, J. (2009a). Interacción espacial en la Región Sanitaria VIII, Provincia de Buenos Aires (Argentina) en los años 1991, 2001 y 2010. *XII Encuentro de Geógrafos de América Latina, Montevideo*. Recuperado de: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Geografiasocioeconomica/Geografiaespacial/27.pdf>
- Celemín, J. (2009b). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial: Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía*, 18(1), 11-31.
- Fotheringham, S., Brunson, C. & Charlton, M. (2000). *Quantitative geography: perspectives on spatial data analysis*. Sage.
- Fraternidad del Señor de Esquipulas. (2015). *Su fe al Cristo Negro. El Cristo Mojado*. Recuperado de: <http://www.elcristomojado.org/proyecto-de-fe>
- García, J. (1954). *Esquipulas*. Guatemala: Oriental.
- Ghosn, W., Kassie, D., Jougl, E., Rican, S., y Rey, G. (2013). Spatial interactions between urban areas and cause-specific mortality differentials in France. *Health & place*, (24), 234-241.
- Glick-Schiller, N., Basch, L., & Blanc-Szanton, C. (1995). From immigrant to transmigrant: theorizing transnational migration. *Anthropological Quarterly*, 68(1), 48-63.
- Harvey, D. (2004). *La condición de la posmodernidad: investigación sobre los orígenes del cambio cultural*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Hirai, S. (2012). “¡Sigue los símbolos del terruño!”: etnografía multilocal y migración transnacional. *Métodos cualitativos y su aplicación empírica: por los caminos de la investigación sobre migración internacional*. IIS-UNAM/EI Colegio de la Frontera Norte. (pp. 77-107)
- Levitt, P. & Glick-Schiller, N. (2004). Perspectivas internacionales sobre migración: conceptualizar la simultaneidad. *Migración y Desarrollo*, 3, 60-91.
- López, D. (2010). *Historia del Señor de Esquipulas*. Guatemala: Ediciones San Pablo.
- Los Ángeles, County. (2014). *Cities Within the County of Los Angeles*. Los Ángeles County. Recuperado de: <https://www.lacounty.gov/government/about-la-county/incorporated-cities/>
- Los Ángeles Times. (19 de junio de 1927). Two Churches Being Erected: Local and Pasadena Projects to Cost \$700,000; Edifice Here to

- Be Finished in Three Months; Lombard Romanesque Design Being Employed. *Los Ángeles Times*. Los Ángeles, California.
- Márquez, H. (2012). *Diccionario crítico de migración y desarrollo*. Editorial Miguel Ángel Porrúa.
- Maturana, F., Poblete, D. & Vial, C. (2012). Las Ciudades y la Interacción Espacial, Análisis Exploratorio para los Centros Urbanos del Sur de Chile. *Nadir Revista Electrónica de Geografía Austral*, 4 (1).
- Natural Earth. (2017). *Download*. Natural Earth. Recueprado de: <https://www.naturalearthdata.com/downloads/>
- Navarrete, C. (1999). El Señor de Esquipulas: origen y difusión. *Revista de Antropología, Arqueología e Historia*, 3, 96-127.
- Navarrete, C. (2013). *En la diáspora de una devoción. Acercamientos al estudio del Cristo Negro de Esquipulas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Odgers, O. (2007). Santos nómadas cosmopolitas: los nuevos espacios circulatorios de los santos patronos locales. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 8, (62), 29-38.
- Ortega, J. (2000). *Los horizontes de la Geografía. Teoría de la Geografía*. Barcelona: Ariel.
- Pacheco, J. (2005). El Cristo negro en la tradición del Camino Real de Tierra Adentro. En: *Antropología. Revista Interdisciplinaria Del INAH*, 79, 21-35.
- Pardo, A. (2012). Análisis del espacio y el transnacionalismo. Una visión desde la Geografía. El caso Morelos (México) – Minnesota (EEUU). *Cuadernos de Geografía*, 21 (2), 45-58.
- Propin, E. (2003). *Teorías y métodos en Geografía Económica*. Ciudad de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Reilly, W. (1931). *The law of retail gravitation*. New York. Pilsbury.
- Rihll, T. & Wilson, A. (1987). Spatial Interaction and Structural Models in Historical Analysis: Some Possibilities and an Example. *Histoire and Measure, II-1*, 5-32.
- Romano, R. (2004). El Señor del Monte: el espacio simbólico y la micro-región. Diálogos con el territorio. *Procesiones, santuarios y peregrinaciones*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

- Rosas, L. & Propin, E. (2017). Turismo religioso en la Basílica del Cristo Negro de Esquipulas, Guatemala. *El Periplo Sustentable*, 83, 394-427.
- St. Cecilia.org. (s.f.). *Historical Sketch of Saint Cecilia's Parish*. St.Cecilia.org. Recuperado de: https://heychurches.com/01269294/St_Cecilia_Catholic_Church
- Santos, M. (2000). *Por una geografía nueva*. Madrid: Espasa-Universidad.
- Ullman, E. (1954). Geography as spatial interaction. *Interregional Linkages Proceedings of the Western Committee on Regional Economic Analysis*. Seattle, WA: University of Washington Press.
- Wilson, A. G. (1971). A family of spatial interaction models, and associated developments. En: *Environment and Planning*, 3(1), 1-32.



Geomorfología del cantón de Siquirres, Costa Rica

Geomorphology of the canton of Siquirres, Costa Rica

Luis Nelson Arroyo González¹

Universidad Nacional, Costa Rica

Resumen


Este artículo forma parte de un diagnóstico ambiental que representa una sección de un levantamiento para el Plan Regulador de Siquirres. Con el propósito de caracterizar aspectos geológicos y geomorfológicos, se acude al uso de reportes técnicos, mapas temáticos, fotografías aéreas y trabajo de campo. Se realiza una delimitación y clasificación de formas de relieve; las cuales una vez individualizadas, se les describen tipos de amenazas naturales potenciales. Este levantamiento es un insumo para las tareas de ordenamiento del territorio cantonal mediante el Plan Regulador.

Palabras clave: Geomorfología, amenazas naturales, vulnerabilidad

Abstract

This article is part of an environmental diagnosis that represents a section of a survey intended to be used for the creation of the *Regulatory Plan* (i.e., land use regulations) for the canton of Siquirres. With the intention of characterizing geological and geomorphological aspects, use was made of technical reports, thematic maps, aerial photographs and field work activities. Demarcation and classification of landforms was carried out and, thereafter, each landform was assigned potential natural hazards. The survey constitutes an input for realizing the tasks involved in cantonal territorial planning through the use of the *Regulatory Plan* instrument.

Keywords: Geomorphology; natural hazards; vulnerability

1 Profesor e Investigador Jubilado Escuela de Geografía Universidad Nacional, Costa Rica. Maestría en Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. Postgrado en Levantamientos Geomorfológicos, ITC Holanda. Especialista en Fotointerpretación para Levantamientos Regionales, Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF) Bogotá, Colombia.. Correo electrónico: luis.arroyo.gonzalez@una.cr/ nelson.arroyo2008@gmail.com.  <https://orcid.org/0000-0003-0294-1034>

Introducción

Ubicación y localización del cantón de Siquirres

Las coordenadas geográficas medias del cantón de Siquirres son 10°08'45" de latitud norte y 83°29'50" longitud oeste. Por el oeste limita con los cantones de Guácimo y Pococí; por el este con Matina, mientras que por el sur su límite es con Turrialba y por el norte con el Mar Caribe. Este territorio administrativo con una superficie de 860,10 km² es el cuarto cantón en extensión de la provincia de Limón, pues ocupa el 9.36% del área total de la provincia. Su anchura máxima es de 52 km en dirección noreste a suroeste, medidos desde la desembocadura del río Pacuare en el mar Caribe hasta la naciente del río Destierro en la Sierra Volcánica Central a 2379 metros de altitud, siendo este punto el de mayor elevación en el cantón.

Su territorio se emplaza en parte de la fachada este de la Cordillera de Talamanca y en correspondencia con las tierras que miran hacia el Caribe costarricense. Un 70% del territorio está conformado por abanicos y llanuras aluviales producto del arrastre y depósito de sedimentos transportados por ríos que, como el Reventazón y el Pacuare, tienen su nacimiento fuera de los límites cantonales. Son tierras planas, con limitaciones locales por mal drenaje sobre todo en los sectores cercanos al mar y en aquellas áreas adyacentes a ríos de alta sinuosidad y corrientes divagantes. El 30% restante está constituido por áreas montañosas y abruptas, fuertemente afectadas por procesos erosivos. Cerca de 8.5% de este porcentaje pertenece a terrenos que oscilan entre un 30% a 60% de pendiente, de laderas altamente inestables y con procesos erosivos activos con abundante aporte de materiales hacia los cursos fluviales. Esta área se conceptualiza como deslizamiento semiactivo y en extensión alcanza cerca de 47 km².

Método

En una etapa preliminar se ubicaron sobre el territorio del cantón 42 fotografías a color natural del Proyecto TERRA a escala 1:40.000 ([Instituto Geográfico Nacional, 1998](#)). Estas imágenes, con una cobertura territorial aproximada de 84 km² por foto, abarcaron también los territorios limítrofes de esta unidad cantonal, lo cual facilita delimitar cuencas hidrográficas y extrapolar unidades de relieve de las áreas vecinas mediante el análisis estereoscópico.

En función de las aplicaciones, de los lineamientos del levantamiento, del análisis y mapeo geomorfológico a realizar, se aborda esta investigación desde dos perspectivas complementarias. La primera alude a estudios sistemáticos y que se plasman en mapas geomorfológicos analíticos (Van Zuidam, 1986). De acuerdo con este autor, este tipo de enfoque es principalmente monodisciplinario y, además de dar información acerca de las formas del terreno y de los procesos exógenos, enfatiza en morfogénesis y morfocronología, incluyendo también aspectos morfoestructurales. En la segunda, se plantean estudios entre el plano geomorfológico por un lado y la diversidad de elementos del medio ambiente por el otro, ubicando así el terreno dentro de un levantamiento ecológico del paisaje o medioambiental que resulta en un mapa sintético u holístico (Verstappen, 1983).

La delimitación de las unidades geomórficas se hace de acuerdo con los siguientes criterios: proceso geológico dominante en la creación de la forma, uniformidad en el tipo de relieve y tipo litológico (Van Zuidam, 1986).

El soporte litológico lo constituyó el mapa geológico escala 1:200.000 elaborado por la Dirección de Geología y Minas y Petróleo, así como el Mapa Geomorfológico de Costa Rica de Rodolfo Madrigal (1980) a la misma escala del precedente. Para trasladar el detalle observado en las fotos aéreas se utilizaron las hojas topográficas Tucurrique, Matina, Barbilla, Parismina, y Bonilla, escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (1967). Se incluyó información sobre amenazas naturales proveniente de mapas elaborados por la Comisión Nacional de Emergencia (1994).

Se consultaron, además, informes técnicos relacionados con estudios físicos en el área y constataciones de detalle en giras al campo. La elaboración de unidades con base en el proceso geológico dio como resultado la subdivisión del cantón en treinta unidades agrupadas en: formas de sedimentación aluvial, formas de origen marino, formas por remoción en masa y formas por denudación. Posteriormente, estas se reagruparon y permitieron construir apoyos visuales en forma de gráficos y de tablas. Cada una de estas unidades geomórficas fue a su vez subdividida de acuerdo con el tipo de roca madre, a la forma de sus laderas, procesos dominantes, valles o divisorias y otros rasgos geomórficos como la magnitud de las pendientes (Verstappen, 1983). Este trabajo forma parte de los insumos que se aportaron para el Plan Regulador del cantón período 2007-2010.

El mapa geomórfico resume así las características sobresalientes de las formas de relieve, así como las restricciones y potencialidades que su ocupación plantea.

Geología cantón de Siquirres

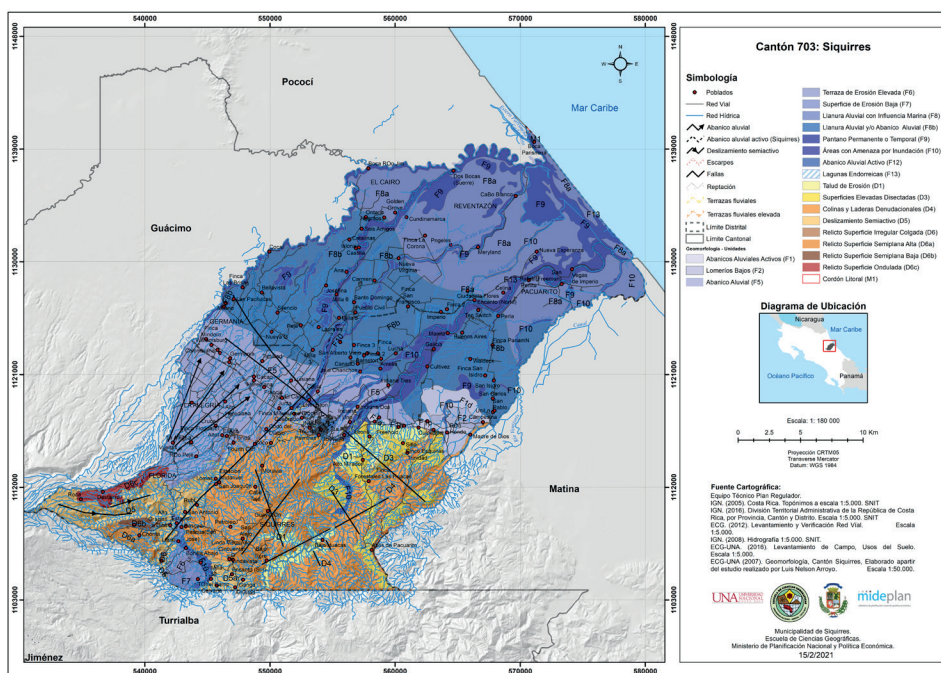
Materiales del Terciario y Cuaternario se alternan con dominancia de estos últimos. Al Terciario pertenecen rocas de origen sedimentario e intrusivo. Las sedimentarias datan de las épocas oligoceno, mioceno y plioceno. Del Terciario se identifican materiales indiferenciados, ubicados al sureste de la región, próximos al límite con el cantón de Turrialba. Las rocas del Mioceno están representadas por la formación Uscari, compuesta por lutitas de tonalidades oscuras y que se sitúan en el sector aledaño al sitio Huacas y en la margen sur del curso inferior del río Bonilla hasta el poblado Lomas. De las rocas sedimentarias del Plioceno se encuentran la formación Suretka y materiales indiferenciados. Está constituida por conglomerados, que van desde partículas de arcilla hasta bloques de más de un metro de diámetro, como basaltos, andesitas y cuarzodioritas cementados por sílice, con intercalaciones de unos pocos estratos de areniscas y lutiras ligníticas, de ambiente litoral y continental. Se ubican desde el sector sur de la villa de Cairo y el poblado Babilonia hasta la ladera noroeste del cerro Roca, así como desde las márgenes de la quebrada Lajas hasta el sector aledaño al poblado Calvario. Los materiales indiferenciados se localizan en la zona comprendida por el sector sur de la ciudad de Siquirres, el alto Berlín, confluencia de los ríos Rubio y Reventazón y la ladera suroeste de fila Amador, lo mismo que en la ladera oeste de la fila anterior, en dirección este hasta el límite con el cantón de Matina. Las rocas intrusivas del Mioceno corresponden a los intrusivos ácidos de la Cordillera de Talamanca, como dioritas cuárcicas y granodioritas, también gabros y granitos, y se ubican en las cercanías del cerro Mercedes. Entre los materiales del Cuaternario, se localizan rocas de origen volcánico y sedimentario. Las primeras son de las épocas pleistoceno y holoceno. Se ubican dentro de este grupo lahares, situados al oeste de la región, próximos al límite con el cantón de Guácimo; así como desde villa Germania hasta la ladera norte del cerro Roca. A las rocas volcánicas del Holoceno corresponden edificios volcánicos recientes y actuales, ubicándose al sureste del cantón, a partir del cerro Roca. Los materiales sedimentarios de la época citada

corresponden a pantanos ubicados al noreste de la región, próximos al límite con el cantón de Pococí y el litoral Caribe, así como depósitos fluviales, coluviales y costeros recientes, localizados en la mayor superficie del cantón, situados al norte de este a partir de la vía férrea (Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas, 1980).

Geomorfología del cantón de Siquirres

El territorio del cantón de Siquirres posee una extensión de 860,19 km² y se asienta sobre seis clases de unidades geomorfológicas. Estas deben su origen a procesos de sedimentación aluvial, de naturaleza tectónico y erosivo, de fuente volcánica, a remoción en masa, a litoral de origen marino y de origen estructural (Ver mapa No. 1).

Mapa No. 1. Geomorfología del cantón de Siquirres.



Unidades de sedimentación aluvial

F8a. Llanura aluvial (influencia marina en suelos)

F8b. Llanura aluvial y/o coalescencia de abanicos aluviales

La sub-unidad llanura aluvial San Carlos y el Caribe representa en el cantón de Siquirres una prolongación de una extensa planicie que se erige al pie de los relieves montañosos cuya fachada se orienta hacia el mar Caribe (Madrigal, 1980).

En función de los procesos y las formas que estos originan es necesario subdividir esta llanura, por un lado, en una división que conforma la sección distal de una coalescencia de abanicos aluviales y, por otro, en la parte de la llanura aluvial que cerca de la costa puede tener influencia marina en la formación de suelos y relieves.

Tanto la llanura como la sección distal de los abanicos presentan una superficie plana que en algunos sitios es ligeramente ondulada. En gran parte esta ondulación es ocasionada por un paleo relieve que corresponde con tobas y corrientes de lodo en mayor grado de meteorización que las rocas superficiales y que tienen, por efectos de erosión, la forma de lomeríos bajos sobre los cuales se depositaron materiales aluviales recientes (ídem).

La monotonía de la llanura es interrumpida en las vecindades de los ríos por un micro relieve producto de la erosión y del depósito fluvial. Se observan abundantes canales abandonados. La parte de la unidad que puede presentar en sus suelos cierto grado de salinidad por su reciente formación y su vecindad al océano puede haberse originado por un relleno que se efectuó en parte en agua de mar.

Sobre la segunda sección denominada llanura aluvial se sitúan las localidades de Encanto al norte de Golden Grove, finca Panamá y Estero Madre de Dios; así como Suerre, Caño Blanco, Nueva Esperanza, San Rafael y la Perla, entre otros.

Peligros potenciales naturales asociados con estas morfologías:

F8: inundaciones. Influencia directa de eventos meteorológicos por huracanes.

F5. Abanico río Reventazón

En el caso propiamente del abanico del río Reventazón y que modela un amplio sector del relieve en el cantón, su vértice se localiza a unos 6 km al oeste de Siquirres. Su pendiente es de unos 6° (10%) cerca de su vértice que se ubica a unos 7 km al SW de la estación del Ferrocarril, llamada Junta.

La subunidad abanico aluvial del río Reventazón se localiza en la zona comprendida por ciudad Siquirres, así como Cairo, Lousiana, Brooklyn, Junta y Tres Millas, entre otros.

La sección denominada distal se representa en una coalescencia de abanicos aluviales cuyo origen está en la transición del sector montañoso a la planicie. Esta a su vez se subdivide en una zona más alta y que está cerca de sus vértices en donde hay mayor influencia de roca volcánica *in situ* y la zona más baja en donde esa influencia es menor o desaparece.

Una serie de ríos que descienden la Cordillera de Talamanca por el noreste tales como el Guácimo, Guacimito, Novillos, Parismina, Destierro y Reventazón —estos tres últimos dentro de la jurisdicción de Siquirres— dan origen a la formación de abanicos aluviales, los cuales junto con los abanicos aluviales de los ríos Chirripó-Sucio, Toro Amarillo, Reventazón y Chirripó y Zent; han contribuido a desarrollar un verdadero pie de monte.

Su forma es en conjunto plana, paralela a la cordillera con una pendiente de 6° (11% en la sección alta, mientras que en la parte baja la pendiente es de 1° a 2° (-1% -3%). Esta pendiente está dirigida siempre en forma general de menos de 1° (-1%), o sea, un promedio de 3,5 cm por cada 100 metros de distancia. El corte de los ríos efectuado en la zona alta de los abanicos es profundo y de laderas verticales. La superficie de los abanicos es plana con muchas vías de drenaje superficial de pocos metros de corte. Los espacios interfluviales son angostos, no mayores de 200 metros. La llanura y los abanicos se confunden imperceptiblemente. Los cauces principales que cortan la llanura tienen un valle ancho, con orillas casi siempre de uno o dos metros sobre el nivel del río. Su patrón es meándrico. Como una consecuencia de su escasa pendiente, la presencia de terrenos pantanosos es frecuente. Esto se pone de manifiesto cerca de la costa, en cuya cercanía abundan los terrenos con mal drenaje.

En el área de los abanicos, hay una dominancia de lahares y corrientes de lodo, lo cual hace que el terreno esté formado de gran cantidad de bloques de roca lávica, dentro de una matriz arenosa, o arcillosa. En la

sección más alta puede existir la presencia de rocas volcánicas, como lavas y piroclastos intercalados en la secuencia, que se han formado de estos abanicos. La sección distal muestra únicamente fracciones finas de rocas lávicas dentro de una matriz arcillosa, pero en algunos sitios es frecuente que a tres metros de profundidad se evidencie la presencia de rocas tobáceas o de corrientes de lodo, con mayor grado de meteorización que las superficiales. Esto en parte puede ser una de las razones del mal drenaje local. Estas rocas más viejas y muy meteorizadas afloran en ciertas áreas, lo que ocasiona un cambio brusco en la condición del suelo. Tanto los abanicos como la llanura en sí han sido originados por el enorme aporte que en épocas pasadas hacían los ríos por ciclos de dinámica fluvial que llegan a esta zona, así como por la acción que cerca de la costa puede tener el modelado costero por influencia del mar.

Peligros potenciales naturales asociados con estas morfologías:

F5: inundaciones en los sectores recorridos por el río dentro de la planicie aluvial. Influencia directa de eventos meteorológicos por huracanes.

F9. Pantano permanente o temporal

La subunidad pantano permanente o temporal se sitúa en secciones aisladas dentro de la llanura aluvial y en forma continua y extendida a lo largo de la zona litoral a manera de transición entre el relleno continental y los cordones litorales que conforman la línea de playa.

Constituyen zonas de terreno plano que suelen tener un micro relieve de pequeñas ondulaciones. La unidad se compone de un relleno de fragmentos líticos muy finos, con dominancia de arcilla y limo y pequeños lentes arenosos; su origen se debe a rellenos por aportes fluviales

Peligros potenciales naturales asociados con estas morfologías:

F9: inundaciones. Influencia directa de eventos meteorológicos por huracanes.

F13. Lagunas endorreicas

Aunque ya no con tanta profusión, debido en principio a las actividades de laboreo de las tierras de la llanura aluvial, es posible aun identificar sectores con depresiones ocupadas por cuerpos lagunares. Estos cuerpos de agua aparecen a lo largo de lechos fluviales de ríos como Parismina, Aguas Zarcas, Reventazón y Pacuare. Su morfología en general responde

a lo divergente de la dinámica fluvial meándrica y que se expresa como lagunas en forma de media luna. Mención particular merece la Laguna Cuatro (coord. 234-502) que aparece caracterizada como tal en la hoja topográfica Matina 1:50.000 de 1962. En la actualidad su denominación se enmarca como un pantano permanente o temporal, ya que el espejo de agua ha cedido paso a vegetación espesa.

M1. Cordones litorales

La unidad litoral de origen marino está constituida por cordones litorales y lagunas del Caribe norte; los cuales dentro de los límites del cantón se sitúan entre el poblado de Parismina, a la desembocadura del río del mismo nombre, y boca del estero Madre de Dios.

Su superficie es plana horizontal, con una altura promedio de cinco metros sobre el nivel del mar. La playa se encuentra en su forma natural, como parte del relleno litoral que tierra adentro está seccionado y limitado por un canal o laguna litoral. Esta unidad se compone de relleno de playa y, por consiguiente, las fracciones líticas más abundantes son las arenas, con lentes y laminillas delgadas de limos y arcillas que se intercalan sobre todo en las áreas cercanas a la desembocadura de los ríos. Su origen se debe a la interrelación de las corrientes marinas litorales y los fragmentos líticos que son arrastrados por ellas. Estas partículas se mueven paralelas a la costa y son depositadas. Con el tiempo el relleno crece tanto que emerge. A partir de este momento gana altura por el acarreo de partículas por el viento; y a consecuencia de lo anterior, queda separado un brazo de mar que se transforma en el canal o laguna litoral. La edad de estos acúmulos litorales es del Cuaternario y posiblemente del Plio-Pleistoceno (Madrigal, 1980).

Peligros potenciales naturales asociados con estas morfologías:

M1: inundaciones y erosión litoral por oleajes. Influencia directa de eventos meteorológicos por huracanes.

F1.a, F1b, F1c, F1d. Abanicos aluviales activos

En correspondencia con los procesos de depósito en las áreas que marcan la transición entre la zona montañosa y la planicie, se distinguen acúmulos de material correspondientes al abandono que hacen los cursos fluviales de la zona montañosa. Esos depósitos producto de la erosión de relieves aguas arriba y de su transporte originan formas amplias y de suave

pendiente que se desplazan a su ingreso a terrenos planos y no confinados como los cauces que los transportan desde las secciones altas de las cuencas. En el presente caso de oeste a este, la comunidad de Pacuarito se asienta sobre una de estas formas denotada como F1a. Los cursos fluviales que originan este depósito son la quebrada Leona, el río Pacuarito y la quebrada Espavel. Los tres se unen unos 1000 metros antes de ingresar al sector de Pacuarito por el oeste.

Desde aquí el acúmulo continúa hacia el este por unos 3000 metros, en forma de una angosta faja (F1b) que establece una transición en cuanto a pendiente entre el área montañosa y una parte del sector plano que a su vez sirve de área de paso para la vía férrea y la carretera que lleva a la ciudad de Limón.

En esta porción longitudinal que sirve de asiento a las comunidades de Freehold y Monteverde, así como Culpepper, tres pequeñas quebradas de trayectoria que no exceden los 2 kilómetros de longitud y que se funden en la quebrada Rosita descienden por un fuerte flanco montañoso que se ubica al sur. Por la anchura del depósito no existe fuerte correspondencia entre la acumulación y procesos erosivos que evidencien una fuerte dinámica en las secciones altas de estas quebradas. Más bien de la disposición longitudinal de la forma y paralela al borde montañoso se deduce que los materiales ahí depositados han sido transportados por procesos normales ocasionados por la erosión laminar y aportes por desprendimientos.

El desarrollo de la forma continúa extendiéndose hacia el este hasta ampliarse gradualmente para servir de asiento a la comunidad de Santa Rosa (F1c). La morfología aquí adquiere la apariencia lobulada típica de un abanico aluvial convexo. Esta sección constituye la parte de la sección lateral oeste de un abanico aluvial más extenso que se desarrolla hacia el este (F1d) y que tiene como ápice el río Madre de Dios. En verdad la forma F1c puede considerarse como una forma con dinámica propia ya que, si bien se asocia por vecindad y homogeneidad morfológica con el río Madre de Dios, tiene como aportador fundamental de su depósito al río Cimarrones. Este curso fluvial lo disecta y se constituye junto con el F1d en una coalescencia de dos abanicos aluviales en principio.

La sección delimitada como F1d representa en particular el abanico aluvial más extenso de esta parte de Siquirres lindante con el cantón de Matina, extendiéndose incluso más allá del límite administrativo que establece

el río Madre de Dios. Su área sobrepasa los 15 km² para ambos cantones, siendo este último curso fluvial el que establece la principal dinámica de depósito. El abanico es activo, ya que la dinámica fluvial desarrolla un patrón anastomosado con formación de cauces secundarios activos y abandonados, lo cual disecta el depósito aluvial en profundidad apreciable.

Sobre estas morfologías, respectivamente, se ubican los poblados de Cimarrones, Río Hondo y Madre de Dios.

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:

F1a: inundaciones, localidades afectadas Pacuarito.

F1b: inundaciones y avalanchas súbitas; localidades afectadas: Freehold y Monteverde.

F1c: inundaciones comunidad de Santa Rosa y Cimarrones.

F1d: viviendas construidas en sección distal de abanico.

Áreas adyacentes a los ríos Cimarrones y Madre de Dios.

F2. Lomeríos bajos

Bajo esta denominación se incluye un grupo de relieves de altitudes que no sobrepasan los 90 metros de altitud. Estas topografías se ubican dentro de la extensa área de influencia distal de una de las formas comentadas atrás bajo los códigos F1d y F1c y que tienen como origen de aporte sedimentario los ríos Cimarrones y Madre de Dios. Los relieves en cuestión se consideran como relictos de relieves asociados a la sedimentación aluvial que ha determinado el paisaje actual. Estos relieves, en proporción de mayor altitud que la planicie circundante producto del depósito en los abanicos, constituyen plataformas plano-inclinadas de muy escasa pendiente y que a manera de suaves elevaciones sobresalen dentro de la planitud que caracteriza el sector. La presencia de estos lomeríos evidencia por su extensión un proceso activo de formación de nuevas tierras y que se mantiene vigente en la actualidad. La extensividad y potencia de estos abanicos aluviales relictos se hace patente localmente cuando se observa que, partiendo de la curva de nivel de 30 metros que marca la sección más distante de estas paleoformas, se requiere recorrer aproximadamente 500 metros para situarse sobre la subsiguiente cota de altitud de 20 metros.

Estos desniveles no muy apreciables en los mapas topográficos sí establecen diferencias topográficas significativas con relación al volumen de material que se transportó por estos ríos.

Contenida parcialmente dentro de esta forma y en la extensa planicie de la llanura que la limita por el norte se localiza la laguna Cuatro. Esta laguna endorreica representada en documento cartográfico antiguo como un cuerpo de agua definido se halla enteramente cubierta por vegetación en la actualidad. Su presencia parcial en la parte más extrema de la forma F2 y en la transición con el sector plano de la llanura indica con precisión la presencia de micro relieves y desniveles debidos a depósitos aluviales antiguos.

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:
F2: inundaciones al paso del río Hondo.

Unidades de origen tectónico y erosivo

De acuerdo con Madrigal (1980) las formas así agrupadas deben su origen al movimiento ascendente y la subsiguiente erosión.

La Cordillera de Talamanca ejemplifica esta unidad. La totalidad del sector montañoso y de alta pendiente que caracteriza al cantón de Siquirres por el sur está contenido dentro de esta unidad.

Constituye el eje del país desde la parte central hasta la frontera con Panamá. Ocupa a su vez la mitad sur del país, internándose en territorio panameño. Tiene valles profundos con laderas de pendiente fuerte. Las divisorias son angostas. Su estructura es complicada por la presencia de pliegues y fallas. Las rocas más viejas de esta cordillera parecen ser las de la Formación Tuis y Brito, del Eoceno y como rocas más jóvenes se encuentran las de Suretka de edad Plioceno. Intrusiones ácidas y básicas son frecuentes en la cordillera, así como rocas volcánicas. La meteorización es muy profunda en todas partes, dependiendo desde luego de la pendiente del terreno. La forma de la cordillera está grandemente influenciada por la presencia de fallas y pliegues, lo mismo que por la diversidad de rocas. Su origen se debió a una sedimentación marina que ocurrió hasta el Mioceno Medio, luego se inició un ascenso y plegamiento durante el Mioceno Medio al Superior. Posteriormente un plutonismo con magmas ácidas y básicas originando las intrusiones, el cual es muy posible que llegó hasta el Plioceno (*idem*).

Tal y como se apuntó atrás, una tercera parte del territorio de Siquirres se ubica en las estribaciones de la Cordillera de Talamanca que dan hacia el Caribe. La interacción entre esta sección montañosa y los relieves planos propios de la llanura aluvial que conforman la otra parte del paisaje

de este cantón es intrínseca. Ambos paisajes representan una continuidad en el ciclo que origina y transforma nuevas tierras. La dinámica denudativa de la sección alta repercute en la sección baja. Así, es posible hallar aquí una gran diversidad de morfologías cuya evolución tiene claro impacto en las tierras bajas.

Las formas denudativas que a continuación se describen bajo la inicial D se ubican en la Cordillera de Talamanca.

Formas originadas por remoción en masa

D5 y D5a. Deslizamiento

Madrigal (1980) denomina esta forma como deslizamiento en Lajas y Chitaría de Peralta y lo cataloga como semi activo. Se ubica en el valle medio del río Reventazón, entre la jurisdicción de Turrialba y Siquirres. Si bien por pertenencia cantonal, la forma queda mayormente comprendida en Turrialba, lo cierto es que su localización en ambos costados de valle del Reventazón y la orientación de las aguas hacia este colector principal hacen que este canal actúe como medio natural para el transporte de sedimentos eventualmente removidos de este deslizamiento.

La forma en sí es muy extensa y espectacular, no solo por las dimensiones que ocupa (unos 30 km²), sino porque su ubicación dentro de formaciones geológicas constituidas por materiales altamente inestables confiere imprecisión al momento de establecer

claramente sus límites. Aquí rocas volcánicas ubicadas en el lado norte del Reventazón y provenientes del volcán Turrialba; sobreyacen sedimentos marinos de las formaciones Uscari y Senosri constituidos por areniscas muy meteorizadas y lutitas arcillificadas, las cuales de hecho constituyen mantos ideales para el movimiento, sobre todo en regiones que, como esta, tienen regímenes de alta pluviosidad.

La morfografía destaca por la presencia de lomas transversales a la pendiente, así como superficies irregulares y desordenadas, con drenajes no ajustados a un patrón definido. Los costados de los valles de los ríos Pascua, Bonilla, Roca y Blanco, para citar algunos, se observan fuertemente disectados y con huellas erosivas evidentes de procesos continuos de desestabilización. Los valles son muy profundos y conforman dentro del área los sectores más abruptos del cantón. La unidad D5a, localizada

al este del deslizamiento principal y con el río Reventazón separándolos, tiene características de menor espectacularidad que la D5 esencialmente por el territorio que abarca. Esta es una unidad que posee una divisoria de aguas principal y de cima relativamente amplia. Las laderas a ambos costados de esta divisoria son de pendiente moderada advirtiéndose mayor grado de disección aparente en la ladera este. No se observa la topografía caótica de su homóloga al oeste, aunque sí se advierten secciones de terreno basculados y discontinuidades topográficas en las laderas, con cursos fluviales medianamente entallados.

Poblados como Altos Pascua (San Isidro), San Antonio, Pascua (San José), Bonilla son algunos de los núcleos poblacionales que tienen su asiento en esta área. En la D5a: poblados como Bajo 52 millas, Calvario, Encanto, Ganga y la Amistad.

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:

D5: remoción en masa, avalanchas súbitas, caída de rocas.

D5a: reptación, inundaciones y avalanchas súbitas.

D6a. Relicto superficie semiplana erosionada alta

D6b. Relicto superficie semiplana erosionada baja

D6c. Relicto superficie ondulada

D6. Relicto superficie irregular colgada

Esta unidad (D6a) constituye un remanente morfográfico de las superficies que alguna vez quizás constituyeron secciones estables del deslizamiento que se comentaba atrás. Ocupa sitios cimeros circundados por terrenos inestables y de cuyos flancos se originan impresionantes taludes de erosión hacia los ríos Gallina y Pascua al norte y Susto y Bonilla al sur; así como hacia la quebrada Linda y Hermosa al este. Las pendientes son de suaves a moderadas y la topografía va de tierras onduladas a sectores plano-inclinados. Es disectada levemente por parte de los dos últimos cursos fluviales que se nombran. La apariencia morfográfica a distancia se asemeja a una inmensa terraza de territorio suspendido mediante paredes verticales.

A lo interno de esta unidad se reconoce una segunda morfología que aquí se denomina D6b, siendo en principio la quebrada Hermosa el accidente natural que las separa. A simple vista ambos territorios son similares y en efecto lo son, con la salvedad de que la unidad D6b se halla desplazada

verticalmente de la D6a por un escarpe de 2500 metros de longitud, el cual se ensancha gradualmente de oeste a este para alcanzar así una diferencia altitudinal de unos 80 metros.

A simple vista ambas morfologías se asemejan a los cortes característicos que efectúa la acción erosiva de los ríos en sus riberas, lo cual origina terrazas.

El desplazamiento vertical que experimenta esta unidad D6b podría primero deberse a la inestabilidad propia de terrenos con problemas generalizados por movimiento de laderas u originarse realmente por el corte fluvial que establece el río Blanco que la limita al norte. La justificación de esta hipótesis tiene asidero por cuanto la unidad D6c, ubicada inmediatamente al norte del río Blanco, tiene cierta correspondencia topográfica y altitudinal con la superficie D6b. En realidad, ambos territorios son disecados fuertemente por el río Blanco, así como por las profundas gargantas que forman los ríos Pascua, Roca y Gallina.

Ambas unidades poseen rasgos morfológicos similares, aunque la D6c se diferencia de la D6b porque posee mayor irregularidad en su relieve y solamente un amplio sector plano inclinado cuya similitud con las tierras al sur del río Blanco se destacó atrás. La unidad D6c limita por el oeste con el río Destierro el cual a su vez establece el límite cantonal en ese sector.

La unidad D6 conforma un territorio a manera de pequeño escalón que se ubica entre el extremo este de la unidad D6a y el río Bonilla. Por su similitud topográfica representa un segmento colgado de la D6a, delimitado hacia el oeste de esta por un escarpe en forma de

semicírculo que pertenece al topónimo del cerro Encanto. Esta forma posee una topografía irregular y con un fuerte talud de erosión hacia el río Bonilla el cual discurre unos 100 metros ladera abajo por un valle fluvial fuertemente entallado. Por su fisiografía, esta forma parece representar una de las tantas superficies de inestabilidad contenidas dentro del grupo de estas formas denudacionales y que conforman a manera de un inmenso mosaico un vasto territorio afectado por inestabilidad de laderas.

Poblados como Destierro, Roca, Altos Pascua (San Isidro) tienen su asiento aquí.

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:

D6a, D6b, D6c, D6: deslizamientos en flancos de valles fluviales e inestabilidad generalizada, agrietamientos y reptación.

D4. Colinas y laderas denudacionales

Esta unidad morfológica es la más extensa de las delimitadas en la zona montañosa del cantón de Siquirres. Tiene como límite por el oeste el río Reventazón y por el sur parte de la unidad D5a, además del límite cantonal con Turrialba. Constituye una unidad morfológica altamente disectada en concordancia con materiales de las formaciones Suretka del Plioceno y Senosri del Oligoceno. La topografía de esta área responde precisamente a su conformación geológica, es decir, de materiales muy meteorizados, inestables por el efecto lubricante que ejercen las aguas pluviales sobre terrenos arcillificados y, por lo tanto, favorecedores del entalle vertical de los cursos fluviales con interfluvios que van de amplitud moderada a cortos. La forma de las pendientes, por tanto, se corresponde con esta descripción, observándose una combinación de formas cóncavas y convexas, cuya correspondencia se asocia en principio a afloramientos rocosos y a procesos de erosión en áreas en donde la pendiente lo favorezca.

Algunos centros poblados aquí son: Guayacán, Moravia, Linda Vista, Bajo Tigre, Pascua (San José) y Coco.

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:

D4: reptación, inestabilidad de laderas en áreas adyacentes a ríos.

D3. Superficies elevadas disectadas

La unidad D3 se localiza fragmentada en cuatro secciones que se ubican tres entre el río Reventazón y el Madre de Dios y una en la margen derecha del primero. La totalidad de ellas comparte, sin embargo, el ocupar terrenos mayoritariamente constituidos por cimas aisladas de altitud escasa y divisorias de aguas de difícil definición. Estos rasgos tienen la particularidad de que, dentro de la irregular topografía que les rodea, estas constituyen secciones amplias, con intercalaciones de sectores ondulados, pendientes largas y medianamente disectadas en comparación con los terrenos que las delimitan. Estos territorios son remanentes de áreas fuertemente afectadas por erosión fluvial. Algunas de estas secciones constituyen también flancos de laderas de pendientes moderadas y no tan quebradas como los profundos valles fluviales que se desarrollan en su periferia.

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:

D3: deslizamientos, erosión fluvial.

Figura No.1. Ejemplo de paso de detalle estereoscópico a mapa



F6. Terraza de erosión elevada

Esta forma se localiza a unos 160 metros de altitud, en esta parte con respecto al río Reventazón. Es una superficie plana, ligeramente inclinada, no disectada y que contrasta por su plitud con las formas que se identifican en esta sección del territorio. Se encuentra delimitada por taludes de erosión imponentes y su aspecto topográfico destaca frente a la irregularidad y grado de disectación de los relieves que le rodean. No tiene correspondencia altitudinal evidente con territorios vecinos. Su origen parece deberse a la acción erosiva del río Reventazón.

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:

F6: inestabilidad de laderas en áreas adyacentes a los taludes de erosión.

F7. Terraza elevada muy erosionada

La unidad F7 rodea prácticamente a la analizada en el apartado anterior. A diferencia de aquella, este territorio es altamente disectado, recorrido por una topografía muy irregular y con lomas transversales a la pendiente. Contenidas aquí se encuentran las lagunas Bonilla y Bonillita, ocupando la

segunda una posición de mayor altitud con respecto a la primera. En áreas de inestabilidad de laderas ambos rasgos pueden tener correspondencia con las depresiones que se rellenan de agua y que se forman a raíz del movimiento diferencial de masas de material. Quizás también en un periodo esta unidad fue afectada por procesos erosivos y de depósito fluvial originados por el río Reventazón, ya que se observan terrenos semiplanos en las vecindades de las lagunas, especialmente inmediatamente al sur de la Bonillita.

F4, F4a y F3. Terrazas fluviales

Las unidades F4 y F4a representan depósitos de materiales aluvionales que se localizan a lo largo de varias secciones del cauce del río Reventazón, mientras que la denominación F3 identifica depósitos similares que se asocian al río Pacuare. Las denominadas F4 se ubican a nivel del cauce principal mientras que la F4a se encuentra a mayor altitud. Este último rasgo no se halla continuo a lo largo del curso fluvial, sino que el corte que efectúa el río y que en algunas partes se expresa en un escarpe que alcanza los 160 metros de altitud se realiza a partir de la quebrada Cuarenta y Cinco (228-581), ubicada en la margen oeste del Reventazón y se prolonga por unos 6 kilómetros aguas abajo hasta el denominado Codo del Diablo. La correspondencia entre este corte y la unidad D4 al este difiere sustancialmente del que el mismo río realiza en la margen oeste, ya que, en el primer caso, las pendientes que se orientan hacia el río presentan en general un gradiente más suave. En cambio, en su margen izquierda, el río realiza un corte sobre potentes depósitos provenientes de un abanico aluvial que tiene como vértice el río Reventazón.

Comunidades en F4: Bonilla Abajo, Lomas, Florida, Casorla, Bajo 52 Millas

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:

F4: inundaciones.

F4a: deslizamientos.

F3: inundaciones.

F5. Abanico aluvial

Parte de esta inmensa unidad se corresponde con el límite administrativo oeste del cantón, definido por el río Destierro. Este curso fluvial representa también el vértice del abanico. La unidad en sí tiene pendiente

suave y de forma convexa en general. Tiene un patrón de drenaje dicotómico que se expresa en una densidad de drenaje media a alta.

Tal y como se reseñó atrás, parte de su límite este se expresa mediante un profundo corte que realiza el río Reventazón y que separa esta forma de la unidad de colinas y montañas denudacionales (D4).

Algunas comunidades asentadas aquí son: Vueltas, Río Peje, Alegría, Finca Florida, Altos Herediana (San Isidro), Francia, Babilonia, Germania, Cairo, Trinidad y Louisiana, entre otras.

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:
F5: inundaciones, sección distal.

F12. Abanico aluvial activo

Esta unidad sirve de asiento a la ciudad de Siquirres y ha sido formada por los depósitos aluviales provenientes de procesos de erosión ocurridos a lo largo de la cuenca hidrográfica del río homónimo. En comparación con unidades morfológicas similares presentes en el cantón, esta carece de la extensión y el volumen que aquellas poseen, ya que a lo mucho cubre unos dos kilómetros cuadrados de área. Su forma es convexa, de pendientes suaves y laderas ligeramente inclinadas.

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:
F12: inundaciones en la ciudad de Siquirres.

D1. Talud de erosión

Esta forma se ubica dentro de la unidad D4 (colinas y montañas denudacionales) y corresponde a una sección del curso medio del río Pacuare. Representa un sector fuertemente disectado, de laderas rectas y cortas, definiendo para el río en este sector un valle fluvial angosto.

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:
D1: deslizamientos.

D7. Escarpes

Estos rasgos morfológicos representan formas aisladas que se localizan principalmente en la unidad D4 (colinas y montañas denudacionales). Se comentan por aparte ya que las rupturas de pendiente que representan evidencian procesos erosivos intensos y áreas en donde las laderas adquieren fuertes grados de inclinación.

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:
D7: deslizamientos.

Formas de origen estructural

E1. Falla de Tigre (Fallas y/o alineamientos geológicos)

Madrigal (1980) sitúa esta forma a 3 kilómetros al sur de la ciudad de Siquirres, entre el sector comprendido al noroeste del poblado Linda Vista y Alto Berlín, De acuerdo con la descripción que efectúa, se dice que “tiene una longitud de ocho kilómetros con un rumbo de N 38° E. Caracterizan la traza de esta falla en superficie escarpes de hasta 500 metros y pendientes de más de 30°. Las rocas cortadas o intersectadas por esta falla son principalmente sedimentarias, pertenecientes a las formaciones Uscari y Senosri; areniscas, gran cantidad de lutitas muy plásticas y ocasionalmente alguna caliza. Todas se encuentran muy meteorizadas y en superficie” (p.61).

Peligros naturales potenciales asociados con estas morfologías:
E1: deslizamientos.

E2. Fallas varias (y/o alineamientos geológicos)

Se incluyen aquí aquellos rasgos estructurales que aparecen en la cartografía de la Comisión Nacional de Emergencia (CNE, 1994). Estas se expresan en los mapas topográficos.

Resumen sobre las aptitudes de las unidades geomórficas

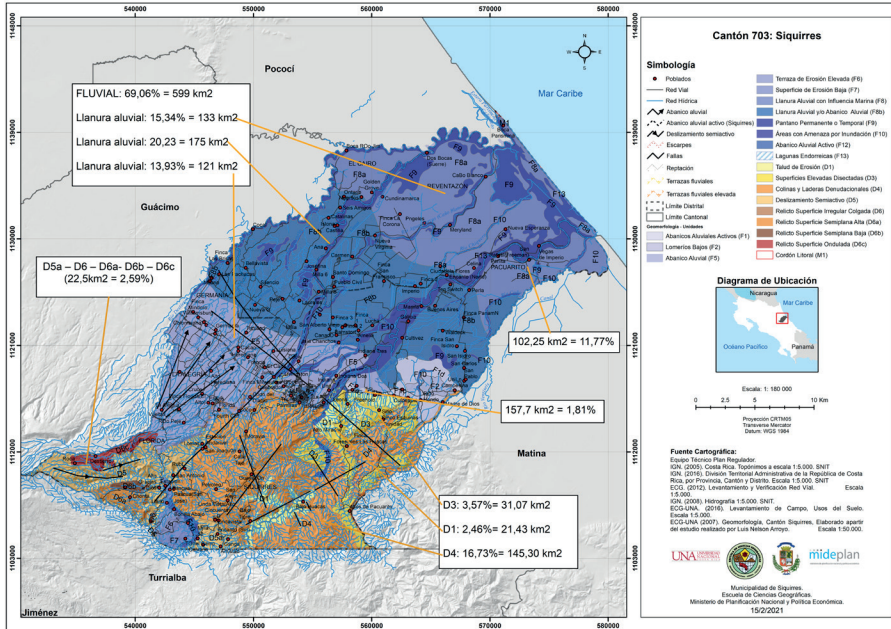
Un 70% del cantón se origina por procesos de origen fluvial. Este territorio se subdivide a su vez en tres unidades. La F8b se corresponde con terrenos planos, localizados bajo la curva de nivel de los 10 metros como es una unidad inmediatamente vecina al mar, o puede mostrar influencia salina en sus suelos. La unidad F8a representa la sección media de esta unidad y posee tierras arriba de los 10 metros de altitud. Es plana con un ligero grado de inclinación (de 0% a 8%) y aunque se encuentra más elevada que la anterior, presenta también problemas de inundabilidad aunque sin influencia salina.

Aquí no se halla profusión de área con lagunas endorreicas como si se hallan en la anterior. La tercera sección corresponde con la unidad

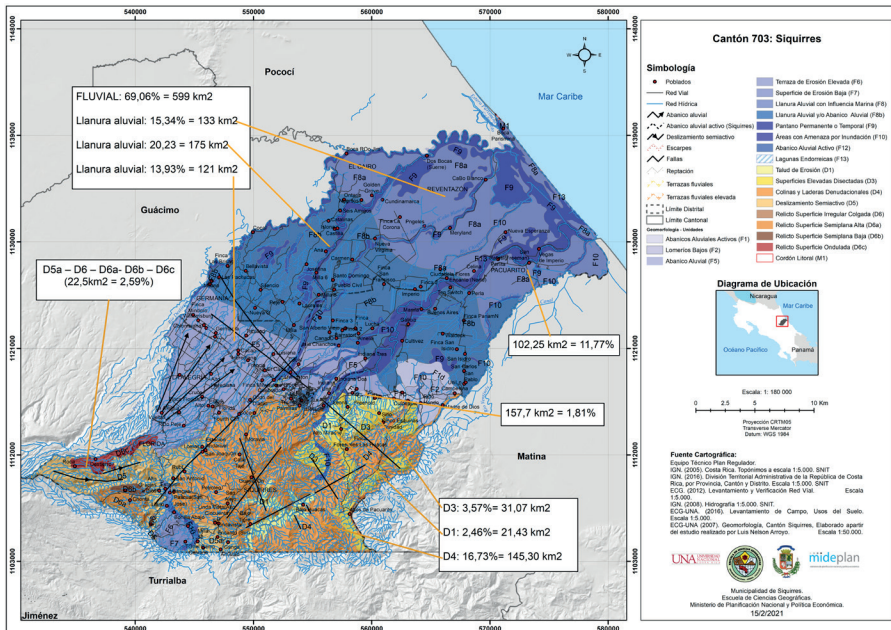
denominada abanico aluvial. Esta área es la que presenta menos limitaciones de las tres, ya que representa la unidad de mayor altitud y la de menos declive por lo que no tiene problemas de inundabilidad como las anteriores y presenta características en donde no se advierten limitaciones debido a sus propiedades naturales. Su pendiente es suave (de 0% a 8%) pero al tener mayor declive por ser más corta que las demás, sus aguas poseen capacidad de escorrentía mayor sin que eso signifique problemas menores por inundaciones o encharcamientos.

El restante 30% del cantón se encuentra dominado por formas de origen denudativo, las cuales se identifican con la inicial D. De las unidades así identificadas, la que presenta mayores restricciones es la que se denomina “deslizamiento semiactivo”, el cual ocupa 47,20 km². Esta área tiene muchas limitantes y su uso se enfocaría principalmente como áreas de conservación con una densidad muy baja en construcciones, ya que, si bien es extensa, la realidad es que todo el sector tiene casi en su totalidad pendientes fuertes (30% a 60%) y se halla fuertemente afectado por procesos de inestabilidad de laderas, por lo que las áreas presentan quebraduras, lomas transversales, taludes de erosión activos en los costados de los valles fluviales y, en general, una topografía caótica. Su uso se enfocaría en conservación de bosques para fines ecoturísticos porque los paisajes son muy bellos y la presencia en sectores de una densa vegetación favorece un turismo de esta naturaleza. Sin embargo, la sección denudada que se acerca más a estos fines es la D4, ya que no presenta problemas tan evidentes de erosión e inestabilidad, pues en general es forestada. La D3 entra dentro de esta categoría, puesto que, si bien presenta ciertos sectores con uso de la tierra extensivo, su vocación tiene menos restricciones que la sección que presenta el deslizamiento. La unidad denominada D1 y que se ubica una parte al sureste de Siquirres se caracteriza por una pendiente fuerte hacia las denominadas F1a, F1b, F1c, F1d y F12; presentan pequeños abanicos aluviales con comunidades en sus vecindades. Sobre el F12 se asienta la ciudad de Siquirres, así que como el poblado de Pacuarito y algunos pequeños poblamientos paralelos a la carretera que lleva a Limón. Las áreas adyacentes a estos sectores, sobre todo los pequeños ríos que las forman, deben ser protegidas en sus cuencas y fomentar programas de conservación de bosques (Mapa No.2 y No.3).

Mapa No. 2. Estimación territorial de unidades geomorfológicas principales.



Mapa No. 3. Unidades geomórficas versus territorio cantonal en %.



Referencias

- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. (CNE) (1994). *Sistema de Información para Emergencias (SIE)*. Recuperado de: <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc7228/doc7228.htm>
- Instituto Geográfico Nacional. (1998). *Fotografías aéreas de líneas 35A, 36A, 37B, 38B y 39B*. Proyecto TERRA, escala 1:40.000.
- Instituto Geográfico Nacional. (1967). *Hojas topográficas Tucurrique, Matina, Barbilla, Parismina, y Bonilla*, escala 1:50.000.
- Madrigal, R. (1980). *Manual Descriptivo del mapa geomorfológico de Costa Rica. (escala 1:200.000)*. Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables (SEPSA). San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.
- Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas. (MIRENEM) (1980). *Mapa Geológico* escala 1:200.000.
- Van Zuidam, R. (1986). *Aerial photointerpretation in terrain análisis and geomorphological mapping*. The Hague, The Netherlands: Smit Publishers.
- Verstappen, H. (1983). *Applied geomorphology, geomorphological surveys for environmental development. International Institute for Aerial Survey and Earth Science (I.T.C.)*, Enschede, The Netherlands. ELSEVIER Amsterdam.



Inundaciones por zonas funcionales en la subcuenca Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, México

Flooding within functional zones in the Santa Rosa Jauregui subwatershed Queretaro, Mexico

Sonia Oreano-Hernández¹

Universidad Autónoma de Querétaro, México



Juan Hernández-Guerrero²

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Resumen

En la periferia urbana de la ciudad de Querétaro, las inundaciones son más frecuentes y peligrosas. El proceso parece acentuarse conforme se altera la estructura y función de las cuencas hidrográficas. El presente trabajo analizó la formación de inundaciones por zonas funcionales en la subcuenca Santa Rosa Jáuregui, Querétaro. Al respecto, se elaboraron zonas funcionales con variables hidrogeológicas en un sistema de información geográfica, se definieron unidades y secciones con análisis hidrogeomorfológico y se recopilaron registros de inundaciones con trabajo hemerográfico. Los resultados señalan que la zona funcional alta tiene una estructura óptima que beneficia cuenca abajo, pero las alteraciones hidrogeomorfológicas en la zona funcional media favorecen la formación de inundaciones en la zona funcional baja, la cual también cuenta con la urbanización de la llanura de inundaciones. A través de zonas funcionales, se determinó que las inundaciones resultan de procesos sistémicos y acumulativos que pueden ser utilizados en la gestión y mitigación de riesgo.

Palabras clave: Zona funcional, inundación, subcuenca, periferia urbana.

- 1 Maestra en Gestión Integrada de Cuencas. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Campus Aeropuerto, México. Carretera a Chichimequillas s/n, Ejido Bolaños. C.P. 76140. Correo electrónico: sandyoreano@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-7205-9234>
- 2 Doctor en Geografía. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Campus Aeropuerto, México. Carretera a Chichimequillas s/n, Ejido Bolaños. C.P. 76140. Correo electrónico: juan.hernandez@uaq.mx  <https://orcid.org/0000-0002-4220-7216>

Abstract

In the urban periphery of the city of Queretaro, Mexico, floods are becoming increasingly frequent and dangerous. The process seems to be accentuated as the structure and function of hydrographic watersheds are altered. The present work analyzed the occurrence of floods within functional zones in the Santa Rosa Jauregui subwatershed in the state of Queretaro, Mexico. In this regard, functional zones were elaborated with hydrogeological variables in a Geographic Information System, units and sections were defined by employing hydrogeomorphological analysis, and flood records were compiled from hemerographic research. The results indicate that the high functional zone possesses an optimal structure that benefits the watershed downstream, however, hydrogeomorphological alterations in the middle functional zone favor the occurrence of floods in the low functional zone, which finds its floodplain in an urbanized state. Through consideration of functional zones, it was determined that floods result from systemic and cumulative processes whose awareness and consideration can be used for risk management and mitigation purposes.

Keywords: Functional zone; flood; subwatershed; urban periphery.

Introducción

En los temas de construcción y gestión del riesgo asociado con inundaciones, la relación entre amenazas de origen hidrometeorológico y las actividades humanas son determinantes, pero también la propia estructura y función hídrica del lugar, pues al combinarse con alteraciones, exposición y vulnerabilidad, se fomenta la recurrencia y peligrosidad de los eventos y, por ende, la susceptibilidad del lugar (Cutter, Boruff & Lynn 2003; Hernández, 2013; Zúñiga & Magaña, 2017).

Los lugares susceptibles a inundaciones deben analizarse como consecuencia de efectos acumulativos y multicausales más allá de la zona de anegación, a los cuales se les brinda poca atención porque parecieran estar ocultos o remotos a donde ocurre el evento (Hernández, Vieyra & Mendoza, 2012). Por ello, comprender la formación y consecuencias de las inundaciones requiere de estudios no lineales e interdependientes de las condiciones (biofísicas, sociales y culturales), escala y características territoriales (Mavhura, 2019).

Entre la diversidad de unidades territoriales, las cuencas hidrográficas destacan en el análisis de inundaciones por sus funciones dinamizadas por el agua, estructura constituida por subsistemas de elementos complejos y heterogéneos (geológicos, geomorfológicos y edáficos) que permiten analizar la formación de inundaciones de manera sistémica (Reid, 1993; Braud, Fletcher & Andrieu, 2013; Jáuregui, Aversa & Salas, 2016). En ese sentido, la comprensión sistémica puede asociarse con zonas funcionales: a) zona alta, definida por la captación de agua de lluvia; b) zona media de

almacenamiento y transporte de agua; y c) zona baja de descarga y captación de agua (Valdés & Hernández, 2018, p. 190).

Las zonas funcionales media y baja, según las características del lugar, suelen ser las más recurrentes a la formación de inundaciones, ya que denotan el efecto acumulativo natural de la dinámica pluvial y fluvial de la cuenca a través de escorrentías y descargas sobre ríos y cuerpos de agua perennes y temporales, o bien, sitios de baja pendiente, por esto, cualquier perturbación altera la dinámica (Garrido, Enríquez, Pérez, Luna & Sánchez, 2009; Valdés & Hernández, 2018).

En cuencas limítrofes a las ciudades, específicamente en las periferias urbanas, las zonas funcionales media y baja suelen priorizarse a la inversión y ocupación, ya sea por su cercanía con el área urbana central o por su atractivo ambiental (producción de alimentos, regulación de microclimas, abastecimiento hídrico, atracción de biodiversidad y provisión de servicios ambientales), todo ello es interdependiente de la dinámica particular de actividades y funciones naturales, rurales, urbanas e industriales (Braud et al., 2013; Flotemersch et al., 2016; Hernández & Osorno, 2018). No obstante, esos espacios suelen presentar importantes accidentes del terreno, insuficiente vigilancia, cambios de suelo con poca planeación, tenencia del suelo diferenciada y mínima atención gubernamental (Craig & Jeffery, 2014; Gunnell, Mulligan, Francis & Hole 2019). Lo anterior propicia que se modifique el proceso natural y formador de la inundación, al tiempo que la evaluación y actuación se complique debido a los acelerados cambios y actividades (Cardoso & Fritch, 2012; Braud et al., 2013; Gunnell et al., 2019).

Al respecto, existen trabajos sobre inundaciones en cuencas hidrográficas de periferias urbanas que estudiaron los efectos ambientales y territoriales (Craig & Jeffery, 2014; Barbedo, Miguez, Van der Horst & Marins, 2014; Arroyo, 2018), modelaron inundaciones (Mobayed, 2009; Miller et al., 2014; Califano, Mobilia & Longobardi, 2015; Oviedo, Morán, Nájera & Bolívar, 2018) y analizaron la formación e impactos socioeconómicos y culturales (Eakin, Lemer & Murtinho, 2010; Hernández et al., 2012; Becerra et al., 2013; García & Hernández, 2015; Michel & Hernández, 2019). Sin embargo, en los trabajos mencionados, aun cuando se plantea de forma directa e indirecta la dinámica de la cuenca, no se realiza un análisis sistémico para comprender la formación de inundaciones,

ante lo cual, su análisis por zonas funcionales serían una alternativa en el proceso de mitigación.

Los argumentos mencionados hasta el momento se ejemplifican en la mayoría de las periferias urbanas de ciudades grandes en México, sea por su crecimiento poblacional y físico, competitividad, reconfiguración territorial y ocupación de suelos susceptibles; además, se relaciona con cuencas hidrográficas que, ya de por sí, son susceptibles al cambio, tienen presión constante y estrés hídrico (Aguilar, 2009; SEMARNAT-CONAGUA, 2015). Al respecto, de las 13 ciudades grandes (mayores a un millón de habitantes), ocho se encuentran en el centro del país con aproximadamente 46 millones de habitantes y forman parte de las regiones hidrológicas Lerma-Santiago, Pánuco y Balsas, las cuales son catalogadas por su incidencia de riesgos y desastres asociados con fenómenos hidrometeorológicos y geológicos (Abeldaño & González, 2018; SEDATU & CONAPO, 2018).

Entre esas ciudades destaca Querétaro (ciudad conurbada por los municipios de Querétaro, Corregidora, El Marqués y Huimilpan), la cual presentó un significativo crecimiento poblacional y de superficie construida en los últimos 30 años; en 1990 tenía 537.100 habitantes con una superficie de 101,53 km² y en 2020 contaba con 1.530.820 habitantes y 205 km² (último conteo de población y vivienda) (Delgado, 1993; SEDESOL & CONAPO, 2012; INEGI, 2020). El aumento poblacional y físico de la ciudad está acompañado de su ubicación económico-estratégica entre el sur y norte del país, por la cercanía con la ciudad de México, el crecimiento industrial y el intenso desarrollo inmobiliario, por lo mismo, los cambios de uso de suelo y territoriales se han acentuado en un lapso relativamente corto (Arvizu, 2005; Hernández & Osorno, 2018).

Los cambios señalados y de mayor repercusión en la ciudad de Querétaro se manifiestan en las subcuencas³ de la periferia urbana: en el norte Buenavista, Santa Rosa Jáuregui, Tierra Blanca, El Nabo y San José El Alto; al oeste se encuentra Tlacote El Bajo y El Pueblito, al sur están Joaquín Herrera y Los Olvera, y al este se presenta La Cañada y Ex Hacienda Menchaca, aunque cabe decir que algunas secciones de la periferia oeste y

3 La subcuenca o microcuenca son divisiones convencionales biofísicas hechas con fines de manejo de una macrocuenca, en México esa división también se manifiesta en cuencas (>50000 hectáreas), subcuenca (5000 a 50000 hectáreas) y microcuenca (5000 hectáreas) (Cotler, 2010; IMTA, 2019).

sur pertenecen a la cuenca central de Santiago de Querétaro (Hernández & Martínez, 2017; Ochoa, 2019). Esos cambios se conducen con escasa vigilancia, diferenciación en la dotación de servicios e infraestructura urbana, especulación del suelo, limitada planeación, presión inmobiliaria, fragmentación territorial y cambios culturales de los pobladores originarios (Hernández & Martínez, 2017). Además, se identifican problemas como la degradación de ecosistemas, reducción del arbolado y áreas verdes, ocupación de cauces y cuerpos de agua y transformación de suelos agrícolas por urbanos, todo lo anterior pareciera fomentar la construcción del riesgo de inundaciones (PNUMA, 2008; Peña, 2018).

En el periodo de 2000 al 2013 se registraron 69 inundaciones con daños y pérdidas materiales en el estado de Querétaro, mientras que en la ciudad de Querétaro fue de 43 eventos con esa magnitud (Hernández, 2013). Por su parte, solo en el área urbana del municipio de Querétaro se han identificado 31 sitios susceptibles por desbordamiento de cauces o zonas bajas de anegación (UAQ, 2009; UMPCQ, 2015). Sin embargo, en la periferia de la ciudad no existen registros claros de inundaciones, aunque algunos trabajos distinguen su formación en dos direcciones, el norte y el sur, donde el norte pareciera destacar en recurrencia y peligrosidad (UMPCQ, 2015; García & Hernández, 2015; Peña, 2018).

En el sector norte destaca la subcuenca Santa Rosa Jáuregui, donde año con año se forman inundaciones con cada vez más afectaciones y aunque no se cuenta con un registro óptimo de los eventos, la escasa información permite señalar que las inundaciones se concentran en la sección baja de la subcuenca (UMPCQ, 2015). Además, pareciera que el problema aumentó en esa sección conforme la ocupación y alteración de la dinámica hídrica cuenca arriba, por lo tanto, ¿cuál es la distribución espacial de inundaciones por zonas funcionales en la subcuenca?, y, ¿cuáles son los factores que condicionan la formación de inundaciones por zonas funcionales?

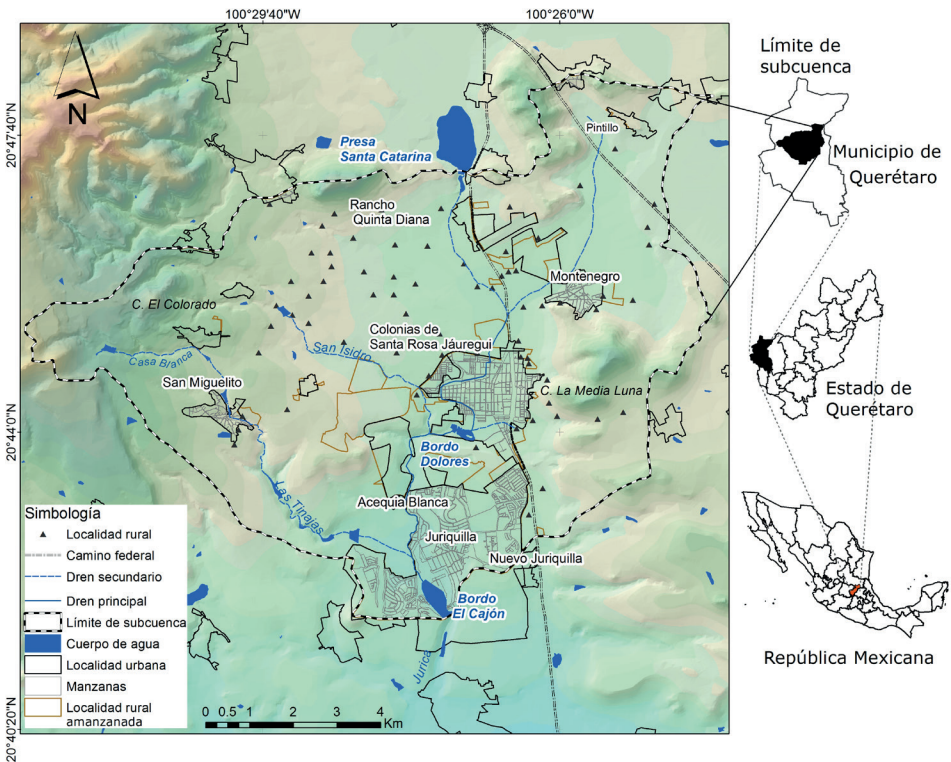
Por lo comentado hasta el momento, el objetivo del presente trabajo fue analizar la formación de inundaciones por zonas funcionales en la subcuenca Santa Rosa Jáuregui en Querétaro. La respuesta a ese objetivo incluyó la identificación de zonas funcionales y un análisis hidrográfico, geológico y geomorfológico para determinar la susceptibilidad del lugar. El análisis permitirá tener un escenario de la formación de inundaciones

donde se identifiquen problemas acumulativos y procesos escalonados que apoyen la toma de decisiones en la gestión y reducción del riesgo.

Área de estudio

La subcuenca Santa Rosa Jáuregui (SCSRJ) se localiza en la zona norte de la periferia urbana de la ciudad de Querétaro (Figura 1). Tiene una superficie de 100 km² donde se establecen nueve localidades urbanas con 99.221 habitantes y 39 localidades rurales con 29.788 habitantes (INEGI, 2020). En la SCSRJ destacan tres lugares que pasaron de ser poblados antiguos a ser parte de las localidades urbanas de la ciudad de Querétaro, en orden de norte a sur son Santa Rosa Jáuregui, Juriquilla y Jurica. Los asentamientos poblacionales están distribuidos entre pendientes de 3° a 25° y altitudes entre 1.980 y 2.450 msnm.

Figura 1. Localización de la subcuenca Santa Rosa Jáuregui



Fuente: Elaboración con información del INEGI (2015).

El clima característico en la subcuenca es semiseco, donde la temperatura mínima es de 9 °C y la máxima de 31,5 °C, mientras que la lluvia media anual es de 550 mm. En los episodios de lluvia se tiene registro de la altura de agua entre 5 cm y 35 cm, pero se han identificado registros de hasta 100 cm en algunas áreas bajas y limítrofes al Dren en Santa Rosa Jáuregui y en Jurica (UAQ, 2009). Asimismo, la SCSRJ está constituida por ocho diferentes usos de suelo, agricultura de temporal (47,8%), zona urbana (21,7%), matorral subtropical (10,4 %), matorral crasicaule (7,5%), bosque tropical caducifolio (5,0%), agricultura de riego (4,3%), matorral espinoso (2,0%) y pastizal inducido (1,2%). Por su parte, desde la mitad y hasta el punto de salida de la SCSRJ, el predominio en el uso de suelo es agrícola y urbano, este último destaca por ser de condiciones mixtas (zonas habitacionales, comerciales y servicios) (Centro Queretano de Recursos Naturales, 2002).

La SCSRJ se encuentra en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago, en ella se forma la cuenca Lerma-Chapala, siendo el río Querétaro una de sus principales vertientes. El agua que recibe ese río proviene del Valle de Buenavista y se encuentra controlada por la presa Santa Catarina, localizada al norte de la localidad Santa Rosa Jáuregui. En la vertiente oeste de Santa Rosa Jáuregui pasa el Dren del mismo nombre y llega al Bordo Dolores en la cabecera de la localidad, el cual forma parte de un parque de atracciones. El agua de esa presa sale regulada y direccionada a través de un Dren que, aguas abajo, se alimenta del arroyo San Isidro y cambia su nombre a Dren Jurica, este último desemboca en el Bordo El Cajón, también conocido como Lago de Juriquilla o club náutico, después de ello el Dren Jurica sigue su curso hasta desembocar en el río Querétaro.

En los parámetros morfométricos de la SCSRJ el índice de Gravelius fue 1,39 y el factor de forma 0,72; ello indica que la subcuenca es redonda a oval-oblonga, caracterizada por las crecidas de flujo de agua que tardan en llegar al punto de salida de la subcuenca (Bordo El Cajón). La red hídrica presenta una jerarquía de cuarto orden y la bifurcación de 2,0 que establece un menor grado de desarrollo fluvial y un potencial bajo de aguas de descarga hacia las secciones más bajas de la subcuenca. Por su parte, el terreno tiende a ser accidentado con una pendiente de 9,25% que, con la baja densidad de drenaje de 1,44 km/km², el flujo de agua recorre la superficie de manera lenta, con lo cual se incrementa el tiempo de concentración y disminuye el pico de crecida al presentar mayor infiltración.

Métodos y herramientas

El objetivo del presente trabajo se responde con datos primarios de recorridos exploratorios, análisis hidrogeomorfológico y trabajo hemerográfico. Asimismo, para el procesamiento de información se utilizó un sistema de información geográfica (SIG). El trabajo de campo se llevó a cabo en el periodo de 2018 al 2020.

Determinación de zonas funcionales

Las zonas funcionales se fundamentan en la dinámica geomorfológica e hídrica de una cuenca, las cuales se asocian con la captación de agua de lluvia, almacenamiento, transporte, descarga y captación de agua (Valdés & Hernández, 2018). Así, las zonas funcionales se determinaron con la sobreposición de información biofísica con base en Garrido et al. (2009), Valdés y Hernández (2018) y de Flotemersch et al. (2016).

En la primera parte del proceso se llevó a cabo la recopilación y el tratamiento de las capas biofísicas en formato vectorial. La capa de uso de suelo se elaboró con una técnica estándar de clasificación no supervisada en el programa ArcGis, para ello se utilizó de base el trabajo de Miranda (2007) y la capa de la serie VI del INEGI (2017), después se digitalizaron algunos rasgos distintivos al año 2020 obtenidos de la plataforma *Google Earth Pro*. La litología se obtuvo del Servicio Geológico Mexicano (2018) y fue tratada a partir de los aportes de Aguirre-Díaz, Zúñiga-Dávila, Pacheco-Alvarado, Guzmán-Speziale y Nieto-Obregón, (2000) y Xu, Nieto-Samaniego, Alaniz-Álvarez y Cerca-Martínez (2011). La hidrografía se obtuvo del INEGI (2010) y fue rectificada con base en el análisis de Flotemersch et al. (2016) y Valdés y Hernández (2018). La edafología se obtuvo de la capa INEGI (1973) y fue actualizada con el trabajo del Centro Queretano de Recursos Naturales (2002). A partir del modelo digital de elevación de la zona de estudio [curvas de nivel base equidistantes a 10 m del INEGI (2015)], se diseñó la geomorfología con base en los aportes de Bishop, James, Shroder y Walsh, (2011) y Hernández et al. (2017), y también se definió la capa del sistema de drenaje, donde su tratamiento fue a partir de los aportes de Reid (1993), Rosgen (1994) y Opere (2013).

Una vez obtenidas las capas con información biofísica, se integraron al SIG [(programa ArcGis (ESRI, 2013)], donde se transformaron las capas de formato vectorial a formato *raster* con celdas de 10 x 10 m. Después,

cada capa fue normalizada en cinco clases y se aplicó una suma lineal mediante la sobreposición de las capas a través del módulo *raster calculator*. El resultado de ese proceso fue la obtención de una sola capa, en la cual se analizaron y digitalizaron los límites de las zonas funcionales. Es importante decir que el proceso fue acompañado de dos salidas de trabajo de campo para corroborar o rectificar los resultados *in situ*.

Unidades y secciones hidrogeomorfológicas

Las unidades hidrogeomorfológicas consideran la relación entre la regulación hidrológica y geomorfológica (DIREN-PACA, 2007) y forman parte de la funcionalidad de la cuenca (Flotemersch et al., 2016). El proceso para determinar las unidades fue en dos fases. En la primera fase se consideró la delimitación cartográfica de la geomorfología fluvial para definir los accidentes geográficos en el relieve por el desarrollo del río principal de la subcuenca, se identificó la geomorfología litológica para considerar el relieve desde el tipo de roca aflorante y también se obtuvo la geomorfología estructural que da pauta al relieve resultante de una actividad tectónica (Aguirre-Díaz et al., 2000; Xu et al., 2011; DIREN-PACA, 2007). El proceso de esta primera fase fue elaborado sobre la plataforma de ArcGis, *Google Earth Pro* y recorridos en campo. En la segunda fase se asignaron valores de porosidad y conductividad hidráulica para definir los niveles de permeabilidad respecto a la litología presente en la subcuenca, para ello se tomaron en cuenta los trabajos del Instituto Tecnológico y Geominero de España (1987) y Langmuir (1997), así como los valores de conductividad hidráulica definida en el estudio de Morales (2011) para determinar zonas de recarga para el acuífero en la zona, además, esos mismos datos fueron extrapolados para las unidades litológicas definidas por Aguirre-Díaz et al. (2000), Xu et al. (2011) y el Servicio Geológico Mexicano (2018). La información de esta segunda fase fue procesada en el programa ArcGis; se utilizaron de base la cartografía geológica y los afloramientos identificados en el trabajo de campo.

Una vez integradas las dos fases, se realizaron tres secciones con el objeto de exponer el comportamiento hidrogeomorfológico e ilustrar zonas propensas a inundaciones de cada zona funcional: alta, media y baja. Sin embargo, el comportamiento del flujo de agua durante las precipitaciones estuvo en función del uso de suelo de la subcuenca.

Sitios susceptibles a inundaciones

A raíz de los escasos registros sobre zonas de inundaciones fue necesario recopilar información a través de fuentes impresas y digitales. Así, durante el segundo semestre del 2019 se revisaron noticias sobre inundaciones publicadas en los periódicos locales que, para facilitar el proceso de búsqueda, se centró en todos los días del temporal de lluvias (mayo-octubre) en un periodo de años de 1999 a 2019. Después se revisaron registros de inundaciones establecidos en el atlas de riesgos del municipio de Querétaro (UMPCQ, 2015), el plan maestro pluvial (UAQ, 2009), el programa estratégico para temporada de lluvias (UMPCQ, 2017), el programa estatal de acción ante el cambio climático (Hernández, 2013) y el atlas nacional de riesgos CENAPRED (2019). También se revisaron publicaciones sobre inundaciones, sean tesis de posgrado (Michel, 2016; Peña, 2018) o artículos (García & Hernández, 2015; González, 2018; Michel & Hernández, 2019).

Con la información recabada se elaboró una base de datos constituida por el número de registro, coordenadas o elementos de ubicación, frecuencia de registro, atención brindada y posibles pérdidas económicas y humanas. La base de datos incluyó sitios y áreas de inundación, en ese sentido, la base de datos se dividió en puntos y polígonos para ser incluidos en el SIG y adicionar las zonas funcionales y facilitar la producción cartográfica.

Registros de precipitación pluvial

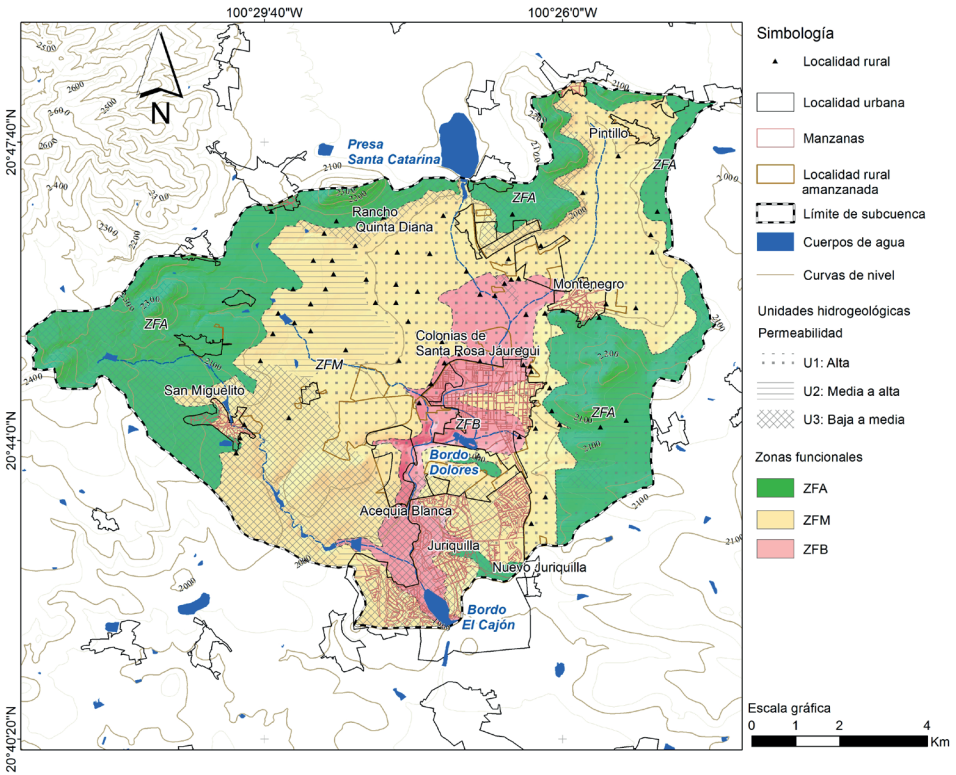
De manera adicional a la información documental y zonas funcionales fue necesario incluir los datos de precipitación, ya que es una de las variables importantes en el desarrollo de las inundaciones. Así, se utilizaron registros de precipitación mensual, anual y máxima en 24 h de la estación La Joya y la estación Juriquilla (CONAGUA, 2018), las cuales son las más cercanas a la subcuenca (menores a 8 km), cuentan con periodos de registro de 30 años (1985-2015) y no presentan alteraciones topográficas de consideración entre ellas.

Resultados y discusión

Se definieron tres zonas funcionales para la SCSRJ: a) zona funcional alta (ZFA), sección de captación de agua con una superficie de 33,8 km², pendiente promedio de 14% y unidades geomorfológicas con predominio de lomeríos altos y medios; b) zona funcional media (ZFM), sección de almacenamiento y transporte de agua, tiene una superficie de 55 km²,

pendiente promedio de 6% y unidades geomorfológicas con predominio de lomeríos medios y bajos; y c) zona funcional baja (ZFB), cuenta con una superficie de 11,2 km², pendiente promedio de 3%, en las unidades geomorfológicas predomina la llanura de inundación, seguida de lomeríos bajos y planicie. Cada zona funcional depende de las unidades hidrogeológicas determinadas por particularidades del comportamiento litológico y la conductividad hidráulica, por ello, la ZFA y ZFM están compuestas por unidades hidrogeológicas de media a alta y de baja a media permeabilidad, mientras que la ZFB está integrada por unidades hidrogeológicas con alta y media a alta permeabilidad (Figura 2).

Figura 2. Zonas funcionales y unidades hidrogeológicas.



Fuente: Elaborado con datos de Aguirre-Díaz et al. (2000), Xu et al. (2011), Morales (2011) y SGM (2018).

Cotler (2007) y Valdés y Hernández (2018) consideran que la estructura sistémica de la cuenca depende también de las subunidades que la integran, las cuales propician la respuesta de la cuenca con diferentes escenarios funcionales. Así, al relacionar la litología con las unidades hidrogeológicas destacan la ZFM y la ZFB con dos escenarios. En el primer escenario, la ZFM puede formar avenidas torrenciales que descargan en la planicie aluvial de la ZFB, la cual es susceptible a la formación de inundaciones. En el otro escenario, la ZFM y la ZFB presentan unidades hidrogeológicas U1, ello puede funcionar como captación de agua debido a los depósitos lacustres y fluviales que la integran (Tabla 1), eso facilitaría la conducción del agua hacia los niveles freáticos que, en dependencia del tipo de suelo, uso de suelo y la vegetación, pueden mantener las funciones de la subcuenca.

Tabla 1. Unidades hidrogeológicas de las zonas funcionales de la SCSRJ.

Litología	Código	Área (km ²)	Unidad hidrogeológica	Zona funcional
Piroclásticos Ezequiel Montes	TmTq	7,2	U1: permeabilidad alta	ZFA, ZFM
Depósito lacustre y fluvial	MQ	37,5		ZFB, ZFA, ZFM
Andesita El Cedro	ToA	0,8	U2: permeabilidad media a alta	ZFA
Basalto	TmB	13,2		ZFA, ZFM
Obrajuelo-Dacita	TDo	2,6		ZFA
Caliza y Lutita	Kic	1,7	U3: permeabilidad de baja a media	ZFA, ZFM
Andesita, Basalto	TmA-B	8,8		ZFA
Basalto Querétaro	TAB	27,9		ZFB, ZFA, ZFM

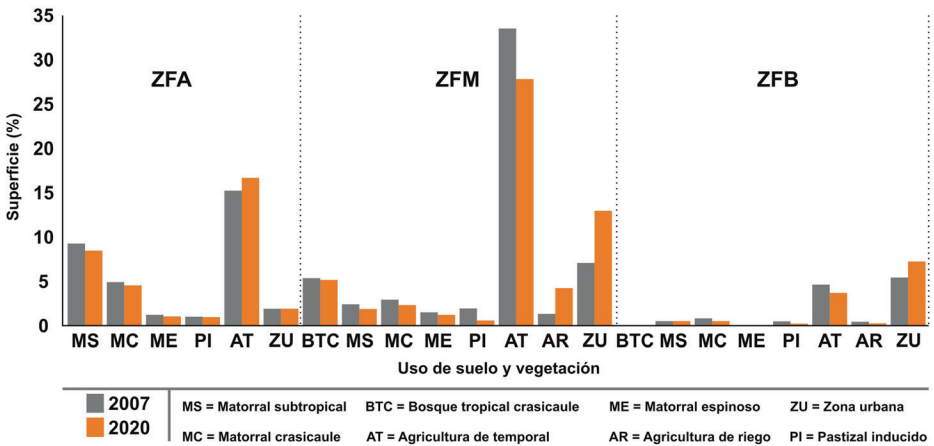
Fuente: Elaborado con datos de Aguirre-Díaz et al. (2000), Xu et al. (2011), Morales (2011) y SGM (2018).

Las características edafológicas de mayor predominancia en el área de recarga de la ZFA es litosol y vertisol pélico más grava, equivalente al 75%, con pendiente mayor de 8%. En la ZFM, de transporte, el tipo de suelo es vertisol pélico más grava, representa el 89% y tiene una pendiente menor al 8%. En la planicie aluvial de la ZFB el 80% del área es de tipo vertisol pélico de textura fina con pendientes menores al 3%. Opere (2013) menciona que, en algunos casos de lluvias intensas, las capas de arcilla se conducen por escorrentías superficiales o generan depósitos; cualesquiera la razón, forman inundaciones en periodo de tiempo relativamente corto, pero con tiempos prolongados para la salida o desecación del agua. En ese sentido, la ZFB presenta condiciones similares, pues el vertisol pélico

contiene arcillas expandibles de baja infiltración que ocasionan inundaciones en periodos prolongados, mientras que en la ZFM se pueden formar escorrentías torrenciales de rápida respuesta.

Aunado a lo anterior, el cambio de uso de suelo y vegetación entre los años 2007 y 2020 ha intervenido en la formación de escorrentías torrenciales e inundaciones en la SCSRJ (Figura 3). En la ZFA no se presentaron importantes cambios de uso de suelo, predomina la vegetación de matorral y agricultura de temporal, eso incide de manera positiva en las funciones de la subcuenca. Por su parte, la ZFM sí presentó cambios significativos, aumentó en 4% la superficie de agricultura de riego y en 7% el uso urbano, esos cambios pueden alterar la velocidad de los escurrimientos torrenciales, arrastre de sedimento y acelera la formación de las inundaciones. En la ZFB predomina el uso de suelo urbano, el cual aumentó en 3%, eso implica que el área de descarga y depósito de agua se sigue ocupando y modificando, por lo mismo, interviene no solo en la formación de inundaciones, sino también en la alteración de las subcuencas vecinas. Al respecto, [Fu, Jang, Huang, Lin y Yeh \(2018\)](#) mencionan la importancia de evaluar los cambios de usos de suelo y la cobertura de vegetación a escala de cuenca y cuencas vecinas como prevención de las inundaciones causadas por las escorrentías de la cuenca alta asociadas por las alteraciones de la urbanización.

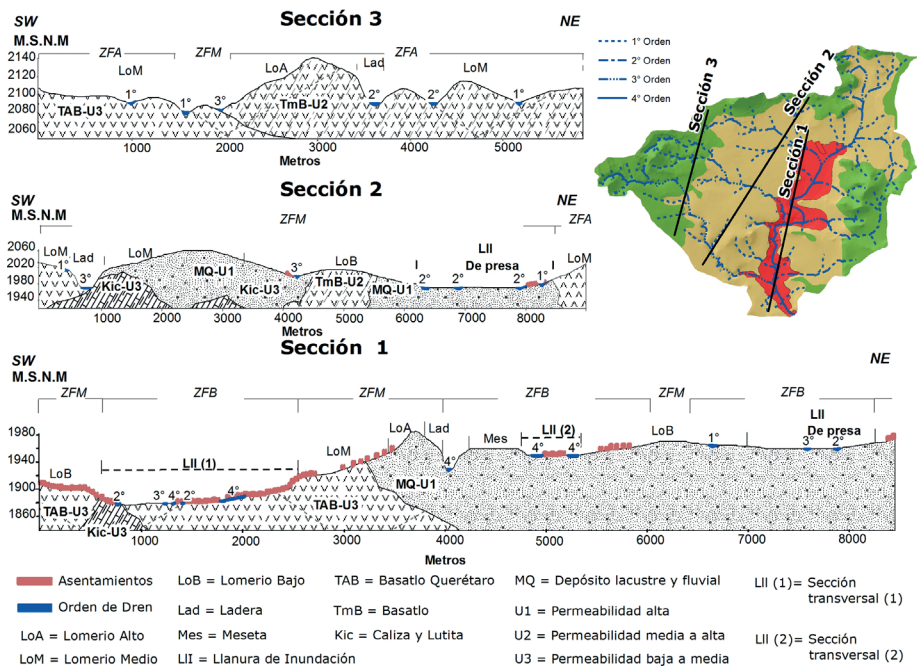
Figura 3. Cambio de uso suelo y vegetación en zonas funcionales de la SCSRJ, 2007-2020.



Fuente: Elaboración con base en [Miranda \(2007\)](#) y el [INEGI \(2017\)](#).

Para la hidrogeomorfología, las tres secciones transversales en la SCS-RJ demostraron nuevamente que la estructura de la subcuenca incide de manera escalonada y finaliza con el depósito de agua sobre las llanuras de inundación y drenes de tercer y cuarto orden, los cuales se localizan sobre la ZFM y ZFB, que a la vez se encuentran constituidas por unidades hidro-lógicas U3 y U1 (Figura 4). En ambas zonas los subsuelos están representados por depósitos lacustre y fluvial (MQ) definidos como U1, esto es, zonas permeables (Sección 1 y 2). Sin embargo, las superficies urbanizadas llegan a funcionar como una gran capa impermeable que propicia la desviación transversal y horizontal del flujo hídrico con consecuencias escalonadas entre zonas funcionales. Eso confirma lo señalado por [Forman \(2008\)](#) y [Weng, Ruhana, Zaini, Lee e Hin \(2016\)](#), donde la urbanización conlleva coberturas del suelo impermeables que desvían los escurrimientos pluviales e impiden la infiltración del agua al manto freático, por esto, de manera escalonada se producen las afectaciones, tal como sucede entre la ZFM y ZFB.

Figura 4. Zonas de inundaciones en tres perfiles transversales de la SCSRJ

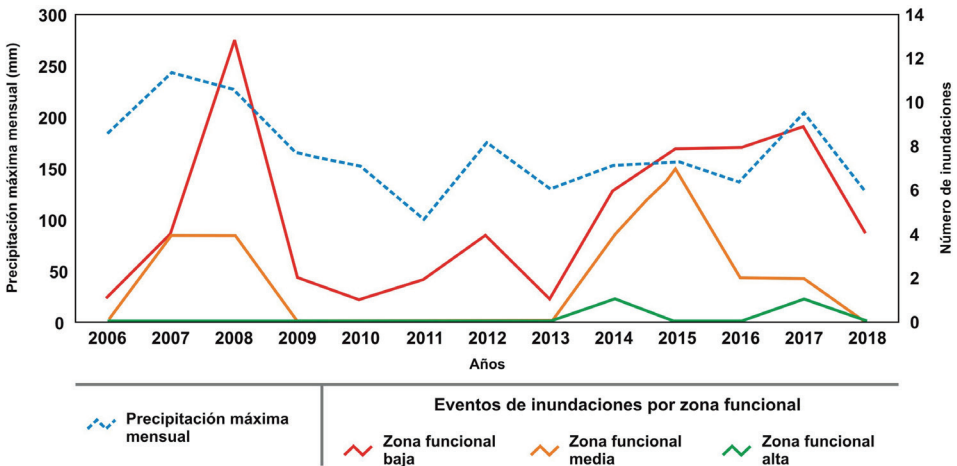


Fuente: Elaborado con datos de [Aguirre-Díaz et al. \(2000\)](#), [Xu et al. \(2011\)](#), [Morales \(2011\)](#) y [SGM \(2018\)](#).

Respecto a los eventos de inundaciones, la recopilación hemerográfica y de documentos oficiales en el periodo de 1999 a 2019 da cuenta de un total de 234 eventos de inundaciones en el Estado (12 por año), donde el 62% del total se presentó en la ciudad de Querétaro. En cuanto a la SCSRJ, se tuvo un vacío de información en los cinco años iniciales de ese periodo, por lo cual, de 2006 al 2019 se presentaron un total de 69 eventos de inundaciones: ZFA con dos eventos, ZFM con 15 eventos y ZFB con 52 eventos, además, cabe decir que coinciden con los episodios de lluvia más altos (Figura 5).

Referente a los registros de precipitación pluvial, los meses de junio, julio y agosto son los de mayor precipitación, donde la precipitación máxima en 24 h oscila entre 45 mm y 61 mm. Aunque cabe decir que en los primeros 35 minutos es cuando la lluvia presenta la mayor intensidad y suele formar inundaciones repentinas o relámpago. Al respecto, Hernández (2013) señala que las inundaciones con mayores afectaciones en la ciudad se produjeron por ese tipo de inundaciones, como sucedió en los años de 1998, 2001, 2003, 2005, 2007, 2013 y 2017; el último evento ocasionó una persona fallecida en la ZFB.

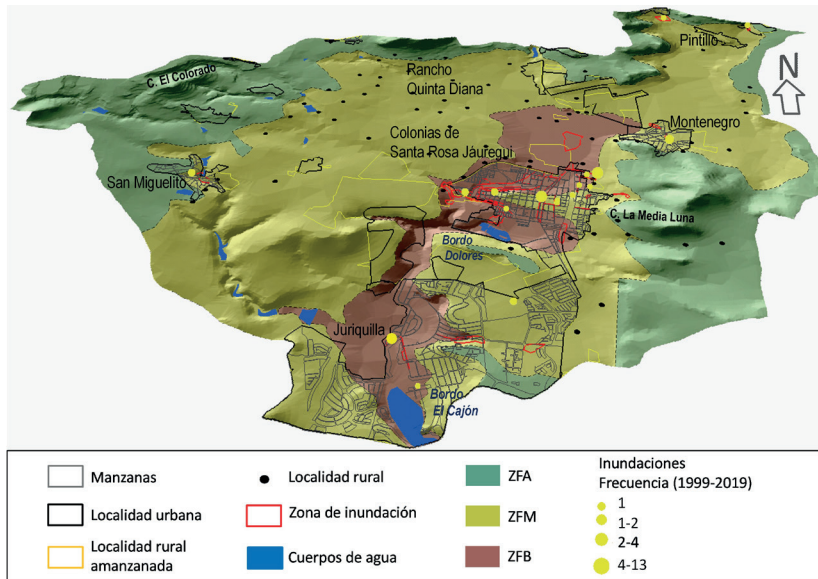
Figura 5. Precipitación máxima mensual e inundaciones por zonas funcionales de la SCSRJ.



Fuente: Elaborado con la recopilación hemerográfica, documental y de la CONAGUA (2018).

Con la información anterior, nuevamente las inundaciones recaen entre la ZFM y la ZFB, donde se obtuvo que los registros de la primera se asocian con la ocupación de drenes o puntos de concentración de agua donde se conjuntan drenes de tercer y cuarto orden, además, se relacionan directamente con los registros de precipitación (Figura 6). [García y Hernández \(2015\)](#) notificaron que en la administración municipal del periodo de 2009 a 2012 fueron atendidos algunos tramos del Dren de Santa Rosa Jáuregui y en las cercanías del Bordo Dolores, esa atención tuvo el objetivo de mitigar las inundaciones en la ZFB, pero desde el año 2013 incrementaron los registros. En este aspecto, las soluciones temporales no siempre logran mitigar, mientras que la formación y efectos de las inundaciones puede ser cíclico y acumulativo ([Reid, 1993](#); [Walker et al., 2016](#)). Por otro lado, las inundaciones en la ZFB propiciaron importantes afectaciones en el periodo señalado, mucho se debe a la ya mencionada ocupación de sitios susceptibles, en especial, aquellos contiguos o sobre drenes (segundo, tercer y cuarto orden), depresiones y cauces temporales. Además, en la información obtenida resaltó de manera considerable la influencia del mal manejo de las presas reguladoras establecidas en las secciones de transición entre la ZFM y ZFB.

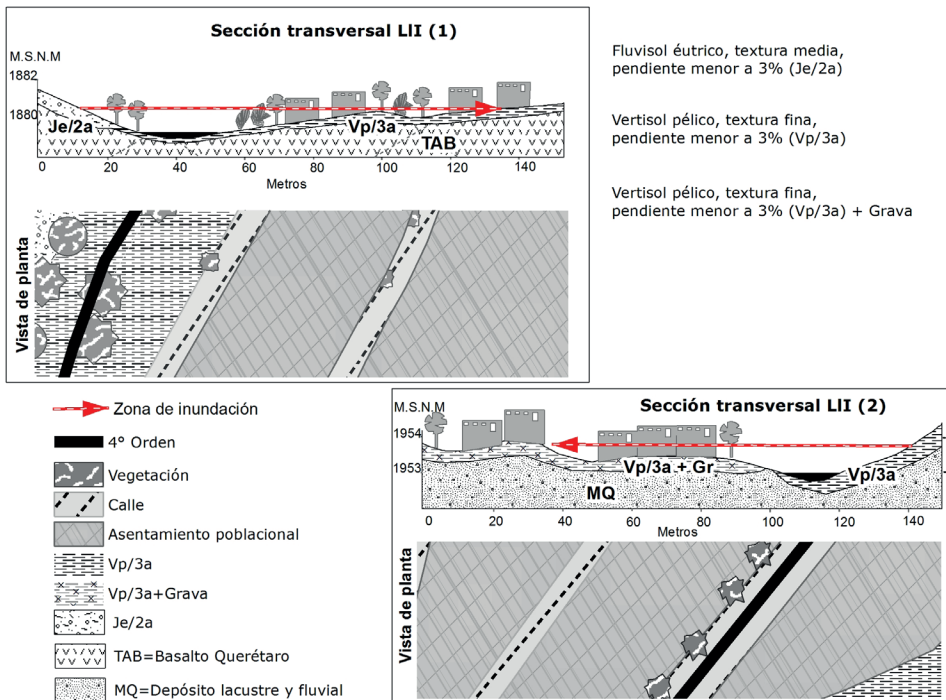
Figura 6. Incidencia de inundaciones en las zonas funcionales de la CSRJ



Fuente: Elaboración propia con base en datos hemerográficos, trabajo de campo y el INEGI (2015).

Los sitios de inundaciones con cobertura urbana en las llanuras de inundaciones que se observan en la Figura 7 ocupan los drenes de cuarto orden en la ZFB [también ver la Figura 4, sección transversal LII (1) y sección transversal LII (2)] y son por naturaleza inundables. Lo anterior se sustenta por las condiciones de las rocas, suelo, sinuosidad, amplitud, profundidad, vegetación y forma de atrincherado, lo cual clasifica ríos con alta sensibilidad a las perturbaciones, buena potencia de recuperación, alto suministro de sedimentos, alto potencial de erosión en el cauce y alta influencia en el control de vegetación; todo ello con base en la clasificación de ríos de Rosgen (1994). Adicional a lo anterior, la composición de suelo (vertisol pélico) y roca (basaltos vesiculares) [Sección transversal LII (1)], así como la alteración de la vegetación, permiten la formación de acumulación del agua con precipitaciones intensas y a las cuales los asentamientos susceptibles están expuestos.

Figura 7. Secciones transversales en los cauces de cuarto orden en las llanuras de inundaciones de la Sección transversal hidrogeomorfológica 1



Fuente: Elaboración con base del INEGI (1973), Aguirre-Díaz et al. (2000), Xu et al. (2011) y SGM (2018).

En la misma Figura 7 (vista de planta), se corrobora que la mayoría de las áreas susceptibles a inundaciones de la ZFM y ZFB están siendo ocupadas, pero esa ocupación debería estar 1.30 metros por encima del suelo en donde actualmente se asientan, sin embargo, a pesar de las limitadas acciones de infraestructura y vigilancia sobre la periferia urbana, esas zonas continuarán siendo prioritarias. Lo anterior podría cambiar al limitar la ocupación y, por ende, también conservar la estructura de la ZFA. También es importante comprender que, debido a la propia condición y actividades que se llevan a cabo en la periferia urbana, la infraestructura y los medios de mitigación deben ser distintos al área urbana central para mantener las funciones de la subcuenca (Gunnell et al., 2019).

A partir de los resultados encontrados se puede señalar que las inundaciones en la SCSRJ son producto de impactos acumulados entre zonas funcionales y no solo de un elemento en específico. Por ejemplo, si bien la lluvia ha sido un elemento clave en la formación de inundaciones, quedó de manifiesto que las alteraciones al lugar (geomorfológica, litológica, edáfica e hidrográfica) son variables determinantes, ya que modifica la estructura sistémica de las zonas funcionales con repercusiones recíprocas entre ellas, a la vez que puede afectar subcuencas vecinas. Esto sustenta lo mencionado por Walker et al. (2016), donde el impacto que sufren las subunidades de una cuenca produce alteraciones estructurales y sistémicas que reducen la efectividad de la conectividad entre zonas funcionales, mientras que Gunnell et al. (2019) y Mavhura (2019), mencionan que la precipitación acompañada de cualquier alteración al lugar incide en el riesgo de formar inundaciones y complejiza los mecanismos de mitigación.

Es importante señalar que la rapidez con la que se ocupan sitios susceptibles es inversamente proporcional a la capacidad del sistema para mantener su funcionalidad como lo mencionan Hernández et al. (2012) y Jha, Bloch y Lamond, (2012). Por esta razón, la ZFA todavía presenta cierta estructura de óptimo desempeño sistémico y la formación de inundaciones es casi nula. Sin embargo, las alteraciones hidrogeológicas e hidrogeomorfológicas en la ZFM se relacionan en las inundaciones de esa zona y en la formación de inundaciones de la ZFB. García y Hernández (2015) mencionan que las acciones para mitigar inundaciones en la ZFB han sido encausar los escurrimientos y brindar limpieza antes del temporal de lluvias, pero valdría la pena revisar la situación de la ZFA y ZFM para realizar acciones con mayores

argumentos que fortalezcan la gestión del riesgo. Sin embargo, de continuar los cambios de uso de suelo a la velocidad actual, en el mediano plazo se verá afectada la ZFA, y con ello toda la subcuenca, lo que complicará aún más las medidas de mitigación o solución.

Conclusiones

En el presente trabajo se definieron y analizaron tres zonas funcionales para la subcuenca Santa Rosa Jáuregui. La zona funcional alta se considera de recarga de agua y está compuesta de lomeríos medios y altos con escasas alteraciones en su estructura y función. La zona funcional media se caracteriza por el transporte de agua y está representada por lomeríos bajos con alteraciones a causa del cambio de uso de suelo de agrícola a urbano. Por su parte, la zona funcional baja es de acumulación de agua y presentó alteraciones hidrogeomorfológicas asociadas al uso urbano sobre la llanura de inundaciones.

La formación de inundaciones en la subcuenca coincide con las modificaciones propiciadas por la cobertura urbana entre la zona funcional media y la zona funcional baja. La zona funcional media, producto de la cobertura urbana, transformó la permeabilidad del suelo por secciones impermeables que, dada la fragilidad hidrogeológica, favorece avenidas torrenciales hasta la llanura de inundaciones, esto es, en la zona funcional baja, en la cual el agua se retiene, se desvía a través de canales o se ralentiza su salida de la subcuenca.

Así, cualquier alteración que se realice en alguna de las zonas funcionales repercute en todo el sistema. Por lo tanto, en la subcuenca Santa Rosa Jáuregui la zona funcional alta debe conservar sus condiciones actuales, mientras que la zona funcional media debe aminorar las perturbaciones producto del cambio de uso de suelo que modifica la dinámica hídrica y que repercute en la siguiente zona, por lo cual, la zona funcional baja requiere limitar la velocidad de los cambios de uso de suelo y presentar mejores estrategias de planeamiento para mitigar inundaciones, sean de forma sistémica, vertical u horizontal.

Los resultados expuestos pueden ser considerados en planes, programas, reglamentos y normativas para atender de forma integral aquellos elementos perturbadores que fomentan la construcción del riesgo y atender los sectores más susceptibles, tal como lo señalan las metas de los objetivos de desarrollo sostenibles para el año 2030 y los esfuerzos de ONU-Hábitat por promover ciudades sustentables.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento a través del proyecto Estrategias de respuesta y adaptación a riesgos socio-naturales en la periferia urbana de la ciudad de Querétaro, México (UAQ-FNB202009), al proyecto Nuevas geografías de la urbanización en México: Transformaciones territoriales y medios de vida de sectores sociales vulnerables en las periferias de ciudades medias (PAPIIT-UNAM) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Referencias

- Abeldaño, R. & González, A. (2018). Desastres en México de 1900 a 2016: patrones de ocurrencia, población afectada y daños económicos. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 42, 1-8. doi: <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.55>
- Aguilar, G. (2009). Urbanización periférica e impacto ambiental. El Suelo de conservación en la Ciudad de México. En: G. Aguilar e I. Escamilla. (Eds.), *Periferia Urbana: Deterioro ambiental y reestructuración metropolitana* (pp. 21-52). México, D.F.: Miguel Ángel Porrúa.
- Aguirre-Díaz, G., Zúñiga-Dávila, F., Pacheco-Alvarado, F., Guzmán-Speziale, M., & Nieto-Obregón, J. (2000). El graben de Querétaro, México. Observaciones de fallamiento activo. *GEOS*, 20(1), 2-7.
- Arroyo, L. (2018). Riesgos de desastres en áreas periurbanas en la gran área metropolitana, consideraciones pasadas y recientes: orientaciones y alcances reales de la gestión del riesgo y el ordenamiento territorial, cantones de Aserri, Alajuelita, Desamparados, Escazú, Santa Ana y Mora. *Revista Geográfica de América Central*, 1(60), 231-254. doi: 10.15359/rgac.60-1.8
- Arvizu, C. (2005). *Evolución urbana de Querétaro (1531-2005)*. Querétaro: Municipio de Querétaro/Tecnológico de Monterrey.
- Barbedo, J., Miguez, M., Van der Horst, D., & Marins, M. (2014). Enhancing ecosystem services for flood mitigation: a conservation strategy for peri-urban landscapes? *Ecology and Society*, 19(2), 54. doi: <https://doi.org/10.5751/ES-06482-190254>
- Becerra, S., Peltier, A., Antoine, J., Labat, D., Chorda, J., Ribolzi, O., Dauras, F. & Dartus, et D. (2013). Comprendre les comportements face à un risque modéré d'inondation. Etude de cas dans le périurbain

- toulousain (Sud-Ouest de la France), *Hydrological Sciences Journal*, 58(5), 945-965. doi: 10.1080/02626667.2013.786181
- Bishop, M. P., James, L. A., Shroder, J. F. & Walsh, S. J. (2011). Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. *Geomorphology*, 137(1), 5-25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.027>
- Braud, T., Fletcher, T. & Andrieu, H. (2013). Hydrology of peri-urban catchments: process and modelling. *Journal of Hydrology*, 485, 1-13. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00916031/document>
- Califano, F., Mobilia, M. & Longobardi, A. (2015). Heavy rainfall temporal characterization in the peri-urban Solofrana river basin, Southern Italy. *Procedia Engineering*, 119, 1129-1138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.957>
- Cardoso, M. M. & Fritschy, B. A. (2012). Revisión de la definición del espacio rururbano y sus criterios de delimitación. *Contribuciones científicas GAEA*, 24, 27-39.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2019). *Atlas Nacional de Riesgos*. Ciudad de México: CENAPRED. Recuperado de: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>
- Centro Queretano de Recursos Naturales. (2002). *Uso actual y potencial del suelo en los municipios conurbados de Querétaro*. Querétaro: CONCYTEQ.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). *Red de estaciones climatológicas*. Ciudad de México: Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Cotler, H. (2007). *El manejo integral de cuencas en México*. Ciudad de México, México: SEMARNAT. Recuperado de: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2008/06/El-Manejo-Integral-de-Cuencas-en-Mexico-segunda-edici%C3%B3n.pdf>
- Cotler, H. (Coord.) (2010). *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. Ciudad de México: SEMARNAT, INE, FGRA.
- Craig, D. & Jeffery, M. (2014). Adaptive governance for extreme events in peri-urban areas: a case study of greater western Sydney. En: B. Maheshwari, R. Purohit, H. Malano, V. Singh & P. Amerasinghe. (Eds.). *The security of water, food, energy and liveability of cities*.

- Challenges and opportunities for peri-urban futures* (pp. 449-462). Texas: Springer.
- Cutter, S., Boruff, B. & Lynn, W. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 424-261. doi: <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- Delgado, J. (1993). Querétaro: hacia una ciudad-región: *Estudios demográficos y urbanos*, 8(3), 655-699. doi: 10.24201/edu.v8i3.889
- Direction Régional de l'Environnement-Provence Alpes Cote D'Azur (DI-REN-PACA). (2007). *L'approche hydrogéomorphologique en milieux méditerranéens. Une méthode de détermination des zones inondables*. Recuperado de http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/L_approche_hydrogeomorphologique_cle71a4d9.pdf
- Eakin, H., Lemer, A. y Murtinho, F. (2010). Adaptive capacity in involving peri-urban spaces: Responses to flood risk in the upper Lerma River Valley, Mexico. *Global Environmental Change*, 20(1), 14-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.08.005>
- Economic and Social Research Institute (ESRI). (2013). *Software ArcGis*, version 10.0, Nueva York: ESRI.
- Flotemersch, J. E., Leibowitz, S. G., Hill, R. A., Stoddard J. L., Thoms, M. C., & Tharme, R. E. (2016). A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. *River Research and Applications*, 32(7), 1654-1671. doi: <https://doi.org/10.1002/rra.2978>
- Forman, R. T. (2008). *Urban Regions Ecology and Planning Beyond the City*. New York, United States: Cambridge University.
- Fu J., Jang, J., Huang, C., Lin, W., & Yeh, C. (2018). Cross-analysis of land and runoff variations in response to urbanization on basin, watershed, and city scales with/without green infrastructures. *Water*, 10(2), 106. doi: <https://doi.org/10.3390/w10020106>
- García, L., & Hernández, J. (2015). Capacidades de respuesta de los habitantes de Santa Rosa Jáuregui al riesgo asociado a inundaciones en la ciudad de Querétaro, México. *Revista Digital CIENCIA@UAQ*, 8(2), 1-17.
- Garrido, A., Enríquez, C., Pérez, J., Luna, N., & Sánchez, O. (2009). *Zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. Escala 1:250000*. D.F. México: INECC.

- González, E. (2018). Propensión de las inundaciones históricas de los últimos 100 años en Querétaro. *Revista Digital CIENCIA@UAQ*, 11(1), 178-192.
- Gunnell, K., Mulligan, M., Francis, R., & Hole, D. G. (2019). Evaluating natural infrastructure for flood management within the watersheds of selected global cities. *Science of the Total Environment*, 670, 411-424. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.212>
- Hernández, G. (2013). Diagnóstico de escenarios de riesgo vinculado con eventos y amenazas de origen hidrometeorológico en el estado de Querétaro. En: H. Suzán, V. Cambrón, O. García, A. Guevara, H. Luna., & E. González. (Eds.). *Programa estatal de acción ante el cambio climático-Querétaro* (pp. 145-169). Querétaro: SEMARNAT, INECC, SEMARNAT.
- Hernández, G. J., Vieyra, M. A., & Mendoza, M. E. (2012). Adaptation strategies in communities under precarious housing: Flooding risks in the peri -urban sector of the city of Morelia, Michoacán, México. *Applied Geography*, 34, 669-679. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.04.010>
- Hernández, J. R., Pérez, J. L., Rosete, F., Villalobos, M., Méndez, A. P., & Navarro, E. (2017). Clasificación geomorfológica del relieve mexicano: una aproximación morfográfica por densidad de curvas de nivel y la energía del relieve. *Investigaciones Geográficas. Instituto de Geografía, UNAM*, (94), 1-15. doi: 10.14350/rig.57019
- Hernández, J., & Martínez, G. (2017). Gestión local de cuerpos de agua en la microcuenca San José El Alto ante la dinámica urbana de la ciudad de Querétaro. En: M. Ribeiro, y E. Belmont. (Coords.). *Problemas emergentes en ciudades medias* (pp. 81-102). Ciudad de México: Plaza y Valdés S.A. de C.V.
- Hernández, J., & Osorno, T. (2018). Diferencias ambientales en el paisaje urbano de la ciudad de Querétaro, México: caso de estudio Juriquilla y Santa Rosa Jáuregui. *Revista de Geografía Norte Grande*, (71), 147-166. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-34022018000300147>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2019). *¿Qué es una cuenca?* Recuperado de: <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369#>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1973). *Carta edafológica. Querétaro. Escala 1:50000*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Red hidrográfica. Subcuenca hidrográfica RH12Hd Río Apaseo, Cuenca Río Laja. RH Lerma-Santiago, 1:50000*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/default.html#Descargas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). *Conjunto de datos vectoriales y toponímicos, escala 1:50000, claves F14C55 y F14C65*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825270896>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250000. Serie VI*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598459>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Tecnológico y Geominero de España. (1987). *Manual de Ingeniería de Taludes*. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Jáuregui, E., Aversa, M., & Salas, R. (2016). Estrategias para la mitigación del riesgo por inundación: caso cuenca del arroyo Maldonado, La Plata, Buenos Aires, Argentina. *URBANO*, 19(34), 34-47. doi: <https://doi.org/10.22320/07183607.2016.19.34.4>
- Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). *Cities and flooding. A guide to Integrated Urban flood risk management for the 21st Century*. Washington, DC: The World Bank.
- Langmuir, D. M. (1997). *Aqueous Environmental Geochemistry*. EUA: Prentice Hall.
- Mavhura, M. (2019). Analysis drivers of vulnerability to flooding: a systems approach. *South African Geographical Journal*, 101(1), 72-90. doi: <https://doi.org/10.1080/03736245.2018.1541020>
- Michel, A. (2016). *Riesgo por escurrimiento hídrico superficial y propuesta de mitigación en La Cañada Menchaca, Querétaro*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

- Michel, A., & Hernández, J. (2019). Vulnerabilidad ante la ocurrencia de avenidas torrenciales en la microcuenca Menchaca, Querétaro. *Revista NTHE*, (27), 20-26.
- Miller, J., Kim, H., Kjeldsen, T., Packman, J., Grebby, S., & Dearden, R. (2014). Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *Journal of Hydrology*, 515, 59-70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.011>
- Miranda, L. (2007). *Evaluación de planes de desarrollo urbano, una alternativa de planeación en microcuenca Santa Rosa Jáuregui*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Mobayed, K. (2009). Simulador de inundaciones en áreas urbanas. Un modelo de pronóstico con fines de alertamiento. *Revista Digital CIENCIA@UAQ*, 2(1), 72-90.
- Morales, A. M. (2011). *Propuesta de identificación de sitios para la infiltración de agua al acuífero de Querétaro*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Ochoa, M. (2019). *Valoración de la calidad ambiental como estrategia para la planeación territorial, caso de estudio: Microcuenca el Pueblito-Joaquín Herrera, Querétaro*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Opere, A. (2013). Floods in Kenya. In: P. Paron, D. Ochieng-Olago. & C. Thine-Omuto. (Eds.), *Developments in earth surface processes* (pp. 315-330). Oxford: Elsevier.
- Oviedo, B., Morán, E., Nájera, J., & Bolívar, D. (2018). Implementación del sistema de alerta temprana SAT para evitar pérdidas humanas y materiales por inundaciones en las zonas periféricas de la ciudad de Quevedo. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 4, 80-91.
- Peña, A. (2018). *Estrategia de manejo para la mitigación del riesgo por inundaciones en la microcuenca San José El Alto, Querétaro*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2008). *Perspectivas del medio ambiente urbano. GEO Zona Metropolitana de Querétaro*. Querétaro: PNUMA.

- Reid, L. M. (1993). *Research and cumulative watershed effects*. USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-141. Albany, California: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Rosgen, D. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, 22(3), 169-199. doi: [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90001-9)
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) & Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2018). *Sistema Urbano Nacional 2018*. Ciudad de México: SEGOB/SEDATU/CONAPO.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) & Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2012). *Sistema Urbano Nacional 2012*. Ciudad de México: SEGOB/SEDESOL/CONAPO.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) & Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Atlas del agua en México*. Ciudad de México: SEMARNAT y CONAGUA.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2018). *Datos vectoriales de las cartas F14-10 y F14-C55*. Recuperado de: <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/>
- Unidad Municipal de Protección Civil Querétaro (UMPCQ). (2015). *Atlas de riesgos del municipio de Querétaro 2015*. Querétaro: Municipio de Querétaro/UMPCQ/Sigema.
- Unidad Municipal de Protección Civil Querétaro (UMPCQ). (2017). *Programa estratégico para temporada de lluvias 2017*. Querétaro: UMPCQ.
- Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). (2009). *Actualización del Plan Maestro Pluvial de la Zona Metropolitana de Querétaro (2008-2025)*. Querétaro, México: UAQ. Recuperado de: https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2015-04-12_02-57-04119344.pdf
- Valdés, A., & Hernández, J. (2018). Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México. *Revista Geográfica de América Central*, 1(60), 189-229. doi: <https://doi.org/10.15359/rgac.60-1.7>
- Walker, L., MacDonald, R., McPherson, S., Barnes, C., Cipriano, C., Preston, G., Clarke, M., Chernos, M., Marcotte, D., Hopkins, C., & Byrne, J. (2016). *Elk River Flood Strategy*. Alberta, Canada: Elk River Watershed Alliance.

- Weng, C., Ruhana, K., Zaini, M., Lee, L., & Hin, C. (2016). *Sustainable Urban Development*. Malasia: Water Watch Penang & Yokohama City University.
- Xu, S., Nieto-Samaniego, A., Alaniz-Álvarez, S., & Cerca-Martínez, L. (2011). Structural analysis of a relay ramp in the Querétaro graben, central Mexico: Implications for relay ramp development. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28(2), 275-289.
- Zúñiga, E., & Magaña, V. (2017). Vulnerability and risk to intense rainfall in Mexico: The effect of land use cover change. *Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, UNAM*, (95), 1-18. doi: <https://doi.org/10.14350/riig.59465>



Potencialidad de uso de aguas servidas para riego y recarga de acuíferos: cuenca del río La Villa, República de Panamá

Potential use of wastewater for irrigation and aquifer recharge water: La Villa River basin, Republic of Panamá


Valentina Opolenko¹

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

Resumen

Ante la demanda creciente de los recursos hídricos en Panamá, las aguas residuales pueden constituir una opción fiable como fuente de abastecimiento para distintos usos, especialmente en situaciones de escasez. El objetivo de esta investigación fue evaluar la sostenibilidad y viabilidad de riego y técnicas de recarga artificial de acuíferos en la parte baja de la cuenca del río La Villa mediante el aprovechamiento de aguas residuales tratadas procedentes de la PTAR de Chitré, para su posterior recuperación por procesos naturales y uso como fuente alternativa de agua. La metodología que se aplicó tuvo sus fundamentos en un análisis multidisciplinario a través de un diagnóstico biofísico y socioeconómico. Se evaluó la posibilidad de implementación de soluciones tecnológicas como la reutilización directa con fines de riego de aguas depuradas en humedales y recarga superficial de acuíferos de manera indirecta por infiltración de excedentes de riego. Los resultados de los estudios técnicos permitieron establecer el nivel de remoción en humedales de contaminantes del agua postratada con la ayuda del sustrato y vegetación seleccionada. Además, se logró con la realización de los estudios geológicos e hidrogeológicos generar un bloque modelo inédito de la disposición espacial de capas litológicas y estimar sus volúmenes, definiendo así la zona acuífera capaz de recibir por infiltración el agua de recarga, almacenarla y, posteriormente, entregarla para hacer buen uso de ella.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, agua subterránea, recarga acuífera, agua residual, humedal.

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  <https://orcid.org/0000-0002-8734-9349>

Abstract

Given the growing demand for water resources in Panama, wastewater can be a reliable option as a source of supply for various uses, especially in scarcity situations. The objective of this research was to evaluate the sustainability and viability of irrigation and artificial recharge techniques of aquifers in the lower part of the La Villa River basin, using treated wastewater coming from the Chitre PTAR, for its subsequent recovery by natural processes and use as an alternative water source. The methodology applied had its foundations in a multidisciplinary analysis through a biophysical and socioeconomic diagnosis. The possibility of implementing technological solutions like the direct reuse with irrigation purposes of water treated in wetlands and of superficial indirect recharge by infiltration of irrigation surpluses was evaluated. The results of the technical studies established the levels of removal of contaminants in wetlands post-treated water with the help of the substrate and selected vegetation. In addition, it was possible to carry out geologic and hydrogeologic studies, to generate an unprecedented model block of the spatial disposition of lithological layers and to estimate their volumes, therefore defining the aquifer zone capable of receiving by infiltration the recharge water, to store it and afterwards yielding it for good use.

Keywords: Hydrographic basin; groundwater; aquifer recharge; wastewater; wetland.

Introducción

Los cambios profundos que se han producido en el planeta como consecuencia de la revolución en el conocimiento científico y tecnológico han impactado de manera directa en nuestro modo de vida, en el medioambiente, así como en la disponibilidad de los recursos hídricos. A medida que aumenta la escasez de agua y la variabilidad hidrológica es mayor, afrontar los cambios provocados por el desarrollo constituye un desafío extraordinario debido a enormes presiones, riesgos y conflictos que surgen por el uso de recursos hídricos.

La República de Panamá, como la mayoría de los países centroamericanos, comparte un ambiente caracterizado por una aparente abundancia de agua, aunque esta se encuentra distribuida en forma muy desigual tanto espacial como temporalmente. En las últimas décadas, esta visión del agua ha llevado a un patrón de extracción que no contempla el uso racional del recurso, su conservación, la preservación de las cuencas, ni las necesidades de otros grupos de población en condiciones más vulnerables. Como consecuencia de este patrón de explotación, las fuentes de agua abundantes en alguna época se están extinguiendo paulatinamente. Además, algunas de ellas se encuentran contaminadas. Según los datos de MIAMBIENTE (2019), la demanda total de agua en Panamá en 2018 alcanzó un volumen de 41,899 mm³, lo que representa un 33% de la oferta hídrica promedio el periodo 2000-2018, y este aumento de la demanda de

agua está relacionado de forma importante con el crecimiento económico y poblacional que experimenta el país. En cuanto a la calidad de las fuentes hídricas superficiales en función al Índice de Calidad de Agua (ICA), se puede indicar que, del total de 102 puntos de muestreo a nivel nacional (26 de las 52 cuencas hidrográficas del país), el 65% presenta calidad de agua aceptable y el 35% son aguas con distintos grados de contaminación (Cornejo et al., 2017). Por lo tanto, a causa de las distintas actividades antropogénicas que contribuyen al desmejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas, así como la subvaloración del recurso hídrico al considerar la mayoría de los panameños que el agua es un recurso infinito cuyo derecho de uso es público (es decir, que se asume que el agua no tiene costo alguno) y la existente debilidad de los sistemas de supervisión, control y fiscalización del recurso hídrico, la disponibilidad de este recurso natural en el país ha sido afectada mientras la demanda se incrementa (ANAM, 2011).

Conforme a lo anterior, debido a todos estos factores, la competencia entre individuos y entre distintos sectores por este recurso esencial está aumentando de manera constante. Sin duda, la agricultura es y seguirá siendo el sector clave para el manejo del agua y también para mantener la seguridad alimentaria. Siendo el sector agropecuario panameño uno de los mayores usuarios del agua, tiene un reto de desarrollo sostenible en su doble dimensión: por un lado, la de satisfacer las necesidades humanas y, por el otro, la de mantener la integridad de los ecosistemas, conjugando ambos objetivos. Entretanto en este reto, el suministro de agua potable y la gestión de las aguas residuales son componentes del saneamiento ambiental que definen la gestión de sostenibilidad del recurso hídrico y deben evaluarse de forma integral, con miras a resolver la problemática de escasez hídrica de las urbes de hoy. Según las Naciones Unidas, en el año 2050 se prevé que cerca del 70% de la población mundial vivirá en ciudades, en comparación con el 50% actual (UN, 2014). En la mayoría de las ciudades de los países desarrollados existe infraestructura y recursos adecuados para abordar la gestión de las aguas residuales de manera eficiente. Las oportunidades de aprovecharlas como un recurso valioso son enormes y la gestión de estas será una fuente asequible y sostenible de agua, energía, nutrientes y otros materiales recuperables.

La reutilización en agricultura de las aguas residuales tratadas directamente, así como en recarga de acuíferos, es una opción que debe estudiarse y adoptarse cada vez más, precisamente en regiones con escasez de agua. El tratamiento y la reutilización adecuados contribuirían a una mayor seguridad alimentaria del país al generar nuevas fuentes de agua. Esta actividad creará además puestos de trabajo directos e indirectos en sectores dependientes del agua, con los beneficios que esto conlleva para la salud humana, el desarrollo y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, la utilización de estas estrategias exige un esfuerzo de investigación que localice y evalúe los recursos, además de establecer las mejores técnicas para su aplicación.

La recarga artificial de acuíferos es considerada en Panamá, hasta la fecha, como una técnica no convencional y es desconocida por gran parte de la población debido a la poca difusión existente de ella. Por otro lado, la población en general también tiene escaso conocimiento de qué es un acuífero y cómo funciona, y, por tanto, mucho menos acerca de la posible opción de llevar a cabo su recarga artificial durante las estaciones de superávit hídrico para su posterior uso en las estaciones estivales o el uso de aguas residuales tratadas para ampliar las reservas de agua subterránea o usarlas para el riego. Para afrontar este reto y ante la demanda creciente de los recursos hídricos en el país, así como en la cuenca prioritaria del río La Villa, objeto de la presente investigación, las aguas residuales pueden constituir una alternativa fiable como fuente de abastecimiento para riego o potencial recarga de acuíferos, especialmente en situaciones de escasez. No obstante, para ello es preciso cambiar el paradigma de la gestión de las aguas residuales; así, estas ya no deberían verse como un problema, sino como parte de la solución para problemas a los que se está enfrentando actualmente nuestra sociedad (WWAP, 2017).

Con el propósito de contribuir al cierre de esta brecha hídrica en la cuenca del río La Villa, que representa un problema de actualidad, así como evaluar la viabilidad de implementación de soluciones tecnológicas aplicadas con éxito en otros países del mundo, como son las técnicas que comprenden la reutilización de aguas residuales postratadas para el riego y recarga de los acuíferos, se realizó el proyecto denominado “Potencialidad de uso de aguas servidas para riego y recarga de acuíferos: cuenca del río La Villa”. Este fue ejecutado con el financiamiento de la Secretaría

Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), por el equipo de investigación del Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) en colaboración con los investigadores de la Universidad Pablo de Olavide (UPO) de Sevilla y la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), en el cual la autora fungió como investigadora principal del proyecto. El objetivo general de la presente investigación fue evaluar la sostenibilidad y viabilidad de riego y las técnicas de recarga artificial de acuíferos en la parte baja de la cuenca del río La Villa mediante el aprovechamiento de aguas residuales tratadas procedentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), localizada en la ciudad de Chitré, provincia de Herrera, para su posterior recuperación por procesos naturales y uso como fuente alternativa de agua. La nueva PTAR, que es la primera de su tipo en el interior del país, todavía se encuentra en la etapa de adecuación, pero ya inició de manera parcial la recolección de las aguas residuales domésticas de Chitré y La Villa de Los Santos, con una oferta a futuro de recolección y tratamiento por el orden de 7 millones de gal/día (26,500 m³/día) al año 2035 con una población beneficiaria proyectada de 79 mil habitantes.

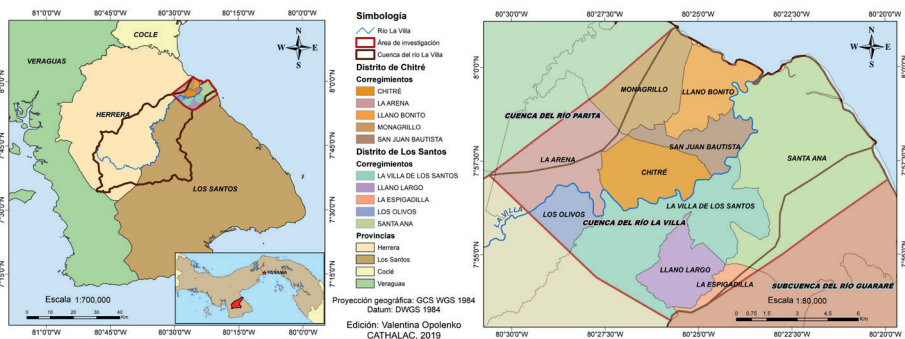
Es importante señalar que, mediante la utilización controlada y previamente estudiada de los efluentes resultantes de la PTAR, se confía en generar beneficios agronómicos, económicos y ambientales para los habitantes de la cuenca; reduciendo de esta manera el vertimiento directo de estos efluentes a las aguas superficiales, evitando su contaminación y los problemas de eutrofización, que ya son característicos de la región. También, para el sector agrícola, esta alternativa puede representar un menor coste de producción por el contenido de nutrientes y la posible disminución en las necesidades de fertilizantes. Por otra parte, se espera a través de los distintos medios de divulgación de los resultados de la investigación y la capacitación de los actores clave en temas relacionados cambiar el concepto que la sociedad panameña en general tiene sobre las aguas residuales, las cuales actualmente se consideran un problema de salud pública en el país; sin embargo, es poca la información divulgada sobre la utilidad de esta fuente de agua una vez completada la fase de tratamiento y los beneficios sociales, económicos y ambientales que se pueden alcanzar.

Área de estudio

El área de la presente investigación comprende la parte baja de la cuenca hidrográfica del río La Villa, que se sitúa en las provincias de Herrera y Los Santos, en la vertiente del Pacífico de la Península de Azuero, de la República de Panamá. Es una extensa zona de 160 km² (IGNTG, 2007), con una población estimada de unas 65 mil personas, que en su gran mayoría es urbana y pertenece a los cinco corregimientos del distrito de Chitré de la provincia de Herrera y a los cinco corregimientos del distrito de Los Santos de la provincia de Los Santos (INEC, 2010). La delimitación del área de estudio fue realizada con un criterio socioeconómico; es decir, de manera independiente de la división política del área de estudio, razón por la cual algunos distritos y corregimientos sólo están contemplados de manera parcial con respecto a su división territorial administrativa (Figura 1).

Esta demarcación se efectuó tomando en consideración que en la zona evaluada la disponibilidad de agua superficial y/o subterránea para distintos usos se reduce anualmente debido a una alta concentración de población y un fuerte incremento de actividad agropecuaria. Además de la parte baja de la cuenca hidrográfica del río La Villa, el área de estudio comprende también unas pequeñas zonas de las cuencas vecinas, de los ríos Parita al noroeste y Guararé al sureste.

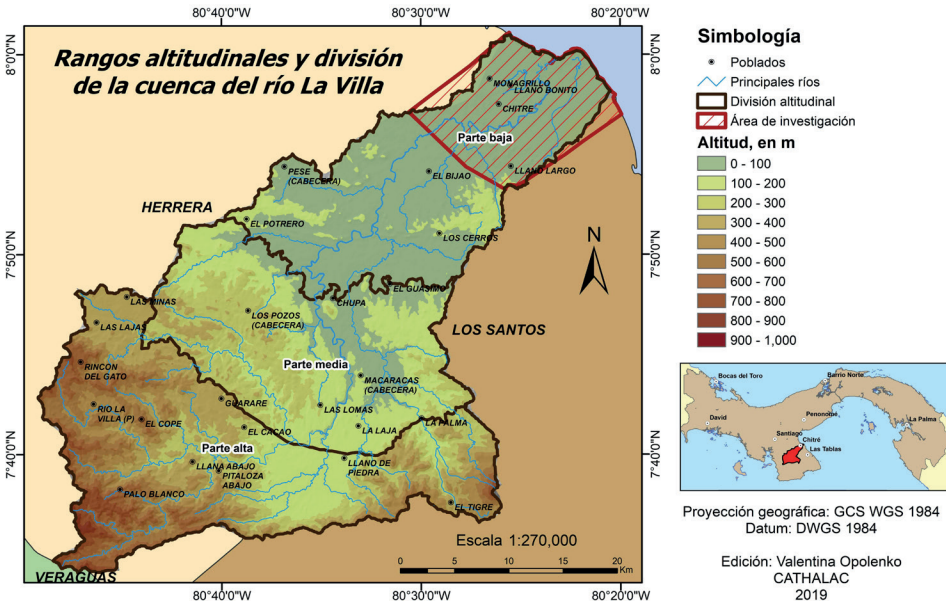
Figura 1. Localización regional y división administrativa del área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

El relieve del área de estudio, con una elevación media de unos 25 msnm, se caracteriza por la presencia de un amplio sector de tierras bajas (llanuras) y por tierras con aisladas colinas suaves, cuyos alineamientos muestran signos de avanzados procesos de erosión y efecto degradante de las actividades agropecuarias. A nivel general, desde la perspectiva de los rangos altitudinales, la cuenca del río La Villa se divide en partes alta, media y baja (Figura 2).

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



Fuente: Elaboración propia a partir de ANAM, 2008.

Los límites altitudinales quedaron establecidos de la siguiente manera (ANAM, 2008): la parte baja de la cuenca se extiende hasta una elevación de 80 msnm, la parte media se inicia en los 80 msnm hasta los 300 msnm y la parte alta desde los 300 msnm hasta la altura máxima de la cuenca, que sería el cerro Cacarañado con 957 msnm.

Geomorfológicamente, tomando como referencia el Mapa 4.1 de Regiones Morfoestructurales de Panamá (IGNTG, 2007), la parte baja de la cuenca del río La Villa, que también comprende la zona de estudio, está representada por la unidad denominada como *Regiones Bajas*

y *Planicies Litorales*, que corresponde a zonas deprimidas, constituida por rocas sedimentarias marinas. La topografía varía de aplanada a poco ondulada, con declives que oscilan entre muy débil y débil. Relieve residual (colinas aisladas y diques) irregularizan el paisaje de esta unidad. Concretamente, es una zona al este de la cuenca del río La Villa que está constituida por extensas planicies y valles surcados por ríos y quebradas de curso meándrico, en donde se destacan de este a oeste los manglares y las albinas sobre una franja costera, los bajos inundables y pantanos, los terrenos cultivados y las áreas pobladas. En el contexto estructural esta unidad corresponde casi en su totalidad a litología de rocas sedimentarias del terciario sobre las cuáles se han depositado los sedimentos cuaternarios. También hay presencia de algunas pequeñas estructuras aisladas de rocas plutónicas del terciario, así como volcánicas del secundario (DGRM, 1991).

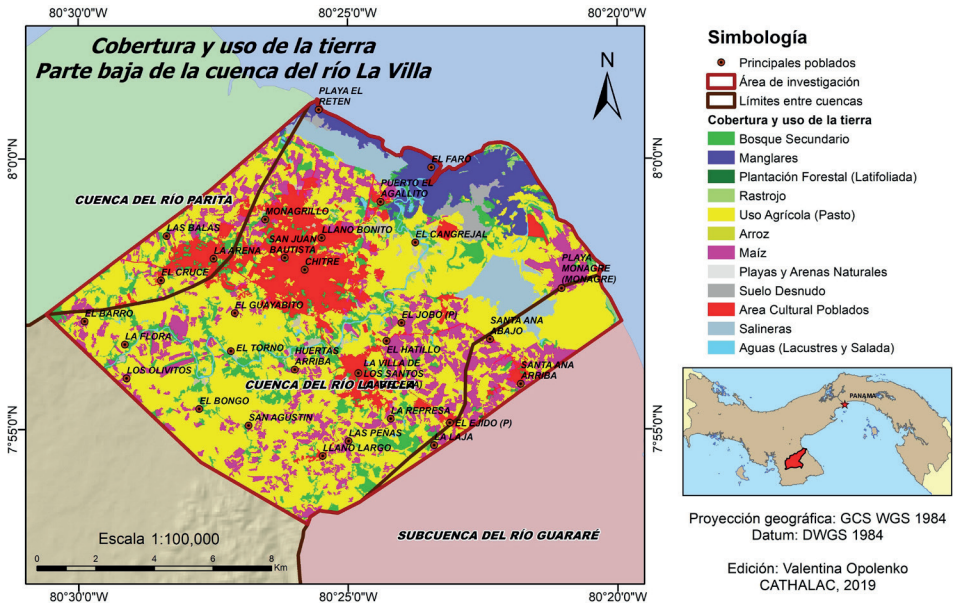
Entretanto, conforme con la taxonomía de suelos de USDA (Soil Survey Staff, 1999), los suelos que se identifican en el área de investigación pertenecen al orden de *alfisoles* (IDIAP, 2006). Los alfisoles tienen características de ser finos y mezclados, su color es pardo rojizo, arcillosos, son duros en seco, friables en húmedo, ligeramente adhesivos y también ligeramente plásticos. Se encuentran en zona investigada en las áreas planas y onduladas de geofomas tales como valles con sus terrazas, llanuras y pequeñas colinas, desarrollándose sobre una amplia gama de materiales parentales sedimentarios (Opolenko, 2016).

Con respecto a la cobertura y usos actuales de la tierra, predomina el uso agropecuario con 67% de la superficie total del área de estudio, de los cuales el 15% de la superficie se usa para la siembra de maíz. Sólo un 9.4% de la superficie está ocupada por bosques secundarios y 5.4% por bosques de mangle. Prácticamente las áreas de bosques están rodeadas por matorrales que parecen formar una zona de amortiguamiento o transición de cobertura boscosa a actividad agropecuaria (Figura 3).

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

Figura 3. Cobertura y principal uso de la tierra en la zona de investigación



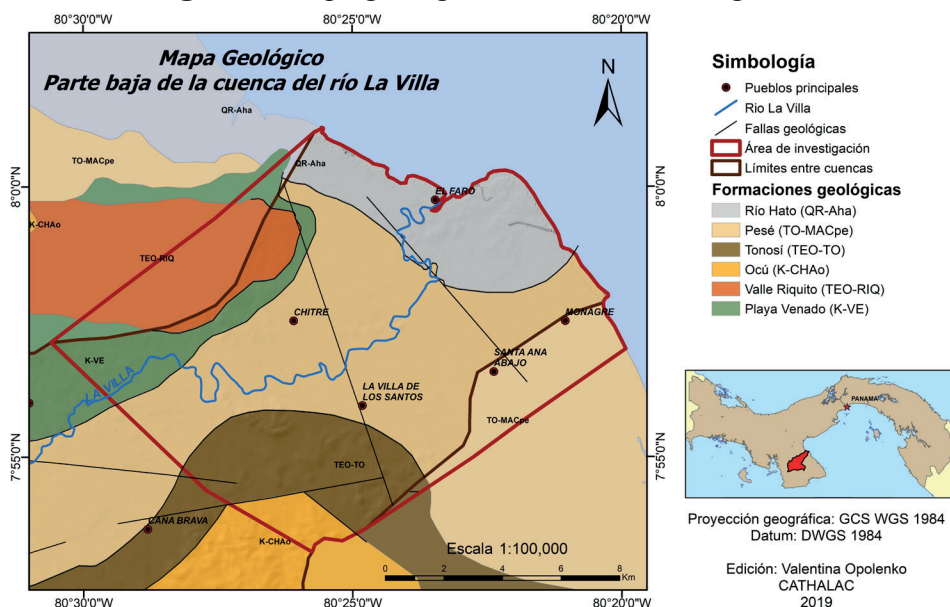
Fuente: Elaboración propia.

de emerencias, 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 (Opolenko, 2016).

Según el Mapa Geológico de Panamá (DGRM, 1991), el conjunto de formaciones geológicas que constituyen el área investigada es representado por las rocas de origen ígneo y sedimentario. Entre las rocas ígneas se distinguen dos tipos: plutónicas y volcánicas. 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 (Figura 4).

Figura 4. Mapa geológico del área de investigación



Fuente: Elaboración propia a partir de DGRM, 1991.

En lo que respecta a *tectónica*, en el plano horizontal las tectoliteales tienen la dirección este-oeste, pero también están interceptadas por fallas con dirección noroeste-sureste. Además de 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 (Tabla 1).

Marco teórico-conceptual

El agua, como recurso vital ligado a un manejo sostenible y confiable que beneficie a los sectores económicos y sociales de un país o región, es un tema que se ha convertido crecientemente en algo complejo y problemático, particularmente si la demanda global sobrepasa la disponibilidad o si el agua demerita su calidad en su uso. El incremento de las demandas,

Tabla 1. Formaciones geológicas y la litología del área de estudio

Periodo	Formación	Símbolo	Descripción
<i>Formaciones Sedimentarias</i>			
Cuaternario	Río Hato	QR-Aha	Conglomerado, arenisca, lutita, tobas, areniscas no consolidadas y pómez
Terciario	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: Elaboración propia a partir de [DGRM, 1991](#).

agravado por períodos de sequía (meteorológica e hidrológica), lleva a la necesidad de utilizar otros tipos de recursos donde resulten necesarios, siendo el agua regenerada uno de ellos. El desarrollo de tecnologías avanzadas en las últimas décadas dedicadas a la depuración de aguas residuales permite el uso de este recurso hídrico, generando una fuente de agua alternativa para actividades que no requieran calidad de agua potable o liberando agua de fuentes naturales para destinarla al abastecimiento ([De Bustamante et al., 2016](#)).

La reutilización de las aguas residuales depuradas para usos como el riego o la recarga artificial de acuíferos permite, además de la recuperación parcial de los costes asumidos en el proceso de depuración, proporcionar un recurso de agua alternativo en zonas con déficit hídrico, siempre y cuando ofrezca garantía de suministro y seguridad tanto desde el punto de vista sanitario como ambiental ([Casas, Tapias, de Bustamante, de Miguel & Lillo, 2011](#)). Dependiendo de la situación local, también podría haber beneficios para los agricultores si logran evitar algunos de los costos de extraer aguas subterráneas, al mismo tiempo que los nutrientes presentes en las aguas residuales ayudan a ahorrar en fertilizantes. Igualmente, cuando las características climáticas y geográficas lo permitan, el tratamiento de bajo costo de las aguas residuales puede ser una opción viable a través del uso de humedales artificiales, los cuales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los

microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Delgadillo, Camacho, Pérez & Andrade, 2010).

Por lo tanto, el uso de agua regenerada en agricultura es una opción perspectiva que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua, poblaciones urbanas crecientes y con una mayor demanda de agua de riego (FAO, 2013). El riego, tanto urbano, recreativo como agrícola, presenta el principal potencial de utilización del agua regenerada, ya que los mayores consumos de agua se producen en este sector. La reutilización de las aguas depuradas depende de diversos factores que deben estudiarse cuidadosamente tales como el método de riego desde el punto de vista del efecto sobre los trabajadores y los consumidores, niveles de riesgo asociados con los diferentes tipos de cultivos que se riegan con agua regenerada, entre otros.

Además de ser un recurso de gran valor para la agricultura, el agua regenerada también es una fuente no convencional de recursos útiles para la recarga de acuíferos. La recarga artificial de acuíferos se ha usado desde la antigüedad para gestionar los recursos hídricos disponibles y puede definirse, según Custodio & Llamas (1976) como el conjunto de técnicas que permiten aumentar la disponibilidad de aguas subterráneas con la calidad necesaria mediante una intervención consciente, directa o indirecta, en el ciclo natural del agua. La recarga de un acuífero se encuentra condicionada por diversos factores de carácter geológico, climático, de ocupación del terreno, morfológico, topográfico, de calidad del agua disponible o conseguible, temporales en cuanto al momento que se dispone de agua, de coste del agua, administrativos, legales y socio-ecológicos, entre otros. Existe un amplio espectro de métodos que se aplican para la recarga que varían desde los más simples, como la recolección y recarga del agua de lluvia a pequeña escala, hasta los más complejos, como la inyección profunda con recuperación en acuíferos. Estos forman parte de dos grandes grupos en función del tipo de recarga que se efectúe, ya sea por infiltración a través de la superficie del terreno, o bien, por inyección directa del agua hasta el acuífero mediante una perforación que lo atraviesa.

Los *métodos superficiales* se emplean en acuíferos libres, en los que no se tienen capas de baja permeabilidad próximas a la superficie del terreno, para que el agua pueda llegar más rápidamente al acuífero, sin barreras

naturales que se lo impidan. Se basan en la extensión del agua, de manera que se consiga la mayor superficie de contacto agua-terreno, por medio de los siguientes dispositivos: represas, gaviones, drenes, zanjas y sistemas de surco, balsas, canales, campos de extensión. Los *métodos de recarga en profundidad* se utilizan en acuíferos confinados, semiconfinados o multi-capas, en los que se presentan formaciones de baja permeabilidad cubriendo al acuífero que se pretende recargar. El agua se introduce en el acuífero mediante pozos, drenes y galerías horizontales. Para escoger el método de recarga adecuado, deben considerarse los siguientes aspectos: el propósito de uso del recurso, la instalación más adecuada, tanto desde el punto de vista técnico como económico, la disponibilidad, origen y calidad del agua de recarga, así como la tipología del acuífero. Las tareas de prospección de un reservorio subterráneo o acuífero están ligadas a principios científico-tecnológicos que involucran ampliar el conocimiento en zonas perspectivas, revelándose con mayor detalle las características estructurales de las formaciones rocosas del subsuelo, como el criterio de investigar de lo general a lo particular bajo el principio de las aproximaciones sucesivas (Klimentov & Kononov, 1982).

Para la caracterización del acuífero receptor y del área afectada por la posible operación de recarga se deben realizar los estudios para determinar la capacidad de transmisión y almacenamiento del acuífero; determinar la geometría y profundidad del acuífero, de la lámina de agua, los eventuales horizontes de baja permeabilidad suprayacentes al acuífero; cuantificar el volumen disponible para el almacenamiento; identificar y determinar los usos del suelo y del agua. Las características del acuífero receptor de la recarga, especialmente los factores como el espesor, la permeabilidad y almacenamiento, condicionan la viabilidad de las operaciones de recarga artificial y son claves para establecer la elección del método de recarga, ya que cuanto mejor caracterizado esté el acuífero, más adecuado será el diagnóstico sobre la viabilidad e idoneidad de su recarga (IGME, 2010).

Marco metodológico

El desarrollo metodológico de la presente investigación comprendió el análisis de los procedimientos que permiten la evaluación de la posibilidad de implementación en Panamá de soluciones tecnológicas para el reúso de aguas residuales, utilizadas con éxito en otros países con

mayor o menor grado de desarrollo que el nuestro. Tales métodos son la reutilización directa con fines de riego de aguas depuradas en humedales artificiales y recarga superficial de acuíferos de manera indirecta (infiltración de excedentes) durante el riego con aguas residuales postratadas. La aplicación de estos procedimientos permite proporcionar un recurso de agua alternativo en zonas con déficit hídrico como lo es la Península de Azuero y, especialmente, la parte baja de la cuenca del río La Villa, ya que el uso de agua regenerada en agricultura es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua, poblaciones urbanas crecientes y con una mayor demanda de agua de riego (FAO, 2013).

Con base en los resultados esperados, la metodología que se aplicó en la ejecución del proyecto “Potencialidad de uso de aguas servidas para riego y recarga de acuíferos: cuenca del río La Villa”, debido a la complejidad de los factores presentes, tuvo sus fundamentos en un análisis multidisciplinario a través de un diagnóstico biofísico y socioeconómico, ya que este enfoque socio-ecosistémico en el cual se tiene en consideración a los seres humanos, a la naturaleza y vínculos entre ellos, facilitó entender el contexto en el cual se realizó el presente trabajo. También, tomar en cuenta los ecosistemas de los cuales dependía el éxito de la investigación ha sido un paso muy importante debido a que el concepto ecosistémico o socioecológico es holístico y se refiere a la combinación de diferentes aspectos ecológicos, biológicos, científicos, económicos, políticos, culturales, sociales, entre otros; centrándose no sólo en los componentes de un sistema, sino también en sus relaciones, interacciones y retroalimentaciones (Farhad, 2012).

Además, el enfoque de conservación de biodiversidad y la rehabilitación ecológica de la cuenca se considera como un proceso importante para superar el estado actual de degradación de los recursos naturales y, por ende, mejorar a futuro las condiciones de producción y productividad en la zona evaluada. Los mecanismos de levantamiento de información se basaron en la revisión bibliográfica, análisis de mapas temáticos de la zona, visitas de campo, toma de imágenes aéreas con el uso de drones y entrevistas a la comunidad. El diagnóstico socioeconómico ejecutado tuvo como objetivo caracterizar la condición actual de la parte baja de la cuenca del río La Villa en términos de su densidad

de población y su distribución al interior de la unidad hidrográfica, sus niveles de marginación y de desarrollo humano, sus dinámicas migratorias, sus actividades económicas más importantes, la cobertura de los servicios de saneamiento y todos aquellos datos susceptibles de ser representados espacialmente, que den a la cuenca un sentido de unidad regional y permitan, en un momento dado, planificar las acciones de manejo y conservación de los recursos tomando a la cuenca como unidad de planeación. De esta manera, el desarrollo metodológico con el enfoque multidisciplinario permitió durante la ejecución del proyecto establecer el uso de agua regenerada en agricultura como una opción potencial a considerar. Otro aspecto abordado, además de uso de agua regenerada para riego, ha sido la viabilidad de la recarga artificial de acuíferos con este tipo de agua.

Tecnología no convencional para la adecuación de aguas postratadas

Los humedales artificiales son una tecnología para el tratamiento de aguas residuales que puede ser considerada como un complejo ecosistema, en el que los principales componentes son el sustrato que sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la población microbiana, que participa en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes presentes en las aguas a tratar; la vegetación contribuye a la oxigenación del sustrato y a la eliminación de componentes no deseables y, por último, el agua a tratar, que circula a través del sustrato y de la vegetación. De esta manera, la depuración de las aguas residuales se consigue haciéndolas pasar a través de humedales artificiales, en los que tienen lugar procesos físicos, biológicos y químicos de forma simultánea, que conducen a obtener unos efluentes finales depurados (Salas, Pidre, & Sánchez, 2007).

Existen diferentes tipos o esquemas de humedales artificiales que pretenden replicar los procesos naturales. Basados en las condiciones existentes en el área de estudio y los objetivos trazados, para esta investigación, en la fase experimental, se escogió como herramienta tecnológica el concepto de un humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS), cuyas estructuras de ensayo fueron instaladas en la PTAR, donde el agua a tratar circula de modo horizontal a través de un material granular por debajo del nivel del sustrato, de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado. Este material granular sirve de soporte para el

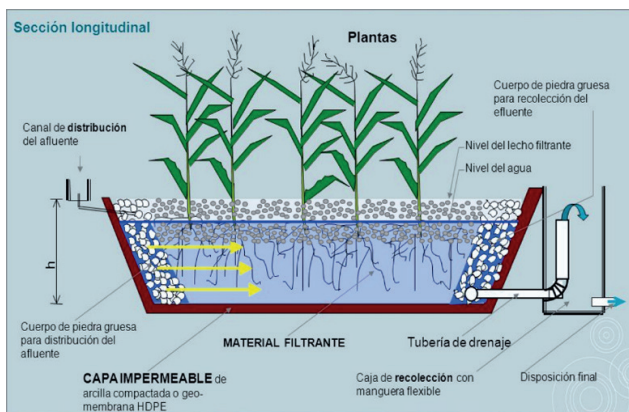
enraizamiento de la vegetación emergente, cuya alimentación se realiza de forma continua (Figura 5).

Con el fin de verificar el funcionamiento hidráulico y comprobar si los módulos sembrados con las especies de plantas seleccionadas estaban efectuando post-depuración al agua de descarga de la PTAR, se realizaron evaluaciones de calidad del agua de la entrada y la salida de los módulos. La concentración de cada parámetro evaluado fue comparada con el límite máximo permitido del Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2019.

Recarga de acuíferos

Para poder seleccionar el método de recarga de acuíferos con aguas postratadas que sería propuesto como método base de la investigación fue indispensable realizar la caracterización geológica e hidrogeológica del área delimitada del estudio con el fin de disponer de un conocimiento adecuado del acuífero a recargar, teniendo en cuenta las condiciones geológicas locales, como la interrelación del sistema de fallamientos asociados a los eventos tectónicos con el conjunto de formaciones geológicas representadas por rocas de origen ígneo y sedimentario, que constituyen el área investigada propiamente dicha, y que determinarán la operación de la obra de recarga y el flujo de las aguas subterráneas en el acuífero. Para seleccionar el método potencial de recarga y analizar su viabilidad fue necesario identificar los acuíferos idóneos con capacidad de almacenamiento de

Figura 5. Esquema de un humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS)



Fuente: Adaptado de Lara y Vera, 2005.

agua infiltrada, realizando para este fin las exploraciones geológicas, geofísicas e hidrogeológicas del área estudiada. La metodología implementada durante la realización de la investigación geofísica ha sido el cateo de las capas litológicas presentes en el área con la aplicación de técnicas geofísicas en

su modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), revelándose, con el uso de los programas especializados de interpretación *WinSEV* y *RockWorks* a través de un bloque modelo litológico generado, la estructura del reservorio subterráneo. La exploración geofísica también fue combinada con la prospección geológica de superficie y los ensayos de permeabilidad, que dieron referencia de la capacidad de los suelos de aceptar aguas de lluvia o excedentes de riego durante la estación seca.

Con el propósito de obtener la información sobre los parámetros hidráulicos, como la tasa de infiltración, volumen de esta, conductividad hidráulica, entre otros; se implementaron dos métodos de ensayos de campo, como lo son el de *Doble Anillo de Muntz* para la parte superior de la cubierta de suelo, y para el flujo más profundo, ensayos tipo *Porchet*, que permiten estimar la tasa de infiltración que ayudaría a reponer las aguas subterráneas. Por lo tanto, combinando la técnica de exploración geoelectrica con ensayos de permeabilidad fue posible definir los volúmenes de agua que estarían involucrados en la recarga, ya que, conociéndose los espesores de las distintas capas litológicas también puede inferirse su porosidad efectiva, por ende, los volúmenes de agua que las mismas pueden almacenar.

Además, la calidad del agua con la que se plantea realizar la recarga de acuíferos o riego también es un factor condicionante de la viabilidad de este tipo de proyecto. Por lo tanto, se requiere una adecuada evaluación de las características físicas, químicas y biológicas del agua regenerada. Básicamente, una operación de Recarga Artificial de Acuíferos (RAA) es viable, desde el punto de vista técnico, cuando confluyan tres factores: que exista una demanda que atender, entendida ésta como la finalidad principal de la operación de recarga; que existan caudales excedentes de agua en determinadas épocas del año (disponibilidad hídrica); y que el acuífero al mismo tiempo disponga de una capacidad de almacenamiento de dichos caudales. Estos tres factores antes mencionados han sido identificados, evaluados y seleccionados en las etapas de la presente investigación, considerando todos los estudios técnicos realizados, así como las disposiciones legales vigentes en materia de reutilización de aguas residuales tratadas.

Resultados y discusión

Adecuación del agua de descarga de la PTAR: Fase experimental

Con el fin de establecer el grado de mejoras deseables (afino) y el tipo de manejo posterior que se daría para conseguir los resultados óptimos

Figura 6. Sitio de ubicación de los módulos experimentales en el predio de la PTAR



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Especificaciones técnicas para el diseño de los módulos experimentales

Características	Descripción	
Profundidad del sustrato:	H=0.55 metros. Pendiente de 2° hacia la zona de descarga para garantizar un gradiente hidráulico.	
Tipo del medio filtrante:	Sustrato compuesto por gravilla fina de 5 - 6 mm de diámetro. Nivel del agua = 5 cm por debajo de la superficie del sustrato	
Sistema de distribución (Zona de entrada) del agua	Tubería PVC diámetro 2" (5 cm) con perforaciones de 10 mm, separadas cada 5 cm. Esta tubería se tiende directamente sobre el sustrato de grava gruesa en la parte superior de la entrada del módulo (zona de amortiguación).	
Sistema de recogida (Zona de salida) del agua.	Se realiza por medio de tubería de drenaje de 2" (5 cm) de diámetro con perforaciones de 10 mm de diámetro, separadas cada 5 cm, instalada en el fondo de la zona de grava gruesa dispuesta a la salida.	

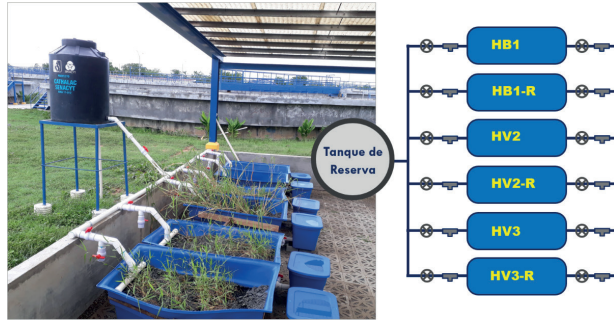
Fuente: Elaboración propia.

en el uso de aguas residuales postratadas, lo anterior establecido en los objetivos del proyecto, en los predios de la PTAR (previo acuerdo y autorización de la administración) fueron construidos seis módulos experimentales de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto, considerando los siguientes parámetros de diseño (Figuras 6 y 7).

Para poder alimentar estos módulos con el agua de descarga de la PTAR de manera interrum-pida, se instaló un tanque elevado de 750 litros. Se calculó el tiempo de retención o tránsito de agua por los módulos, que en este caso concreto fue de 24 horas (Figura 8).

Como puede observarse, el sistema de ensayo estuvo colocado bajo techo, protegido de la lluvia y la radiación solar directa; salvo el tanque para la reserva del agua que alimenta a los sistemas (agua de entrada). El agua que alimentó a los módulos ha sido tomada de modo directo del tanque

Figura 8. Esquema del sistema experimental instalado en la PTAR, con el crecimiento de pasto 5 días después de su siembra en los módulos



Fuente: Elaboración propia.

de sedimentación o clarificación más cercano, con el fin de evitar su cloración final, lo que pudiera afectar el buen funcionamiento de los humedales experimentales. Los primeros dos módulos denominados *Humedal Blanco 1 (HB1)* y *Humedal Blanco 1 Réplica (HB1-R)* incluyeron únicamente el sustrato de gravilla fina de 5-6 mm de diámetro, de 0.55 m de profundidad. En otros dos módulos *Humedal 2 (HV2)* y *Humedal 2 Réplica (HV2-R)*, aparte de contener el sustrato, se les plantó las gramíneas *Pasto Alemán*. El mismo procedimiento se aplicó en otros dos humedales *Humedal 3 (HV3)* y *Humedal 3 Réplica (HV3-R)*, en los cuales fue sembrado el pasto *Tanner* (Figura 9).

Figura 9. Módulos experimentales de humedales de flujo subsuperficial horizontal



Fuente: Elaboración propia.

Las dos variedades de vegetación sembradas en módulos experimentales, tales como el pasto Alemán y pasto Tanner, fueron seleccionadas de entre las 20 especies de pastos y forrajes importantes de Panamá por su fisiología, productividad, valor nutritivo y la mejor adaptación en el área de estudio (MIDA, 2009).

Tomando en consideración que en la parte baja de la cuenca del río La Villa se concentra la gran mayoría de actividades ganaderas, con la selección de estas especies de pasto no sólo se trató de evaluar la eficiencia de remoción de las plantas de los contaminantes, sino también de buscarles una utilidad inmediata como fuente de forraje para el sector ganadero. Además, esto ayudaría a minimizar de igual forma el impacto sobre el recurso hídrico que se genera diariamente, en especial para la época de verano.

En términos generales, el pasto Alemán (*Echinochloa polystachya*) es una planta herbácea perenne que pertenece a la familia de gramíneas (*Poaceae*). Los tallos pueden crecer 2 m de altura y las hojas pueden ser de 2 a 5 cm de ancho y de 10 a 30 cm de largo. Es un pasto de excelente calidad, ideal para heno, ya que crece rápido y vigoroso. El período de establecimiento varía entre 4 y 6 meses. El pastoreo puede hacerse cada 45 días. Produce de 20-25 toneladas de forraje verde en corte/ha, lo cual equivale a una capacidad de carga promedio hasta 5 animales/ha/año. Los contenidos de proteína cruda en praderas bien manejadas están entre 10-13%, y la digestibilidad entre 50-63%.

Mientras tanto, el pasto Tanner (*Brachiaria arrecta*), que también pertenece a la familia de las gramíneas, es tolerante a la sequía, de crecimiento agresivo y de hojas oblongas que miden 15 cm de largo y 14 mm de ancho. Produce entre 25 y 30 toneladas de MS/ha/año, con un contenido de proteína cruda de 8-12% y una digestibilidad de 55-60%. Puede llegar a soportar 3 unidades animales por hectárea (Peters, Franco, Schmidt & Hincapié, 2011).

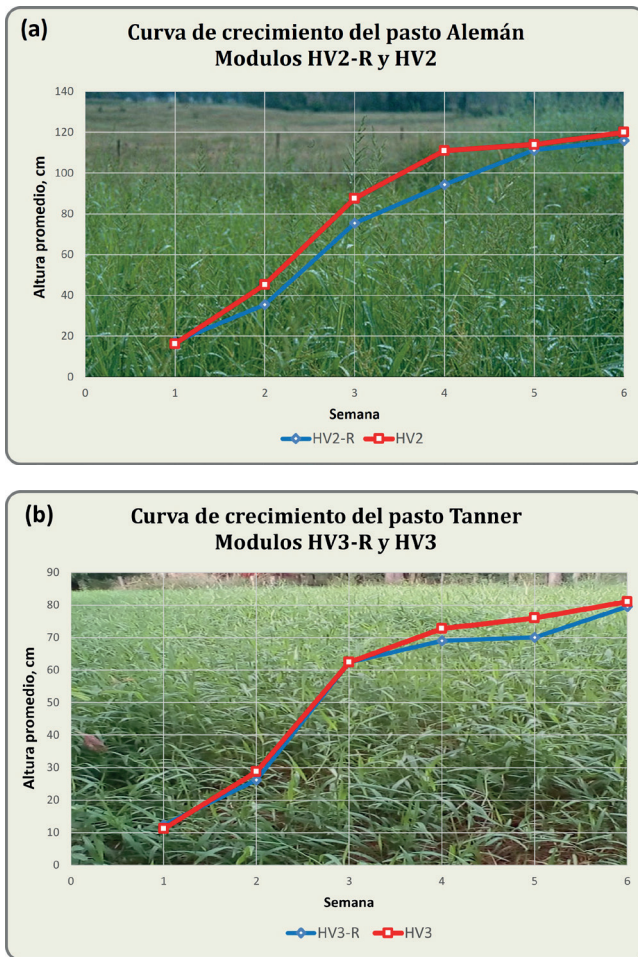
Se considera como una referencia para contenido nutricional óptimo el Indicador de Proteína (%) para Gramíneas de 11.4% y la siguiente clasificación de Digestibilidad (%): Alto (>70); Medio (55-70); Bajo (45-55) y Muy Bajo (<45).

Concretamente, durante la ejecución de la fase experimental de la presente investigación, se realizaron a los 45 y 90 días después de la siembra los cortes de pasto en los módulos. Los datos de crecimiento del pasto se obtuvieron mediante la medición de la base de la planta hasta la parte

más alta, con 5 tomas por cada módulo experimental, el cual se promediaba. A las plantas se les realizó el análisis bromatológico y con los datos de medición se determinaron las curvas de su crecimiento.

Se puede observar en las gráficas (Figura 10) sobre el crecimiento del pasto Alemán, al igual que el del pasto Tanner, cómo a mediados de la semana 4 su curva de crecimiento tiende a cambiar, y este comportamiento se debe a que en las semanas 5 y 6 la planta entra en su etapa fisiológica donde crea su inflorescencia.

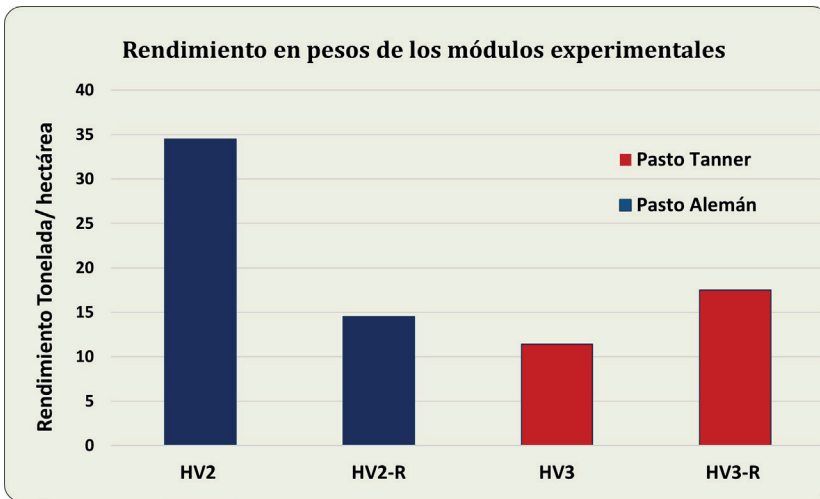
Figura 10. Curvas de crecimiento de pastos (a) Alemán y (b) Tanner



Fuente: Elaboración propia.

Si se analizan los rendimientos en pesos en los módulos (extrapolados a toneladas por hectárea), se observa que el pasto Alemán en el módulo HV2 tuvo la mayor producción con 34.5 tn/ha, seguido por el pasto Tanner (HV3-R) con un rendimiento de 17.5 tn/ha (Figura 11). Los valores de pasto Alemán han sido muy prometedores, ya que la producción nacional de maíz en materia fresca, cuando llega a más de 25 tn/ha, se considera como buena.

Figura 11. Rendimiento de las plantas en módulos experimentales, en toneladas/hectárea



Fuente: Elaboración propia.

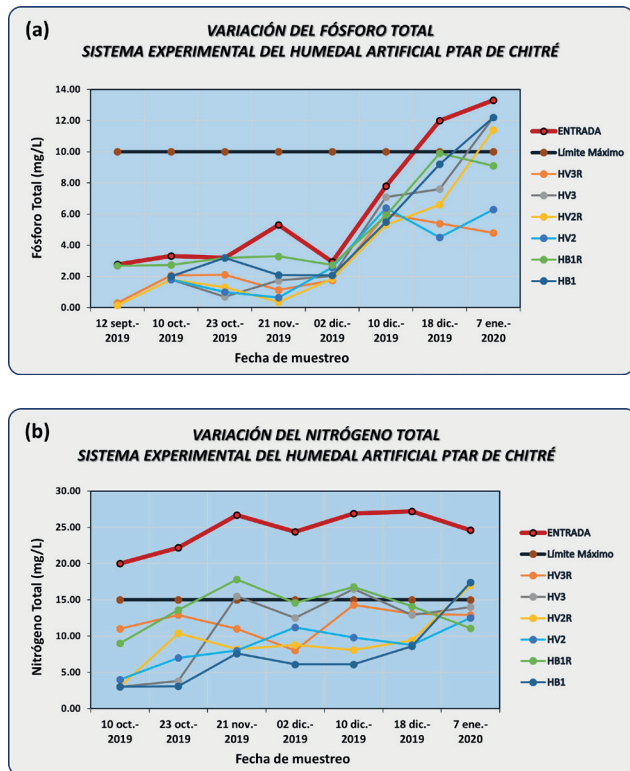
En los resultados de análisis bromatológico de la vegetación de cada módulo se puede observar que ambas especies tienen buen contenido de proteína, 11% para el pasto Alemán y 16% para el pasto Tanner. Mientras tanto, los valores de digestibilidad están en un rango clasificado como “medio-alto” (pasto Alemán con 67% y pasto Tanner con 68.5%). Los resultados obtenidos señalan a ambos pastos muy prospectivos como fuente de forraje para la alimentación de los bovinos. Por ejemplo, con el riego del pasto Alemán durante la estación seca (verano) con el agua postratada de la PTAR y luego afinada en los humedales artificiales establecidos en las estructuras de las antiguas lagunas de oxidación, se puede proporcionar alimentación a unos 31 mil bovinos en el área del proyecto en la parte baja de la cuenca del río La Villa.

1. Calidad del agua de descarga de los módulos y del efluente de la PTAR

Una vez establecidos los módulos de ensayo, sembrado el pasto y puesto en marcha el sistema, el agua de salida de cada módulo se evaluó por un periodo de aproximadamente cinco meses. Inicialmente, las pruebas analíticas se realizaron cada 15 días, mientras que el último mes las pruebas se realizaron semanalmente. De esta forma, durante las campañas de medición de calidad del agua de descarga de los módulos, se corroboró en el campo a través de los análisis de agua postratada la capacidad del sistema experimental de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal de remover los microorganismos, degradar el material orgánico, eliminar sólidos en suspensión, excesos de nitrógeno y fósforo, entre otros; del agua procedente de la PTAR, la cual ha sido denominada como “Entrada” (Figura 12).

Durante este periodo de pruebas, en los módulos experimentales se monitorearon los parámetros del agua de descarga y, como se puede apreciar en la Tabla 2, los resultados promedio obtenidos para los parámetros fisicoquímicos y de metales evaluados durante las campañas de muestreo para un tiempo de retención o tránsito de agua establecido de un día muestran en la gran mayoría de

Figura 12. Graficas de remoción de (a) fosforo y (b) nitrógeno en módulos experimentales



Fuente: Elaboración propia.

sus parámetros la capacidad del sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal de realizar con éxito la tarea de afino del agua postratada, para su posterior uso en riego agrícola o recarga de acuíferos por infiltración de los excedentes de este riego.

Tabla 2. Valor promedio de parámetros analizados en los módulos de prueba

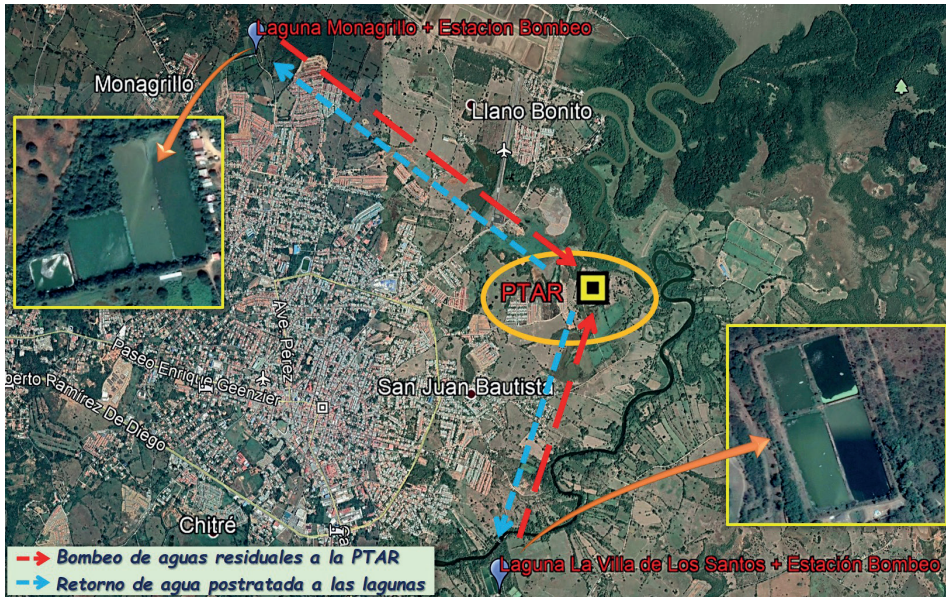
PARÁMETRO	ENTRADA	HV3R	HV3	HV2R	HV2	HB1R	HB1
pH	7.32	6.96	7.00	6.96	6.92	7.40	7.38
OD (%)	55.51	141.69	31.76	26.72	31.21	24.37	32.34
OD (mg/L)	4.19	6.78	2.46	42.08	2.44	1.88	2.51
Conductividad (MicroS/cm)	824.00	705.85	762.56	788.40	744.67	726.30	757.44
TDS (mg/L)	412.56	408.50	381.56	394.30	372.44	363.30	376.11
Temperatura	29.71	28.19	28.07	27.63	27.66	27.69	27.69
Fosfato (mg/L)	8.86	4.57	6.19	4.58	4.36	8.17	7.43
Fósforo de fosfato (mg/L)	2.94	1.48	2.02	1.47	1.42	2.66	2.36
Fósforo Total (mg/L)	11.03	5.40	8.97	7.77	5.73	8.30	8.97
Nitrógeno Total	24.57	10.48	11.17	8.19	8.76	12.26	7.41
Hierro (mg/L)	0.159	0.046	0.021	0.035	0.047	0.011	0.019
Cromo (mg/L)	0.004	0.007	0.020	0.010	0.024	0.018	0.020
Cobre (mg/L)	0.020	0.014	0.014	0.014	0.024	0.009	0.006
DQO (mg/L)	71.86	58.14	34.14	44.00	42.43	37.83	49.33
Turbiedad (UNT)	88.47	39.73	24.73	57.43	45.60	41.13	35.10
Cloruros (mg/L)	106.67	113.33	113.33	113.33	113.33	113.33	120.00
Cloruro de sodio (mg/L)	170.67	181.33	181.33	181.33	181.33	181.33	192.00
Dureza (g/gal de CaCO ₃)	10.33	10.67	10.67	11.67	9.33	9.33	9.33
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	2729.78	2817.84	2817.84	3082.01	2465.61	2465.61	2465.61
Sulfatos (mg/L)	65.67	49.00	41.33	63.67	31.33	71.00	66.00

Fuente: Elaboración propia.

Con base en lo expuesto, también se realizó el análisis de alternativas de las potenciales estructuras hidráulicas. En la actualidad existe dos lagunas de oxidación que trataban anteriormente las aguas residuales de origen domestico provenientes del sector de Monagrillo y de La Villa de Los Santos, pero el manejo de estas lagunas no ha sido el óptimo, por lo que actualmente las aguas residuales que llegan a estos sistemas están bombeadas a la nueva PTAR para su tratamiento. Por lo tanto, con el fin de tener un mayor beneficio de las estructuras hidráulicas existentes, se consideró en el diseño conceptual de la investigación proponer para la adecuación de aguas residuales postratadas provenientes de la PTAR estas lagunas de oxidación, aprovechando así su disponibilidad para la instalación en ellas

de los humedales artificiales. De esta manera, ambas lagunas servirían para la creación de los humedales referidos, ya que las mismas quedaron sin uso al instalarse en sus predios las estaciones de bombeo del nuevo sistema de alcantarillado, que envían las aguas recolectadas de las comunidades de Monagrillo y La Villa de Los Santos a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (Figura 13).

Figura 13. Diseño conceptual del mecanismo de adecuación de los efluentes de la PTAR para su posterior uso en riego y recarga de acuíferos



Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas de cada laguna son las siguientes: Laguna de Monagrillo tiene un área estimada de 29,000 m², con una capacidad de recibir hasta 8 millones de galones de agua postratada y se ubica a 4 km (aéreos) de la PTAR. Mientras tanto, la laguna de La Villa de Los Santos tiene un área de 34,000 m², puede albergar 9 millones de agua para su afino y está a unos 3 km de la planta de tratamiento.

2. Definición de la zona de recarga del acuífero y determinación de su capacidad de almacenamiento de caudales infiltrados

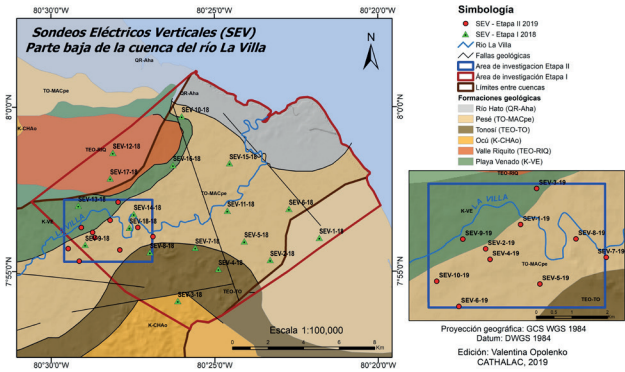
Los trabajos de investigaciones de campo tales como exploraciones geológicas, geofísicas e hidrogeológicas del área estudiada fueron desarrollados en dos etapas, cumpliendo con el principio de las aproximaciones sucesivas. En la Etapa I se realizó la investigación en un área de 160 km². Luego, en la Etapa II, aplicando el mismo principio metodológico, se realizó un estudio geológico y geofísico en detalle en un área de 16 km², con el fin de aumentar la densidad de información sobre las condiciones geológicas del subsuelo en la parte baja de la cuenca del río La Villa, generada durante la primera etapa de la ejecución general del proyecto. Esto permitió dar mayor grado de certeza en la planificación de las obras de desarrollo previstas. La información que se obtuvo como resultado de las investigaciones mencionadas ha sido relevante para establecer en la zona estudiada el dimensionado de reservorios subterráneos capaces de admitir, almacenar y entregar aguas, los cuales pueden ser objeto de la técnica de aumentar las reservas hídricas mediante procesos de recarga de acuíferos por excedentes de riego.

Ante la necesidad de formar una imagen tridimensional del bloque modelo litológico que conforma el área de investigación, inicialmente en la Etapa I se realizó la exploración geofísica a través de la ejecución de 18 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), 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, revelándose la estructura del reservorio subterráneo. Mientras tanto, en la Etapa II, con el fin de delimitar la estructura perspectiva para la recarga y definir la disposición de las capas geológicas, fueron ejecutados 10 sondeos geoeléctricos adicionales a los realizados en la Etapa I, lo que permitió añadir a la información preexistente del proyecto un mayor grado de detalle (Figura 14). Los nuevos SEV de la Etapa II se distribuyeron de manera tal que fuera posible la estructuración de un bloque modelo geológico ampliado, con el fin de poder conocer las condiciones hidrogeológicas del área de influencia del proyecto y así determinar el comportamiento del flujo de las aguas subterráneas en la zona acuífera ante una eventual recarga de esta zona acuífera por riego agrícola.

Los estudios realizados en la Etapa II, al igual que en la Etapa I, dieron como resultado la generación del bloque modelo a escala de la disposición espacial de las capas litológicas, o bien, los tipos de roca que componen el subsuelo, así como los mapas y perfiles geológicos asociados al área de emplazamiento del proyecto (Figura 15).

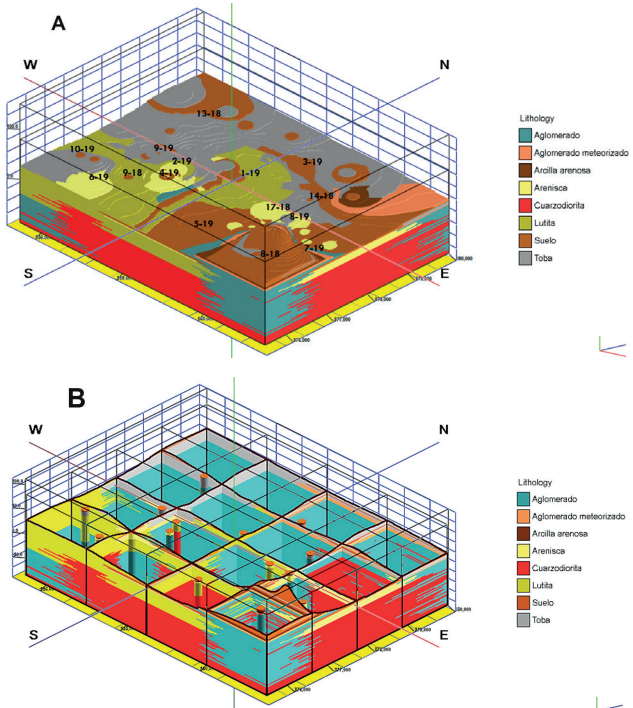
La descripción y caracterización geológica facilitó una correcta comprensión de la geometría de los materiales litológicos que conforman zonas acuíferas en el área de influencia de potencial recarga. Los datos obtenidos de litología, que fueron interpretados de los SEV, se integraron a un bloque modelo con el uso del software *RockWorks*, donde se consolidó la información litológica de nuevos SEV y

Figura 14. Localización de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) realizados en las Etapas I y II en la parte baja de la cuenca del río La Villa



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Bloque modelo (a) y diagrama de cercas (b) del área de investigación, Etapa II



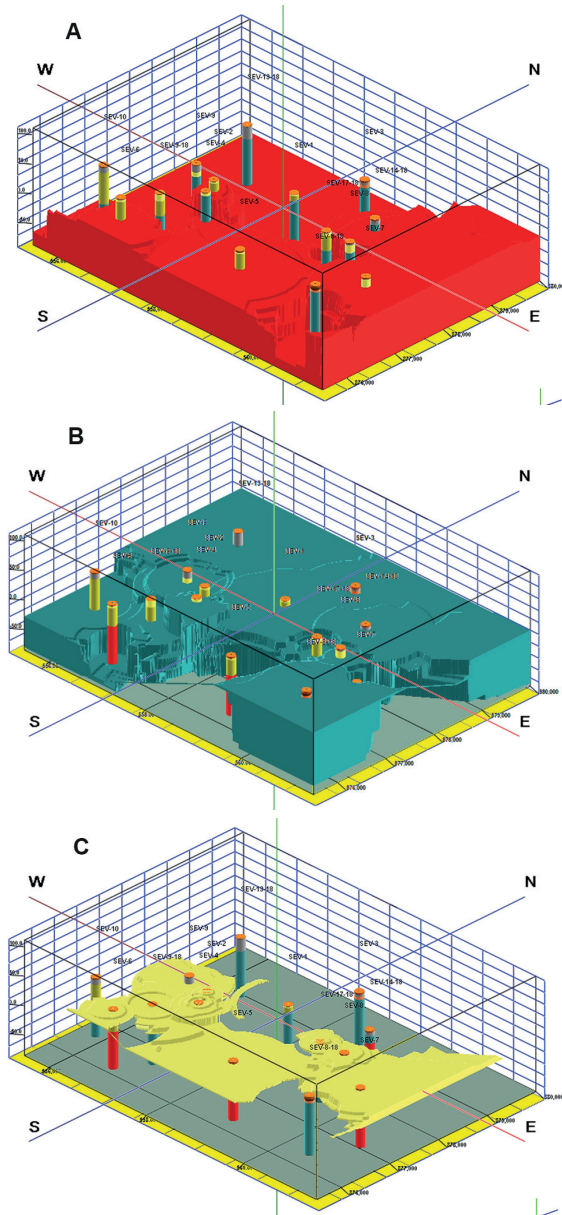
Fuente: Elaboración propia.

una parte de preexistentes de la Etapa I. Este importante resultado facilitó analizar por simple inspección la disposición espacial de los diferentes materiales que componen el territorio estudiado.

Del análisis de bloque modelo (Figura 15a) se obtuvieron los cálculos volumétricos de las distintas capas litológicas, lo que permitió estimar las reservas de agua subterránea que eventualmente pueden almacenarse a través de las propiedades, así como la porosidad eficaz de las rocas. La vista en perspectiva y en tres dimensiones de cada capa litológica en particular, aislada del resto en su conjunto, permite comprobar el rol de cada una en los complejos procesos de deposición de las aguas subterráneas, dándole a esta investigación un carácter de genuinos aportes inéditos al conocimiento científico del área.

De esta manera, se logró establecer del bloque modelo la base o el piso impermeable, conformado por cuarzodiorita de la formación Valle Riquito, que confina el posible reservorio subterráneo, idóneo para recibir los aportes de la recarga, así como almacenarla. También, se definió la capa de aglomerado fracturado (Formación Playa Venado), que se reveló por sus características y dimensiones como el acuífero principal, con una permeabilidad secundaria originada por las fisuras, con la capacidad de recibir, de acuerdo con su porosidad, un volumen de agua de 1.45 km³. La capa de arenisca (Formación Pesé), fue identificada como la segunda capa en importancia por sus propiedades de porosidad (Figura 16).

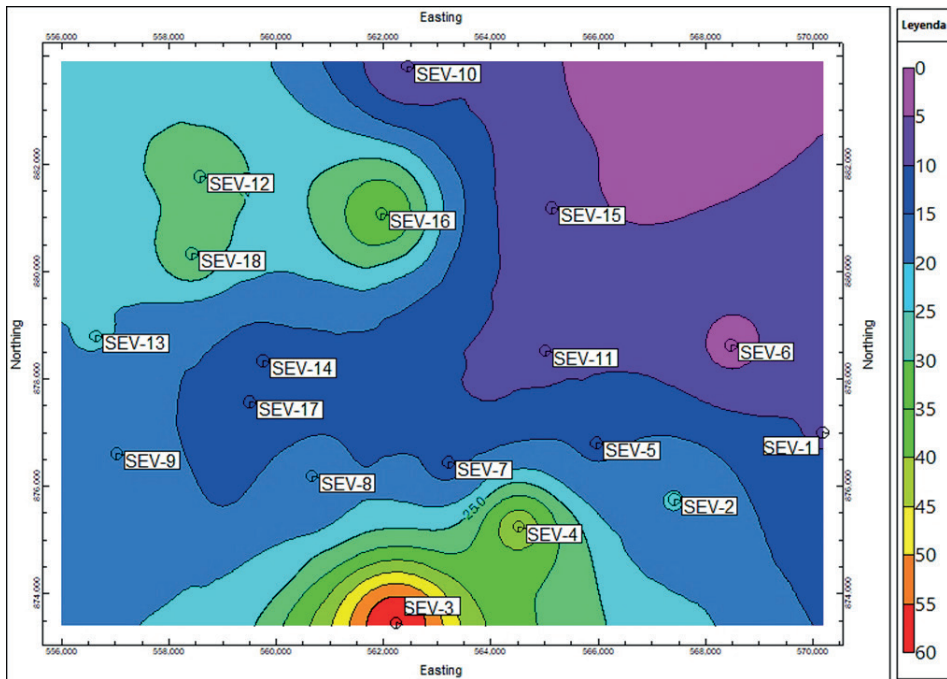
Figura 16. Caracterización de principales capas litológicas: (a) cuarzodiorita, (b) aglomerado y (c) arenisca, que reflejan la magnitud de un perspectiva reservorio acuífero



Fuente: Elaboración propia.

Además de la exploración geológica, se desarrolló en ambas etapas del proyecto el estudio hidrogeológico que proporcionó un conocimiento adecuado del acuífero a recargar, de sus propiedades hidrogeológicas y características hidráulicas, teniendo en cuenta las condiciones geológicas que permitieron determinar la dirección de flujo de aguas subterráneas (Figura 17), así como el flujo de las aguas de recarga desde la superficie a la zona saturada.

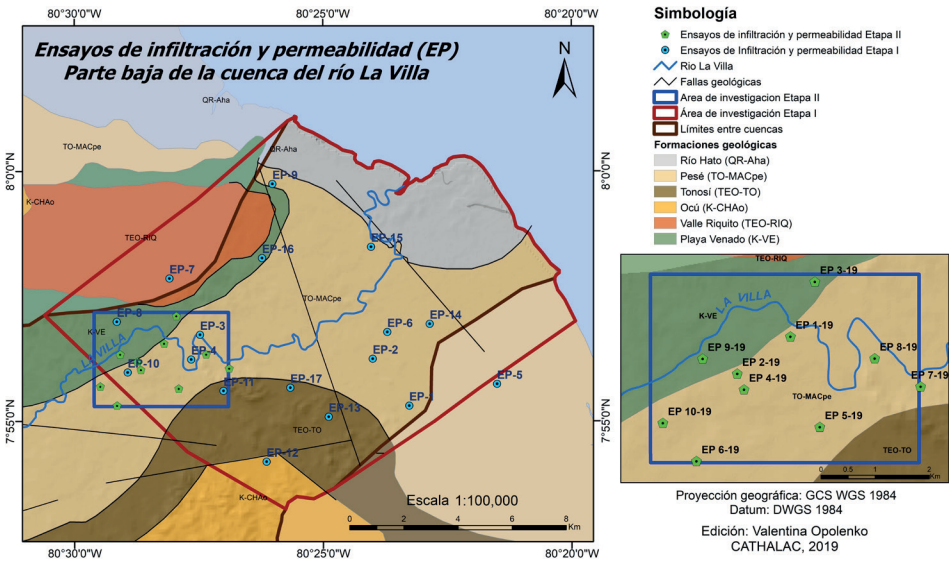
Figura 17. Mapa de elevación (en metros) de la mesa freática del área de estudio (Etapa I)



Fuente: Elaboración propia.

Durante la ejecución del proyecto se realizaron 27 ensayos hidráulicos de Doble Anillo e igual cantidad del método Porchet, 17 en la Etapa I y 10 en la Etapa II (Figura 18).

Figura 18. Localización de los ensayos de infiltración y permeabilidad en las Etapas I y II



Fuente: Elaboración propia.

Una de las características físicas principales del acuífero que determinan su viabilidad para recibir, almacenar y, posteriormente, recuperar el agua, es la conductividad hidráulica. Los datos obtenidos durante el desarrollo del proyecto dieron como resultado una permeabilidad promedio de $K=1.07$ m/día para el área de estudio, clasificada según “Clases de Terrenos de Bredding” como *muy pequeña* (Custodio & Llamas, 1976), pero desde el punto de vista de recarga de acuíferos, el valor obtenido de conductividad hidráulica se considera como una “Conductividad Hidráulica idónea”, ya que se encuentra en el rango de 100 y 0.1 m/día (Guimera-Sola, 2014). Como resultado final, una vez definidas las características geológicas y las condiciones hidrogeológicas del área investigada, se estimó que de los distintos métodos existentes de recarga artificial de acuíferos, el método de *recarga superficial* por excedentes de riego, que consiste en aplicar el agua en campos de extensión (dispositivo

de infiltración), buscando una gran superficie de contacto agua-terreno, que se logra normalmente mediante el riego durante la estación seca, es el método más viable a utilizar en la parte baja de la cuenca del río La Villa desde el punto de vista técnico, económico, así como social.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede concluir que durante el desarrollo del proyecto fue posible comprobar el eventual uso de agua regenerada procedente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en agricultura, como una opción que se estuvo estudiando. Otro aspecto abordado, además de uso de agua regenerada para riego, ha sido establecer la viabilidad técnica de la potencial recarga artificial de acuíferos y definir el método más adecuado para este fin. Estos objetivos se lograron plenamente al poder caracterizar los efluentes de la planta depuradora y su capacidad de reúso, estableciendo el método de afino y potencialidades de almacenamiento, con la instalación en los predios de la PTAR de un sistema experimental con humedales artificiales tipo horizontales subsuperficiales, en los cuales se concretó el tipo de vegetación que se utilizaría para mejorar la calidad de agua de descarga. El experimento realizado tuvo éxito en su desarrollo, ya que permitió, a través de los análisis del efluente retenido en los módulos con fines de mejoras, establecer el nivel de remoción de los contaminantes del agua postratada con la ayuda del sustrato y la vegetación seleccionada, pues el agua afinada podría utilizarse para el riego y recarga de acuíferos.

En este caso específico fueron sembradas en módulos experimentales dos variedades de pasto, tales como el pasto Alemán y pasto Tanner, los cuales fueron seleccionados de entre las 20 especies de pastos y forrajes importantes de Panamá por su fisiología, productividad, valor nutritivo y la mejor adaptación en el área de estudio. Ambas especies dieron como resultado en los análisis bromatológicos realizados a las plantas cortadas después de 45 días de crecimiento en módulos experimentales altos niveles de proteína y digestibilidad. Esto podría representar una utilidad inmediata y económicamente importante para el sector ganadero en el futuro, además del uso de agua regenerada para el riego, cuando se establecerán los humedales en dos lagunas de oxidación existentes y que actualmente se encuentran en desuso.

También, una vez definidas las características geológicas y las condiciones hidrogeológicas del área investigada, se estimó que de los distintos métodos existentes de recarga artificial de acuíferos, el método de *recarga superficial* por excedentes de riego, que consiste en aplicar el agua en campos de extensión (dispositivo de infiltración), buscando una gran superficie de contacto agua-terreno, y que se logra normalmente mediante el riego durante la estación seca, es el método más viable a utilizar en la parte baja de la cuenca del río La Villa desde el punto de vista técnico, económico, así como social.

De esta manera, se puede concluir al cumplir con los objetivos planeados que, con la ejecución del presente trabajo investigativo en la cuenca del río La Villa, se entra en una nueva fase de la explotación y gestión responsable del recurso hídrico en la República de Panamá. Los resultados de esta investigación representan un estudio pionero a escala local, en el cual se trata de expresar un esfuerzo por mostrar que las aguas residuales tienen un alto valor y aplicabilidad en la solución de problemas de escasez hídrica, y pueden contribuir a una mayor seguridad alimentaria de la cuenca, impulsando desarrollo socioeconómico y sostenibilidad ambiental. Mediante la utilización controlada y previamente estudiada de los efluentes de la PTAR, se crearán beneficios sociales, económicos y ecosistémicos para los habitantes de la cuenca del río La Villa. Se espera también que, generando conocimiento, se cambiará el concepto que la sociedad en general tiene sobre las aguas residuales y esto se logra a través de la sensibilización, difusión y transferencia científica. Se entiende que el conocimiento científico sobre el uso de las aguas servidas en Panamá no se limita a un solo proyecto, lo que implica la necesidad de nuevas investigaciones en este campo, para que las aguas residuales dejen de ser un recurso desaprovechado.

Agradecimientos

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

A la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) y el Programa de Innovación para la Inclusión Social y la Productividad del BID, por su decidida contribución al desarrollo científico-tecnológico de este país.

Igualmente, al personal de la Dirección Regional de Herrera y Los Santos del Ministerio de Ambiente (MIAMBIENTE); del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) y del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN).

Al equipo de CATHALAC que de alguna manera apoyó la exitosa ejecución de este proyecto y a los Consultores MSc. Geólogo Roneldo Arjona, el Ing. Agrónomo Josué García y al Investigador MSc. Pablo Martínez de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), por su valiosa participación y aportes en el desarrollo de esta investigación.

A la Constructora RODSA, S.A., que está a cargo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Chitré, en especial al Ing. José García.

A los Municipios de Chitré y Los Santos, a los miembros del Comité de Cuenca Hidrográfica del río La Villa, y a las distintas comunidades beneficiarias por su actitud positiva y aporte de conocimiento local.

Referencias

- Autoridad Nacional del Ambiente. (ANAM, 2008). *Plan de Ordenamiento Territorial Ambiental de la cuenca del río La Villa (POTA)*. Panamá: Autoridad Nacional del Ambiente.
- Autoridad Nacional del Ambiente. (ANAM. (2011). *El Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de la República de Panamá (PNGIRH) 2010-2030*. Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), República de Panamá. ISBN 978-9962-609-77-3
- Casas, A., Tapias, J., De Bustamante, I., De Miguel, A. & Lillo, J. (2011). *Guía metodológica para el uso de aguas regeneradas en riego y recarga de acuíferos*. España: Ed. Consolider Tragua. Gobierno de España.
- Cornejo, A., López, E., Ruiz, R., Sedeño, J., Armitage, B., Arefina, T., Nieto, C., Tuñón, A., Molinar, M., Ábrego, T., Pérez, E., Tuñón, A., Magué, J., Rodríguez, A., Pineda, J., Cubilla, J. & Avila, I. (2017). *Diagnóstico de la condición ambiental de los afluentes superficiales de Panamá*. Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud. Panamá: Ministerio de Ambiente.
- Custodio, E. & Llamas M. R. (1976). *Hidrología Subterránea*. Tomo I y II. Barcelona: Ediciones Omega, S.A.

- De Bustamante, I., Cabrera, M.C., Echegaray, M., Candela, L., Pérez-Barbón, A. & Martínez-Hernández, V. (2016). *Reutilización de aguas regeneradas en el marco de la planificación hidrológica*. Las aguas subterráneas y la planificación hidrológica. Congreso Hispano-Luso sobre las Aguas Subterráneas en el Segundo Ciclo de Planificación Hidrológica. Madrid: Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH).
- Delgado, O., Camacho, A., Pérez, L. & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA)
- Dirección General de Recursos Minerales. (DGRM, 1991). *Mapa Geológico de la República de Panamá; Escala 1:250.000*. Panamá: Ministerio de Comercio e Industrias., República de Panamá.
- Farhad, S. (2012). *Los sistemas socioecológicos. Una aproximación conceptual y metodológica*. Sevilla, España: Departamento de Economía, Métodos cuantitativos e Historia económica, Universidad Pablo de Olavide.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* Informe sobre Temas Hídricos N° 35 FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma.
- Guimera-Sola, J. (2014). *Diagnóstico de Metodología para la Presentación y Análisis de Proyectos de Recarga Artificial de Acuíferos*. Chile: AMPHOS 21 CONSULTING CHILE LTDA. Ministerio de Obras Públicas.
- Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia”. (IGNTG, 2007). *Atlas Nacional de la República de Panamá*. Panamá: Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia”.
- Instituto Geólogo y Minero de España. (IGME, 2010). *Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas Actividad 8: Selección e identificación de masas de agua donde es preciso plantear estudios y actuaciones de recarga artificial de acuíferos*. España: Instituto Geólogo y Minero de España (IGME), Dirección General de Aguas.
- Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. (IDIAP, 2006). *Zonificación de suelos de Panamá por niveles de nutrientes*. Panamá: Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (INEC, 2010). *XI Censo de Población y VII de Vivienda, 2010. Resultados Finales*. Panamá: Instituto Nacional de Estadística y Censo.
- Klimentov, P.P. & Kononov, V.M. (1982). *Metodología de las Investigaciones Hidrogeológicas*. Moscú: Editorial Mir.
- Lara, J. & Vera, I. (2005). Implantación y evolución de un humedal artificial de flujo subsuperficial en Cogua, Cundinamarca, Colombia. *Ingeniería y Universidad*, 9(1): 47-63.
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (MIDA, 2009). *Resultados de la zonificación Agroecológica de 20 especies de pastos y forrajes en la República de Panamá*. Panamá: Secretaría Técnica Programa Nacional de Zonificación Agroecológica, Ministerio de Desarrollo Agropecuario.
- Ministerio de Ambiente de Panamá. (MIAMBIENTE, 2019). *Oferta y Uso de Agua en Panamá: Basado en los resultados de la Cuenta Ambiental de Agua 2000–2018*. Panamá: Dirección de Política Ambiental, Ministerio de Ambiente de Panamá.
- Opolenko, V. (2016). *Sensibilidad Medioambiental a la desertificación en la cuenca del río La Villa, República de Panamá*. (Tesis doctoral). Universidad Internacional de Andalucía y Universidad de Huelva, España.
- Peters, M., Franco, L., Schmidt, A. & Hincapié, B. (2011). *Especies forrajeras multipropósito: opciones para productores del trópico Americano*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Salas, J., Pidre, J. & Sánchez, L. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales: Humedales Artificiales*. España: Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA).
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. U. S.: Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UN, 2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights. (ST/ESA/SER.A/352)*. New York: United Nations.
- World Water Assessment Programme. (WWAP, 2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París: UNESCO.



Manejo del escurrimiento de aguas pluviales desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos. Análisis de su abordaje en ciudades capitales de la Argentina

Management of stormwater runoff from the perspective of ecosystem services. Analysis of its implementation in the main cities of Argentina

Paula Andrea Zapperi¹

Universidad Nacional del Sur – CONICET, Argentina


Anabella Montico²


Universidad Nacional del Sur, Argentina

Resumen

La incorporación del enfoque de los servicios ecosistémicos, en la planificación de los espacios urbanos, contribuye con la mitigación el impacto hidrológico de la urbanización. Bajo esta premisa, el objetivo del trabajo fue analizar las reglamentaciones asociadas al manejo de aguas pluviales en la capital nacional y las capitales provinciales de la Argentina y reconocer así, antecedentes en la implementación de políticas, que favorezcan la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. Para ello, se revisaron de ordenanzas y códigos de zonificación. Los resultados obtenidos se agruparon en: indicadores urbanísticos, zonificaciones y medidas de infraestructura verde. Si bien, el 87,5% de las ciudades analizadas presenta algún tipo de medida urbanística, relacionada con el servicio ecosistémico de regulación hídrica en la mayoría de los casos, no existe una mención explícita. Esto dificulta la cuantificación, su nivel de provisión servicio y, por lo tanto, su incorporación efectiva en los instrumentos de planificación.

Palabras clave: planificación urbana; regulación hídrica; gestión de aguas pluviales; servicios ecosistémicos; Argentina.

1 Doctora en Geografía. Investigadora Asistente en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Docente en el Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur, Argentina. Correo electrónico: paula.zapperi@uns.edu.ar  <https://orcid.org/0000-0003-0783-1467>

2 Licenciada en Ciencias Ambientales. Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur, Argentina. Correo electrónico: anabella.montico@gmail.com.  <https://orcid.org/0000-0002-4618-2992>

Abstract

The inclusion of ecosystem services in the planning of urban spaces contributes to mitigating the hydrological impact of urbanization. Under this premise, the objective of the present work was to analyze the regulations associated with the management of stormwater in the capital and provincial capital cities of Argentina, and thus recognize background information regarding the implementation of policies that favor the provision of ecosystem services relevant to the regulation of water resources. Accordingly, zoning ordinances and codes were reviewed. The results obtained were grouped into: urban indicators, zones and green infrastructure measures. Although 87.5% of the considered cities exhibit some type of rule related to ecosystem services pertaining to the regulation of water resources, there is no explicit mention. The above situation makes it difficult to quantify the level of provision of ecosystem services and, therefore, hampers its effective inclusion in urban planning instruments.

Keywords: Urban planning; Water resource regulation; Stormwater management; Ecosystem services; Argentina.

Introducción

Los patrones de asentamiento urbano han sufrido una transformación significativa en las últimas décadas, pasando del auge de las grandes aglomeraciones urbanas, hacia el desarrollo de las ciudades intermedias. Estos centros, se consolidan como urbes de crecimiento acelerado y disperso, que tiende a dificultar la equidad y sostenibilidad del entorno urbano. Las implicancias ambientales de este tipo de crecimiento, se manifiestan en un aumento en la huella urbana, incrementando así, el uso intensivo de recursos naturales como el suelo, el agua y la energía.

En contraposición, se presenta el modelo de ciudades sostenibles que busca una trama urbana de cierta compacidad, que contribuya con la cercanía equitativa a todos los servicios, incluyendo las áreas verdes y el espacio público (Terraza, Rubio & Vera, 2016). Estos nuevos modelos de urbanismo, consideran a las ciudades como ecosistemas urbanos e incorporan conceptos de sostenibilidad dentro de los criterios de la planificación territorial (Ahern, Cilliers & Niemelä, 2014).

Se contribuye de esta manera, con el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos disponibles y la adaptación de las urbes, al entorno en el cual se desarrollan. La tendencia hacia la integración de la planificación urbana, ecosistema urbano y ciudad sostenible puede evidenciarse en propuestas y declaraciones de organismos internacionales como Naciones Unidas. En 2015, la Asamblea General de la ONU presentó los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, cuyos puntos

establecen el carácter fundamental de la gestión y el desarrollo sostenible del medio urbano, para la calidad de vida de los pueblos ([Organización de Naciones Unidas, 2015](#)).

En esta línea, el gobierno argentino a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable conformó en el año 2016, la Unidad de Ciudades Sustentables (Resolución N° 378/16) con el objetivo de apoyar a los municipios en el desarrollo de planes de sustentabilidad con herramientas de planificación y de capacitación técnica-ambiental.

La adaptación al Cambio Climático se plantea como una de las áreas prioritarias de intervención y en virtud de ello, se respalda a la Red de Municipios Argentinos frente al Cambio Climático (RAMCC) conformada en el año 2010 ([Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019](#)). Paralelamente, desde el Gabinete Nacional de Cambio Climático se trabaja en la Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático, de acuerdo a lo que establece la Ley N° 27520/19.

El aumento de los eventos climáticos extremos es uno de los efectos adversos, que el Cambio Climático impone a las ciudades. En la Argentina, la ocurrencia de eventos extremos de precipitación ([Barros et al., 2015](#)) se conjuga con el avance de la urbanización de llanuras de inundación, dando lugar al aumento de las inundaciones urbanas ribereñas. Por otra parte, las superficies pavimentadas y las edificaciones reducen la capacidad de la infiltración del suelo, con el consecuente aumento y aceleración de la escorrentía superficial que se concentra en calles y avenidas ([González, Torchia & Viand, 2015](#)). Esto contribuye con el anegamiento de áreas, donde se supera la capacidad de conducción del sistema de drenaje urbano y de sectores donde el agua no logra encauzarse, debido a la topografía del terreno, ya sea por sus características naturales o por las modificaciones introducidas.

Lo mencionado, forma parte de una realidad urbana que muestra la necesidad de gestionar las ciudades, a través de un enfoque que permita la integración de consideraciones ambientales en la planificación y diseño y que permita a la vez, estimular las transformaciones necesarias de las políticas, los mercados y las conductas. En este marco, la hipótesis establecida sugiere que abordar la gestión del drenaje urbano, a través de la perspectiva de los servicios ecosistémicos puede contribuir con la generación de medidas de planificación, que incorporen aspectos propios de la dinámica hídrica natural.

Por ello, el objetivo del trabajo fue analizar las reglamentaciones asociadas al manejo de aguas pluviales en las capitales provinciales de la Argentina. De esta manera, se buscó reconocer casos que puedan constituir un antecedente en la implementación de políticas, que favorezcan la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. A su vez, el análisis buscó determinar cuáles debieran ser los lineamientos a seguir, para la incorporación del enfoque ecosistémico en la gestión del drenaje urbano.

Marco teórico

Servicios ecosistémicos en el entorno urbano

Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios tangibles e intangibles, que los diferentes ecosistemas proporcionan a la sociedad de manera natural y que actúan como contribuciones directas e indirectas al bienestar humano (Gómez-Baggethun et al., 2014). Al hablar de servicios ecosistémicos, se enfatiza la interdependencia que existe entre sistemas ecológicos y sistemas sociales (Daily, 1997; Balvanera et al., 2012). Esta interacción es especialmente importante en el contexto urbano donde la infraestructura construida, cubre gran proporción de la superficie y la densidad poblacional es alta (Pickett et al., 2001).

A nivel de política, los ecosistemas urbanos a menudo se describen como "infraestructura verde", pues esta representación captura el papel que el suelo y la vegetación desempeñan en la prestación de servicios ecosistémicos, a diferentes escalas espaciales (edificio, calle, barrio, región). Sin embargo, los ecosistemas urbanos implican un concepto más amplio, pues incluye áreas de bosques, ríos o lagos impulsados por la comunidad dentro o cerca de la ciudad. Así como también, a los jardines privados que no están sujetos directamente a la planificación urbana pública (Gómez-Baggethun & Barton, 2013). De esta manera, los espacios verdes y azules de las áreas urbanas (parques, patios y jardines, parcelas urbanas, humedales, ríos, lagos y estanques) constituyen ecosistemas urbanos, que prestan servicios con impacto directo en la salud y la seguridad como purificación de aire, reducción de ruido, regulación de la temperatura y mitigación de la escorrentía (Bolund & Hunhammar, 1999).

Dado que muchos flujos ecológicos se extienden más allá de las fronteras urbanas, los ecosistemas urbanos se asocian a las áreas afectadas por los flujos de energía y materiales del núcleo urbano y suburbano,

incluidas cuencas urbanas, bosques periurbanos y campos cultivados. Sin embargo, debido al alto grado de modificación y fragmentación, su análisis también incluye componentes específicos vinculados a la prestación de servicios como árboles individuales, superficies de agua y superficies de suelo (Gómez-Baggethun & Barton, 2013).

Clasificación según los beneficios para las ciudades

Las funciones ecosistémicas son las que dan origen a los servicios, cuando éstos significan un beneficio para la sociedad. Por lo que, el reconocimiento de una propiedad ecosistémica como servicio es contextual y depende del beneficio humano al cual contribuye. Por otra parte, una misma función ecosistémica puede proveer más de un servicio a la vez, que un servicio puede asociarse a más de un beneficio y viceversa (Altesor et al., 2011). En la construcción de la resiliencia en las ciudades se presentan ciertos servicios ecosistémicos, que son fundamentales. Se trata de la reducción de la isla de calor, el suministro de agua, la mitigación de la escorrentía y la producción de alimentos.

Desde la Ecología Urbana, se realiza la distinción entre ecología “en” las ciudades y ecología “de” las ciudades, para enfatizar la importancia de incluir los servicios de los ecosistemas, generados tanto dentro como fuera de los límites de la ciudad. En el primer caso, se hace referencia a la generación de entornos urbanos verdes saludables y funcionales, al diseño de edificios energéticamente eficientes y a una logística sostenible.

Mientras que, por ecología “de” las ciudades se reconoce la total dependencia que tienen las ciudades del paisaje circundante y el constante “ida y vuelta” entre lo urbano y lo rural (Jansson, 2013).

La clasificación y tipificación de los servicios ecosistémicos difiere según los distintos autores, que conforman la literatura referida al tema. Aun así, existe un consenso generalizado en considerar a la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) como la clasificación de referencia para el análisis de conexiones entre el funcionamiento de la naturaleza y el bienestar y supervivencia de los seres humanos, en un contexto urbano sostenible (Jansson, 2013).

Esta evaluación es resultado de una iniciativa de múltiples organismos internacionales, que reconoce: (i) servicios de provisión (alimento, madera, agua, recursos genéticos), (ii) servicios de regulación (regulación del clima y efecto invernadero, regulación del agua y de las enfermedades),

(iii) servicios de soporte (ciclado de nutrientes, formación de suelo, ciclo hidrológico, producción primaria, polinización y control biológico) y (iiii) servicios culturales (fuente de inspiración, recreación y estéticos).

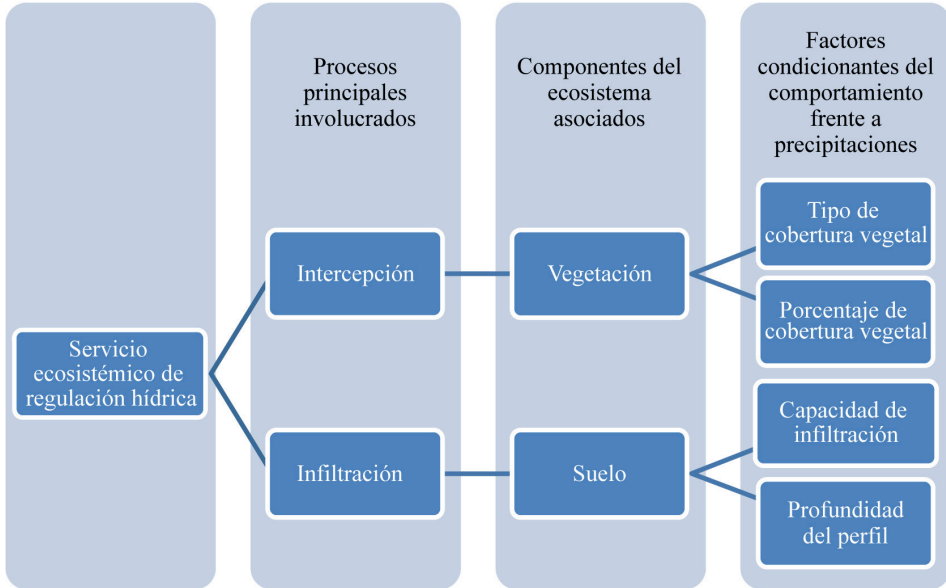
Servicio ecosistémico de regulación hídrica en el ambiente construido

La impermeabilización que implica el crecimiento de las ciudades se traduce en la pérdida de la capacidad de infiltración del suelo y en algunos casos, de la vegetación que intercepta el agua de la lluvia. Estas funciones son propias del servicio de regulación hídrica y mitigación de la escorrentía y se asocian con la capacidad de los ecosistemas de almacenar y liberar los flujos de agua, de manera controlada. La regulación hídrica se refiere entonces a la proporción de las precipitaciones, que puede ser interceptada e infiltrada, contribuyendo con la reducción de la escorrentía superficial (Jullian, Nahuelhual, Mazzorana, & Aguayo, 2018).

El servicio ecosistémico de regulación hídrica, se sustenta en procesos que se corresponden con los distintos subsistemas del ciclo hidrológico. De esta manera, comienza con la interceptación de la precipitación incidente por parte de la vegetación, donde una gran proporción se pierde por evaporación. El agua residual de esta etapa, fluye acoplándose a la precipitación directa, la cual llega directamente al suelo, donde una proporción fluye como escurrimiento superficial, otra se infiltra y se almacena en el suelo, quedando disponible para las plantas y el resto, se acumula en napas subterráneas. Es así que, la regulación y almacenamiento de agua dependerá de estos procesos circunscritos al balance hídrico (Figura 1), donde el tipo de cobertura y las características físicas del suelo condicionan esta función de regulación (Grizzetti, Lanzanova, Liqueste, Reynaud, & Cardoso, 2016). Así, la capacidad de infiltración del suelo o el porcentaje del sellado de la superficie, pueden ser indicadores para la cuantificación de la percolación y por ende, del servicio de regulación y mitigación de la escorrentía (Villarreal & Bengtsson, 2005).

En el ámbito urbano, la impermeabilización sumada a la frecuente compactación de los suelos expuestos, limitan cuantiosamente la infiltración (Argañaraz & Lorenz, 2010), aumentando el volumen de escorrentía de aguas superficiales y así, la vulnerabilidad a las inundaciones (Villarreal & Bengtsson, 2005). Las zonas vegetadas tienen una capacidad de infiltración de aguas de lluvia entre un 85% y 95% mientras que, las zonas urbanas carentes de vegetación, que manejan sus aguas de lluvia a través

Figura 1. Factores determinantes del servicio ecosistémico de regulación hídrica



Fuente:Elaboración propia sobre la base de Grizzetti et al. (2016) y Jullian et al. (2018).

de desagües y alcantarillas, logran un nivel de infiltración de apenas el 10% (Bernatzky, 1983 en Bolund & Hunhammar, 1999). En este contexto, adquieren gran importancia las áreas cuyos suelos están expuestos, como es el caso de las áreas verdes y jardines domésticos, al actuar como focos de infiltración (Argañaraz & Lorenz, 2010).

En los últimos años, se ha intensificado el interés en revertir y mitigar el impacto negativo del ambiente construido sobre el funcionamiento natural de los ecosistemas de las ciudades. Es por ello, que se busca la restauración de los servicios ecosistémicos, a través de la reproducción de sus funciones por parte de las nuevas estructuras que se construyen. Sin embargo, tal como señala Pedersen (2012), hay determinados servicios que pueden imitarse más fácilmente que otros. Servicios relacionados con la mitigación de la escorrentía y el suministro de agua, tienen un alto potencial de integración al entorno construido, entendiendo a este último como el conjunto de edificios, carreteras, infraestructura y parques que conforman el área urbana. Ejemplo de ellos son las estructuras

para recolección y almacenamiento de agua de lluvia, el reciclaje de agua gris, las superficies con pavimentación porosa y el paisajismo que promueve el uso eficiente del agua.

Hacia la incorporación de los procesos biogeofísicos en los marcos regulatorios urbanos

La pérdida de ecosistemas en las ciudades, puede implicar altos costos económicos, a largo plazo derivados de la necesidad de restaurar y mantener los servicios públicos, a través de una infraestructura construida que equipara a los servicios provistos por la infraestructura verde urbana. Asimismo, se reconocen impactos asociados con la pérdida de resiliencia de las ciudades, hecho que aumenta su vulnerabilidad frente a distintos escenarios de riesgo (Gómez-Baggethun & Barton, 2013).

De esta manera, el desafío de la urbanización sostenible requiere una reconexión del desarrollo humano con la capacidad de la biosfera y los servicios ecosistémicos esenciales. Dado que, la mayoría de la población mundial vive en áreas urbanas, una forma de facilitar esta reconexión, es a través de la óptica de los servicios de los ecosistemas considerando la ecología “en” y “de” las ciudades (Jansson, 2013). En los últimos años, se ha sumado el concepto de ecología “para” las ciudades como referencia a la aplicación de este enfoque, según las proposiciones normativas de cada sociedad (Tan et al., 2020).

La Evaluación de Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) concluye que, las políticas futuras deben apuntar a satisfacer las necesidades humanas, pero a un costo menor para los sistemas naturales. Ello implica corregir el sesgo histórico en contra de la naturaleza, en la relación costo beneficio de las elecciones económicas individuales. A su vez, esta distorsión se ve agravada, pues tradicionalmente las formas de medir la riqueza no consideran el capital natural.

Paralelamente, en los ecosistemas urbanos la realización plena de sus servicios, implica la combinación del capital natural con otras formas de capital. Por ejemplo, la construcción y mantenimiento de un parque urbano, requiere no sólo del soporte natural sino también del aporte de capital financiero y de capital humano. Mientras que, los techos y paredes verdes utilizan cantidades sustanciales de materiales de construcción (celosas de drenaje, geotextiles y estructuras etc.).

De esta manera, se establece un circuito de retroalimentación entre los distintos capitales, sobre el cual influyen las políticas públicas, las prácticas profesionales y también las costumbres sociales (Tan et al., 2020). De esta manera, la incorporación del enfoque de los servicios ecosistémicos en la planificación de los espacios urbanos, se convierte en un tema de estudio fundamental para avanzar hacia un marco regulatorio que propicie la integración de procesos biofísicos en las estructuras construidas y de esta manera, aminorar el impacto hidrológico de la urbanización. Aspecto que se presenta como una prioridad en la gestión de gran parte de las ciudades argentinas.

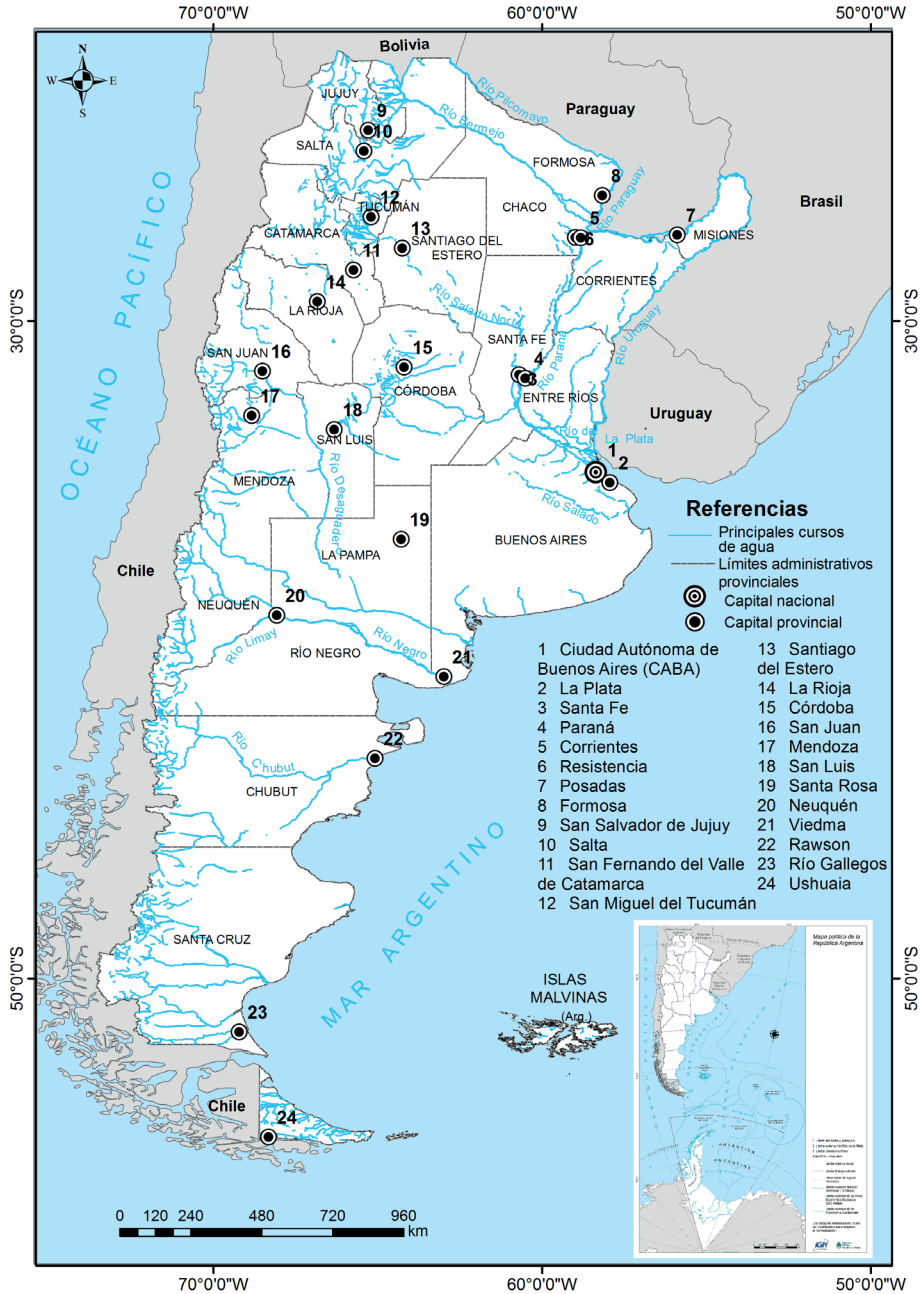
Marco metodológico

La potestad reguladora en materia urbanística, que han adquirido los municipios argentinos con la reforma de la Constitución de 1994, implica una ventaja para la implementación del enfoque de servicios ecosistémicos, adaptado a nivel local. De esta manera, en un primer término se realizó una revisión exploratoria de ordenanzas y códigos de zonificación, correspondientes a las ciudades capitales de las veintitrés provincias de la República Argentina y a la capital nacional (Figura 2).

Los criterios que guiaron el análisis (Figura 3) se orientaron, por un lado, a la identificación de componentes del ecosistema urbano, tales como áreas verdes, áreas azules y componentes aislados (árboles, superficies de infiltración, etc.) según las distintas escalas espaciales que quedan comprendidas en la planificación local.

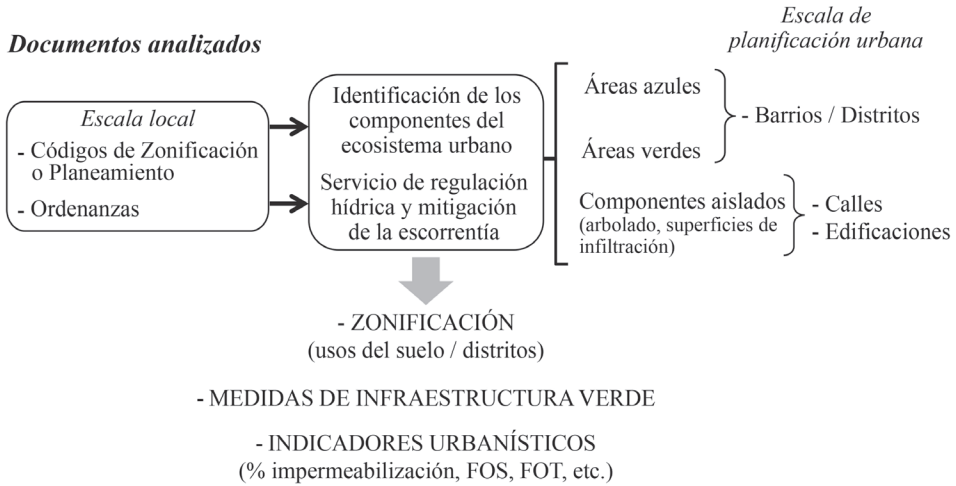
En este sentido, se relevaron referencias a la generación espacios verdes y azules a escala de áreas urbanas a la vez que, se consideraron las reglamentaciones orientadas a la forestación de calles y parcelas, sean estas últimas de dominio público o de dominio privado. Precisamente, Maragno et al. (2018) detectaron que los espacios privados generan más escorrentía que los públicos, lo que evidencia la necesidad de reglar sobre los mismos.

Figura 2. Distribución de las ciudades capitales de la República Argentina



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN) de Argentina.

Figura 3. Variables de análisis para la identificación de regulaciones que favorezcan al servicio ecosistémico de regulación hídrica



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el criterio de análisis también se orientó a reconocer la existencia de reglamentaciones que busquen la recuperación o reproducción del servicio de regulación hídrica, ya sea a través del establecimiento de determinados usos del suelo como también de la regulación de construcciones o tipos coberturas.

A su vez, para facilitar la comparación de los hallazgos en las distintas ciudades estas intervenciones, indicadores y propuestas se agruparon en: i) indicadores urbanísticos que regulen principalmente cuestiones de cobertura y capacidad constructiva dentro de las parcelas, ii) zonificación (usos del suelo), iii) intervenciones del espacio urbano, a través de la implementación de coberturas porosas e infraestructura verde.

Cabe señalar, que dentro del análisis de los casos en los que se identificó efectivamente normativa orientada a reglamentar este tipo indicadores, zonificaciones e intervenciones se buscó reconocer si en el objetivo final de su implementación, hay referencia explícita al enfoque de los servicios ecosistémicos en el ámbito urbano.

Resultados

El relevamiento realizado permitió identificar que 21 de las 24 ciudades analizadas, presentan algún tipo de medida urbanística que se relaciona con los factores asociados al servicio ecosistémico de regulación hídrica o con la gestión de aguas pluviales, desde una perspectiva distinta a la convencional.

Excepción de ellos, son las ciudades de Rawson (provincia de Chubut), Río Gallegos (provincia de Santa Cruz) y San Miguel de Tucumán (provincia de Tucumán), que no presentan actualmente normativa al respecto. En cuanto a la mención explícita a las funciones y servicios ecosistémicos o ambientales del área a la que se refieren, sólo se halló en el caso de dos distritos de zonificación de las ciudades de Formosa y Mendoza.

Sin embargo, se identificaron conceptualizaciones incluidas dentro de las ordenanzas y códigos, que pueden ser consideradas como un puntapié inicial para la incorporación de este enfoque, en los instrumentos de planificación urbana. Tal es el caso de la Ordenanza Municipal N° 9668/18 de la ciudad de Paraná (provincia de Entre Ríos), que en su artículo 2° reconoce al ecosistema como un bien común, referido a “todo lo vivo y al soporte físico natural con sus componentes y elementos, de lo cual depende la subsistencia de todos los seres vivos, constituyéndolo en un derecho innegable, propiedad de todos en general y de nadie en particular”. Además, conceptualiza al ambiente como una “variable restrictiva en relación a los usos del suelo y los impactos socio-ambientales”.

Revalorización de áreas verdes y azules a través de la zonificación

En la implementación y generación de zonificaciones, se identifica con mayor claridad el interés por “amortiguar” el escurrimiento del agua de las lluvias y en segundo lugar, por reconstruir el equilibrio ecológico en espacios fluviales. De esta manera y tal como se observa en el detalle de la tabla 1, las zonificaciones privilegian áreas ribereñas y lagunares para su preservación.

Se encuentra que estas medidas, ponen énfasis sobre los componentes del sistema urbano por sobre los servicios en sí con hincapié, por lo tanto, en áreas verdes y azules. Esto lleva a que, dentro de las ciudades identificadas, se destaquen ciudades del noreste argentino ubicadas en importantes cuencas hidrográficas o que se extienden sobre sistemas de

lagunas. Si bien cabe hacer la salvedad de la ciudad de Mendoza, ubicada al pie de la Cordillera de los Andes.

Por otra parte, la ubicación y denominaciones de las zonificaciones establecidas indican que, en muchos casos se busca la mitigación de los efectos de las lluvias y crecidas. De este modo, la regulación hídrica entra en el esquema, pero como función ecosistémica dentro del servicio de amortiguación de las inundaciones. En este marco, se puede citar el ejemplo del “Área de Seguridad Hídrica” delimitada en la ciudad de Mendoza (OM N° 3944/18) para valorizar la vegetación en las zonas donde se conectan los distintos cauces que se activan durante las precipitaciones y que contribuyen con el peligro aluvional.

En cuanto a la ocurrencia de inundaciones, la ciudad de Santa Fe se destaca por las diversas zonificaciones que se desprenden de los distintos grados de protección ante las crecidas. Es importante señalar que, el crecimiento de esta ciudad se dio sobre terrenos inundables y espejos de agua, a través de la construcción de defensas y terraplenes (Viand & González, 2012).

El día 29 de abril de 2003, la crecida extraordinaria del río Salado provocó la muerte de 152 personas y 130.000 habitantes debieron ser evacuados, haciendo de esta inundación una de las más catastróficas de la historia argentina (Ullberg, 2013). Este suceso incorporó a la gestión del riesgo, en la agenda de planificación urbana y en el año 2009, tuvo lugar la adhesión a la campaña de la Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres y UNISDR para el desarrollo de ciudades resilientes.

Si bien tampoco se menciona de forma explícita el concepto de servicios ecosistémicos, las medidas orientadas a fomentar la mitigación y regulación de la escorrentía, precisamente se basan en la recuperación de espacios verdes y frentes fluviales naturales. Asimismo, es importante aclarar que, en el caso de esta ciudad santafecina, estas disposiciones de nivel local deben articularse con la Ley provincial 11730/00, que regula el régimen de uso de bienes situados en las áreas inundables.

Tabla 1. Zonificaciones que revalorizan espacios fluviales y ribereños en ciudades capitales de la Argentina.

Definición de las áreas o zonas delimitadas	Ciudad e instrumento de planificación que lo incluye
<i>Distrito Parque Urbano Lagunar:</i> Comprende los valles de inundación de distintos cursos de agua, atendiendo a las funciones de regulación hídrica que poseen como reservorio de amortiguamiento de lluvias	Formosa (OM N° 6959/16)
<i>Áreas especiales- Áreas ribereñas:</i> Extensiones de tierra urbana a proteger donde se establece la relación de borde entre la ciudad y los entornos fluviales.	Santa Fe (OM N° 11748/10)
<i>Áreas especiales- Cordones verdes:</i> Extensiones de tierra urbana con suelos absorbentes o pavimentos permeables y población vegetal consistente. Incluyen espacios verdes públicos, tierras libres y áreas vacantes públicas y privadas y corredores ferroviarios.	
<i>Distrito de seguridad hídrica (ZSH):</i> Áreas no urbanizables destinadas a obras estructurales de carácter hidrológicas sin uso residencial de ningún tipo.	
<i>Distrito EI – Especial de islas y frentes fluviales:</i> Zonas de islas y frentes fluviales de cursos permanentes de agua, donde los agregados edilicios están subordinados a las condiciones hídricas y ambientales.	Posadas (OM N° 3372/13)
<i>Costa Natural Urbana - Sector Arroyo Zaimán:</i> espacios verdes en ambas márgenes con el objeto de reconstruir su equilibrio ecológico	
<i>Zona Natural de Amortiguación:</i> área de vinculación del ecosistema de piedemonte con el área urbanizada. Brinda servicios ambientales, como la reducción de la amenaza aluvional por su cobertura vegetal.	Mendoza (OM N° 3944/18)
<i>Área de seguridad hídrica:</i> Área donde la irregularidad de precipitaciones y su concentración en el territorio generan una red de cauces interconectados que ponen en peligro aluvional a todo el sector. La vegetación se considera de máxima importancia en este sector.	
<i>Áreas de arroyos y bañados:</i> Sector anegable del área urbana. En parcelas superiores a 300 m ² , solo el 40% podrá estar impermeabilizada.	La Plata (OM N° 10703/10)

Fuente: Elaboración propia.

Integración de infraestructura verde e indicadores urbanísticos en favor de la regulación hídrica

Si se analiza el tipo de espacio que es alcanzado por esta normativa, en términos de su carácter público o privado, del total de las medidas

halladas el 83% reglan sobre el espacio privado. Mientras que, en el espacio público las medidas se relacionan principalmente, con la promoción de cintas verdes, distritos de zonificación y áreas especiales, en los terrenos particulares la compensación de la pérdida de infiltración del suelo se busca a través de indicadores urbanísticos e intervenciones que impliquen principalmente, infraestructura verde o materiales porosos.

Asimismo, se identifica en ciudades como Corrientes, Resistencia y Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), la aplicación de un enfoque mixto que implica la integración de medidas de tipo infraestructural (Tabla 2) con medidas no estructurales plasmadas en normativa (Tabla 3). Tanto las reglamentaciones como la promoción del uso de materiales permeables, se alinean bajo dos claros objetivos, tales como la parquización de espacios libres y el límite a la impermeabilización del suelo urbano. A su vez, el objeto de aplicación es principalmente a escala de parcela diferenciándose de la zonificación que abarca distintas áreas de la ciudad.

Dentro de las intervenciones propuestas, se encuentra el uso de sistemas de captación y recuperación del agua de lluvia como también el uso de superficies vegetadas o porosas en los espacios libres. La vegetación no solo que se promueve en espacios peatonales o playas de estacionamientos, sino que en concordancia con una tendencia global su presencia se fomenta en terrazas, azoteas, techos, etc.

En el caso de estos últimos, es importante aclarar que el grado de contribución al servicio de mitigación y regulación de la escorrentía, dependerá de las especificaciones de su diseño. En la CABA, por ejemplo, se establece un espesor de suelo máximo para los techos verdes de 18 cm. Si se tiene en cuenta que uno de los factores que influyen sobre el servicio ecosistémico de regulación hídrica es la profundidad del perfil de suelo, en este caso la profundidad limitada, podría dar lugar a un bajo potencial de retención de precipitaciones. En cualquier caso, la escorrentía generada sería menor a la producida por un espacio completamente impermeabilizado y nuevamente, resulta necesaria una mirada integral, debido a los múltiples servicios ecosistémicos, que provienen de estas áreas.

Tabla 2. Descripción de las medidas de infraestructura verde e intervenciones según objetivo de implementación

Objetivo	Descripción general	Ciudad e instrumento de planificación que lo incluye
<i>Límite a la impermeabilización del suelo urbano</i>	<i>Exigencias para playas de estacionamiento de supermercados:</i> contarán con pavimento flexible, articulado o retícula permeable y arbolado	Santa Rosa (OM N° 3274/2005)
<i>Promoción de espacios vegetados/parquizados</i>	<i>Veredas con espacios verdes/aceras con franja verde/cintas verdes:</i> Veredas con senda peatonal embalsosada de una dimensión dada; dejando el resto como franja verde de césped.	Resistencia (OM N° 12926/18), La Rioja OM N° 1784/89), Santiago del Estero (Cód. de planeamiento urbano y edificación), San Juan (Cód. de Edificación), Viedma (Cód. de edificación), Santa Fe (OM N° 11610/09).
	<i>Terraza, azotea, balcón, cubierta verde o ecológica:</i> cubierta de techo o terrazas, resuelta mediante tratamiento con vegetación.	Córdoba (OM N° 12548/16), Corrientes (OM N° 6579/17), Paraná (OM N° 9384/16), San Salvador de Jujuy (OM N° 6692/14), CABA ³ (Ley N°4428/12), Neuquén (OM N° 12875/13).
	<i>Muros y jardines verticales verdes:</i> Superficie total o parcial de los muros externos de un edificio con desarrollo de especies vegetales, cubriendo dichos muros en forma vertical.	Paraná (Cód. de edificación).
<i>Reducción de volumen de aguas pluviales</i>	<i>Retardadores Pluviales/ Sistema de Recolección de Aguas de Lluvia/ Superficie de Captación Pluvial/ Factor de Captación/Sistema de ralentización de agua de lluvia captada/ impacto hidrológico cero:</i> superficie que puede derivar las aguas pluviales a un sistema de reutilización o para su posterior derivación a sistemas de desagües existentes.	Paraná ⁴ (Cód. de edificación y OMN° 9606/17), San Salvador de Jujuy (OM N° 6702/14), Mendoza (OM N° 3944/18), CABA (Cód. de Planeamiento Urbano), Resistencia (OM N°8775/2007)

Fuente: Elaboración propia.

3 Limita a 18 cm el espesor máximo de suelo para el soporte de la vegetación.

4 Capacidad de reserva del sistema de captación en función del Riesgo Hídrico asociado a la localización del inmueble.

Por otra parte, con los indicadores urbanísticos se intenta brindar una herramienta que permita calcular las superficies que debieran quedar libres de toda edificación y/o pavimento que impida o dificulte la infiltración de agua -Factor de impermeabilización del suelo (FIS) y sus variantes, como el Índice de permeabilidad, Superficie de suelo absorbente o Superficie absorbente- (Tabla 3).

Tabla 3. Indicadores urbanísticos para limitar la impermeabilización y fomentar la parquización de espacios libres

Objetivo	Denominación y Descripción general	Ciudad e instrumento de planificación que lo incluye
Límite a la impermeabilización del suelo urbano	<i>Factor de ocupación del suelo (FOS):</i> valor máximo de ocupación de la masa edificada en el predio. El resto del predio quedará libre de toda edificación y deberá tener un tratamiento permeable	Resistencia (OM N°12926/18) Corrientes (Cód. de planeamiento urbano) Formosa (OM N°6959/16).
	<i>Factor de impermeabilización del suelo (FIS)/Índice de permeabilidad/Superficie de suelo absorbente/ Superficie absorbente obligatoria:</i> porcentaje de la superficie total del lote que debe quedar libre de toda edificación y/o pavimento que impida y/o dificulte la permeabilidad o infiltración de agua en el suelo natural.	Resistencia (OM N° 12926/18), Corrientes ⁵ (Res. N° 1465/19), San Salvador de Jujuy (OM N° 6702/14), Posadas (OM N°3372/13), Río Grande (OM N° 2863/11), La Plata (OM N° 10703/10), CABA (Cód. Urbanístico), Santa Fe (OM N° 11748/10), Córdoba (OM N°12596/16).
	<i>Factor de impermeabilización total (FIT):</i> grado de impermeabilización o superficie no absorbente total. Resulta de dividir la superficie total construida más la superficie de pisos no cubiertos, por la superficie total del terreno.	Resistencia (OM N° 12926/18), Corrientes (Res. N° 1465/19)
Promoción de espacios vegetados/ parquizados	<i>Retiro de edificación:</i> retiros (frente, fondo o laterales) destinados a espacio verde	San Fernando del Valle de Catamarca (OM N° 887/77), Viedma (OM N° 3319/96), San Luis (OM N° 968/77).
	<i>Centro libre de manzana:</i> superficie no edificable del terreno, destinada a espacio libre verde y suelo absorbente, comprendida entre las líneas de frente interno	CABA (Código Urbanístico), Posadas (OM N°3372/13), Mendoza (OM N°3944/18), Corrientes (Cód. de Planeamiento Urbano).

Fuente: Elaboración propia.

5 Aplicado a un sector del área abarcada por el Plan Urbano Costero.

Entre estas ciudades mencionadas, se destaca el caso de la capital de la provincia del Chaco, ciudad de Resistencia, en donde a través de la Ordenanza Municipal N° 8775/2007, se busca el “impacto hidrológico cero” de las nuevas edificaciones sobre el sistema de drenaje existente. Es importante aclarar a su vez, que esta aglomeración urbana se dispone sobre la llanura de inundación del río Paraná, ocupando también las riberas de sus brazos y afluentes. Motivo por el cual, se han dado reiterados episodios de inundaciones que afectaron a un número considerable de habitantes. El crecimiento urbano sobre sectores inundables, llevó a la implementación de restricciones de uso del suelo, en función de las resoluciones de la Administración Provincial del Agua (APA) (Rohrmann & Schaller, 2016).

Conjuntamente con estas zonificaciones, se establecieron medidas para el control de los cambios hidrológicos, que implican las nuevas construcciones. De esta manera, las propuestas de edificación deben acompañarse de una evaluación hidrológica, en la que el pico del hidrograma generado para un determinado Factor de Impermeabilización del Suelo (FIS) y Factor de impermeabilización total (FIT), no supere el pico que se obtiene bajo las características previas a la urbanización.

Para ello, se deberán prever dentro de cada parcela, dispositivos o mecanismos atenuantes del efecto producido por las precipitaciones intensas. Si bien, se trata de un avance importante en lo que respecta a medidas que regulen la impermeabilización, para su efectividad, también es necesaria una concordancia con los permisos de edificabilidad y los factores de ocupación del suelo. Precisamente, es a partir de estos parámetros que se define la posibilidad de mantener la forestación en los centros de las parcelas o la forestación de las aceras (Alcalá, 2012).

Discusión

Cuantificación del servicio para contribuir con su incorporación en la normativa

Si se indaga más allá del rango de ciudades objeto de estudio, se identifica que también en centros urbanos de menor jerarquía se está dando un proceso de incorporación de normativas, asociadas con prácticas de infiltración del agua de lluvia y restricción de la impermeabilización. Por ejemplo, en la ciudad de Toay (provincia de La Pampa) se ha impulsado la Ordenanza Municipal N° 5/14, que limita la

impermeabilización de grandes superficies -como playas de estacionamiento o áreas de circulación-, para favorecer la recarga del acuífero, del cual se sustenta esta localidad.

Cabe aclarar que, las condiciones de semiaridez que caracterizan al clima de la región, refuerzan la necesidad de optimizar el manejo del recurso hídrico. Otro ejemplo es el proyecto de ordenanza en la ciudad costera de Mar del Plata (provincia de Buenos Aires), que se orienta a “la creación de un sistema de transporte permeable que corra paralelo a caminos, tales como cunetas verdes y franjas filtrantes, y pavimentos filtrantes” y “la implementación de un sistema de infiltración o control de agua, en origen en las zonas de media y baja densidad”. En este caso, uno de los motivos que impulsa la generación de estas prácticas, es la problemática de la red de drenaje y la contaminación del frente costero, dado que el cuerpo receptor de los efluentes del sistema de desagües pluviales es el mar.

En este marco, la cuantificación y el mapeo de servicios ecosistémicos asociados a los cambios en el uso del suelo son fundamentales para hacer efectiva la contribución con la planificación y gestión territorial (Chen et al., 2020). En esta línea, Paruelo, Alcaraz-Segura, & Volante (2011), señalan que la implementación de planes de manejo y ordenamiento del territorio requiere del seguimiento de los cambios en el nivel de provisión de los servicios ecosistémicos, con una cobertura completa del territorio. Estos autores sostienen que, para la toma de decisiones en cuestiones ambientales no solo es importante el inventario de los servicios ecosistémicos, sino también de la estimación de la tasa de provisión y demanda de los mismos considerando las fluctuaciones provocadas por las actividades antrópicas.

Las disposiciones examinadas, dan muestra de un inicio en la valorización de la regulación de escorrentía como servicio que pueden brindar los ecosistemas del entorno urbano. Sin embargo, más allá de que en la mayoría de los casos no existe una referencia explícita, restan aún especificaciones técnicas que permitan su cuantificación del servicio y por lo tanto, su incorporación en los instrumentos de planificación.

Existen, en la Argentina y el mundo, antecedentes en los que se aplican parámetros hidrológicos como indicadores de infiltración que podrían utilizarse para la cuantificación del servicio de regulación hídrica en áreas urbanas. Gittleman, Farmer, Kremer y McPhearson (2017), estimaron las

tasas de absorción de escorrentía de aguas pluviales de los jardines comunitarios de la ciudad de Nueva York.

En Argentina, [Zimmerman, Bracalenti y Onocko \(2015\)](#), estimaron un indicador, basado en el coeficiente de escorrentía del método racional, que permitió cuantificar la magnitud del impacto de áreas verdes en el escurrimiento de subcuencas de la ciudad de Rosario. Detectaron que aumentos adecuados de superficie con cobertura vegetal, reducen significativamente el riesgo de inundaciones en los sistemas urbanos.

También es importante mencionar, la propuesta del protocolo ECOSER ([Latterra, Castellarini & Orúe, 2011](#)), la cual propone como indicador de regulación hídrica, la proporción de agua de lluvia infiltrada frente a tormentas modales o con una recurrencia dada, a través del método de la curva-número del Soil Conservation Service. Por último, cabe destacar la propuesta [Suárez y Alba \(2017\)](#), en la que establecen indicadores de provisión y de demanda para la evaluación del impacto de las políticas locales sobre los servicios ecosistémicos en la ciudad de Madrid. Para el caso del servicio de regulación de la escorrentía superficial, proponen la capacidad de infiltración del suelo, el porcentaje de suelo impermeabilizado respecto al permeable, la reducción de escorrentía superficial y el porcentaje de zonas verdes, en áreas con riesgo de inundación como indicadores de provisión.

La valoración económica y social como guía de la implementación del enfoque ecosistémico en la desarrollo urbano

Para dar contexto a estas consideraciones, es importante aclarar que, desde el ámbito legal, la figura de los servicios ecosistémicos no ha sido regulada en las jurisdicciones nacional, provincial y municipal ([Ferro & Minaverry, 2019](#)). Si bien el concepto de servicios ecosistémicos es adoptado en la Ley 26331/07 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos, el enfoque de los servicios ecosistémicos, dista aún de una incorporación plena en la jurisprudencia argentina.

[Minaverry \(2019\)](#), relaciona la escasa implementación de este concepto en la legislación, con la imposibilidad de capturar en su totalidad a los servicios ecosistémicos dentro del ámbito de los mercados comerciales. Esto último, se plantea como un punto fundamental en la discusión, en torno a la monetización de los servicios ecosistémicos como forma de valoración.

Para el caso del servicio de regulación hídrica y mitigación de la escorrentía, el valor está dado por el proceso y no por la generación de un bien. En la práctica el hecho de priorizar este servicio, puede traducirse en compensaciones económicas en términos de subsidios o beneficios tributarios para quienes prioricen su funcionamiento, a través del seguimiento de la normativa o de la incorporación de determinados tipos de cobertura del suelo. Para ello, además de la cuantificación del servicio es también imprescindible una valoración social.

Esto último, es esencial para el proceso de construcción de consenso, pues guía su priorización y permite la generación de distintos escenarios para el crecimiento de la ciudad (Paruelo et al., 2011). Sobre este asunto, resulta clave cuantificar el nivel de apropiación de beneficios y perjuicios, por parte de los distintos actores socioeconómicos.

Avendaño-Leadem, Cedeño-Montoya y Arroyo-Zeledón (2020), concuerdan en que reconocer explícitamente el valor del servicio ecosistémico como referencia dentro de la ordenación territorial contribuye con el balance de las disyuntivas en torno al uso de la tierra y los múltiples escenarios de desarrollo. Para ello, es importante que en los planes se describan las compensaciones o pérdidas que se presentan entre los diferentes usos y servicios de la tierra y cómo evaluarlas.

De esta manera, la combinación del conocimiento cualitativo y cuantitativo acerca de las dinámicas ecosistémicas y de la distribución espacial y temporal del nivel de provisión de los servicios ecosistémicos, puede traducirse en herramientas de planificación urbana y territorial.

En esta línea, es creciente el número de estudios que abordan los beneficios monetarios asociados con los servicios ambientales de los espacios verdes urbanos, principalmente aquellos relacionados con la gestión de la escorrentía urbana. Ejemplo de ello, son los estudios realizados en ciudades de China y Finlandia (Zhang, Xie, Zhang & Zhang, 2012; Silvenoinen, et al., 2017) en los que a través de métodos de valuación por reemplazo, se comparó el costo del tendido y mantenimiento de los sistemas de desagües pluviales con el gasto que implica el cuidado de parques y áreas verdes. Estos cálculos a su vez, se complementaron con la modelización de la escorrentía sobre coberturas con distintos grados de impermeabilización y sobre áreas sin construir. Mostrando un claro aumento en el primer caso, lo que contribuye a su vez con un aumento en el costo.

Otro aspecto fundamental para la incorporación efectiva del paradigma ecosistémico en los instrumentos de planificación urbana, es la correspondencia entre los aspectos que hacen a la provisión de los servicios, con una institucionalidad sólida sobre la que se apoyen las normativas.

Tal como lo expresa [Minaverri \(2019\)](#), se requiere de un marco que permita establecer políticas, normas y protocolos, según la comprensión científica de las interacciones y procesos ecológicos necesarios para mantener la estructura, función y dinámicas de los ecosistemas involucrados. De esta manera, las prácticas de mitigación o compensaciones de la urbanización, deben apoyarse en un sistema común de conocimiento basado en los usos sostenibles de la tierra ([Giaino, Regis & Salata, 2016](#)).

Los esfuerzos para actualizar las infraestructuras urbanas frente a las presiones del cambio climático junto con los cambios demográficos, requieren enfoques holísticos que incorporen a la naturaleza como parte de la ecuación ([Frantzeskaki, 2019](#)). Ello significa el replanteamiento radical del sistema de gobernanza local y en particular, de la actividad de planificación como instrumento tanto normativo como estratégico ([Giaino et al., 2016](#)). En el caso argentino, un cambio de este tenor se plantea como un escenario lejano. No obstante, las zonificaciones e indicadores identificados dan indicios de una valorización en el rol de los servicios ecosistémicos, que derivan del ecosistema urbano.

Conclusión

El 87,5% de las ciudades analizadas, presentan algún tipo de medida urbanística que se relaciona con los factores asociados al servicio ecosistémico de regulación hídrica o con la gestión de aguas pluviales, desde una perspectiva distinta a la convencional. Sin embargo, en la mayoría de los casos no existe una referencia explícita al enfoque ecosistémico, lo que dificulta la cuantificación en su nivel de provisión servicio y por lo tanto, su incorporación en los instrumentos de planificación.

Por otra parte, el análisis focalizado en el tipo de medidas reglamentadas permitió identificar que, las zonificaciones se orientan a los componentes del ecosistema urbano, a través de la preservación de áreas ribereñas y lagunares. Mientras que, las referencias a la capacidad de infiltración se dan en los indicadores urbanísticos, que buscan calcular las superficies que debieran quedar libres para contribuir con esta función hidrológica.

Paralelamente, se han identificado normativas que alientan la construcción de infraestructura verde y el uso de materiales porosos. Estas iniciativas, muestran en los instrumentos de planificación urbana de la capital nacional y las capitales provinciales de la Argentina, un reconocimiento del impacto hidrológico de la urbanización. Su compensación se busca a escala de terrenos particulares con indicadores, que limitan la impermeabilización, mientras que en el espacio público las medidas implementadas se relacionan principalmente con la promoción de cintas verdes, distritos de zonificación y áreas especiales.

Asimismo, existe una preponderancia por parte de las ciudades asentadas en los valles de los grandes ríos de la cuenca del Plata. Sin embargo, la valorización de la regulación de la escorrentía junto con la implementación de infraestructura verde, está ganando terreno como alternativa de conservación y almacenamiento de agua en entornos urbanos de clima semiárido.

Del análisis realizado puede concluirse que, el enfoque de los servicios ecosistémicos encuentra puntos de aplicación en la normativa de planificación urbana. De esta manera, se propone la continuación de estudios en materia de servicios ecosistémicos urbanos, para su incorporación en los instrumentos de planificación de la ciudad, contribuyendo al mejoramiento de la calidad ambiental de la misma.

Esto supone la necesidad de superar obstáculos que están dados por la ambigüedad de las definiciones de los servicios de los ecosistemas, la variedad de puntos de vista sobre los activos ambientales en la sociedad, los problemas de escala y la multiplicidad de métodos para la evaluación de los servicios de los ecosistemas (Kowalczyk & Sudra, 2014).

A su vez, para el caso específico de la Argentina, el avance sobre la cuantificación del nivel de provisión y la valorización por parte de los diferentes actores sociales del espacio urbano, son aspectos que podrían marcar el inicio de una incorporación efectiva en los instrumentos de planificación urbana.

En un marco de crecimiento extensivo de las ciudades que implica el consumo y modificación del suelo, contar con prácticas de mitigación se vuelve fundamental para contrarrestar los efectos adversos que pasen a ser desafíos para la gestión. Es vigente, el interés de la investigación científica sobre el fundamento socio-ecológico de los servicios ecosistémicos y el establecimiento de la influencia de las acciones humanas. Por lo que, el entendimiento de la incorporación de este conocimiento en la toma de decisiones, se plantea como el próximo paso a seguir.

Agradecimientos

Las autoras agradecen los comentarios y sugerencias de los revisores/a que contribuyeron con la mejora del artículo. El trabajo se realizó en el marco del PGI “Geografía Física aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas a diversas escalas témporo-espaciales” (24/ZG78), financiado por la SGCyT (UNS).

Referencias

- Ahern, J., Cilliers, S., & Niemelä, J. (2014). The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: A framework for supporting innovation. *Landscape and Urban Planning*, 125, 254-259.
- Alcalá, L. I. (agosto, 2012). Avatares de la manzana. Entre la dispersión y la densificación. En: *IX Bienal del Coloquio de Transformaciones Territoriales*. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Altesor, A., Barral, M. P., Booman, G., Carreño, L., Cristeche, E., Isacch, J. P., Maceira, N., & Pérez, N. (2011). Servicios ecosistémicos: un marco conceptual en construcción. Aspectos conceptuales y operativos. En P. Laterra, E. Jobbágy & J. Paruelo, (Eds.). *Valoración de Servicios Ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial* (pp. 645-657). Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Argañaraz, J. P., & Lorenz, G. (2010). Contribución de las áreas verdes urbanas a la regulación del balance de agua en Santiago del Estero, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 31(3), 231-242.
- Avendaño-Leadem, D., Cedeño-Montoya, B., & Arroyo-Zeledón, M. S. (2020). Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. *Revista Geográfica de América Central*. 2 (65), 63-90.
- Balvanera, P., Uriarte, M., Almeida-Leñero, L., Altesor, A., DeClerck, F., Gardner, T., ... & Vallejos, M. (2012). Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. *Ecosystem Services*, 2, 56-70.
- Barros, V. R., Boninsegna, J. A., Camilloni, I. A., Chidiak, M., Magrín, G. O., & Rusticucci, M. (2015). Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(2), 151-169.

- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics*, 29(2), 293-301.
- Lattera, P., Castellarini, F., & Orúe, M. E. (2011). ECOSER: Un protocolo para la evaluación biofísica de servicios ecosistémicos y la integración con su valor social. En P. Lattera, E. Jobbágy, & J. Paruelo, (Eds.). *Valoración de Servicios ecosistémicos: Conceptos, herramientas y aplicaciones para el Ordenamiento Territorial* (pp. 359-89). Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Chen, D., Li, J., Yang, X., Zhou, Z., Pan, Y., & Li, M. (2020). Quantifying water provision service supply, demand and spatial flow for land use optimization: A case study in the YanHe watershed. *Ecosystem Services*, 43, 101-117.
- Daily, G. (1997). *Nature's services: societal dependence of ecosystems*. Washington, D. C.: Island Press.
- Ferro, M., & Minaverri, C. M. (2019). Aportes normativos, institucionales y sociales a la gestión del agua y el enfoque ecosistémico en la Cuenca del Río Luján, Argentina. *Revista de Derecho* (20), 25-55. Recuperado de: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2393-61932019000200025&script=sci_arttext
- Frantzeskaki, N. (2019). Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental science & Policy*, 93, 101-111.
- Giaimo, C., Regis, D., & Salata, S. (2016). Ecosystem Services and Urban Planning. Tools, Methods and Experiences for an Integrated and sustainable territorial government. En *Sustainable Built Environment 2016 - "Towards post-carbon cities"*. Torino, Italia. Recuperado de: <https://re.public.polimi.it/handle/11311/995171#.X20f4cJKjIU>
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235-245.
- Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., Barton, D., Braat, L., Saarikoski, H., Kelemen, E., & Potschin, M. (2014). State of the art report on integrated valuation of ecosystem services. *EU FP7 OpenNESS Project Deliverable*, 4, 1-33.
- González, S., Torchia, N., & Viand, J. (2015). *Vulnerabilidad asociada a la ocupación de terrenos en áreas inundables*. Cambio Climático e

- Inundaciones Urbanas Buenos Aires, Argentina: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- Grizzetti, B., Lanzanova, D., Liqueste, C., Reynaud, A., & Cardoso, A. C. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science & Policy*, 61, 194-203.
- Gittleman, M., Farmer, C. J., Kremer, P., & McPhearson, T. (2017). Estimating stormwater runoff for community gardens in New York City. *Urban ecosystems*, 20(1), 129-139.
- Honorable Congreso de la Nación Argentina (26 de diciembre 2007). Ley 26331. Ley de Protección ambiental de los bosques nativos. *Boletín Oficial N° 31310*. República Argentina.
- Honorable Congreso de la Nación Argentina (20 de noviembre 2019). Ley 27520. Ley de Presupuestos mínimos de adaptación y mitigación al cambio climático global. *Boletín Oficial N° 99081*. República Argentina.
- Honorable Concejo Deliberante de Paraná (2018). *Cuencas hidrográficas urbanas*. Ordenanza 9668. Recuperado de <http://190.183.231.163:4892/digesto/spip.php?article6679>
- Jansson, Å. (2013). Reaching for a sustainable, resilient urban future using the lens of ecosystem services. *Ecological Economics*, 86, 285-291.
- Jullian, C., Nahuelhual, L., Mazzorana, B., & Aguayo, M. (2018). Evaluación del servicio ecosistémico de regulación hídrica ante escenarios de conservación de vegetación nativa y expansión de plantaciones forestales en el centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 39(2), 277-289.
- Kowalczyk, M., & Sudra, P. (2014). Ecosystem services in spatial planning. *Europa XXI*, 27, 5-18. doi: <https://doi.org/10.7163/eu21.2014.27.1>
- Ley Provincial 11730. (2000). Bienes zonas inundables- Inundaciones. *Boletín Oficial Santa Fe*. República Argentina. Recuperado de <https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/128926/637160/file/Ley%20Provincial%2011730%20-%20Bienes%20zonas%20inundables.pdf>
- Maragno, D., Gaglio, M., Robbi, M., Appiotti, F., Fano, E. A. & Gissi, E. (2018). Fine-scale analysis of urban flooding reduction from green infrastructure: An ecosystem services approach for the management of water flows. *Ecological Modelling*, 386, 1-10.

- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Washington, DC: Island Press.
- Minaverri, C. M. (2019). Enfoque ecosistémico, pago de servicios y análisis comparativo del marco legal para la protección de los bosques nativos en dos regiones forestales argentinas. En *Ius et Praxis*, 25(1), 441-480.
- Organización de Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A/RES/70/1*. Recuperado de: <https://undocs.org/es/A/RES/70/1>
- Paruelo, J., Alcaraz-Segura, D. & Volante, J. N. (2011). El seguimiento del nivel de provisión de los servicios ecosistémicos. En P.Lattera, E. Jobbágy, & J. Paruelo, (Eds.). *Valoración de Servicios ecosistémicos: Conceptos, herramientas y aplicaciones para el Ordenamiento Territorial* (pp. 141-162). Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Pedersen, M. (2012). Ecosystem services analysis for the design of regenerative built environments. *Building Research & Information*, 40(1), 54-64.
- Pickett, S. T., Cadenasso, M. L., Grove, J. M., Nilon, C. H., Pouyat, R. V., Zipperer, W. C. & Costanza, R. (2001). Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual review of ecology and systematics*, 32(1), 127-157.
- Rohrmann, H. y Schaller, O. (2016). Experiencias de 20 años en gestión de línea de ribera y zonificación de riesgo hídrico, Resistencia-Chaco. *En Seminario Taller Línea de Ribera y Riesgo Hidrico*. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH-UNLP). La Plata, Argentina.
- Silvennoinen, S., Maija, T., Vesa Y., Harri K., Markku O. & Heikki, S. (2017). Monetary Value of Urban Green Space as an Ecosystem Service Provider: A Case Study of Urban Runoff Management in Finland." *Ecosystem Services*, 28, 17–27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.013>.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2019). *Protocolo: Ciudades Sustentables y Resilientes*. Buenos Aires, Argentina.
- Suárez, M., & Alba, D. (2017). Evaluación del impacto de las políticas del Ayuntamiento de Madrid en los servicios de los ecosistemas (2003-2015). *CONAMA Local Valencia*. Recuperado de : <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conamalocal2017/CT>

- Tan, P. Y., Zhang, J., Masoudi, M., Alemu, J. B., Edwards, P. J., Grêt-Regamey, A., Richards, D. R., Song, X. P. & Wong, L. W. (2020). A conceptual framework to untangle the concept of urban ecosystem services. *Landscape and urban planning*, 200, 103837.
- Terraza, H., Rubio, D. & Vera, F. (2016). *De ciudades emergentes a ciudades sostenibles*. Santiago de Chile: Ed. ARQ.
- Ullberg, S. (2013). *Watermarks: urban flooding and memoryscape in Argentina*. Tesis Doctoral. Universidad de Estocolmo. Recuperado de: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:624415/FULLTEXT01.pdf>
- Viand, J. & González, S. (2012). Crear riesgo, ocultar riesgo: gestión de inundaciones y política urbana en dos ciudades argentinas. En *Primer Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos*. Buenos Aires, Instituto Nacional del Agua. Recuperado de: http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/2323/1/01_027_Viand.pdf
- Villarreal, E. L. & Bengtsson, L. (2005). Response of a Sedum green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering*, 25(1), 1-7.
- Zhang, B., Xie, G., Zhang, G., & Zhang, J. (2012). The Economic Benefits of Rainwater-Runoff Reduction by Urban Green Spaces: A Case Study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 100, 65–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.015>.
- Zimmermann, E., Bracalenti, L., & Onocko, A. (2015). Infraestructura verde como alternativa sustentable para reducir el riesgo hídrico en áreas urbanizadas. *Cuadernos del CURIHAM*, (21), 55-69.



Mining environmental liabilities: a potential source of metal contamination for freshwater ecosystems in Costa Rica

Pasivo ambiental minero: una fuente potencial de contaminación por metales para los ecosistemas de agua dulce en Costa Rica

*Johanna Rojas Conejo*¹

Universidad Nacional, Costa Rica

*Andrea Suárez Serrano*²

Universidad Nacional, Costa Rica

*Christian Golcher Benavides*³

Universidad Nacional, Costa Rica

*Francisco Picado Pavón*⁴

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Nicaragua

*Cornelis A. M. van Gestel*⁵

Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands

*Guillermo Durán Sanabria*⁶

Independent Consultor, Costa Rica

- 1 MSc. Johanna Rojas Conejo. Researcher. Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC-UNA). Universidad Nacional, Costa Rica. johanna.rojas.conejo@una.ac.cr. <https://orcid.org/0000-0002-9001-3694>
- 2 PhD. Andrea Suárez Serrano. Researcher / Coordinator. Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC-UNA). Universidad Nacional, Costa Rica. andrea.suarez.serrano@una.cr. <https://orcid.org/0000-0002-1930-3381>
- 3 PhD. Christian Golcher Benavides. Researcher. Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC-UNA). Universidad Nacional, Costa Rica. christian.golcher.benavides@una.ac.cr. <https://orcid.org/0000-0001-6738-9557>
- 4 Dr. Francisco Picado Pavón. Researcher / Coordinator in Laboratorio de Mercurio Ambiental. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. francisco.picado@cira.unan.edu.ni. <https://orcid.org/0000-0002-3698-5214>
- 5 Prof.Dr. Cornelis A. M. van Gestel. Researcher. Department of Ecological Science, Faculty of Science, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands. kees.van.gestel@vu.nl. <https://orcid.org/0000-0002-5651-0208>
- 6 M.Sc. Guillermo Durán Sanabria. Geographic Information Systems Specialist. Independent Consultor. Costa Rica. Gds.506@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-1944-9524>

Abstract

Metal mining in Costa Rica, and use of toxic substances in this activity, has occasionally resulted in the negligent abandonment of waste structures containing significant amounts of toxic metals. These structures have been exposed to oxidation and weathering, resulting in the environmental release of metals, thus affecting the quality of the surrounding freshwater ecosystems. The objective of the investigation was to determine to what extent the abandoned mining liabilities in Líbano de Tilarán, Guanacaste, are a potential source of metal contamination for the waters, sediments and benthic macroinvertebrates of the San José and Cañas Rivers. The possible consequences for the environment associated with the presence of mining wastes were quantitatively and qualitatively assessed through the amounts of metals present in the wastes and leachate. Infiltration tests were carried out and a wet cell kinetic test allowed describing the processes and chemical reactions that are likely to occur in mining wastes during rain, associated with the loading of metals in leachate. The presence of pyrite (FeS_2), which favors the acidification of the medium and the release of metals, was shown by X-ray diffraction tests on samples of the waste materials. The results show a high content of metals (37.8 tons of lead, 20.2 tons of arsenic and 0.4 tons of cadmium) from the total of ~106 tons in mining liabilities, the solubilization of these and other metals in an oxidizing acid medium (pH: 4.16, EC: $3620 \mu\text{s/cm}$ and ORP: 275 mV) during the dry-rainy season transition and an important load of metals (277 kg / month of zinc, 234 kg / month of magnesium, 165 kg / month of aluminum, 96.1 kg / month of iron, 2.68 kg / month of cadmium, 0.90 kg / month of arsenic and 0.22 kg / month of lead) in leachates arriving to the San José River in September. This investigation showed that the abandoned mining liabilities in Líbano are a potential source of metal contamination for the surrounding freshwater ecosystems.

Keywords: handling; leachate; metal; mining; liabilities

Resumen

La minería de metales en Costa Rica, y el uso de sustancias tóxicas en esta actividad, ocasionalmente ha resultado en el abandono negligente de estructuras de desechos que contienen cantidades significativas de metales tóxicos. Estas estructuras que han quedado expuestas a la oxidación y a la meteorización resultan en la liberación ambiental de metales, lo cual propicia la afectación en la calidad natural de los cuerpos de agua superficiales circundantes. El objetivo de la investigación fue determinar que los pasivos mineros abandonados en el Líbano de Tilarán, Guanacaste, son una fuente potencial de contaminación por metales para las aguas, sedimentos y macroinvertebrados bentónicos de los ríos San José y Cañas. Las posibles consecuencias para el medio ambiente asociadas con la presencia de desechos mineros se evaluaron cuantitativa y cualitativamente a través de las cantidades de metales presentes en los desechos y lixiviados. Se realizaron pruebas de infiltración y una prueba cinética de celda húmeda permitió describir los procesos y las reacciones químicas que pueden ocurrir en los desechos mineros durante la lluvia, asociados con la carga de metales en el lixiviado. La presencia de pirita (FeS_2) favorece la acidificación del medio y la liberación de metales, se destaca mediante pruebas de difracción de rayos X en muestras de los materiales de desecho. Los resultados muestran un alto contenido de metales (37.8 toneladas de plomo, 20.2 toneladas de arsénico y 0.4 toneladas de cadmio) del total de ~ 106 toneladas en pasivos mineros, la solubilización de estos y otros metales en un medio ácido oxidante (pH: 4.16, CE: $3620 \mu\text{s/cm}$ y ORP: 275 mV) durante la transición de la estación seca y lluviosa y una carga importante de metales (277 kg / mes de zinc, 234 kg / mes de magnesio, 165 kg / mes de aluminio, 96.1 kg / mes de hierro, 2.68 kg / mes de cadmio, 0.90 kg / mes de arsénico y 0.22 kg / mes de plomo) en lixiviados que llegan al río San José en septiembre. Esta investigación mostró que los pasivos mineros abandonados en el Líbano son una fuente potencial de contaminación por metales para los ecosistemas de agua dulce circundantes.

Palabras claves: lixiviado; manejo; metal; minería; pasivo

Introduction

Gold mining liabilities may negatively affect the environment by contaminating soils, groundwater, and surface water with metals (Naicker, Cukrowska & McCarthy, 2003; Singh, Zeng & Chen, 2005; Pruvot, Douay, Herve, & Waterlot, 2006; Navarro, Pérez-Sirvent, Martínez-Sánchez, Vidal, Tovar & Bech, 2008) and consequently threaten the health of the people that use these resources. Human exposure to metals, such as Copper (Cu), Lead (Pb) and Cadmium (Cd), in leachates from mining wastes is associated with some diseases. The effects of cadmium exposure may occur primarily in the form of kidney damage but possibly also bone effects and fractures (Jarup, 2003). Even if the concentrations of these metals in mining waste are low, the problem persists, as the magnitude of the problem also depends on the amount of waste (Rösner & Van Schalkwyk, 2000), the environmental conditions to which they are exposed and the mobility of the metals. In tropical environments, where temperatures are generally higher than 18°C and rainfall is intense, the mobility of metals tends to increase significantly. Besides, erosion and oxidation of minerals present in mining waste create acidic conditions (Rösner & Van Schalkwyk, 2000; Naicker et al., 2003), facilitating the mobilization of metals into surface and groundwater (Naicker et al., 2003; Candeias et al., 2011; Craw, 2000).

In the past, mining activity in Costa Rica has left abandoned mining wastes, such as those found in the town of Líbano located in Tilarán, Guanacaste province (Singer, Norman, Bagby, Cox & Ludington, 1990), whose activity ceased at the end of the 1990s and currently could constitute a potential contamination risk for the San José River. At present, the degree of conjugation between factors such as the intense exposure of these wastes to erosion and the permanent oxidation process to which they are subjected is unknown. Both factors promote the removal of significant amounts of contaminating material through the formation of runoffs and leachates with low pH values (Rösner & Van Schalkwyk, 2000). The leachate from the abandoned mine is frequently enriched with toxic elements, but its movement off-site is diffuse (Kyungmin, Juhee & Seunghun, 2018).

The mining waste resulting from the physical and/or chemical extraction of the mineral of interest, primary mineral, is composed mainly of gangue minerals and secondary minerals of little economic interest. As a product of the crushing for the extraction of gold (Au) and silver (Ag),

these rock wastes are formed by very fine particles and exposed to a large surface area subject to oxidation reactions (Jambor, 1994). They may contain significant amounts of calcium oxide (CaO), added during the neutralization process, and other metals resulting from the chemical reactions that took place between their mineral components and the reagents that were added during the same process (Seal II & Foley, 2002).

Mining wastes may also contain sulfides (Rösner & Van Schalkwyk, 2000) associated with deposits, which are responsible for creating acidic conditions during the formation of leachates. For example, the presence of pyrite ore (FeS₂) in wastes leads to oxidation processes that cause acid drains (González, Sánchez, Márquez, Lizárraga, & Durán, 2008; Nicholson, 1994). The epithermal deposit found in Líbano of Tilarán, which is of the Sado type (Singer et al., 1990), was formed from low-sulphurization chemical fluids, which implies that they are reduced (H₂S) and have a pH close to neutral. Low-sulfidation deposits may contain silver (Ag), minor amounts of lead (Pb), zinc (Zn) and copper (Cu), and associated minerals such as quartz, pyrite, and galena (Camprubí, González-Partida & Levresse, 2003).

The hazard of mining waste and the leachate will depend on the toxicity of the waste and its geo availability and bioavailability. Both are determined by the geology, concentrations of metals and metalloids, the action of biological and geochemical factors on the waste, and the presence of organic matter in the soil (Plumlee & Nash, 1995). The amount of mining waste and the vulnerability of the affected surface waters are factors that influence the hazardousness of the waste. Therefore, the main objective of this study is to assess the size of the problem. The study included quantifying the amount of mining waste, its characterization and assessment of the quality of leachate formed. Final aim was to demonstrate to what extent this environmental liability is a potential source of contamination of the surrounding surface freshwater ecosystem.

Methodology

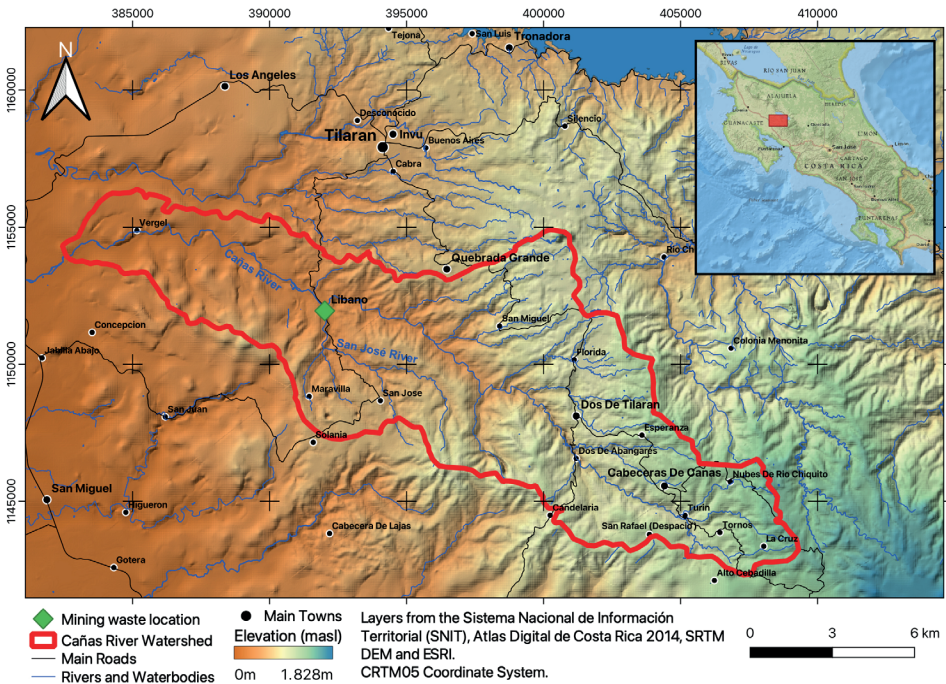
Study area

The old "Esperanza" mine is in Líbano, 8 km southeast of Tilarán in Costa Rica. Industrial and artisanal mining activity in this area took place between 1907 and 1986 with the exploitation of 5 epithermal veins (Castillo, 1997). At present, the mining liabilities resulting from this activity continue

to be abandoned in Líbano, accumulated at 296 meters above sea level on the banks of the San José River, an important tributary (base flow 0.03m³/s) of the Cañas River sub-basin that flows into the Tempisque-Bebedero Basin, North Pacific Region of Costa Rica (Figure 1). This is an area dominated by alluvial and colluvial surface deposits, of recent age, which also include landslide deposits, mudstones, swamp and beach deposits (Arce, 2004). Líbano is located at the confluence of several mountain streams at risk of detrital flows and flooding (Arce, 2004). The geology of the area is dominated by andesitic lava, tuff and lapilli tuff of the Aguacate Group, which present pervasive propylitic alteration (Cooke, 1987).

The annually average rainfall in this area is 1805, 1 mm, and the highest rainfall occurs in September and October (ICE, 2015). Six ranges of average temperatures predominate; the lowest being 17 ° C and the highest 27 ° C (IMN, 2010).

Figure 1. Sub-basin of the Cañas River. Location of mining waste in Líbano, Costa Rica



Sizing and characterization of mining waste

Volume and sampling of mining waste

A tape measure was used to measure the area of the mining waste pile in greater detail. The approximate heights of the mound were measured with sinkers from the surface to the base of the San José River. The average heights (H) and surface areas were used to estimate the volume (V) of the waste, assuming a rectangular base.

The area of the upper part of the waste was divided into two plots (Lib A and Lib B), each measuring approximately 3.909 m². In a triangular arrangement (3 m distance from one point to another), in the center of each plot, three boreholes were drilled, each 1 m deep, from which a composite sample of ~ 450 g was obtained (150 g extracted every 30 cm deep). The three samples obtained from each plot were separately homogenized by hand to obtain two representative samples (Lib A and Lib B). Both samples were placed in plastic bags for laboratory analysis and kinetic testing.

Minerals in mining waste

X-Ray Diffraction Analysis (XRD) was performed on Lib A and Lib B samples with an X-Ray Diffractometer (Bruker, D4 Endeavor) to identify the minerals present in the mine waste. To identify the minerals from the crystalline powder diffraction diagrams, diffraction patterns contained in the JCPDS (Joint Committee for Powder Diffraction Sources) database of the ICDD ([International Center for Diffraction Data, 1997](http://www.icdd.com)) (www.icdd.com) were used.

Metal concentration in mining waste

Before obtaining the composite samples Lib A and Lib B, 1.5 g of each of the 3 samples obtained from each plot were analyzed following the procedure 3030E [APHA \(1995\)](#), for total metal concentrations. Samples were digested with a mixture of 1.5 ml of HNO₃ (69%) and 4.5 ml of HCl (37.5%) at 85 °C. The digests were analyzed by atomic absorption spectrophotometry (Perkin Elmer, AAnalyst 800) with flame technique for Cu and Mn, with graphite furnace for As, Al, Cd, Cr and Pb, and by cold steam (Perkin Elmer, MHS 15) for Hg. During the analyzes, control standards were used with certificates drawn to the NIST, read at the beginning and at the end of each run; these control standards were also used to prepare fortified samples, with both values obtaining recovery percentages of 90-110%. The sample blank used in this analysis corresponds to the one that

was subjected to the same digestion as the waste samples. A calibration blank was also used in the laboratory. Calibration curves were performed with a total of 6 to 8 standards.

2.2.4 Particle density and estimation of the amount of mining waste

The particle density (d_p ; kg/m^3) of the mining waste was determined on 5 replicates of 200 g (dry weight) of a mixture of Lib A and Lib B samples.

The total mass of material (M : kg) was estimated as:

$$M = d_p * V \quad (\text{E. 1})$$

V : volume (V) of mining waste, d_p : particle density (d_p : kg/m^3)

Quantity of metals present in mining waste

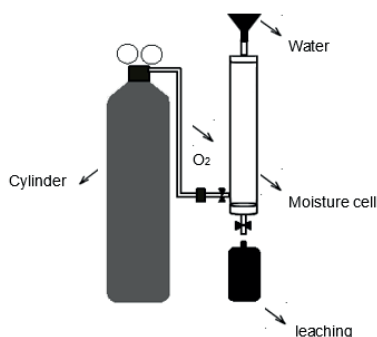
The amount of mass (ton) of each metal present in the mining waste was estimated using the average of the concentrations (mg/kg) determined in the three sub-samples of the composite samples Lib A and Lib B (C_{metal}), and the total amount of mining waste (M : kg).

Leaching and loading of contaminants

Wet cell kinetic test

To assess what effect oxidation has on the waste material, a waste

Figure 2. Moisture cell for the kinetic test used to determine effects of oxidation on leaching quality produced by mining waste materials



sample was subjected to the environmental conditions of the site. A kinetic test was carried out in two cycles, lasting 7 and 6 days each, using a moisture cell according to Sobek, Schuller, Freeman and Smith (1978). Using this test also information was obtained on the resulting acidic conditions and the quality of the leachate produced.

The moisture cell (Figure 2) was constructed with a 60 cm long, 7.6 cm internal diameter PVC pipe. Three

hoses were fitted to this pipe: one at the top for water intake and air outlet, one at the bottom for the output of the leachate produced, and a third located laterally at the bottom for the intake of pressurized air (100 lpm). An oxygen cylinder incorporated into the system using a flow meter and a humidity trap was used as an air source.

On the first day of testing, 200 g of a composite sample obtained from the mixture of Lib A and Lib B samples was placed in the cell. The lateral dry air inlet and the upper air outlet were left open during the first three days of each cycle, the inlet for humid air on the following three days. The air was made to flow from the bottom of the cell upwards through the entire sample. On the last day of each cycle, the sample was leached with 450 ml of distilled water (corresponding to 98.7 mm/m²) and the respective leachates, Lix 1 and Lix 2, were collected and stored at 4°C. Both leachates were measured for dissolved oxygen, pH and electrical conductivity using multi-parameter equipment (OAKLON, 600 Series) and electron transfer (ORP) (Thermo scientific ORP, H00862 Series). In addition, total Fe and SO₄²⁺ concentrations were determined by visible ultraviolet spectrophotometry (APHA, 2005).

A composite sample obtained from Lix 1 and Lix 2 was digested with 1:1 HCl (37.5%) and HNO₃ (69%) for the analysis of metals (Al, As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Hg, Ni, Ag, Pb, Zn, and V). This analysis was performed through inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES Agilent Series 715 Radial) following Standard Methods (APHA, 2005). All samples were read in duplicate, using a control for each measurement range.

Mine waste infiltration capacity

Infiltration tests were conducted at three sites representative of the entire waste area, at 30 m distance from each other, following Porchet Method or Well Permeameter Method (USBR 7300-89). An auger was used to make three holes 45 cm deep. Each hole was saturated with water as many times as necessary until the level slowly dropped. The hole was then filled again with water, and with a tape measure and a millimeter ruler the decrease of the water (cm) was measured every minute for 10 min, and then every 5 min until 1 h was completed.

The infiltration capacity (*f*: cm/min) of the mining waste was estimated from the reduction rate of the water level and the diameter of the hole.

Metal leaching from mining waste

The amounts of water (mm/month) infiltrating in the mining waste and draining superficially and/or evaporating were determined with the infiltration capacity (f : cm/min) and the equations proposed by Schosinsky and Losilla (2000). The monthly average precipitation rates recorded from 2001 to 2015 at the meteorological station in Líbano (Table 1) were used in the estimates of leachate generated from mining waste.

Table 1. Monthly average rainfalls, P (mm/month), from 2001 to 2015, recorded at the weather station of Líbano in Costa Rica (ICE, 2015)

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Rainfall	5.3	7.6	6.7	26.2	212.5	250.6	183.9	228.3	415.7	349.3	97.8	21.2

Source: Service Center for Basic Engineering Studies - Hydrology, ICE, (2015).

The infiltration coefficient (C) (Schosinsky & Losilla, 2000) was estimated with Equation 2:

$$C = (K_p + K_v + Kf_c) \quad (\text{E. 2})$$

Where: K_p : Fraction that infiltrates by slope effect (something flat = 0.15); K_v : Fraction that infiltrates by vegetation cover effect (no vegetation = 0); Kf_c : Fraction that infiltrates by soil texture.

The basic potential infiltration (f_c : mm/day) (Schosinsky & Losilla, 2000) was determined in the test on the infiltration capacity (f : cm/min) of mining waste. Kf_c is related to f_c as:

$$Kf_c = 0.267 \ln(f_c) - 0.000154f_c - 0.723 \quad (\text{E. 3})$$

The amount of rain (mm/month) infiltrating was estimated as:

$$= 0.88 C \times P \quad (\text{E. 4})$$

Where: I : infiltration (mm/month); C : infiltration coefficient; P : monthly precipitation (mm/month)

Pollutant loading

The load of metallic contaminants (CC: kg/month) in the leachates that originate from the mining waste was estimated considering the concentrations of the leached metals (kinetic test), the infiltrated precipitation that corresponds to the flow of the leachate per month ($l/m^2 s$) and the total area of the mining waste (m^2) according to Equation 5:

$$CC=Q \times A \times C_{\text{metal}} \times 2.592 \quad (\text{E. 5})$$

Where: Q: leachate flow ($l/m^2 s$); A: mining waste area (m^2); C_{metal} : metal concentration (mg/l); 2.592: conversion factor (kg/month) (modified from Roldán & Ramírez, 2008).

Results

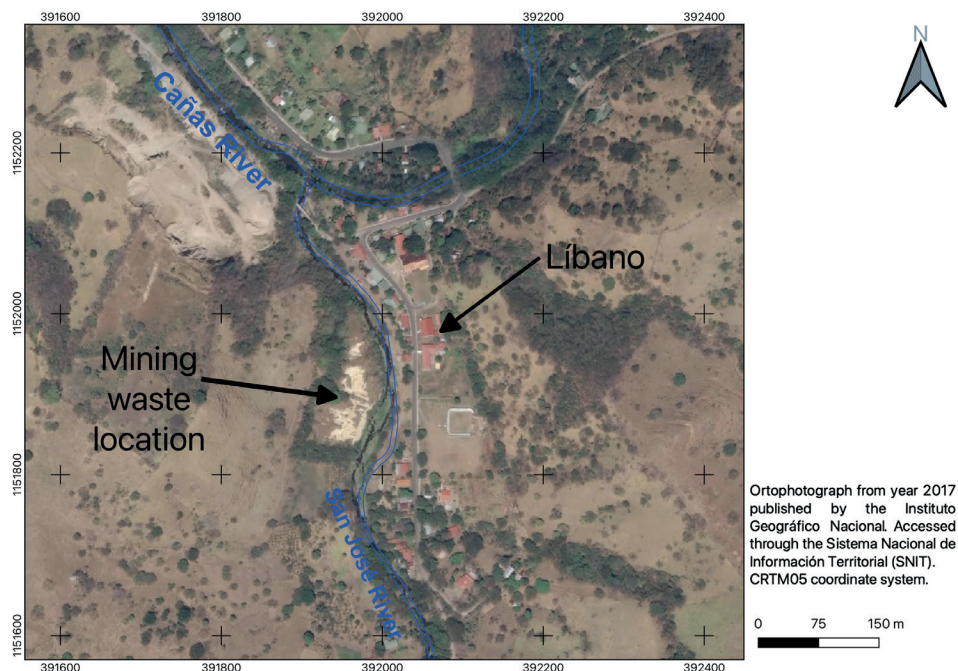
Sizing and characterization of mining waste

The mining waste in Líbano is in a rectangular collection pile. This allowed the physical dimensioning of the waste: a surface area of $7820 m^2$, a volume of $54738 m^3$, an estimated total amount of 106 000 tons and an apparent density (ρ_a) of $1936 \pm 39 kg/m^3$.

The mineralogical composition of mining waste in Líbano qualitatively determined by diffractograms in DRX tests was represented by primary non-metallic gangue minerals, such as quartz (SiO_2), mostly medium-neutralizing minerals such as illite/smectite/montmorillonite ($KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$) and chlorite ($(Mg_5Al)(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$), primary metallic gangue minerals such as pyrite (FeS_2), and secondary minerals such as gypsum ($Ca(SO_4)(H_2O)_2$) and magnetite (Fe_3O_4). Qualitatively, the minerals that were present mostly are quartz and gypsum, and in smaller proportion pyrite and chlorite and others.

The mining wastes showed yellow-brown coloration on the surface while inside the waste the coloration changed to grey. In this place there was little vegetation and superficially the soil was not compacted. In addition, there was evidence of the entry of people and animals to this site (Figure 3).

Figure 3. Mining liabilities exposed to a current condition of oxidation and erosion near the San José river in Líbano, Costa Rica



The concentrations of metals in the mine waste in Líbano are shown in Table 2.

Table 2. Concentrations (mg / kg) and quantity of metals (tons) in mining waste in Líbano, Costa Rica

Sample ID	Cr (± 2)*	Cd	Cu (± 3)*	Mn (± 9)*	Pb (± 24)*	Al (± 2)*	As (± 2)*	Hg
Quantification Limit (mg / kg) **	< 0.40	< 0.40	< 6	< 35	< 0.30	< 0.70	< 0.40	< 0.20
Lib A	18	6.4	90	387	355	6 500	177	< 0.20
	17	5.4	91	346	287	7 600	162	< 0.20
	18	5.7	89	335	328	6 600	193	< 0.20
Lib B	29	1.4	65	183	345	6 000	189	< 0.20
	30	1.2	66	173	417	4 800	202	< 0.20
	27	1.6	75	186	407	5 800	223	< 0.20

Sample ID	Cr (± 2)*	Cd	Cu (± 3)*	Mn (± 9)*	Pb (± 24)*	Al (± 2)*	As (± 2)*	Hg
Average ± SD	23±6	3.6±2.2	79±11	268±89	356±45	6 200±853	191±19	<0.20
CV	26.1	61.9	14.0	33.2	12.5	13.7	10.0	-
Tons	2.5	0.4	8.4	28.4	37.8	657	20.2	-

* Value of the uncertainty of the analytical measurement; SD: Standard Deviation; CV: Coefficient of Variation.

** Quantification Limit values are those obtained by LASEQ laboratory, UNA.

(+) Reference methods are those used by the laboratory for spectrophotometric measurements.

Leaching and pollutant loading

Table 3 shows the results of the physical-chemical analysis performed on the leachate from the sample of mining waste subjected to oxidation and Table 4 of the metals analysis performed on the leachate during the kinetic test. The measured parameters show the chemical processes that occurred due to oxidation in mining wastes during the transition from dry-rainy season (Lix 1) and rainy season (Lix 2): the state of the acidity of the medium (pH), the dissolution of the ions (EC), the oxidizing condition of the medium (ORP) and the metal concentrations that are released to the medium by the oxidation of the pyrite (iron and sulfates).

Table 3. Characteristics of leachates obtained in the wet cell kinetic test on mining waste samples from Libano, Costa Rica

Sample	pH	Electrical Conductivity (EC) (µs/cm)	Redox Potential (ORP) (mV)	Iron (mg/l)	Sulfates (mg/l)
Lix 1	4.16	3 620	275	1.61	3 029
Lix 2	4.41	466	219	21.5	267

Table 4. Metal concentrations in leachates of composite samples (Lix 1 + Lix 2) of mining waste from Libano, Costa Rica

Metal	Concentration (mg/l)	Detection Limit (mg/l)
Aluminum (Al)	75.9	0.013
Arsenic (As)	0.411	0.006
Barium (Ba)	0.346	0.005
Cadmium (Cd)	1.23	0.002
Copper (Cu)	3.85	0.005
Chrome (Cr)	0.019	0.005

Metal	Concentration (mg/l)	Detection Limit (mg/l)
Iron (Fe)	44.0	0.014
Magnesium (Mg)	107	0.014
Manganese (Mn)	21.8	0.005
Mercury (Hg)	< LD	0.005
Nickel (Ni)	1.37	0.005
Silver (Ag)	0.101	0.022
Lead (Pb)	1.03	0.019
Zinc (Zn)	127	0.004
Vanadium (V)	0.100	0.022

<LD: Less than the detection limit of the method

The estimated infiltration capacity (f) of mining waste was 239 mm/day. This low infiltration capacity resulted in the formation of runoff. Based on the results of the infiltration measurements and using the historical precipitation, the behavior of the infiltration rate in the mining waste was estimated (Figure 4). Additionally, the contaminant loads in the leachates generated from the mining waste were estimated (Table 4).

Figure 4. Seasonal patterns in precipitation, infiltration and superficial run-off on mining wastes in Líbano, Costa Rica (2001-2015).

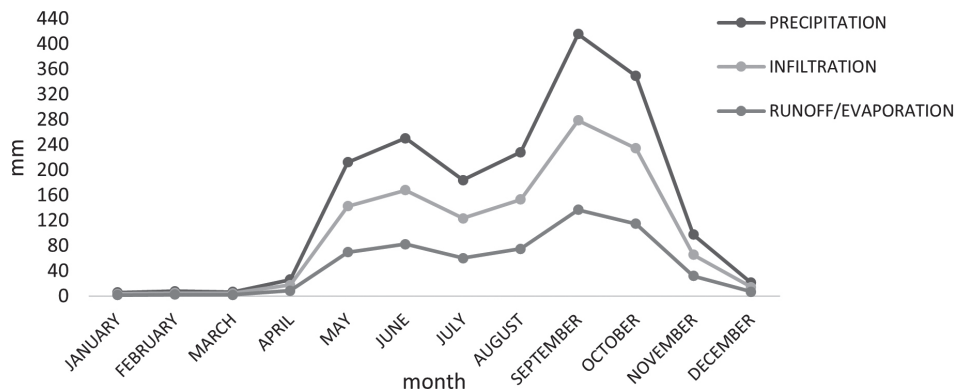
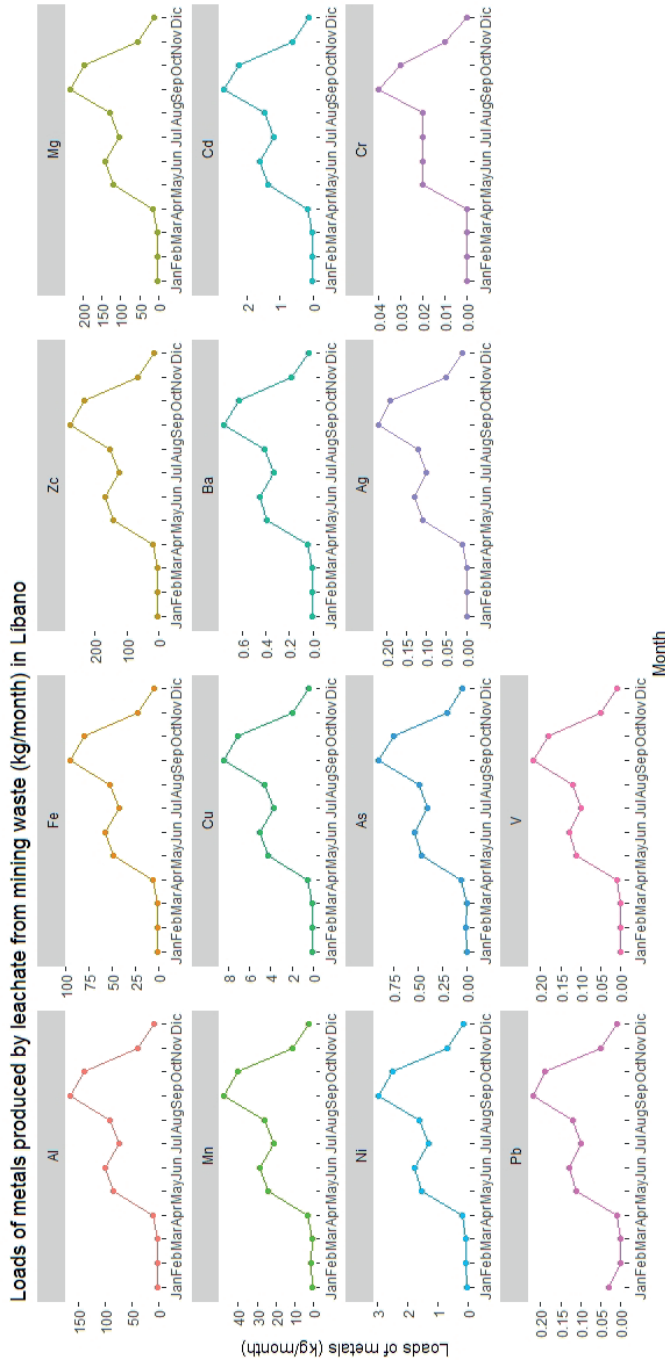


Figure 5. Estimated loads of metals produced by leachate from the mining waste area in Líbano and their distribution of different months of the year (2001–2015)



Management of mining liabilities

The location, environmental condition, metal content and quantity of mining waste have probably affected the San José River for more than 20 years due to contamination by toxic metals. It is necessary to take into account the processes that occur in this mining liability, mainly during rainfall (Figures 3 and 6), to propose management alternatives.

Discussion

Sizing and characterization of mining waste

The amount of waste resulting from gold and silver mining in Líbano is ~106 000 tons. This material has a composition related to the geology of the Sado type epithermal deposit of La Esperanza mine and a particle size of less than 150 μm (sand texture). This characteristic results in a large surface area exposed to weathering and oxidation (Figure 3), and consequently in the release of metals into the environment (Plumlee & Nash, 1995), as demonstrated by leachate (wet cell) samples that evidence the ease with which metals are released from mine waste (Tables 3 and 4).

The yellow-brown coloration observed on the surface of the wastes indicates a degree of advanced oxidation (Figure 3), which was confirmed by the ORP and pH values (Table 3) of the leachates indicating an oxidized environment. These conditions lead to acidification and consequently facilitate the release of metals. However, a change in the coloration to grey was observed inside the waste, which is associated with a low degree of oxidation (Corrales & Martin, 2013).

Due to the high capillarity generated by the fine particles and the degree of compaction of the waste, precipitation drains slowly by gravity through the waste material causing the layers below the dry surface (~ 2 m deep) to remain permanently saturated with water. This condition makes the waste texture loose and soft, losing resistance during seismic liquefaction, and making it susceptible to water and/or wind erosion (Seed, Tokimatsu, Harder & Chung, 1985). However, the density of the debris, conferred by the presence of minerals such as gypsum, gives it certain stability, preventing extreme erosion.

Gypsum in the mining wastes may contribute to reducing the dispersion of clays by the mutual repulsion between highly hydrated ions, such as sodium and magnesium. These ions are attracted to the surface of the

clay particles promoting the flocculation of the soils, which is leading to the formation and stabilization of the waste structure. This allows greater infiltration and percolation of water and air (Chen & Dick, 2011).

Although the mining wastes were previously subjected to reaction with calcium oxide, the presence of pyrite and its contact with air and/or dissolved oxygen in the percolating water, have led to oxidation (Ritchie, 1994; Robertson, 1994). This natural process occurs slowly producing sulfuric acid and ferric sulfate, which generate acidic drains. These conditions also promote the leaching of metals (Table 4), which consequently presents a risk of contamination of the San José and Cañas Rivers surrounding the area, (González et al., 2008). In order of highest to lowest concentration, the metals present in the leachates were Zn>Mg>Al>Fe>Cu>Ni>Cd>Pb>As>Ba>Ag>V>Cr>Hg (Table 4). The high concentrations of aluminum and manganese can be explained from their presence as natural components of the clays that are present in the waste material. Mercury was present in the waste only at trace levels (Table 4), suggesting that this element was not used in the gold recovery process.

The CV range (Table 2) is an indication of homogenous of the metals distribution, except for cadmium, which shows values greater than 60%. Although the concentrations (tons) of lead and arsenic are higher than those of cadmium in mining waste (Table 4), higher concentrations of cadmium are leached into the river, which represents a greater mobility of this metal in water.

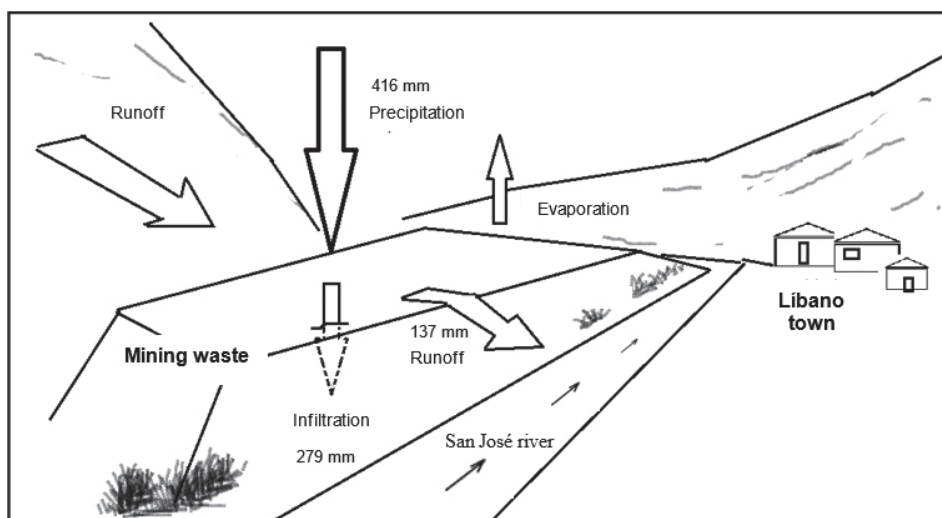
The high concentrations of arsenic in mining waste (Table 2) limit the use of this area for agriculture since it exceeds the guide value for concentration (12 mg/kg) in soils intended for agriculture (CCME, 2014). Edible terrestrial plants take up arsenic through the roots or through their leaves when the arsenic is airborne. The presence of arsenic and lead (Table 2) in the waste materials limits its residential use, as the concentrations of both elements are above the regulatory values of 70 and 140 mg/kg, respectively (CCME, 2014).

The presence of mining waste in the town of Líbano and its use to fill in crop areas has implied the alteration of the natural conditions of the river, also because of the high concentrations of metals (Table 2). The plants that grow in these fillings show abnormal features like different coloring and morphology than plants of the same species grown in soil free of mining waste material.

Leaching and loading of contaminants

Figure 6 shows the dynamics of the processes that interact with mining waste and that condition the release of metals into surface waters in Líbano.

Figure 6. Processes that interact with mining waste



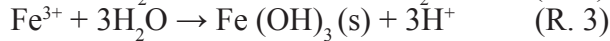
One of the geochemical processes that take place in mining waste during the rainy season and that affects the concentration, distribution or structure of the chemical compounds present, is pyrite oxidation. This oxidation occurs abiotically mainly in the surface layers of the wastes, which have a pH above 4.0. The balance between water and oxygen (Reaction R. 1) could control this oxidation.

The Lix 1 sample (Table 3) represents the leachate that is produced in the transition from the dry to the rainy season, during the first rainfall. The Lix 2 sample is indicative of the leachate that is obtained from mining waste that is humid and oxidized during the rainy season (Table 3). Pyrite oxidation can be more rapid during the dry season (Belzile, Chen, Yu-Wei, Mei-Fang & Yuerong, 2004) with the increase in temperature acting as a catalyst; therefore, it occurs mostly at the surface where air diffusion favors oxidation.

The pyrite oxidation (Reaction R. 1) produces sulphuric acid, expressed as the concentration of sulfates and the Fe^{2+} ion (Table 3) in solution. This condition causes a higher acidity (pH ~4) and consequently the release of metals to the environment (Table 4).

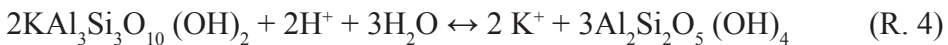


In the second stage (Lix 2 sample), moisture in the cell, oxidation, and acidity, allow Fe^{2+} to oxidize to Fe^{3+} (R. 2). This is due to buffering of the acidity produced by the presence of neutralizing minerals in the waste. The pH may allow a certain amount of Fe^{3+} to precipitate producing solid ferric hydroxide (R. 3), which occurs at $\text{pH} > 4$ (Table 3). The neutralizing minerals present dissolve under these conditions and react with pyrite, which increases the pH a little, but decreases the ORP potential and the solubility of the sulfates, allowing the formation of gypsum (Table 3).



Since the low pH in the waste allows the dissolution of iron (Fe^{2+}) (R. 1) (Rose & Cravotta, 1998), it may be present in higher concentrations in the material that is transported by leaching or runoff into the San José River. These pH conditions also favor the dissolution of other minerals that results in increased leachate conductivity (Table 3).

The sulphuric acid released in the pyrite oxidation reaction (R. 4) also solubilizes the illite and chlorite, allowing the waste to be neutralized (Craw, 2000). This process provides some aluminosilicates, precipitates the sulfates as gypsum, releases Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , and HCO_3^- ions and contributes to raising the pH (Langmuir, 1997). This favors the adsorption of metal ions on the surfaces of iron oxides present, forming metal oxyhydroxides and preventing their release into the environment (Corrales & Martin, 2013). However, the neutralizing capacity of these minerals (aluminosilicates) is of lower intensity due to their low rate of weathering concerning carbonates (Plumlee, 1999).



As previously stated, the wastes were treated with calcium oxide (CaO) to eliminate cyanide (NaCN) and buffer acidity by oxidation. However, the oxidation of pyrite by oxygen and water generates four moles of protons (H^+), so neither the lime nor the natural neutralizing minerals present are sufficient to completely precipitate the sulfuric acid in the form of gypsum and neutralize the surface oxidation processes that have continued for years. At low pH, the metals are displaced from the oxides by protons (H^+) (Triverdi & Axe, 2000). Consequently, they are released into the precipitating water involving chemical association and transport processes such as leaching and runoff. This suggests that this area is the main source of metal contamination in the San José and later Cañas rivers.

The content of some metals in the leachate was not related to their concentration in the waste. Since, for example, the concentration of chromium in the leachate was about 60 times lower than that of cadmium, even though the amount of chromium (in tons) in the waste was 6 times higher than that of cadmium. Arsenic concentration in the composite leachate was 9 times lower than that of copper, but its content in tons in the waste was more than 2 times higher than that of copper (Tables 2 and 4).

Aluminum and manganese were metals found in large quantities in waste (Table 2) and showed high tendency to leach (Figure 5). This may be explained from their being part of the chemical structure of neutralizing clays or minerals, which are dissolved upon pyrite oxidation and therefore more easily released. In addition, the gypsum present in the wastes may react with the soluble aluminum contributing to its release (Chen & Dick, 2011).

Rainfall peaks in September (Figure 4) resulted in increased infiltration (279 mm) and surface runoff/evaporation (137 mm). During this month, the water that precipitated in the mountain (Figure 6) adjacent to the waste zone (cut off water from the San José river basin) also formed part of the volume that leached or ran off from this zone. In the months with less precipitation, the largest volume of water infiltrated and the remaining water evaporated (Figure 4). These processes occurred mainly at the surface level because the innermost layers of the waste were saturated, therefore, the water that infiltrated travelled according to the slope of the land, saturating the lower parts of the waste zone until it reached the San José river (Figure 6).

The metals that were released were transported from the mining waste area to the river by the infiltrated water, as well as probably by the water that ran off the surface. The material gypsum did not contribute to the acidity of the environment. Its presence is associated with the ubiquity of calcium and sulfate; however, the latter is highly soluble (241 g/l), so it dissolved easily during rainfall contributing with the dragging of materials from the waste zone surfaces to the river (Seal II & Foley, 2002). Another way in which contaminants were also dragged from the mining waste was when the waters of the San José river contacted the waste during the rainy season, dissolving the material and incorporating the metals and other chemical compounds present.

Management of mining liabilities

Líbano is located in a seismic zone affected by the Cañas fault, with the danger of landslides and flooding (Arce, 2004), a condition that could cause mining waste to suffer changes in its structural properties, related to the behavior of its geotechnical characteristics in terms of stability, infiltration, and deformation. Therefore, the management of this mining liability should be done through the design of structures that contribute to keeping the waste stable and free of oxidation and reduce the infiltration of water in the mountain of wastes to avoid leaching metals to rivers.

Conclusion

The presence of quartz minerals, gypsum, pyrite, and chlorite gives the mining waste structural stability. However, weathering constantly erodes its structure while facilitating the permanent oxidation of its surface layers. Acidic conditions are created that favour the release of metals such as Pb, As, and Cd to the water percolating through the waste material in the dry-rainy transition period and dry season. Thus, the large amount of waste and its high concentrations of metals make these mining liabilities in Líbano a source of pollution for the surface water, sediments and benthic macroinvertebrates of the San José river. The high concentrations of Pb and As contained in the mining liabilities make these soils unsuitable for agricultural or residential purposes, due to the risk they pose to the health of man and the environment. Management alternatives at this site should seek to physically and chemically stabilize the structure and prevent surface oxidation.

Acknowledgments

We appreciate the collaboration provided by the Water Resources Center for Central America and the Caribbean (HIDROCEC-UNA), the Center for Aquatic Resources Research (CIRA/UNAN-Managua), the Geochemistry and Geology laboratories (CSRG-ICE), the Laboratory for Chemical Analysis and Services (LASEQ-UNA), the Laboratory for Biotechnology (UNAN - Managua), the Service Center for Basic Engineering Studies - Hydrology (ICE) and the German Academic Exchange Service (DAAD).

References

- Arce, R. (2004). *Resumen Diagnóstico Cuenca Cañas-Lajas*. Cañas, Guanacaste: Proyecto Redes Comunitarias para la Gestión del Riesgo en Costa Rica.
- APHA. (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (19 ed). American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC.
- APHA. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21 ed.). American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC.
- Belzile, N., Chen, Yu-Wei, C., Mei-Fang, C. & Yuerong, L. (2004). A review of pyrrhotite oxidation. *Geochemical Exploration*, 84 (2), 65-75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2004.03.003>
- Camprubí, A., González-Partida, E. & Levresse, G. (2003). Depósitos Epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 56(1), 10-18.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 2014. *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health*.
- Candeias, C., Ferreira da Silva, E., Salgueiro, A.R., Pereira, H.G., Reis, A.P., Patinha, C., Matos, J.X. & Ávila, P.H. (2011). Assessment of soil contamination by potentially toxic elements in the aljustrel mining area in order to implement soil reclamation strategies. *Land Degradation & Development*, (22), 565–585. doi: <https://doi.org/10.1002/ldr.1035>

- Castillo, M. R. (1997). *Recursos minerales de Costa Rica: génesis, distribución y potencial*. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica, 58. Retrieved from: https://www.academia.edu/28107421/RECURSOS_MINERALES_DE_COSTA_RICA_-_ROLANDO_CASTILLO_MUNOZ
- Chen, L. & W.A. Dick. (2011). *Gypsum as an agricultural amendment: General use guidelines*. The Ohio State University Extension, Columbus. Retrieved from: <https://fabe.osu.edu/sites/fabe/files/imce/files/Soybean/Gypsum%20Bulletin.pdf>
- Cooke, D. (1987). *Ore potential of the Compañía Minera Esperanza Property, Guanacaste province, Costa Rica: D.L. Cooke and Associates Ltd., Technical Report, 5*.
- Corrales, P. D & Martín, R. F. (2013). Evaluación de la peligrosidad de jales de zonas mineras de Nicaragua y México y alternativas de solución. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(3), 427-446.
- Craw, D. (2000). Water-rock interaction and acid neutralization in a large schist debris dam, Otago, New Zealand. *Chemical Geology*, 171(1-2), 17-32. doi: [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(00\)00231-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00231-X)
- González, S. M.R., Sánchez, T.S.A., Márquez, H. C., Lizárraga, M. L.G & Durán, D. M.C. (2008). Oxidación de Jales ricos en piritita en un reactor a escala de banco. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4 (2) ,130-138.
- International Centre for Diffraction Data. (1997). *Powder Diffraction File Sets 1-47*.
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2015). *Estación meteorológica Líbano (1984 al 2015)*, Centro de Servicios Estudios Básicos de Ingeniería - Área de Hidrología.
- Instituto Meteorológico de Costa Rica (IMC). (2010). *Mapa, CAPA estado actual del tiempo*. Retrieved from: <https://www.imn.ac.cr/>
- Jambor, J. L. (1994). Mineralogy of sulfide-rich tailings and their oxidation products. In: J. L. Lambor, & D. W. Blowes. (Eds.). *The environmental geochemistry of sulfide mine-wastes. Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook*, 22,103-132.
- Jarup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *Brithis Medical Bulletin*, 68(1), 167-182. doi: <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>

- Kyungmin, K., Juhee, K. & Seunghun, H. (2018). Soil attenuation of the leaching potential of mine-related metallic elements (Zn, As, and Cd) under different leachate solute compositions. *Environmental Management*, 222, 402–408. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.096>
- Langmuir, D. (1997). *Aqueous Environmental Geochemistry*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Naicker, K., Cukrowska, E. & McCarthy, T. S. (2003). Acid mine drainage arising from gold mining activity in Johannesburg, South Africa and environs. *Environmental Pollution*, 122(1), 29-40. doi: [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(02\)00281-6](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(02)00281-6)
- Navarro, M.C., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Vidal, J., Tovar, P.J., & Bech, J. (2008). Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case study in a semi-arid zone. *Geochemical Exploration*, 96(2–3), 183–193. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2007.04.011>
- Nicholson, R.V. (1994). Iron-sulfide oxidation mechanisms: laboratory studies. In D. W. Blowes & J. L. Jambor. (Eds.). *The Environmental Geochemistry of Sulfide Mine Wastes* (163-183). Mineralogical Association of Canada, Ontario.
- Roldán, G. y Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Ritchie, A. I. (1994). Sulfide oxidation mechanisms: controls and rates of oxygen transport. In D. W. Blowes & J. L. Jambor. (Eds.). *Environmental Geochemistry of Sulfide Mine Wastes* (201-245). Mineralogical Association of Canada, Ontario.
- Plumlee, G.S. & Nash, J.T. (1995). “Geoenvironmental models of mineral deposits; fundamentals and applications”. In E. A. du Bray. (Ed.). Preliminary Descriptive Geoenvironmental Models of Mineral Deposits. U.S. *Geological Survey*, Open-File Report, 1–9.
- Plumlee, G.S. (1999). The environmental geology of mineral deposits. In G. S. Plumlee & M. J. Logsdon. (Eds.), *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A: Processes, Techniques, and Health Issues: Economic Geology*, v. 6A, 71-116.
- Pruvot, C., Douay, F., Hervé, F. & Waterlot, C. (2006). Heavy Metals in Soil, Crops and Grass as a Source of Human Exposure in the Former Mining Areas. *Soils and Sediments*, 6, 215–220. doi: <https://doi.org/10.1065/jss2006.10.186>

- Robertson, W.D. (1994). The physical hydrology of mill-tailings impoundments. In D. W. Blowes & J. L. Jambor. (Eds.). *Environmental Geochemistry of Sulfide Mine Wastes* (1-17). Mineralogical Association of Canada, Ontario.
- Rösner, T. & Van Schalkwyk, A. (2000). The environmental impact of gold mine tailings footprints in the Johannesburg region, South Africa. *Bulletin of Engineering Geology and Environmental*, 59: 137-148. doi: <https://doi.org/10.1007/s100640000037>
- Rose, A. W., & Cravotta, C. A. (1998). III. *Geochemistry of Coal Mine Drainage*. In *Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania*. Pennsylvania: Department of Environmental Protection. Retrieved from: <https://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/minres/districts/CMDP/chap01.html>.
- Schosinsky, G. & Losilla, M. (2000). Modelo analítico para calcular la infiltración con base en la lluvia mensual. *Revista Geológica de América Central*, 23, 44-55.
- Seal II, R. & Foley, N. K. (2002). Progress on Geoenvironmental Models for Selected Mineral Deposit Types. In P. L. Younger, S. A. Banwart & R. S. Hedin. (Eds.). *Mine Water, Hydrology, Pollution y Remediation*. Kluwer Academic Publishers. Bodmin, Cornwall, Reino Unido.
- Seed, H., Tokimatsu, K., Harder, L. & Chung, R. (1985). Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations. *Geotechnical Engineering, ASCE*, 111(12).
- Singer, D.A., Norman J.P., Bagby, W.X., Cox, D.P & Ludington, S. (1990). Evaluación de los Recursos Minerales de Costa Rica. *Revista Geológica América Central*, 11, 1-25.
- Singh, AN., Zeng, DH. & Chen, FS. (2005). Heavy metal concentrations in redeveloping soil of mine spoil under plantations of certain native woody species in a dry tropical environment, India. *Environmental Sciences*, 17(1), 168-174.
- Sobek, A.A., W. A. Schuller, J.R. Freeman & R.M. Smith. (1978). *Field and laboratory methods applicable to overburdens and mine soils*. EPA-600/2-78-054. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- Triverdi, P. & Axe, L. 2000. Modelling Cd and Zn sorption to hydrous metal oxides. *Environmental Science & Technology*, 34(11), 2215-2223. doi: <https://doi.org/10.1021/es991110c>



Consistencia, homogeneidad y distribución de la precipitación pluvial y temperatura, Región Sierra de Amula, Jalisco, México

Rainfall and temperature consistency, uniformity and distribution, Sierra de Amula region, Jalisco, Mexico

Jonatan Daniel Chávez De La Lima¹
Universidad de Guadalajara, México

José Luis Olguín López²
Universidad de Guadalajara, México

Rubén Darío Guevara Gutiérrez³
Universidad de Guadalajara, México

Óscar Raúl Mancilla Villa⁴
Universidad de Guadalajara, México

Carlos Palomera García⁵
Universidad de Guadalajara, México

Gerardo Cruz Sandoval⁶
Universidad de Guadalajara, México

- 1 Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. Correo electrónico: Daniel.chavez@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-9446-820X>
- 2 Profesor Investigador Asociado A. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. Correo electrónico: olguin@cucsur.udg.mx  <https://orcid.org/0000-0002-6400-7039>
- 3 Profesor Investigador Titular C. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. Correo electrónico: rguevara@cucsur.udg.mx  <https://orcid.org/0000-0003-0940-7061>
- 4 Profesor Investigador titular A. Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. Correo electrónico: oscar.mancilla@academicos.udg.mx  <https://orcid.org/0000-0003-4845-1188>
- 5 Profesor Investigador Titular C. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. Correo electrónico: cpalomera@cucsur.udg.mx  <https://orcid.org/0000-0001-5338-9177>
- 6 Profesor Investigador Asociado C. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio de manejo forestal, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. Correo electrónico: Gerardo.cruz@cucsur.udg.mx  <https://orcid.org/0000-0002-8237-6217>

Resumen

De la base de datos de 34 años de las 92 estaciones distribuidas en la región Sierra de Amula en el estado de Jalisco-México se estimaron los datos mensuales faltantes de precipitación y temperatura a través de los métodos de media aritmética, regresión lineal simple y la técnica de la *U.S. National Weather Service*. La estimación de la consistencia y homogeneidad de esta base se realizó a través del análisis de doble masa, *t* de Student y Cramer, procesados mediante los Sistemas de Información Geográfica. Se rellenaron datos faltantes de hasta 36,036 para precipitación y 9,730 para temperatura, se presentaron errores de consistencia de los datos de precipitación en 10 meses, a excepción de julio y agosto, con una $R^2=0.99$ ($\alpha=0.05$); para la temperatura fue de $R^2=1$ y una predicción y confianza al 100%. Se encontraron valores de *t* de Student y Cramer inferiores a 1.56, situación que determina homogeneidad y calidad ($R^2=0.99$). El mejor método para interpolar la precipitación fue *polynomial interpolation*, para temperatura fue *J-Bessel* con una confiabilidad cercana a 100%.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica; *Cramer*; *t* de *Student*

Abstract

Missing monthly rainfall and temperature data were estimated to complete a 34-year meteorological record from 92 weather stations distributed in the Sierra de Amula region in the state of Jalisco, Mexico, by applying the methods of arithmetic mean, simple linear regression and the technique employed by the *U.S. National Weather Service*. Estimation of data consistency and homogeneity was achieved by means of double mass analysis, and Student's *t*- and Cramér's *t*-tests processed by Geographic Information Systems. Missing data was filled for up to 36,036 rainfall and 9,730 temperature data points. Data consistency errors were found for rainfall data of 10 months, with the exception of July and August, showing $R^2 = 0.99$, ($\alpha = 0.05$); for temperature, data exhibited $R^2 = 1$ with a confidence and prediction of 100%. Student's *t*- and Cramér's *t*-test values below 1.56 were found and indicates a high degree of data homogeneity and quality ($R^2 = 0.99$). The best method to interpolate rainfall data was *polynomial interpolation*, whereas for temperature, *J-Bessel* provides a reliability close to 100%.

Keywords: Geographic Information Systems; Cramér's *t*-test; Student's *t*-test.

Introducción

La precipitación pluvial y temperatura ambiental son variables climáticas de gran importancia, registradas de forma regular en el territorio mexicano (Núñez-González & García-Suarez, 2018). Estos registros, con base en el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) han aumentado para el caso de las precipitaciones de 5 y 10% en latitudes medias y altas de los continentes del hemisferio norte, aunque también han disminuido en promedio de 3% sobre gran parte de las áreas subtropicales. Martínez-Austria y Aguilar-Chávez (2009) mencionan que el IPCC indica que, en México, por su ubicación geográfica, las precipitaciones disminuyen y las temperaturas aumentan lo que ocasiona elevada vulnerabilidad al clima. García (2003) y Campos (1992) mencionan que

la precipitación varía en espacio y tiempo, geográficamente aumenta en dirección norte-sur debido a la influencia de la latitud y su proximidad al océano Pacífico y Golfo de México, así como por la orografía y rasgos de la circulación atmosférica. **Mosiño y García (1974)** manifiestan que estas condiciones influyen sobre 70% de la distribución de la precipitación pluvial entre los meses de mayo a octubre, condición que **Greenpeace (2010)** e **INECC (2016)** estiman que, para el caso del estado de Jalisco-México, se produzca una reducción de la precipitación total anual de 5 a 10% para el 2020 y de 5 a 15% para 2080.

El estudio de homogeneidad, tendencia, variabilidad de la precipitación pluvial y la temperatura a nivel regional es de vital importancia para planificar el manejo de los recursos naturales, además de apoyar la evaluación de la calidad climática (**Méndez-González, Nívar-Cháidez & González-Ontiveros, 2008**). **Ayllón (2003)** plantea que la forma más fácil de analizar e interpretar el clima en términos de medias anuales o estacionales de temperatura y/o precipitación es a través de series de tiempo; no obstante, **Alfaro y Soley (2008)** y **Núñez-González y García-Suarez (2018)** reconocen que, para trabajar con series de tiempo meteorológicas, la falta de una base de datos completa complica el análisis, por lo tanto, es indispensable contar series de tiempo que reúnan las condiciones de calidad. El cálculo homogeneidad y tendencia de la precipitación pluvial y temperatura ambiental surge de la necesidad de conocer la variación de estos parámetros climáticos, para ello, se considera para el cálculo cuatro etapas fundamentales: 1) relleno de datos faltantes de precipitación y temperatura por un periodo de 34 años (1980 al 2013), 2) corrección de los mismo utilizando curvas de doble masa, y 3) análisis de homogeneidad o consistencia de la serie cronológica útil en la obtención de la tendencia y distribución espacial de las variables climáticas. Al respecto, **Thom (1971)** indica que una serie de datos es llamada homogénea si es una muestra de una única población; si la serie es inhomogénea, se le deben hacer ajustes y correcciones para volverla homogénea.

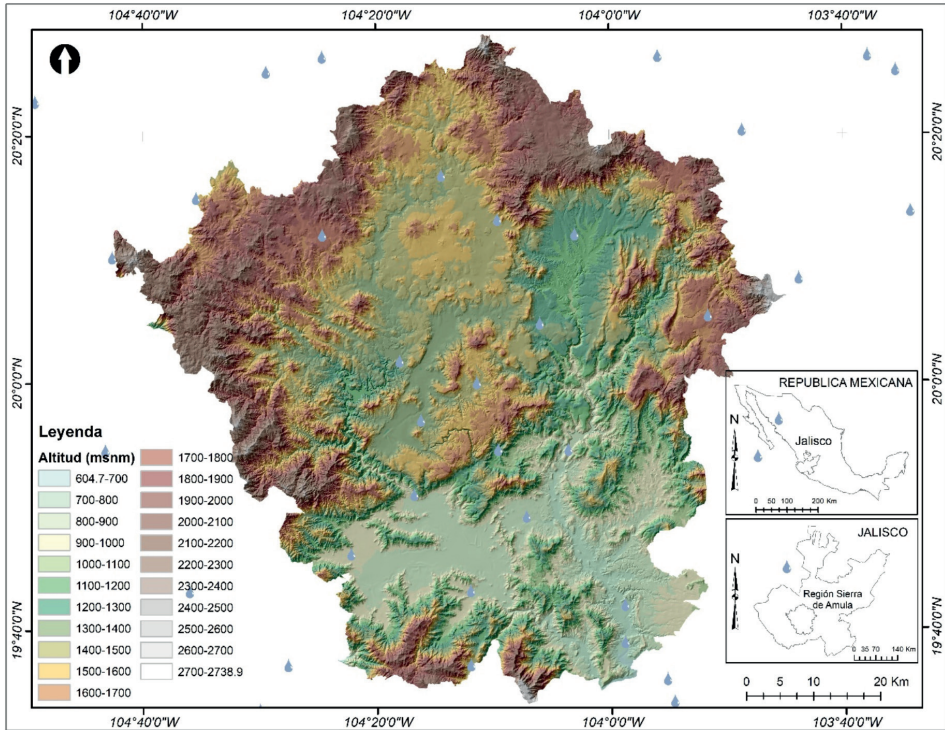
El estudio propuesto será de vital importancia en la elaboración de análisis de tendencia en las variables del clima como la precipitación y temperatura; además de la distribución espacial del clima en la región Sierra de Amula, considerando que en la actualidad no existe información alguna a esta escala geográfica. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este

trabajo se consideran la base principal para encontrar la relación del clima con las diferentes actividades humanas y ecosistemas naturales.

Descripción de la zona de estudio

La región Sierra de Amula (Figura 1) se encuentra entre los 19° 20' a 20° 40' norte y 103° 40' a 104° 50' oeste, al oeste del estado de Jalisco, conformada por 14 municipios.

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, INEGI 2018



Fuente: Elaboración propia.

Distribuidos sobre una superficie de 5,788.3 km² y rango de 604.7 a 2,738.9 msnm, precipitación pluvial anual promedio de 914 mm y temperatura extrema de 7 a 20.9°C. La geomorfología es muy diversa, caracterizada por zonas de montaña con presencia de sierras con vegetación de clima frío, mesetas con pequeños lomeríos hasta grandes valles formados

por roca volcánica extrusiva ácida en su mayor parte (IIEG, 2018); los suelos presentes son Regosoles, Feozem y Litosoles, que constituyen más de 82.5% de la región (IIEG, 2018). Los tipos de cobertura vegetal dominantes de la región son bosque (17.6%), vegetación secundaria arbórea y arbustiva y selva baja caducifolia (37.9%), la selva baja caducifolia constituye 1.4%, y agricultura de temporal y riego (28.8%), actividad económica de gran importancia regional (INEGI, 2018).

Marco teórico-conceptual

Para la planeación de proyectos relacionados con el agua es necesaria la información climatológica proveniente de los elementos meteorológicos (precipitación y temperatura) (Mesa, Poveda & Carvajal, 1997); las predicciones realizadas en referencia a las condiciones meteorológicas propias de cada lugar dependen de la calidad y cantidad de la información, por lo que resulta necesario el análisis exploratorio de bases de datos con el fin de determinar cambios o tendencias, esencial de cualquier análisis estadístico y de evaluación previa de su estructura, consistencia y homogeneidad, que constituye un enfoque de caja negra que incrementa el grado de incertidumbre sobre la validez de los posibles resultados (Lobo, 2004).

Para describir la estadística de la base de datos es preciso recopilar información de orden cualitativa o cuantitativa perteneciente a grupos de individuos o fenómenos y deducir a partir del análisis de datos la respuesta a proyecciones futuras (Posada-Hernández, 2016). Los métodos empleados en la recolección, organización, resumen, análisis e interpretación de datos tienen el objetivo de validar las conclusiones y así poder tomar decisiones de manera razonable y efectiva (Spiegel, 2013). Por ello, es necesario que la base de datos de una muestra o población tienda a reunirse alrededor de un valor central o valor representativo (medida de tendencia central) como la media aritmética, la mediana y la moda (Walpole & Myers, 2012; Posada-Hernández, 2016). El seguimiento del análisis estadístico para el caso de los datos meteorológicos se considera la homogeneidad de la serie, y en análisis hidrológicos, la consistencia. Ambos términos son sinónimos que indican el cambio en la cantidad de lluvia medida por estación meteorológica. Sin embargo, su diferencia se establece en las técnicas empleadas: para la homogeneidad son utilizadas las pruebas estadísticas como la *t* de Student y Cramer, y para la consistencia, se detecta con la curva de

doble masa, técnica que detecta y corrige las inconsistencias de un tiempo determinado (Campos, 1987).

Marco metodológico

La estimación de la homogeneidad, consistencia y distribución de la serie cronológica de los datos de precipitación pluvial y temperatura ambiental y su posterior manejo en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) utilizando el software arcmap 10.5 se realizó a través del siguiente procedimiento.

Obtención de la información climática y de cartografía espacial

La información mensual y anual de los datos de precipitación pluvial y temperatura ambiente para 34 años (1980–2013) se obtuvo de 91 estaciones climatológicas de la base de datos climática de ERICIII V.3.2 del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2016). La información cartográfica (curvas de nivel, uso de suelo y vegetación) necesaria para describir la zona de estudio se recabó del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018).

Llenado de datos mensuales y anuales faltantes de precipitación y temperatura

La estimación de los datos faltantes se hizo en consideración a las estaciones climatológicas ubicadas dentro y en la periferia del área de estudio; para ello, se clasificaron las estaciones por rango de altitud de 0 a 450 msnm, 450 a 850 msnm, 850 a 1300 msnm, 1300 a 1850 msnm, 1850 a 2400 msnm, base a la que se aplicó la correlación entre estaciones y la media aritmética para cada estación que presente tres meses sin información y apoyadas de la base de datos de las estaciones más cercanas (Calvache & Duque, 2010). Cuando no fue posible aplicar este procedimiento, se utilizó la técnica de regresión lineal simple (Campos, 1987), tomando como referencia valores de correlación entre estaciones de 0.6 a 1. Al no lograr el llenado de la base de datos mensuales o anuales mediante los anteriores métodos, se aplicó la metodología de la *U. S. National Weather Service* (Campos, 1987):

$$Px = \sum (P_i \times W_i) / \sum W_i$$

Donde: P_i corresponde a la precipitación observada para la fecha faltante en las estaciones auxiliares circundantes (mm); W_i corresponde a $1/D^2$ siendo D igual a la distancia entre cada estación circundante y la estación incompleta (km).

Corrección y consistencia de datos pluviométricos y termométricos

La corrección de datos se efectuó mediante la técnica de doble masa (Calvache & Duque, 2010; Campos, 1987) que verifica la consistencia de la base de datos de las estaciones; además de generar métodos para corrección de datos del registro, en caso de presentar errores. Estos son: (a) la serie de puntos se ajustan a la línea recta (proporcionalidad y consistencia en la estación analizada), (b) ajuste de una serie de rectas paralelas en la que los puntos coinciden (proporcionalidad), aunque existan años que estén medios por exceso o por defecto, c) ajuste de dos rectas de diferente pendiente (caso típico de error sistemático), (d) cuando la estación presenta un tramo central de mayor o menor pendiente, se considera que 95% de los casos en tal periodo (años de registro) se midieron incorrectamente y habrá que corregir para homogeneizar la serie.

Homogeneidad de los datos climatológicos

Con base en la tendencia de los datos se aplicó la prueba estadística de homogeneidad, la que es aceptada o rechazada con base en su probabilidad de ocurrencia. Para el caso de probabilidad pequeña, se concluye que la serie cronológica fue inhomogénea, por el contrario, si la probabilidad es grande, la serie es homogénea (Thom, 1971). Campos (1987) indica que, cuando es posible especificar la distribución que sigue la hipótesis nula y alternativa, la aplicación de las pruebas paramétricas es lo más indicadas, por el contrario, se deben seleccionar las pruebas no paramétricas. Se consideró, por lo tanto, la aplicación de pruebas estadísticas que se aplican a los datos de la serie cuya homogeneidad se investiga.

- a) Prueba estadística de t de Student: esta prueba es poderosa para detectar la inconsistencia en la media, además de ser un test robusto, excepto cuando la longitud de los dos periodos seleccionados para comparación de sus medias es desigual, pues entonces la distribución de los datos puede no ser sesgada. La prueba estadística está definida por la ecuación:

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

Donde: \bar{x}_1 y \bar{x}_2 representan la media de los dos periodos para comparar; n_1 y n_2 corresponden al periodo de registro de los datos, s_1^2 y s_2^2 son las varianzas de x_i en los dos periodos de registro respectivamente. Entonces, $n_1 s_1^2$ y $n_2 s_2^2$ es calculada por la ecuación:

$$n_1 s_1^2 = \sum_1^{n_1} x_i^2 - 1/n_1 (\sum_1^{n_1} x_i)^2; n_2 s_2^2 = \sum_2^{n_2} x_i^2 - 1/n_2 (\sum_2^{n_2} x_i)^2$$

El valor absoluto de t_d se compara generalmente con el valor t de la distribución de Student de dos colas y con $\nu = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y con 5% significancia. Si y solo si el valor absoluto de t_d es mayor que t , se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia o falta de homogeneidad. Los valores de t se encuentran en Campos 1987 capítulo 4.

- b) Prueba estadística de Cramer: complementaria a la prueba de t de Student, investiga la homogeneidad, si conviene comparar la media de toda la serie y la media de una cierta parte del registro de datos. Esta prueba estadística es recomendable cuando n_1 y n_2 no son parecidos. En la prueba estadística utilizada son la media (\bar{x}) y la desviación típica (s) del registro total de n valores, y \bar{x}_k es la media del subperiodo de n' valores.

$$T_k = \left(\frac{\bar{x}_k - \bar{x}}{s} \right); t_k = \left\{ \frac{n'(n-2)}{n-n'[1+(T_k)^2]} \right\}^{1/2}$$

La estadística t_k tiene distribución t de Student de dos colas con $\nu = n - 2$ grados de libertad y es utilizada en la misma forma que la estadística t_d .

Modelación espacial de la precipitación y temperatura

Realizada una vez estimados los datos faltantes de la base de datos mensuales y anuales de precipitación y temperatura, corrección, consistencia y homogeneidad de los datos para posteriormente utilizar el análisis

estadístico descriptivo a través de las medidas de tendencia central (media, mediana) y las medidas de dispersión (varianza, desviación estándar y coeficiente de variación) para obtener información cualitativa y cuantitativa con la finalidad de obtener respuestas para el uso de los datos en la geostatística aplicada a los Sistemas de Información Geográfica de las series de precipitación y temperatura.

Resultados y discusión

La serie cronológica de precipitación y temperatura corresponde a 91 estaciones, 19 ubicadas dentro de la región en estudio (Tabla 1). La cobertura superficial por estación es de 321.6 km². La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1970) para regiones montañosas de zonas templadas y tropicales en circunstancias excepcionalmente difíciles recomienda una densidad de cobertura de 250 a 900 km² por estación.

Tabla 1. Estaciones climatológicas ubicadas en la región Sierra de Amula

Estación	Periodo	Coord. en X	Coord. en Y	Altitud (msnm)
Atengo	1979-2011	579,360.2	224,2649.0	1,400
Autlán	1945-2013	565,997.5	218,6152.6	900
Chiquilistlán	1964-1996	619,188.1	222,1848.1	1,700
Tacotán	1947-2013	573,211.2	221,4954.3	1,330
Tecolotlán	1942-2013	599,252.3	223,3897.7	1,200
Tenamaxtlán	1970-2003	587,748.1	223,6049.1	1,470
Tuxcacuesco	1961-2013	606,902.4	217,8604.7	720
Unión de Tula	1926-2006	576,387.5	220,6114.4	1,340
Cuautla	1979-2010	561,639.6	223,3723.1	1,720
Ejutla	1940-2008	587,920.7	220,1741.4	1,140
El Chante	1969-2013	583,833.3	218,0694.5	900
El Corcovado	1974-2013	575,388.4	219,5043.3	900
El Grullo	1939-1991	575,388.4	219,5043.3	905
El Limón	1984-1944	592,159.6	219,1802.7	822
El Rosario	1980-2013	606,935.6	217,3071.2	700
Ixtlahucan de S.	1980-2012	584,732.4	221,1686.2	1,460
Juchitlán	1948-2013	594,100.0	222,0587.9	1,230
Manantlán	1965-1995	583,885.3	216,9628.1	1,450
Presa Basilio Badillo	1978-2013	598,388.1	220,1796.8	824

Fuente: Elaboración propia.

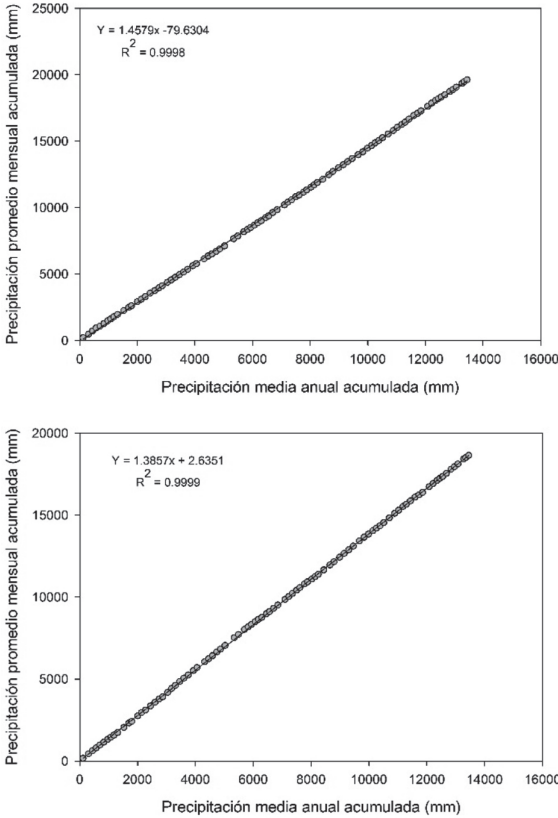
Llenado de datos faltantes

El porcentaje inicial de los datos mensuales de precipitación pluvial fue de 70%, el 30% del vacío de datos se estimó por estación climatológica, equivalente a 36,036 datos. Para registros mensuales de temperatura se recopiló 73%, para completar la serie al 100%, se estimaron 9,730 datos. Este llenado del registro para los 30 años (1980-2013) favorece y justifica su manejo para realizar estudios climáticos que apoyen: proyectos productivos, optimización de recursos, reducción del riesgo de pérdida en cosechas, planificación integral de la infraestructura de riego y drenaje, y la posible predicción climática (Toro-Trujillo, Arteaga-Ramírez, Vázquez-Peña & Ibáñez-Castillo, 2015). Algunos estudios pueden adecuarse a registros incompletos, pero no así estudios de homogeneidad y consistencia cronológica de serie de tiempo, los cuales requieren una serie completa (Alfaro & Soley, 2008). Las estaciones que presentaron las series completas (Tabla 2), fueron utilizadas en estudios de consistencia y homogeneidad o para estimar datos de precipitación pluvial o temperatura a través del uso de la regresión lineal simple (Calvache & Duque, 2010).

Tabla 2. Correlación de Pearson para los datos anuales a rellenar.

X_i	Y_i	Precipitación	X_i	Temperatura
Tenamaxtlán	Atengo	0.75	Zacoalco de torres	0.98
Acatlán de Juárez	Autlán	0.69	El Grullo	0.60
El algodonal	Chiquilistlán	0.62	El Grullo	0.80
I. de Santiago	Tacotán	0.78	M.M. Meduiguez	0.98
Juchitlán	Tecolotlán	0.68	Cumbre de Gpe.	0.85
Mixtlán	Tenamaxtlán	0.60	Atengo	0.86
C. V. Carranza	Tuxcacuesco	0.67	El Rosario	0.61
Av. Camacho	Unión de Tula	0.72	Acatlán	0.60
Concepción de Bnos. Aires.	Cuatla	0.54	Cajón de Peña	0.70
I. de Santiago	Ejutla	0.78	La vega	0.66
Manantlán	El Chante	0.80	C. V. Carranza	0.65
Autlán	El Corcovado	0.71	Ahualulco de Mercado	0.73
Unión de Tula	El Grullo	0.73	Chiquilistlán	0.80
Concepción de Bnos. Aires.	El Limón	0.64	El Corcovado	0.77
El Rodeo	El Rosario	0.60	Tuxcacuesca	0.63
Av. Camacho	I. de Santiago	0.60	El Nogal	0.67
I. de Santiago	Juchitlán	0.60	Cumbre de Gpe.	0.60
Gargatillo	Manantlán	0.61	Atengo	0.71
Cuatla	Pres Basilio Badillo	0.62	Canoas	0.89

Figura 2. Análisis de doble masa para los meses de julio y agosto.



Fuente: Elaboración propia.

tos y cantidad de precipitación registrada.

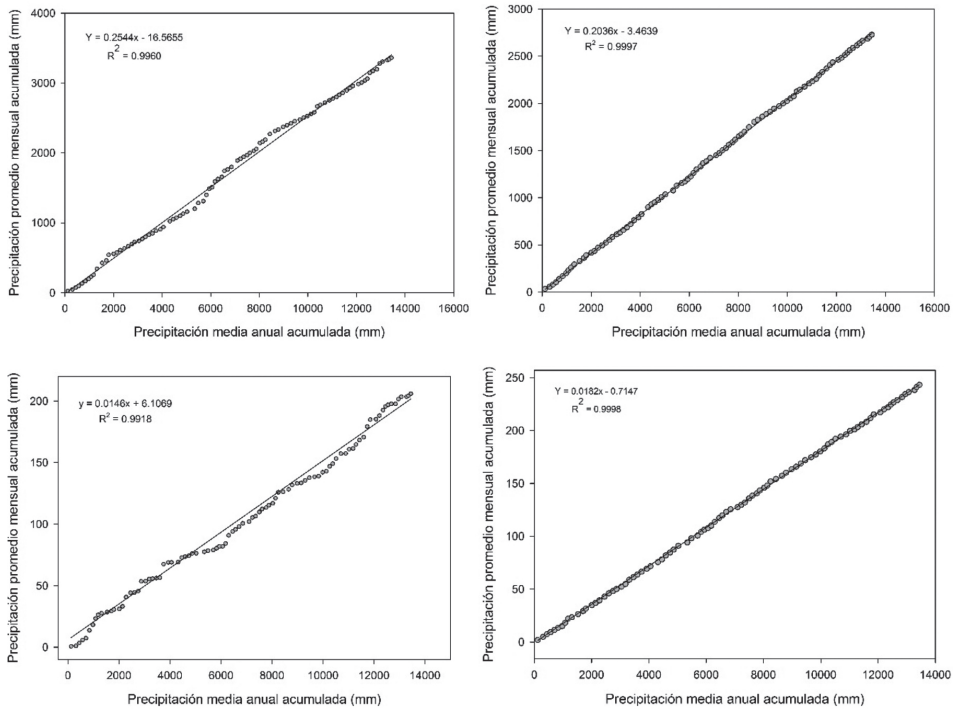
Los datos de los meses restantes (en orden cronológico) presentan errores de calidad de los datos (Figura 3) donde la distribución de los puntos (mayor de 5) no se ajusta sobre la línea de tendencia, con datos medidos por exceso o defecto (Campos, 1987); a pesar de encontrar correlaciones (R^2) cercanas a la unidad.

Las estaciones con variable independiente se utilizaron para obtener datos faltantes de las estaciones dependientes. Fuente: Elaboración propia.

Análisis y corrección mediante la técnica doble masa

Los gráficos de doble masa para los datos promedio mensuales de precipitación en 34 años del periodo de registro (ajuste de series) únicamente en los meses de julio y agosto no registraron algún tipo de error (Figura 2). La distribución de los puntos sobre la línea de tendencia sugiere proporcionalidad y consistencia de los meses analizados; comportamiento debido al mayor número de eventos

Figura 3. Análisis (izquierda) y corrección (derecha) de los datos de precipitación para los meses representativos de enero y abril

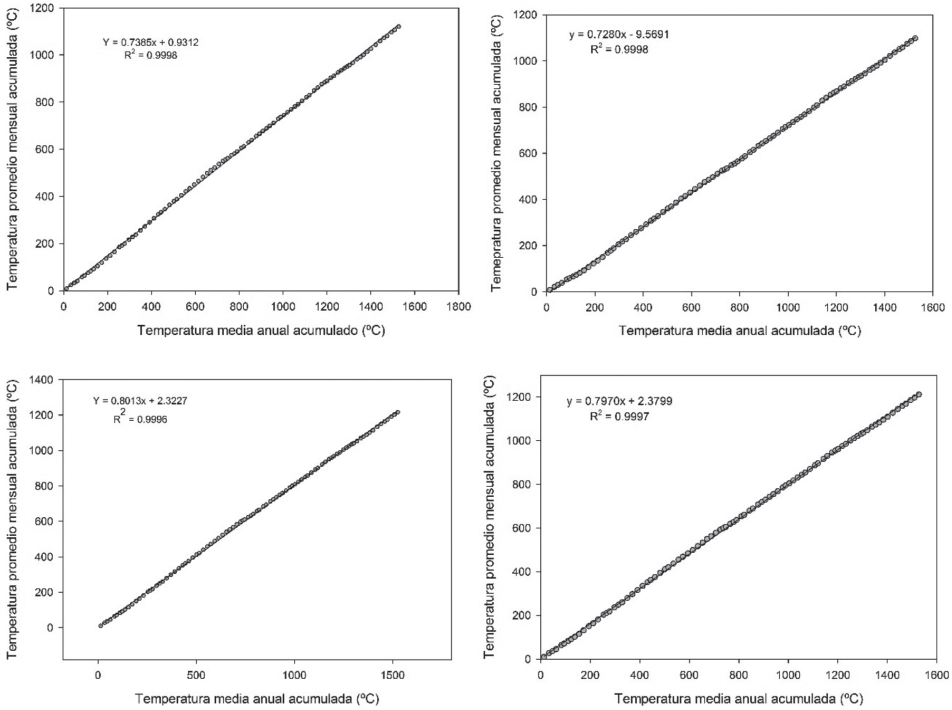


Fuente: Elaboración propia.

El registro de menor calidad fue para el mes de abril ($R^2=0.9918$), posterior al ajuste se obtiene una distribución casi perfecta (Figura 3) donde los puntos se distribuyen sobre la pendiente de la línea de tendencia con algunos datos (menos de 5 puntos) medidos por exceso o por defecto, lo que indica el aumento en la correlación (R^2) con $\alpha = 0.5$. Los datos corregidos de precipitación mensual de 10 meses (sin considerar julio y agosto) reflejan proporcionalidad y consistencia en el registro de datos.

Para los datos mensuales de temperatura (Figura 4) se registraron errores leves (caso B, inciso 3 del marco metodológico) en los 12 meses del año. Para enero y diciembre (en orden cronológico) se presentan datos medidos por exceso o defecto, principalmente en la parte media de la línea de tendencia (>5 puntos), esta situación requirió la corrección de los datos a través de la obtención de correlaciones elevadas cercanas a la unidad.

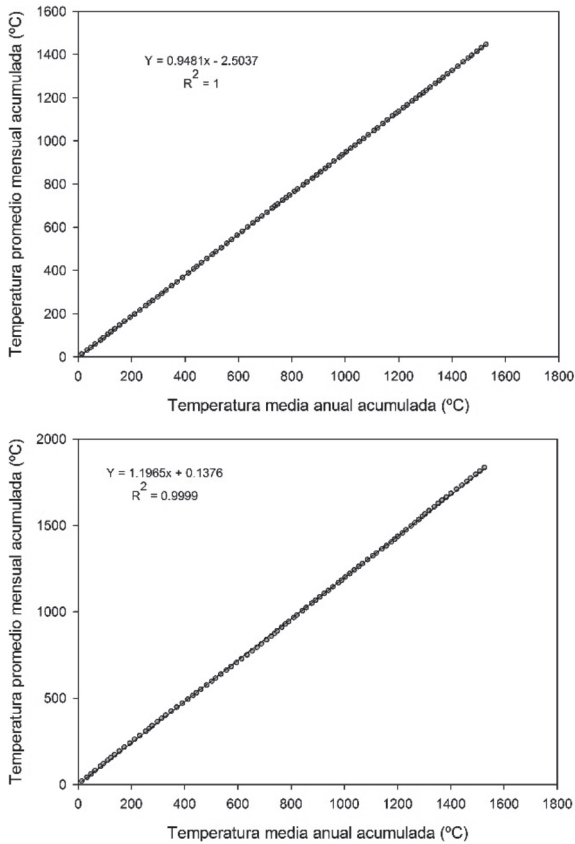
Figura 4. Análisis (izquierda) y corrección (derecha) de enero y diciembre



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los resultados de temperatura de los meses febrero a noviembre (en orden cronológico) (Figura 5), no fue necesaria su corrección debido a que los puntos se distribuyen sobre la línea de tendencia, que reflejan una predicción y confianza de 95% de probabilidad ($\alpha = 0.05$); cada estación correspondiente refleja proporcionalidad y consistencia.

Figura 5. Análisis de doble masa para los meses representativos de abril y julio



Fuente: Elaboración propia.

de independencia, normalidad, homogeneidad; modelando la serie cronológica de forma incorrecta (Maidment, 1993). Este mismo autor indica que los métodos gráficos, como herramienta exploratoria de los datos, se usan con dos propósitos: revelar las características de una posible distribución o las relaciones que existen entre las variables, que de otra manera no podrían ser descubiertas.

Los valores de *t* de Student y Cramer para los doce meses se presentan en la siguiente figura (izquierda) encontrando las cifras máximas para *t* de Student en los meses de mayo y septiembre para el registro de precipitación; para la temperatura fue en los meses de enero y diciembre.

Castro-Lina y Carbajal-Escobar (2010) y Mesa et al. (1997) establecen que las predicciones, planeación y diseño de proyectos relacionados con el agua dependen de la cantidad y calidad de la información. Se determina que la información aquí expuesta cumple con las expectativas en cuanto a la proporcionalidad de la serie de precipitación y temperatura.

Análisis de homogeneidad

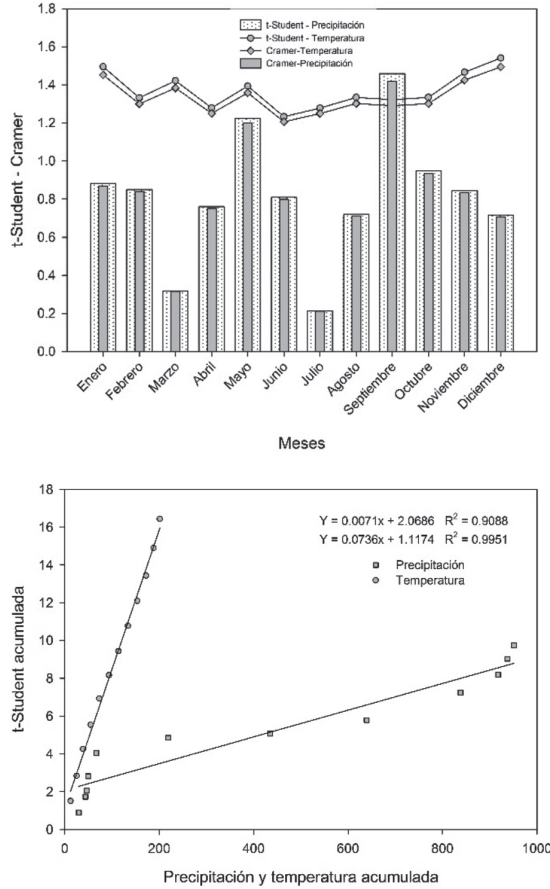
Para el análisis climatológico, la información corregida fue explorada usando métodos gráficos y estadísticos cuantitativos; al no realizar el procedimiento mencionado, se indica que los resultados obtenidos no cumplen con los criterios

Esta situación puede sugerir que existe un cambio abrupto en las medias, pero sin considerarse como registros inhomogéneos. En este sentido, se concluye que los valores absolutos de t-Student y Cramer no rebasan el valor límite encontrado en la distribución de t de Student de dos colas, con 98 grados de libertad y un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$); se considera que el registro de precipitación y temperatura son homogéneos.

De forma similar se observa que los resultados obtenidos de los registros mensuales de temperatura y precipitación tienen el mismo comportamiento para t de Student y Cramer, aunque en esta última se considera complementaria a la t de Student (Campos, 1987), para ello se requiere

comparar la media de la serie y la media de una parte del registro para determinar homogeneidad. En la figura anterior (derecha), en la correlación de las medias mensuales de las variables climáticas del periodo de registro se obtiene un mejor ajuste de los datos de temperatura sobre la información encontrada de t de Student, la distribución de los puntos sobre la línea de tendencia es más aceptable en comparación con la distribución de la precipitación.

Figura 6. Resultados de t de Student y Cramer para los datos mensuales



Fuente: Elaboración propia.

Modelo espacial de precipitación y temperatura

Para la distribución espacial de las variables climáticas, la estadística y geoestadística fue importante en el sentido de la toma de decisiones efectivas y pertinentes para la selección del método de interpolación a utilizar (Barreto-Villanueva, 2012). La modelación espacial de la información sin previa evaluación de su estructura, consistencia y homogeneidad; constituye un enfoque de caja negra que incrementa el grado de incertidumbre sobre la validez de los resultados (Lobo, 2004). Los datos mensuales de precipitación presentan distribución normal, con diferencias entre la media y mediana menor a la unidad para los primeros cinco y últimos dos meses del año (Tabla 3). Ello significa que 50% de los datos se distribuyen a los costados del punto medio, condición que permite no realizar cambios en los SIG (transformación logarítmica, semivariograma, anisotropía) para ser interpolados.

Tabla 3. Análisis estadístico en los datos mensuales de precipitación

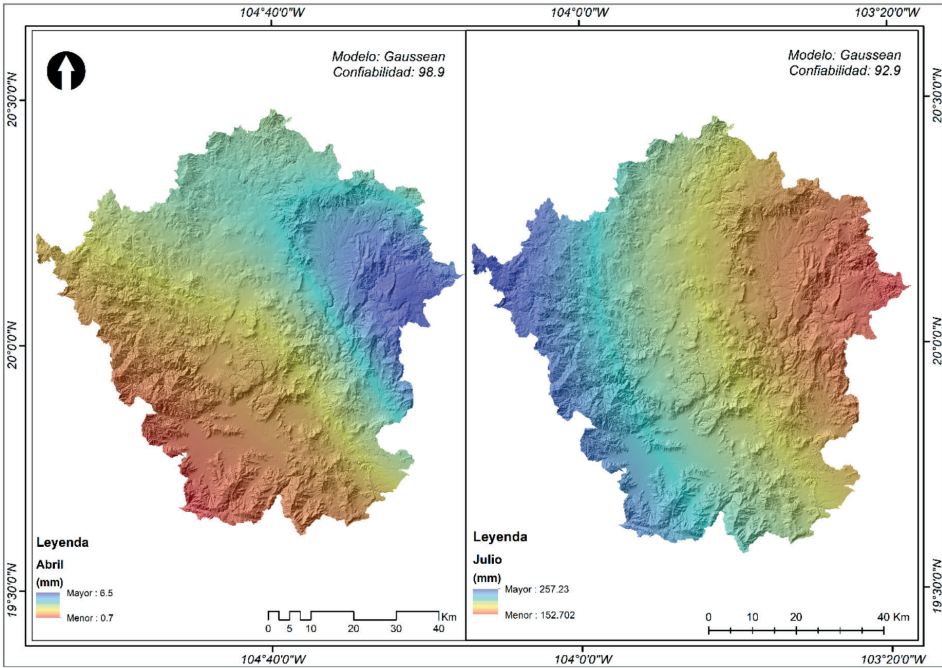
Mes	Media	Mediana	Error Estándar	Curtosis	Asimetría
Enero	30.0	30.0	0.9	7.1	2.1
Febrero	14.0	13.3	0.3	2.0	0.8
Marzo	3.2	3.2	0.1	-0.6	0.1
Abril	3.0	2.6	0.1	-0.5	0.3
Mayo	17.1	17.0	0.3	0.9	0.4
Junio	152.6	149.2	0.3	0.6	0.5
Julio	215.5	208.4	3.3	6.2	1.7
Agosto	205.0	192.0	6.8	1.9	1.1
Septiembre	198.7	182.0	7.0	0.6	0.9
Octubre	79.4	74.9	3.0	1.7	0.9
Noviembre	20.0	20.0	0.7	0.8	0.6
Diciembre	13.4	12.9	0.3	0.4	0.6

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de junio a octubre requirieron ser ajustados en los SIG (análisis geoestadístico) por no presentar similitud en la media y mediana, además presentan valores alejados a cero para curtosis y asimetría; situación que permitió la correcta interpolación espacial creando una superficie continua de la precipitación utilizando el modelo y confiabilidad que mejor se ajustó (Dressler et al., 2000) a la región Sierra de Amula (Figura 7).

Se observan valores altos en las zonas altas ocupadas por relieve de montaña principalmente incrementándose sobre todo en los meses de junio a octubre distribuidos principalmente en superficies ubicadas en la parte suroeste de la región; este periodo de 5 meses se considera como la temporada lluviosa del año. De los doce meses del año, enero registra una distribución de la precipitación muy marcada sobre altitudes bajas debido posiblemente a la influencia de vientos húmedos ingresando a la región por la parte sureste, este comportamiento de la precipitación también se observa sobre los meses de febrero a mayo. El método geoestadístico que mejor se ajustó fue el kriging tipo simple solamente en los meses lluviosos de junio a octubre, para mejorar el porcentaje de confiabilidad se relacionó juntamente con la altitud en msnm.

Figura 7. Distribución espacial de la precipitación sobre los meses representativos



Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los registros mensuales de temperatura, estos presentan una distribución normal (Tabla 4), respuesta reflejada a través de la aplicación de las medidas de tendencia central (media y mediana) que presentan una diferencia menor a la unidad; además su distribución simétrica es cercana a cero con tendencia negativa. Por lo que se considera no realizar la transformación logarítmica de datos para integrar los modelos de interpolación.

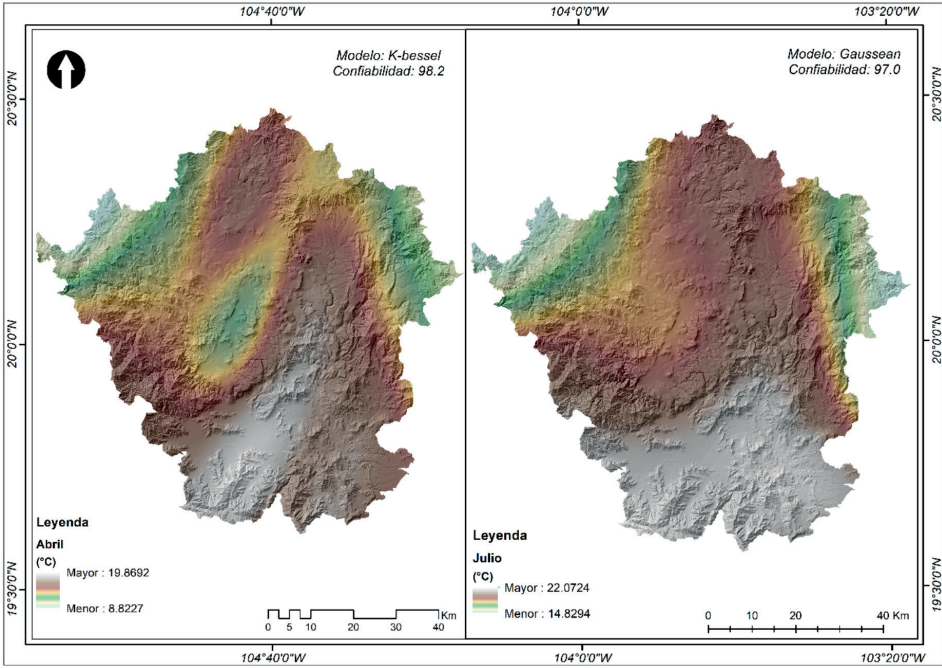
Tabla 4. Análisis estadístico en los datos mensuales de temperatura

Mes	Media	Mediana	Error Estándar	Curtosis	Asimetría
Enero	12.3	12.6	0.4	-1.1	-0.04
Febrero	12.7	13.0	0.4	-1.0	-0.2
Marzo	13.8	14.1	0.4	-1.0	-0.3
Abril	15.9	16.8	0.3	-1.0	-0.4
Mayo	18.4	19.0	0.3	-1.0	-0.5
Junio	20.5	21.2	0.3	-0.4	-0.6
Julio	20.5	20.6	0.3	-1.0	-0.5
Agosto	20.0	20.4	0.3	-1.0	-0.5
Septiembre	19.8	20.1	0.3	-1.0	-0.5
Octubre	18.6	18.9	0.4	-1.0	-0.3
Noviembre	15.8	15.9	0.4	-1.2	-0.2
Diciembre	13.4	13.6	0.4	-1.2	-0.03

Fuente: Elaboración propia.

La distribución espacial de la temperatura registra valores altos en zonas con relieve bajo (Figura 8), y valores bajos en zonas altas sugiriendo que la interpolación se ajusta al patrón del relieve existente en la región.

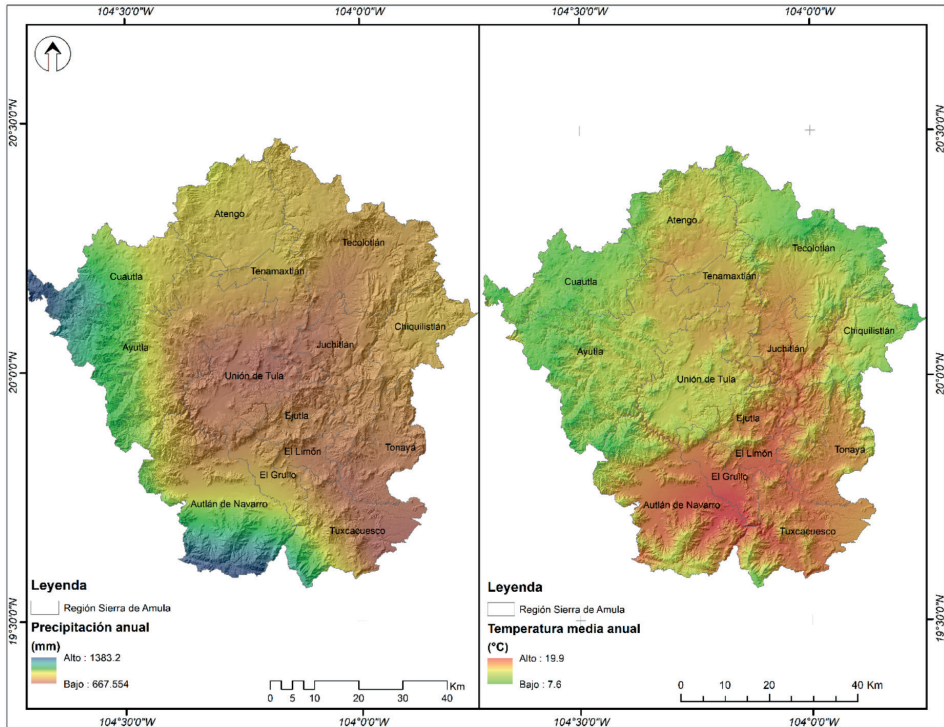
Figura 8. Distribución espacial de la temperatura en los meses representativos



Fuente: Elaboración propia.

Su distribución presenta un comportamiento semejante para los meses de noviembre a abril con temperaturas máximas al sur y para los meses restantes se observa un aumento de la temperatura en la parte norte, bajo este contexto se considera que existe influencia de la zona costera sobre su distribución. En cuanto a los métodos utilizados para su interpolación, el método geoestadístico mejor evaluado fue kriging tipo simple con una confiabilidad arriba del 97% presentando errores en los modelos por abajo del 3%. En el caso de la precipitación y temperatura anual en la región, el mejor ajuste para la primera variable en su distribución espacial fue para el método determinístico utilizando la herramienta (local polynomial interpolation) presentando un error cuadrático medio de 177.4 con una confiabilidad cercana al 100% (Figura 9). La precipitación presenta valores máximos en la parte sur y oeste (municipio de Autlán de Navarro, Ayutla y Cuautla); este comportamiento puede deberse a la cercanía de la zona costera debido al porcentaje alto de humedad relativa que es transportada por el viento.

Figura 9. Distribución espacial de la precipitación y temperatura



Fuente: Elaboración propia.

Las mínimas precipitaciones se presentan al centro y este de la región, debido a los vientos secos provenientes del norte y centro de la República Mexicana, así como a la franja montañosa, que intersecta las Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico, barreras naturales que impiden el libre ingreso de vientos cálidos provenientes de la costa. Rodríguez-Jiménez, Benito-Capa y Portela-Lozano (2004) mencionan que las montañas obligan al aire húmedo a subir de altitud provocando precipitaciones en barlovento y tiempo fresco y seco en sotavento. La distribución espacial de la temperatura fue interpolada utilizando el método geoestadístico kriging tipo ordinario bajo el modelo J-Bessel con una confiabilidad del 98.4% y un error cuadrático medio de 1.5. Para obtener los resultados anteriores se utilizó la variable altitud en msnm, donde los valores altos se distribuyen en relieves y cañadas con altitud baja principalmente en la parte

sur de la región. Valores bajos se distribuyen sobre relieves altos (Figura 9) en la zona norte, noroeste y noreste de la región. La variación entre valores máximos y mínimos es aproximada a 12 °C influenciada por las zonas montañosas. IPCC (2007) indica que la variabilidad es mayor a escala regional que a escala mundial, debido a que influyen factores no climáticos como lo son los cambios de uso de la tierra (deforestación, la agricultura extensiva de temporal) que pueden inferir sobre el clima de una región en particular. En este sentido, Andrade-Martínez et al., (2019) expresan que existe una relación positiva entre el incremento de la temperatura y la producción de granos básicos (maíz y frijol), por lo tanto, zonas con valores arriba de los 20 °C a 21.6 °C la producción aumenta significativamente. Sin embargo, Stöckle et al., (2010) mencionan que en una superficie con presencia de temperaturas bajas la germinación, desarrollo y crecimiento de los cultivos son reducidos; situación que se presenta sobre superficies de montaña principalmente al norte dentro de la región Sierra de Amula (Figura 9). Para INIFAP (2013) la germinación, desarrollo y producción óptima se reflejan en temperaturas de 13 a 30 °C, por el contrario, cuando hay valores inferiores a 12 la actividad fisiológica del cultivo se reduce o posiblemente es nula.

Conclusiones

Al clasificar las estaciones mediante rangos de altitud para rellenar datos faltantes de precipitación y temperatura, las técnicas empíricas son más eficaces en su estimación. Así como en la eficiencia de los resultados al utilizar el análisis de doble masa para la corrección del registro; éstos se presentaron principalmente en los registros mensuales de precipitación a diferencia de los registros de temperatura, respuesta debida posiblemente a la dependencia de la precipitación a factores climáticos como el viento, relieve, temperatura y humedad relativa, entre otros. Se considera que la metodología establecida para encontrar la consistencia y homogeneidad de los datos fue acertada obteniendo valores por debajo de 1.56 para t de Student y Cramer con 98 grados de libertad y un $\alpha = 0.05$ lo cual significa homogeneidad y calidad de los datos. Finalmente, el método kriging tipo simple cumple con los términos de calidad y confiabilidad en la distribución espacial de las variables climáticas; aunado a que la base de datos obtenida y analizada cumple con los requerimientos de calidad en estudios de tendencia de la precipitación y temperatura.

La distribución espacial de la precipitación y temperatura en la región de estudio es de gran utilidad en la planeación de los recursos naturales agua, suelo y planta; tal como lo mencionan [Maas y García-Oliva \(1990\)](#), [Pagiola \(1999\)](#) y [De Graaf \(2001\)](#) indicando la importancia de obtener diagnósticos de la variación de las variables climáticas y su influencia sobre los cambios de uso de suelo como la erosión, sedimentación, azolves e inundaciones, entre otros. [Suárez-Venero \(2014\)](#) utiliza las distribuciones de las variables climáticas a nivel región para los estudios de zonificación agroecológica porque constituyen herramientas para darle respuesta al problema de realizar cambios en el uso de suelo y así evitar problemas generalizados de subuso y sobreuso del suelo, además de influenciar la planeación del uso de la tierra como instrumento para lograr un mejor aprovechamiento del suelo en función de la sostenibilidad económica, ecológica y social. [Velázquez-Ruiz, Martínez-Rivera y Carrillo-González, \(2012\)](#) elaboran una distribución espacial del clima de Köppen modificado por García en Bahía de Banderas donde se incluye la precipitación y temperatura con la finalidad de establecer una planeación del uso del suelo en regiones con problemas de erosión y como investigación de alternativas de uso del territorio en zonas agrícolas. Finalmente, [García-Hernández, Perez-Magaña, Martínez-Corona y Gutiérrez-Villalpando \(2020\)](#) obtienen la distribución espacial de la precipitación y temperatura y su impacto sobre el cambio de uso de suelo para determinar los procesos relacionados con la degradación de suelo y pérdida de biodiversidad y variabilidad climática; a su vez, [Andrade-Martínez et al. \(2019\)](#) realizan una aptitud de la superficie del suelo en la cuenca de Autlán, Jalisco, considerando las variables climáticas antes mencionadas y logra realizar una planificación del territorio para establecer cultivos básicos.

Referencias

- Alfaro, E. J. & Soley F. G. (2008). Descripción de dos métodos de relleno de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas. *Revista de matemática*, 16 (1), 60-75.
- Andrade-Martínez E., De Niz-Lara, E. M., Benítez-Muñoz, M. A., Olguín-López, J. L., Guevara-Gutiérrez, R. D., Meza-Rodríguez, D., & Villalvazo-López, V. M. (2019). Identificación de zonas aptas para la agricultura de temporal con maíz y frijol en la cuenca de Autlán, Jalisco, México. *Revista Geográfica de América Central*, 1 (62), 17-48.

- Ayllón, T. (2003). *Elementos de Meteorología y Climatología*. México: Trillas.
- Barreto-Villanueva, A. (2012). El progreso de la estadística y su utilidad en la evaluación del desarrollo. *Papeles de población*, 18 (73), 241-271.
- Calvache, M.L. & Duque, C. (2010). *Prácticas de Hidrogeología*. Granada, España: Editorial Universidad de Granada.
- Campos, A. D. F. (1987). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí, México: Editorial Universitaria Potosina.
- Campos, A. D. F. (1992). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí, México: Editorial Universitaria Potosina.
- Castro-Lina, M. & Carbajal-Escobar, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de las series climáticas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (9), 15-25.
- De Graaf, J. (2001) *Downstream effects of land degradation and soil and water conservation. Background paper 5*. Roma: FAO
- Dressler, K. A., S. R. Fassnacht, R. C. Bales, R. E. David, D. Lampkin, & D. E. Myers. (2000). Geostatistical interpolation of point-measured SWE in the Colorado River Basin. *EOS Transactions. American Geophysical Union*, 81 (48), 397.
- García, E. (2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones geográficas*, (50), 67-76.
- García-Hernández, M., Perez-Magaña, A., Martínez-Corona, B., & Gutiérrez-Villalpando, V. (2020). Cambio de uso de suelo y variabilidad en Chiautzingo, Puebla, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 6 (11), 1-11. doi: <http://doi.org/10.5377/ribcc.v6i11.9421>
- Greenpeace. (2010). *Jalisco y el cambio climático*. Autor Recuperado de: https://nanopdf.com/download/jalisco-y-el-cambio-climatico_pdf
- Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco (IIEG, 2018). *Autlán de Navarro; Diagnostico del municipio. Autlán, Jalisco*. Instituto de Información Estadística y Geografía. Recuperado de: <http://iieg.gob.mx/contenido/Municipios/AutlandeNavarro.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2018). *Conjunto de datos vectoriales escala 1:50000*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (INECC, 2016). *El cambio climático en México: información por estado y por sector*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado de: <https://www.gob.mx/inecc>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2013). *Requerimientos agroecológicos de los cultivos*. Jalisco, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2016). *Base de datos climatológica ERICIII*, versión 3.2.
- Gitay, H.; Suárez, A.; Dokken, D. J. & Watson R. T. (2002). Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático OMM, WMO, PNUMA, UNEP. Recuperado de: <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>
- Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2007). Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Ginebra, Suiza.
- Lobo, L. (2004). *Guía metodológica para la delimitación del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe*. Recuperado de: https://www.cazalac.org/publico/fileadmin/templates/documentos/Guia_metodologica_Mapa_ZA_ALC.pdf
- Maass, J. M. & García-Oliva, F. (1990) La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México. *Ciencia y Desarrollo*, XV (90), 21-36.
- Maidment, D.R. (1993). *Handbook of Hydrology*. New York, US, McGraw Hill.
- Martínez-Austria, P. F. & Aguilar-Chávez, A. (2009). Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen II, México, SEMARNAT-IMTA. Recuperado de: https://www.imta.gob.mx/potamologia/images/docs/evento/PolioproMartinez_CarlosPatino.pdf
- Mosiño, P. A. & García, E. (1974). The climate of Mexico. World survey of climatology. In R. A. Bryson y F. K. Hare (eds.), vol. II, *Climates of North America*. London: Elsevier, 345-404.

- Méndez-González, J., Návar-Cháidez, J. J., & González-Ontiveros, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas (mx)*, (65), 38-55.
- Mesa, O., Poveda, G. & Carvajal, L. (1997). *Introducción al clima de Colombia*. Bogotá, Colombia: Imprenta Universidad Nacional de Colombia.
- Núñez-González, G. & García-Suárez, J. (2018). Análisis de la calidad de los datos y la tendencia de algunos índices de precipitación en el estado de Jalisco. *Revista internacional de estadística y geografía*, 9 (2), 14–27.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (1970). Guía de prácticas hidrometeorológicas. Ginebra, Suiza: Secretaría de la OMM.
- Pagiola, S. (1999). *The global environmental benefits of land degradation control on agricultural land*. Washington D.C., US: World Bank Environment Paper n° 16.
- Posada-Hernández, J. G. (2016). *Elementos básicos de estadística descriptiva para el análisis de datos*. Medellín, Colombia: Editorial Luis Amigo.
- Rodríguez-Jiménez, R. M., Benito-Capa, A. & Portela-Lozano, A. (2004). *Meteorología y Climatología*. Madrid, España: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.
- Spiegel, M. R. (2013). *Probabilidad y estadística*. (4a ed.). New York, US: McGraw-Hill.
- Stöckle, C., Nelson, R., Higgins, S., Brunner, J., Grove, G., & Boydston, R. (2010). Assessment of Climate Change Impact on Eastern Washington Agriculture. *Climatic Change*, 102 (1-2), 77-102.
- Suárez-Venero, G. M. (2014). Apuntes sobre la zonificación agroecológica de los cultivos. Particularidades en Cuba. *Cultivos tropicales*, 35 (4), 36-44.
- Thom, H. C. S. (1971). *Some methods of climatological analysis*. Technical Note No. 81, WMO-No. 199. TP. 103. Secretariat of the world meteorological organization. Geneva, Switzerland.
- Toro-Trujillo, A. M., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M.A. Ibáñez-Castillo, & L.A. (2015). Relleno de series diarias de precipitación, temperatura mínima, máxima de la región norte de Urabá Antioqueño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6 (2), 577-588.

Jonatan Daniel Chávez De La Lima - José Luis Olguín López - Rubén Darío Guevara Gutiérrez -
Óscar Raúl Mancilla Villa - Carlos Palomera García - Gerardo Cruz Sandoval
Rainfall and temperature consistency, uniformity and distribution, Sierra de Amula region, Jalisco, Mexico

- Velázquez-Ruiz, A., Martínez-Rivera, L. M., & Carrillo-González, F. M. (2012). Caracterización climática para la región de Bahía de Banderas mediante el sistema de Koppen, modificado por García y técnicas de sistema de información geográfica. *Investigaciones Geográficas*, (79), pp. 7-19.
- Walpole, R. E., & Myers, R. H. (2012). *Probabilidad y estadística*. México: McGraw-Hill.



Impacto de la erosión hídrica sobre la rentabilidad de los productores agrícolas en el partido de Tres Arroyos, Región Pampeana Austral, Argentina

Impact of water erosion on the profitability of agricultural producers in the partido of Tres Arroyos, Pampean Austral Region, Argentina

Nahuel David Sequeira¹



Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires-CONICET, Argentina

Patricia Vazquez²

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires-CONICET, Argentina

Resumen

Mundialmente, la erosión hídrica se constituye como uno de los procesos de degradación de suelos más relevantes. Los objetivos del presente trabajo son: a) estimar la tasa de erosión hídrica actual y potencial y la variación de la pérdida total de suelos agrícolas del partido de Tres Arroyos (Región Pampeana Austral), para las campañas agroproductivas 1989/90, 2002/03 y 2019/20 y b) desarrollar un acercamiento a la estimación de la pérdida económica a causa de la merma de la productividad

- 1 Doctorando del programa de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario (Santa Fe, Argentina). Lic. en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Becario doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Centro de Estudios Sociales de América Latina, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires-CONICET. Paraje Arroyo Seco s/n, Tandil, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: nahuelsequeira@conicet.gov.ar.  <https://orcid.org/0000-0003-2206-4411>
- 2 Doctora en Ciencias Agrarias. Investigadora Independiente del CONICET. Centro de Estudios Sociales de América Latina, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires-CONICET. Paraje Arroyo Seco s/n, Tandil, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: patriciavazquez@conicet.gov.ar.  <https://orcid.org/0000-0002-4209-4901>

del suelo originada por la erosión hídrica en el área de estudio. Metodológicamente, se calcularon las tasas de erosión y pérdida de suelo y su evolución temporal, y se determinó la disminución del rendimiento de tres cultivos principales y su impacto económico. El partido demuestra, desde 2002/03, un aumento en la pérdida productiva, debido al incremento del área sembrada y la existencia de procesos erosivos; traducándose en un perjuicio económico sobre los productores, y en la necesidad de desarrollar estrategias enfocadas hacia un modelo de producción más sustentable.

Palabras clave: avance agrícola; procesos erosivos; disminución de ganancias; impactos ambientales; agricultura sustentable.

Abstract

Worldwide, water erosion is one of the most relevant soil degradation processes. The objectives of the present work are: a) to estimate the current and potential water erosion rate, and the variation of the total loss of agricultural soils in the partido (roughly translated as district) of Tres Arroyos (Pampean Austral Region) in the province of Buenos Aires, Argentina, for the 1989/90, 2002/03, and 2019/20 agro-productive campaigns; and b) to develop an approach to estimating the economic loss due to the decrease in soil productivity caused by water erosion in the study area. Methodologically, the rate of erosion and rate of soil loss and their temporal evolution were calculated, and the decrease in yield of three main crops and their economic impact was determined. Since 2002/03, the partido (district) shows a decrease in productivity, due to the increase in the area of cultivated land and the existence of erosive processes, translating into economic damage to producers, and highlighting the urgency to develop strategies focused on a more sustainable production model.

Keywords: Agricultural advance; Erosive processes; Decrease in profits; Environmental impacts; Sustainable agriculture.

Introducción

Dentro de los recursos naturales, el suelo ejerce un rol relevante, debido a sus múltiples funciones ecológicas y a aquellas asociadas a satisfacer las necesidades de la sociedad. A pesar de ello, es considerado no renovable en la escala humana, desarrollándose lentamente y demostrando una notable variabilidad espacial (Díaz, Anaya & de la Rosa, 2011).

La utilización de este recurso por parte de los seres humanos, ha sido ininterrumpida desde la invención de las técnicas agrícolas, a través de distintos procesos (Leal & Lozano, 2012). Entre estos, aquellos que generan una depreciación de la capacidad productiva de los suelos son denominados degradativos, destacándose a la erosión (hídrica y eólica) como uno de los más impactantes (FAO, 1990; Bouchoms, Wang, Vanacker, & Oost, 2019).

En términos globales, la erosión puede establecerse como un fenómeno natural vinculado particularmente a factores geológicos. Sin embargo, diversas acciones antrópicas, como el uso intensivo de las tierras

agrícolas, el cambio de coberturas y usos del suelo y manejos inadecuados, suelen acelerar e intensificar el proceso (FAO, 1990; Toy, Foster, & Renard, 2002; Cristeche, 2009; Gvozdenovich, Pérez, Novelli, & Barbagelata, 2017; Concepción, Lizaga, Gaspar, Quijano, & Navas, 2018).

Con relación a ello, en la literatura existente es plausible observar intentos de separación entre erosión natural y erosión antrópica; relacionándose el primer concepto con un papel preponderante de los factores naturales, y el segundo con el predominio de otros de carácter socioeconómico. A pesar de esto, es necesario considerar que todos estos factores inciden en distinta medida en el grado y mantenimiento de la cobertura vegetal del suelo, cuya remoción suele considerarse la causa principal de la erosión, por lo que aparecen grandes dificultades al momento de distinguir entre los dos tipos mencionados (Cristeche, 2009).

Mundialmente, la erosión hídrica se presenta como uno de los fenómenos más significativos de degradación del suelo, desencadenando graves impactos ecológicos y elevados costos económicos. Así, mediante sus efectos sobre la producción agrícola, la infraestructura y la calidad del agua que, al mismo tiempo, perjudica la calidad de vida de la población, este proceso amenaza la seguridad alimentaria, constituyéndose como una barrera al momento de alcanzar el desarrollo sustentable (Nájera, Bojórquez, Flores, Murray & González, 2016; Sartori et al., 2019).

Este panorama, en el cual nos enfrentamos a un incremento de la pérdida de suelos por procesos erosivos, se revela como uno de los problemas ambientales esenciales de los territorios en los que se desarrolla la agricultura (Cristeche, 2009); ya que, alrededor de una cuarta parte de las tierras cultivables del planeta, manifiestan signos de degradación y/o erosión (Ferrerías, Toresani, Faggioli, & Galarza, 2015). Por lo tanto, según García, Ruiz, Savé y Herrera (2013) y Nearing, Xie, Liu y Ye (2017), las prácticas agrícolas son una de las principales responsables de la erosión del suelo.

Adicionalmente, para muchos países de Latinoamérica, esta problemática se convirtió en una de las que ocasionan impactos negativos más graves, favoreciendo el origen de estados más pobres y con mayor cantidad de riesgos ambientales (Gvozdenovich et al., 2017).

Con relación a lo mencionado, se afirma que la erosión afecta tanto a países desarrollados o en desarrollo, aunque la situación en estos últimos resulta particularmente preocupante, dado que sus economías suelen

sustentarse primordialmente en la agricultura y la explotación de recursos naturales; por lo que ven amenazada su base productiva (Cristeche, 2009).

Dentro de este contexto, la Argentina, a pesar de haber sobresalido históricamente por sus ventajas comparativas para el desarrollo agropecuario, alcanzando el sector un desempeño económico sin precedentes en los últimos años, no se encuentra exenta de dicha problemática (Cristeche, 2009). En los últimos 60 años, en el país creció significativamente la superficie afectada por erosión hídrica, pasando de 18 millones de ha en 1956, a más de 64 millones en 2015 (Gvozdenovich et al., 2017); y, al igual que en el resto del mundo, la mencionada situación se manifiesta como uno de los principales impactos negativos de las regiones dedicadas a la explotación agrícola, tal es el caso de la Región Pampeana Argentina (RPArg).

Con la finalidad de intentar remediar este problema, en el país comenzó a adoptarse a fines de la década de 1980 la Siembra Directa (SD), sobresaliendo como una de las estrategias productivas más divulgadas para enfrentar a la erosión y llegando a aplicarse en más del 75% de la superficie agrícola (López, Duval, Martínez & Galantini, 2015). La SD es una técnica basada en el cultivo de la tierra sin arado previo, por lo que no se remueven los rastrojos de los cultivos anteriores y se asegura una cobertura permanente del suelo, mejorando sus condiciones físicas, químicas y biológicas (Castilla, 2013); constituyendo una alternativa para reducir el escurrimiento y la erosión en las tierras cultivables (Armand, Bockstaller, Auzet & Van Dijk, 2009).

Pese a ello, Casas (2015) afirma que aproximadamente 64,6 millones de hectáreas del territorio argentino resultaban afectadas por erosión hídrica, siendo este valor un 150% más que las 25 millones calculadas por FECIC-PROSA (1988) en estudios anteriores.

Teniendo presente lo hasta aquí dicho, es probable aseverar que la Región Pampeana Austral (RPA), inserta dentro de la RPArg, también refleja la citada coyuntura. En este sentido, Cerdá, Sarandón y Flores (2014) sugieren que, durante mucho tiempo, el modelo de producción se encontró sustentado en una alternancia entre la actividad ganadera y la agricultura. Pese a ello, una hipotética mayor rentabilidad de los cultivos, en asociación con la falta de comprensión acerca de los servicios ambientales generados por la ganadería pastoril, instigó una apreciable agriculturización en la región. Por esta razón, comenzó a revelarse una rauda transformación

del paisaje, originándose una serie de hondas modificaciones en los suelos de los agroecosistemas; destacándose a la erosión y sus subsecuentes pérdidas económicas como algunas de las repercusiones más relevantes.

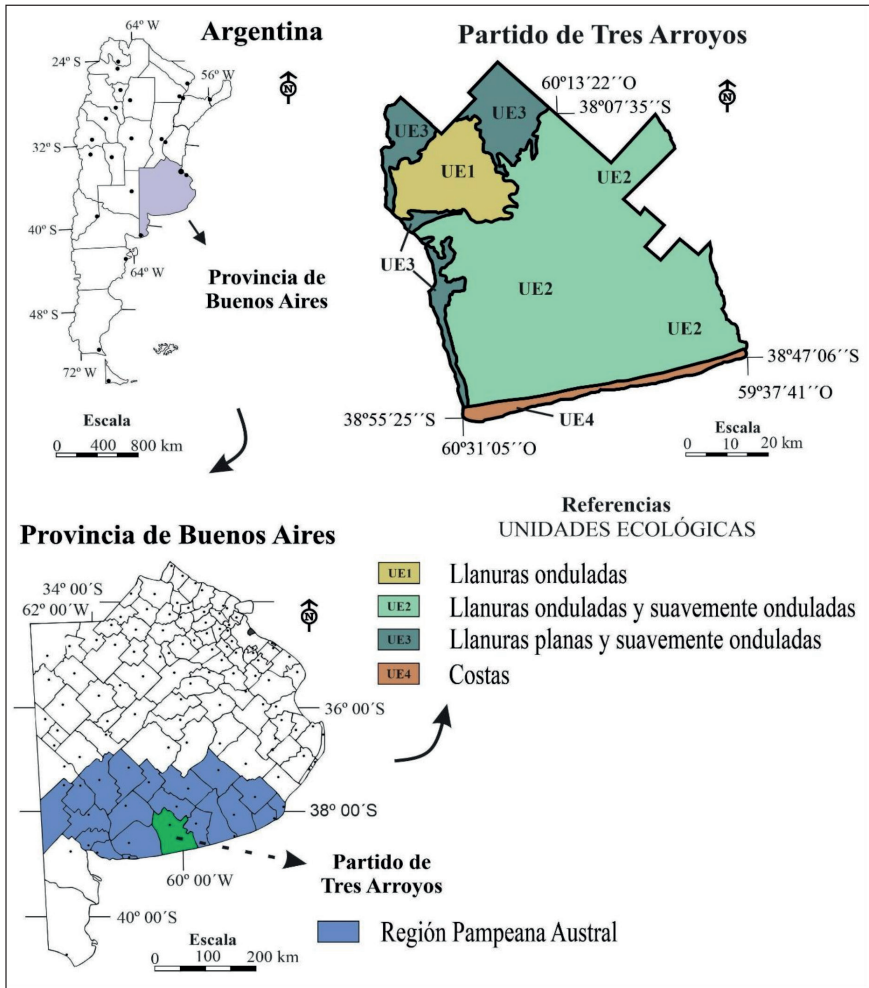
Incluso cuando es altamente conocido que los impactos negativos de la erosión revisten gravedad, y existe un enorme número de investigaciones que abordan sus efectos en relación al proceso de agriculturización a nivel de región o cuenca; permanecen siendo escasas aquellas que lo hacen a niveles inferiores, tal es el caso de la escala de partido.

Tomando lo hasta aquí descripto y considerando que dentro de los efectos más analizados del proceso de erosión se encuentra el impacto sobre la actividad agrícola, en relación a la reducción de la productividad y su repercusión sobre la rentabilidad del agricultor (Colombo, 2004); los objetivos del presente trabajo son: a) estimar la tasa de erosión hídrica actual (A) y potencial (EP) y la variación de la pérdida total de suelos agrícolas del partido de Tres Arroyos (en la RPA), para las campañas agroproductivas 1989/90, 2002/03 y 2019/20 y b) desarrollar un acercamiento a la estimación de la pérdida económica a causa de la merma de la productividad del suelo originada por la erosión hídrica en el área de estudio.

Área de estudio

El partido de Tres Arroyos se ubica en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Figura 1), posee una superficie de 596288 ha, limita hacia el este con el partido de San Cayetano, hacia el norte con los partidos de Adolfo González Chaves y Coronel Pringles, hacia el oeste con el partido de Coronel Dorrego y hacia el sur con el océano Atlántico (Mikkelsen, 2013); y, además, posee una altitud media de 100 msnm y una población de 57110 habitantes.

Figura 1. Ubicación del área de estudio



Fuente: Elaboración personal en base a [Vazquez, Zulaica, Mickelsen & Sacido \(2018\)](#).

Históricamente, el partido es reconocido como un polo agrícola, aunque también se destaca el desarrollo de un importante nivel de industria en la zona urbana y peri-urbana; especialmente de la metalmecánica y la alimenticia, estando la primera ligada a la generación de infraestructura rural (silos, galpones) y la venta de maquinaria agropecuaria, y la segunda asociada con la transformación de materias primas. Igualmente, considerando que existe un alto porcentaje de superficie con suelos con aptitud agrícola,

la producción agropecuaria es la principal fuente de actividad e ingresos (Carbone y Piccolo, 2002; Villanueva, Cazenave, & Bilello, 2009).

Según Vázquez et al. (2018), quienes efectuaron una zonificación ecológica del área, mediante la integración de atributos bióticos y abióticos (geomorfológicos, edáficos, drenaje y vegetación) en el entorno de un sistema de información geográfica, puede subdividirse en cuatro unidades ecológicas (UE). Estas, denominadas UE1 (Llanuras onduladas), UE2 (Llanuras onduladas y suavemente onduladas), UE3 (Llanuras planas y suavemente onduladas) y UE4 (Costas) presentan características particulares, tal como demuestra la Tabla 1. Asimismo, el trabajo destaca que entre los años 2002 y 2017, se produjo un aumento del 49,11% de la superficie agrícola y una disminución del 35,56% del área ganadera.

Tabla 1. Principales características de las Unidades ecológicas que componen al partido

UE1*	Ocupa un 10 % de la superficie total del partido. Presenta paisajes de relieves ondulados, con pendientes de entre el 3 y 5 %. Imperan suelos clasificados a nivel de subgrupo como <i>Argiudoles típicos</i> (Series Laprida y Necochea), cuya susceptibilidad a la erosión conforma un factor limitante.
UE2*	Abarca un 70 % de la superficie y está conformada por paisajes de relieves ondulados y suavemente ondulados con pendientes de entre el 1 y 3 %. Imperan los suelos clasificados a nivel de subgrupo como <i>Argiudoles típicos</i> (Series Laprida y Necochea) y <i>Argiudoles petrocálcicos</i> (Serie Tres Arroyos), aunque pueden asociar <i>Hapludoles típicos</i> (Serie Ochandío) en pendientes más pronunciadas y <i>Hapludoles tpto nátricos</i> (Serie La Pandorga) y <i>Natracuoles típicos</i> (Serie Mechongué) en áreas con drenaje deficiente y en las proximidades de cursos de agua.
UE3	Ocupa un 15 % del partido y el promedio de las pendientes es inferior al 1 %. Se caracteriza por la presencia de un drenaje superficial e interno imperfecto y asocia vías de escurrimiento. Los suelos predominantes son <i>Argiudoles ácuicos</i> (Serie Lobería). No obstante, en las lomas aparecen <i>Argiudoles típicos</i> (Series Laprida y Necochea) y en áreas con drenaje deficiente <i>Natracuoles típicos</i> (Serie Mechongué). Como consecuencia de las limitaciones asociadas con el drenaje deficiente, algunos sectores de este paisaje conservan pastizales nativos, ya que los suelos anegables impiden o dificultan el desarrollo de actividades productivas. En consecuencia, las actividades predominantes en este paisaje son las ganaderas.
UE4	Ocupa un 5 % de la superficie, presentando en general geformas de acumulación (dunas) y playas. El desarrollo de los suelos es muy débil y, cuando existe, es incipiente. Los suelos dominantes integran el subgrupo <i>Cuarcipsamentes típicos</i> (Serie Paraje Arenas Verdes), cuya textura superficial y subsuperficial (areno-franca) favorecen un drenaje excesivo. En menor medida se presentan <i>Hapludoles énticos</i> (Serie Estancia Santa Ana) y <i>Hapludol fluvéntico</i> (Serie Paraje Los Ángeles). Este paisaje no es apto para el desarrollo de actividades agropecuarias.

*Contienen suelos profundos y, debido a su aptitud agroecológica, los pastizales han sido sustituidos por cultivos, siendo esta última la actividad predominante.

Fuente: Vázquez et al. (2018) y Vázquez, Ruiz, Zulaica, Sequeira & Daga (2019).

Marco metodológico

La elección del área de estudio se fundamentó en que el partido de Tres Arroyos (inserto en la RPA), representa un notable ejemplo del proceso de agriculturización, el cual se manifiesta de forma diferenciada hacia el interior de las UE que lo conforman (Vazquez et al., 2018). De igual forma, en este trabajo solo fueron analizadas aquellas en las que se desarrollan las actividades agropecuarias (UE1, UE2 y UE3).

En cuanto a las fechas escogidas, se destaca que es a partir de la campaña agroproductiva 1989/90 cuando comienza a iniciarse un importante desarrollo de la actividad agrícola en la región; en 2002/03 el avance de la agricultura cobra aún más relevancia debido a la sustancial adopción de la SD por parte de los agricultores (Vazquez, 2004); y, por último, la campaña 2019/20 es aquella que se corresponde con las bases de datos oficiales más actualizadas.

En pos de lograr un mejor nivel organizacional, se decidió dividir este apartado en dos etapas. Inicialmente, se procedió a efectuar el cálculo acerca A y EP y su variación temporal. A continuación, se llevó a cabo el análisis sobre la pérdida económica de los productores agrícolas, debida a la disminución de la productividad del suelo como consecuencia del proceso de erosión hídrica.

Primera etapa

En primer lugar, como ya fue mencionado, se consideró el trabajo en el que se analizaron las diversas UE que conforman al partido de Tres Arroyos. A partir de esta información, en conjunto con la aportada por el Atlas de suelos de la República Argentina (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 1990), fue posible determinar las series de suelo predominantes en cada una de las mencionadas unidades; las cuales se constituyen como insumos fundamentales al momento de estimar los valores de A y EP.

La valoración de las tasas de erosión fue concretada mediante la utilización de la Ecuación Universal de Predicción de Erosión Hídrica (USLE en inglés; Ecuación 1) definida por Wischmeier y Smith (1978). Esta herramienta ha sido utilizada de manera considerable por distintos investigadores (Nájera et al., 2016), ya que posee una enorme capacidad de aplicación a distintas áreas, bajo costo cuando existen datos de base

disponibles y gran operatividad para identificar regiones susceptibles ante el proceso de erosión (Hernández & Dufilho, 2012).

$$A = E * K * L * S * P \quad (1)$$

Donde: A: Tasa de erosión actual ($t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), R: Erosividad de las lluvias ($\text{hJ cm m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), K: Susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica ($t \text{ m}^2 \text{ h ha}^{-1} \text{ hJ}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), L: Longitud de la pendiente (m), S: Pendiente (%), C: Factor cultivo o cobertura (adimensional) y P: Factor práctica conservacionista (adimensional).

El factor R alude a la erosividad de la lluvia y simboliza los factores de lluvia y escurrimiento (Gaitán et al., 2017). Para su obtención, fue preciso tener en cuenta los dominios edáficos que caracterizan al área en estudio, los cuales se encuentran analizados y publicados por Irurtia y Cruzate (2002).

Con respecto al factor K, remite a la susceptibilidad del suelo frente a la erosión o erodabilidad, y para su estimación se demanda poseer información edáfica específica de los perfiles de suelos, tal como el porcentaje de materia orgánica, limo y arena muy fina, el grado de estructura, la permeabilidad y el porcentaje de arcilla (Gaitán et al., 2017).

En referencia a los factores L (largo de la pendiente) y S (gradiente de la pendiente), son estudiados de forma conjunta y se los designa como factor topográfico (LS), el cual define el aporte que efectúa el relieve a la erosión hídrica. La información fue obtenida de datos provenientes de Irurtia y Cruzate (2002) y la consulta en línea de las cartas de suelos (escala 1:50000) del INTA, respectivamente.

Por último, tanto el factor C como el P se encuentran sujetos de manera directa al tipo de manejo que los distintos productores realizan en sus establecimientos (Gaitán et al., 2017).

El producto resultante de estos seis factores mencionados permite estimar los valores de A para una situación específica de suelo, relieve, clima, cultivo y manejo. Asimismo, la valoración de la EP se logra mediante el producto de los factores R, K y LS y es definida como la máxima posible para un sitio determinado, es decir, considerando un suelo desnudo durante la totalidad del año.

Con el fin de llegar a efectuar los cálculos necesarios para el desarrollo del objetivo, se empleó el software desarrollado por Gvozdenovich, Barbagelata y López (2015) que facilita, a través de la aplicación de la ecuación mencionada anteriormente, llevar a cabo los cálculos de pérdidas de suelo según la información disponible para cada caso.

Finalmente, la información adquirida acerca de A y EP en conjunto con la concerniente a la superficie destinada a los principales cultivos del área, se utilizó en la determinación de la pérdida total de suelos ($t\ a\ a\ o^{-1}$) y su modificación entre las campañas analizadas. Para ello, se seleccionaron las series más representativas de las tres UE y se calcularon valores promedio de su A y EP, los que más tarde se multiplicaron por la superficie agrícola previamente mencionada para las campañas 1989/90, 2002/03 y 2019/20, alcanzándose los valores de pérdida total de suelos actual (PTSA) y pérdida total de suelos potencial (PTSP).

Segunda etapa

Para concretar el análisis acerca de la pérdida económica fue necesario, por un lado, establecer la disminución real del rendimiento de los cultivos por unidad de pérdida de suelo, para poder estimar la pérdida de producción total; y por otro, llevar a cabo una ponderación entre esta pérdida y el precio de los granos en el mercado. Inicialmente, el impacto de la erosión hídrica sobre el rendimiento de los cultivos se estimó a partir de la utilización de la Ecuación 2, adaptada de Gaitán et al. (2017)

$$\Delta y_i = (a * b) \quad (2)$$

Donde: Δy_i : disminución real del rendimiento ($kg\ ha^{-1}\ a\ o^{-1}$) asociada a la pérdida de cm de suelo en el sitio i , a : pérdida teórica de rendimiento por erosión por cultivo ($kg\ ha^{-1}\ cm^{-1}$) y b : pérdida de suelos por erosión del área de interés i ($cm\ a\ o^{-1}$).

Los valores concernientes al factor a , fueron establecidos de acuerdo a estimaciones para la RPArg y consultas a expertos en la temática. En lo referente al factor b , los datos se obtuvieron mediante el cociente entre el valor de A (correspondiente al promedio entre los valores de A alcanzados por las dos series de suelo más representativas del área de estudio: Lpd y Ne) y la densidad aparente media (D) del área agrícola de la RPArg (Gaitán et al., 2017). Una vez

alcanzados los valores de Δy_i de los diversos cultivos, estos se extrapolaron a la superficie sembrada con cada uno de ellos, para las distintas campañas en análisis, según fuentes oficiales (DAA, 2020).

Como último paso, para estimar la pérdida en términos económicos, los resultados de Δy_i fueron multiplicados por la cotización de mercado en dólares (USD) de cada uno de los granos (Bolsa de Cereales, 2020), a través de la Ecuación 3, adaptada de Cotler, López y Martínez-Trinidad (2011)

$$C_i = P_m * \Delta y_i \quad (3)$$

Donde: C_i : costo económico de la erosión en el sitio estudiado i , P_m precio de mercado por tn de producto y Δy_i : disminución real del rendimiento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) asociada a la pérdida de cm de suelo en el sitio i .

La totalidad de las ecuaciones presentadas en ambas etapas metodológicas fueron aplicadas en dos oportunidades, considerando distintos escenarios. Por un lado, el escenario *ocurrido* (I) representa los cálculos realizados teniendo en cuenta la realidad de las prácticas agrícolas efectuadas en el área de estudio; en la cual los valores del factor P, al no haberse concretado ninguna práctica conservacionista, fue siempre igual a 1. Por su parte, el escenario *posible* (II) escenifica los resultados que podrían obtenerse en el caso de desarrollarse estrategias tendientes a la conservación del suelo.

Resultados

Estimación de A, EP y pérdida total de suelos y su variación temporal

Los suelos que componen las UE, debido a sus características, exhiben diversos grados de susceptibilidad a la erosión hídrica. En este sentido, para lograr llevar a cabo la estimación de A y EP, fue indispensable poseer conocimiento acerca de cada uno de los factores componentes de la ecuación. A partir de ello, las tasas de erosión fueron calculadas para cada una de las series de suelo que componen cada UE.

En relación al factor R, se obtuvo considerando el dominio edáfico que caracteriza el área (dominio 13), alcanzando un valor de $318 \text{ hJ cm m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Irurtia & Cruzate, 2002).

Con respecto al factor K, el cual representa la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica, fue obtenido para cada una de las series de suelo analizadas por UE, luego de aplicada la ecuación correspondiente (Tabla 2).

Tabla 2. Susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica (factor K) por serie de suelo

UE	Serie	MO (%)	Limo +arena muy fina (%)	Grado de Estructura	Permeabilidad (cm/hora)	Arcilla (%)	K (t m ² h ha ⁻¹ hJ ⁻¹ cm ⁻¹)
UE1	Lpd	4,48	41,5	4 (bloques subangulares medios)	3 (moderada: 2 a 6,25)	25,1	0,279
	Ne	6,45	28,9	3 (granular gruesa)	3 (moderada: 2 a 6,25)	20,3	0,145
UE2	Lpd	4,48	41,5	4 (bloques subangulares medios)	3 (moderada: 2 a 6,25)	25,1	0,279
	Ne	6,45	28,9	3 (granular gruesa)	3 (moderada: 2 a 6,25)	20,3	0,145
	TA	3,87	26,9	3 (granular gruesa)	4 (moderadamente lenta: 0,5 a 2)	25,9	0,202
	Och	2,74	10,1	2 (granular fina)	2 (moderadamente rápida: 6,25 a 12,5)	20,8	0,019
	LPg	6,79	29,7	3 (granular gruesa)	3 (moderada: 2 a 6,25)	18,1	0,144
	Me	4,80	29,1	4 (bloques subangulares medios)	5 (lenta: 0,125 a 0,500)	20,6	0,282
UE3	Lo	5,59	37	3 (granular gruesa)	4 (moderadamente lenta: 0,5 a 2)	30,1	0,209
	Lpd	4,48	41,5	4 (bloques subangulares medios)	3 (moderada: 2 a 6,25)	25,1	0,279
	Ne	6,45	28,9	3 (granular gruesa)	3 (moderada: 2 a 6,25)	20,3	0,145
	Me	4,80	29,1	4 (bloques subangulares medios)	5 (lenta: 0,125 a 0,500)	20,6	0,282

Referencias: Lpd: Laprida, Ne: Necochea, TA: Tres Arroyos, Och: Ochandio, LPg: La Pandorga, Me: Mechongué, Lo: Lobería.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, los datos requeridos para la obtención del factor LS, el cual tiene en consideración la longitud de las pendientes y su gradiente, fueron estimados en función de los suelos dominantes en cada unidad, alcanzándose los resultados expresados en la Tabla 3.

Tabla 3. Longitud de las pendientes y gradiente (factor LS) por serie de suelo

UE	Serie	Longitud de la pendiente (m)	Pendiente (%)	LS
UE1	Lpd	200	1	0,19
	Ne	200	1	0,19
UE2	Lpd	200	1	0,19
	Ne	200	1	0,19
	TA	200	2	0,42
	Och	200	1	0,19
	LPg	200	0,75	0,14
	Me	200	0,5	0,1
UE3	Lo	200	0,5	0,1
	Lpd	200	1	0,19
	Ne	200	1	0,19
	Me	200	0,5	0,1

Referencias: Lpd: Laprida, Ne: Necochea, TA: Tres Arroyos, Och: Ochandio, LPg: La Pandorga, Me: Mechongué, Lo: Lobería.

Fuente: Elaboración propia.

El valor adquirido para el factor C, fue variable conforme a la época considerada. Al calcularlo, la diferencia de mayor relevancia se debió a que, en la campaña 1989/90, la agricultura dentro del área de estudio era desarrollada mediante la denominada Siembra Convencional (SC) o tradicional. No obstante, en oposición a lo anterior, tanto para las campañas 2002/2003 y 2019/2020, la SC fue reemplazada por SD, casi en la totalidad de la superficie. En base a ello, el valor de C para 1989/90 fue de 0,171 y surgió de un promedio entre los valores de C correspondientes a los planteos “Maíz en rotación”, “Trigo en rotación” y “Soja en rotación”.

En cuanto a 2002/03 y 2019/20, se llevó a cabo un promedio entre los valores de los planteos “Maíz en rotación”, “Trigo/soja de segunda” y “Soja continua”, representando el factor C un valor igual a 0,089. En este sentido, cabe destacar que los planteos productivos elegidos para la

obtención de este factor, se corresponden a los mayormente empleados dentro del área de estudio en las distintas campañas.

Por último, los valores concernientes al factor P presentaron diferencias, teniendo en cuenta los dos escenarios planteados. En el caso del escenario I, el valor asciende a 1 en la totalidad de las campañas, ya que no se registró la aplicación de ninguna práctica conservacionista. Para el escenario II, en la campaña 1989/90, el valor de P se estimó considerando la realización de estrategias como “siembra en contorno y labranza convencional”, lo cual arrojó un valor igual a 0,5; mientras que para 2002/03 y 2019/20, al considerar las estrategias “terrazas no sembrables y siembra en contorno”, P fue igual a 0,4.

El resultado del producto de los factores mencionados anteriormente ($R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$) facilitó el cálculo de A para cada una de las series de suelo analizadas. Por otro lado, la estimación de EP surgió de igual forma que A, pero llevando a cabo únicamente el producto de los factores R, K y LS (sin considerar C ni P). Seguidamente, las Tablas 4 y 5 demuestran los valores alcanzados para A y EP en las series correspondientes a las unidades sobre las que son desarrolladas las actividades agrícolas del partido en el escenario I; mientras que, las Tablas 6 y 7 hacen lo propio para el escenario II.

Tabla 4. Erosión actual (A) y potencial (EP) para la campaña 1989/90, escenario I

UE	Serie	R	K	LS	C	P	A	EP
UE1	Lpd	318	0,279	0,19	0,171	1	2,9	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,171	1	1,5	8,76
UE2	Lpd	318	0,279	0,19	0,171	1	2,9	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,171	1	1,5	8,76
	TA	318	0,202	0,42	0,171	1	4,6	26,98
	Och	318	0,019	0,19	0,171	1	0,2	1,15
	LPg	318	0,144	0,14	0,171	1	1,1	6,41
	Me	318	0,282	0,1	0,171	1	1,5	8,97
UE3	Lo	318	0,209	0,1	0,171	1	1,1	6,65
	Lpd	318	0,279	0,19	0,171	1	2,9	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,171	1	1,5	8,76
	Me	318	0,282	0,1	0,171	1	1,5	8,97

Referencias: Lpd: Laprida, Ne: Necochea, TA: Tres Arroyos, Och: Ochandio, LPg: La Pandorga, Me: Mechongué, Lo: Lobería, R: Erosividad de las lluvias ($\text{hJ cm m}^{-2} \text{h}^{-1}$), K: Susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica ($\text{t m}^2 \text{h ha}^{-1} \text{hJ}^{-1} \text{cm}^{-1}$), LS: Factor topográfico, C: Factor cultivo o cobertura, P: Factor práctica conservacionista, A: Tasa de erosión actual ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) y EP: Tasa de erosión potencial ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Erosión actual (A) y potencial (EP) para las campañas 2002/03 y 2019/20, escenario I

UE	Serie	R	K	LS	C	P	A	EP
UE1	Lpd	318	0,279	0,19	0,089	1	1,5	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,089	1	0,8	8,76
UE2	Lpd	318	0,279	0,19	0,089	1	1,5	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,089	1	0,8	8,76
	TA	318	0,202	0,42	0,089	1	2,4	26,98
	Och	318	0,019	0,19	0,089	1	0,1	1,15
	LPg	318	0,144	0,14	0,089	1	0,6	6,41
	Me	318	0,282	0,1	0,089	1	0,8	8,97
UE3	Lo	318	0,209	0,1	0,089	1	0,6	6,65
	Lpd	318	0,279	0,19	0,089	1	1,5	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,089	1	0,8	8,76
	Me	318	0,282	0,1	0,089	1	0,8	8,97

Referencias: Lpd: Laprida, Ne: Necochea, TA: Tres Arroyos, Och: Ochandio, LPg: La Pandorga, Me: Mechongué, Lo: Lobería, R: Erosividad de las lluvias ($\text{hJ cm m}^{-2} \text{h}^{-1}$), K: Susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica ($\text{t m}^2 \text{h ha}^{-1} \text{hJ}^{-1} \text{cm}^{-1}$), LS: Factor topográfico, C: Factor cultivo o cobertura, P: Factor práctica conservacionista, A: Tasa de erosión actual ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) y EP: Tasa de erosión potencial ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Erosión actual (A) y potencial (EP) para la campaña 1989/90, escenario II

UE	Serie	R	K	LS	C	P	A	EP
UE1	Lpd	318	0,279	0,19	0,171	0,5	1,4	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,171	0,5	0,8	8,76
UE2	Lpd	318	0,279	0,19	0,171	0,5	1,4	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,171	0,5	0,8	8,76
	TA	318	0,202	0,42	0,171	0,5	2,3	26,98
	Och	318	0,019	0,19	0,171	0,5	0,1	1,15
	LPg	318	0,144	0,14	0,171	0,5	0,6	6,41
	Me	318	0,282	0,1	0,171	0,5	0,8	8,97
UE3	Lo	318	0,209	0,1	0,171	0,5	0,6	6,65
	Lpd	318	0,279	0,19	0,171	0,5	1,4	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,171	0,5	0,8	8,76
	Me	318	0,282	0,1	0,171	0,5	0,8	8,97

Referencias: Lpd: Laprida, Ne: Necochea, TA: Tres Arroyos, Och: Ochandio, LPg: La Pandorga, Me: Mechongué, Lo: Lobería, R: Erosividad de las lluvias ($\text{hJ cm m}^{-2} \text{h}^{-1}$), K: Susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica ($\text{t m}^2 \text{h ha}^{-1} \text{hJ}^{-1} \text{cm}^{-1}$), LS: Factor topográfico, C: Factor cultivo o cobertura, P: Factor práctica conservacionista, A: Tasa de erosión actual ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) y EP: Tasa de erosión potencial ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Erosión actual (A) y potencial (EP) para las campañas 2002/03 y 2019/20, escenario II

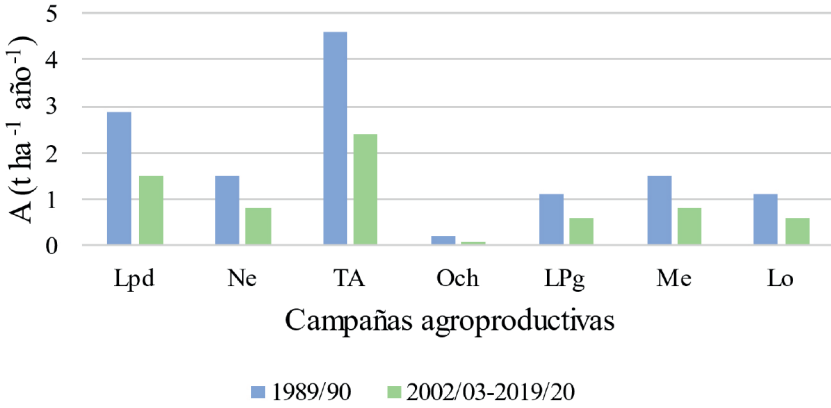
UE	Serie	R	K	LS	C	P	A	EP
UE1	Lpd	318	0,279	0,19	0,089	0,4	0,6	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,089	0,4	0,3	8,76
UE2	Lpd	318	0,279	0,19	0,089	0,4	0,6	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,089	0,4	0,3	8,76
	TA	318	0,202	0,42	0,089	0,4	1	26,98
	Och	318	0,019	0,19	0,089	0,4	0,1	1,15
	LPg	318	0,144	0,14	0,089	0,4	0,2	6,41
	Me	318	0,282	0,1	0,089	0,4	0,3	8,97
UE3	Lo	318	0,209	0,1	0,089	0,4	0,2	6,65
	Lpd	318	0,279	0,19	0,089	0,4	0,6	16,86
	Ne	318	0,145	0,19	0,089	0,4	0,3	8,76
	Me	318	0,282	0,1	0,089	0,4	0,3	8,97

Referencias: Lpd: Laprida, Ne: Necochea, TA: Tres Arroyos, Och: Ochandio, LPg: La Pandorga, Me: Mechongué, Lo: Lobería, R: Erosividad de las lluvias ($\text{hJ cm m}^{-2} \text{h}^{-1}$), K: Susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica ($\text{t m}^2 \text{h ha}^{-1} \text{hJ}^{-1} \text{cm}^{-1}$), LS: Factor topográfico, C: Factor cultivo o cobertura, P: Factor práctica conservacionista, A: Tasa de erosión actual ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) y EP: Tasa de erosión potencial ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$).

Fuente: Elaboración propia.

Sumado a lo anterior, se efectuó un análisis detallado acerca de cómo varió el valor de A para cada serie de suelo, entre las distintas campañas para el escenario I (Figura 2) y el escenario II (Figura 3); como así también acerca de la modificación de este valor de erosión para cada serie en una misma campaña, según el escenario propuesto (Figuras 4 y 5).

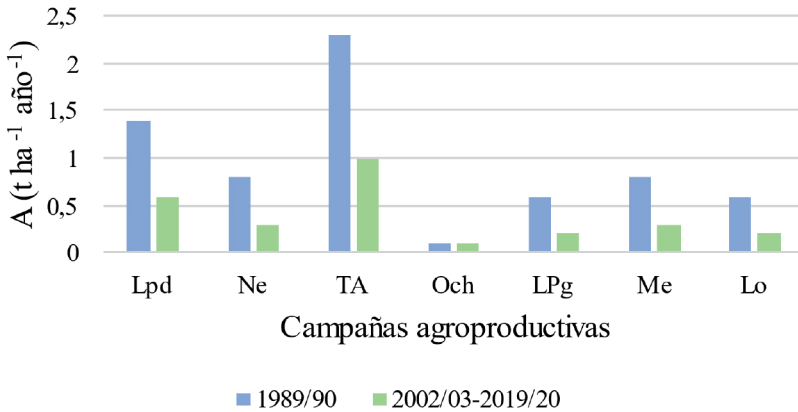
Figura 2. Variación de la tasa de erosión actual (A) por serie en las distintas campañas, para el escenario I



Referencias: Lpd: Laprida, Ne: Necochea, TA: Tres Arroyos, Och: Ochandio, LPg: La Pandorga, Me: Mechongué, Lo: Lobería, A: Tasa de erosión anual.

Fuente: Elaboración propia.

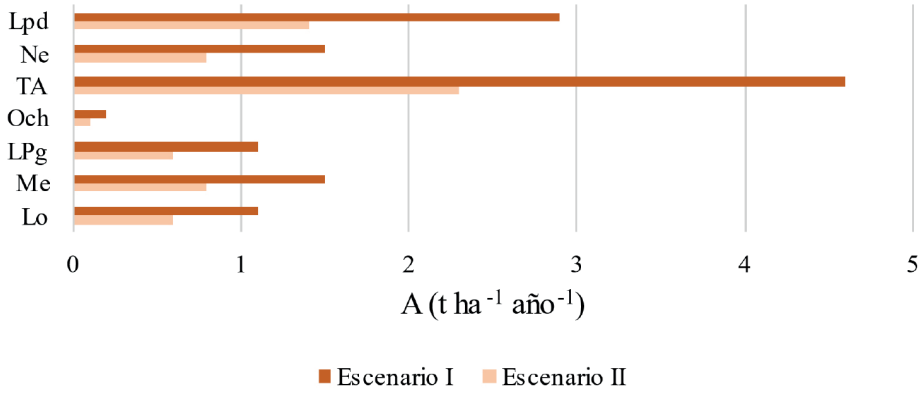
Figura 3. Variación de la tasa de erosión actual (A) por serie en las distintas campañas, para el escenario II



Referencias: Lpd: Laprida, Ne: Necochea, TA: Tres Arroyos, Och: Ochandio, LPg: La Pandorga, Me: Mechongué, Lo: Lobería, A: Tasa de erosión anual.

Fuente: Elaboración propia.

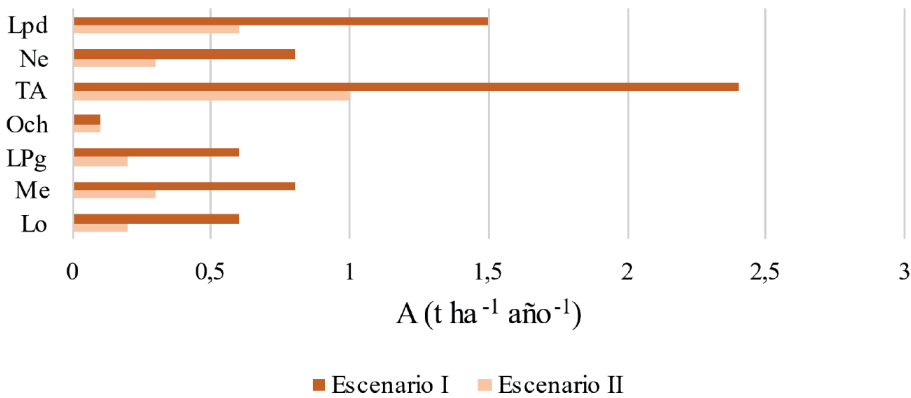
Figura 4. Variación de la tasa de erosión actual por serie en ambos escenarios, para la campaña 1989/90



Referencias: Lpd: Laprida, Ne: Necochea, TA: Tres Arroyos, Och: Ochandio, LPg: La Pandorga, Me: Mechongué, Lo: Lobería, A: Tasa de erosión anual.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Variación de la tasa de erosión actual por serie en ambos escenarios, para las campañas 2002/03 y 2019/20



Referencias: Lpd: Laprida, Ne: Necochea, TA: Tres Arroyos, Och: Ochandio, LPg: La Pandorga, Me: Mechongué, Lo: Lobería, A: Tasa de erosión anual.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la pérdida de suelos, se seleccionaron las dos series más representativas de las tres unidades (Lpd y Ne) y se llevó a cabo un promedio de su A y EP, obteniendo distintos valores para ambos escenarios, los cuales se representan en la Tabla 8.

Tabla 8. Promedio de las tasas de erosión para los dos escenarios analizados

Valores promedio de erosión entre Lpd y Ne (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Escenario I		Escenario II	
	Campañas agroproductivas			
	1989/90	2002/03 2019/20	1989/90	2002/03 2019/20
Promedio de A	2,2	1,15	1,1	0,45
Promedio de EP	12,81	12,81	12,81	12,81

Referencias: Lpd: Laprida, Ne: Necochea, A: Tasa de erosión actual (t ha⁻¹ año⁻¹) y EP: Tasa de erosión potencial (t ha⁻¹ año⁻¹).

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los promedios alcanzados se multiplicaron por la superficie agrícola destinada a tres de los principales cultivos del partido para ambos escenarios en 1989/90, 2002/03 y 2019/20, adquiriendo de esta manera los valores concernientes a la PTSA y PTSP, tal como se muestra mediante la Tabla 9.

Tabla 9. Pérdida total de suelos por campaña en ambos escenarios

Campañas agroproductivas	Superficie agrícola (ha)	Escenario I		Escenario II	
		PTSA (t año ⁻¹)	PTSP (t año ⁻¹)	PTSA (t año ⁻¹)	PTSP (t año ⁻¹)
1989/90	201000	442200	2574810	221100	2574810
2002/03	279000	320850	3573990	125550	3573990
2019/20	323000	371450	4137630	145350	4137630

Referencias: PTSA: Pérdida total de suelos actual y PTSP: Pérdida total de suelos potencial.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis acerca de la pérdida económica

Una vez concretados los cálculos, se muestran en las Tablas 10 y 11 los valores de los diversos factores, analizados para ambos escenarios. A partir de ello, fue factible desarrollar la estimación de la disminución del rendimiento de tres de los principales cultivos del partido, para las tres campañas evaluadas, observándose los datos obtenidos en las Tablas 12 y 13.

Tabla 10. Valores de los diversos factores analizados en el escenario I

partido de Tres Arroyos	Cultivo	a (kg ha ⁻¹ cm ⁻¹)	D (t m ⁻³)	TME (t ha ⁻¹ año ⁻¹)		b (cm año ⁻¹)	
				1989/90	2002/03 2019/20	1989/90	2002/03 2019/20
				Soja	100	1,2	2,2
Maíz	270						
Trigo	75						

Referencias: a: pérdida teórica de rendimiento por erosión para cada cultivo, D: densidad aparente media del suelo agrícola; TME: tasa media de erosión hídrica y B: pérdida de suelos por erosión del área de interés.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Valores de los diversos factores analizados en el escenario II

partido de Tres Arroyos	Cultivo	a (kg ha ⁻¹ cm ⁻¹)	D (t m ⁻³)	TME (t ha ⁻¹ año ⁻¹)		b (cm año ⁻¹)	
				1989/90	2002/03 2019/20	1989/90	2002/03 2019/20
				Soja	100	1,2	1,1
Maíz	270						
Trigo	75						

Referencias: a: pérdida teórica de rendimiento por erosión para cada cultivo, D: densidad aparente media del suelo agrícola; TME: tasa media de erosión hídrica y B: pérdida de suelos por erosión del área de interés. **Fuente:** elaboración propia.

Tabla 12. Disminución real del rendimiento por campaña en el escenario I

partido de Tres Arroyos	Cultivo	R (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	
		1989/90	2002/03-2019/20
		Soja	1,8
Maíz	4,86	2,43	
Trigo	1,35	0,68	

Referencias: R: disminución real del rendimiento de los cultivos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Disminución real del rendimiento por campaña en el escenario II

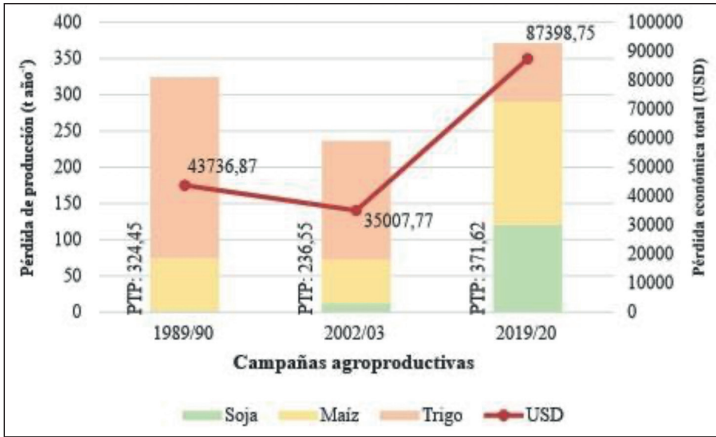
partido de Tres Arroyos	Cultivo	R (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	
		1989/90	2002/03-2019/20
		Soja	0,9
Maíz	2,43	1,08	
Trigo	0,68	0,30	

Referencias: R: disminución real del rendimiento de los cultivos.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se presentan en las Figuras 6 y 7 los resultados alcanzados respecto de la pérdida total de producción y la concerniente a cada uno de los cultivos, como así también su impacto económico, para las tres campañas en los dos escenarios analizados.

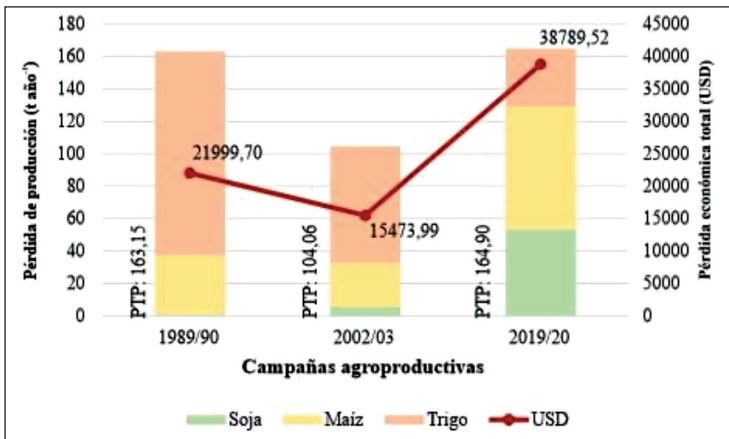
Figura 6. Pérdida de producción e impacto económico en el escenario I



Referencias: PTP: pérdida total de producción (t año⁻¹).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Pérdida de producción e impacto económico en el escenario II



Referencias: PTP: pérdida total de producción (t año⁻¹).

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Estimación de A, EP, pérdida total de suelos y su variación temporal

En un primer punto, es necesario destacar que los valores de A adquiridos para las campañas 2002/03 y 2019/20 son los mismos, ya que en ese lapso temporal no se produce en el área ninguna transformación sustancial de las prácticas productivas asociadas al problema de la erosión. Sumado a lo anterior, es posible observar que, como era de esperarse, se obtuvieron los mismos valores de EP para las tres campañas; lo cual puede explicarse debido a que esta es considerada como la máxima posible para un determinado sitio (teniendo en cuenta un suelo desnudo todo el año), razón por la que los valores de los factores relacionados a la cobertura (C) y las prácticas conservacionistas (P) no poseen influencia sobre el valor final.

Una vez analizados los resultados, es viable afirmar la existencia de notables diferencias en cuanto a los valores alcanzados para las distintas series y ambos escenarios. Inicialmente, tanto el escenario I como el II exhiben una tendencia similar respecto a la disminución del valor de A entre las campañas 1989/90-2002/03 y su mantenimiento entre 2002-03-2019/20, para la totalidad de las series evaluadas; a excepción de la denominada Och, en el escenario II, cuyo valor se mantuvo constante.

Por otra parte, se distingue que para las tres campañas los resultados de A fueron mejores al aplicar prácticas tendientes a la conservación del suelo (escenario II), obteniendo valores con un promedio de disminución aproximada del 50% en la totalidad de las series.

Respecto de los niveles de afectación, en todos los casos, las series más impactadas resultan ser TA (Tres Arroyos) y Lpd (Laprida). En el escenario I, TA revela valores de A iguales a 4,6 en 1989/90 y 2,4 en 2002/03-2019/20; mientras que Lpd manifiesta valores de 2,9 y 1,5, respectivamente. Para el escenario II los valores de A de TA resultan iguales a 2,3 en 1989/90 y 1 en 2002/03-2019/20 y los de Lpd a 1,4 y 0,6. Asimismo, estas dos series también se presentan como aquellas con mayor valor de EP, con 26,98 y 16,86, respectivamente.

En relación a la pérdida total de suelos, también existen disparidades entre las campañas para ambos escenarios. Para el caso del I, entre 1989/90 y 2002/03 se produjo un decrecimiento del 27,44% de la PTSA; mientras que, por el contrario, entre 2002/03 y 2019/20, la situación fue

inversa, con un incremento del 15,77 %. En cuanto a la PTSP, demuestra un notable incremento en ambos períodos, con valores del 38,80% entre 1989/90 y 2002/03 y del 15,77% entre 2002/03 y 2019/20.

Por su parte, aunque la situación del escenario II presenta porcentajes de variación diferentes, queda demostrada exactamente, la misma tendencia. Entre 1989/90 y 2002/03, se produjo un decrecimiento del 43,21% de la PTSA; y contrariamente, entre 2002/03 y 2019/20, la situación fue inversa, con un incremento del 15,91%.

Nuevamente, al igual que con los valores de A, queda de manifiesto que al desarrollar estrategias tendientes a la conservación del suelo (escenario II), la situación mejora considerablemente, alcanzando una disminución de aproximadamente el 55% de la PTSA. Asimismo, al igual que lo que ocurre con la EP, los valores de PTSP no se ven afectados por la aplicación de las mencionadas estrategias.

Independientemente del escenario analizado, una posible explicación de estas notables variaciones, reside en la relación directa entre la erosión hídrica y la superficie destinada a la agricultura. En este sentido, el decrecimiento de la pérdida de suelos entre 1989/90 y 2002/03 puede justificarse en base a que en esta última campaña comenzó a profundizarse la aplicación de SD, la cual cumple un rol fundamental en la disminución de la erosión.

Continuando con esta tendencia, se hubiese esperado que al seguir utilizando SD la pérdida de suelos entre 2002/03 y 2019/20 no se profundizara. Sin embargo, aunque no se presentan variaciones respecto al valor de A, el aumento de la pérdida de suelos en este último período puede entenderse como una consecuencia del incremento de la superficie destinada a los tres cultivos evaluados, el cual fue de alrededor del 16%.

Por tanto, los resultados concuerdan con lo planteado por [Oosterheld \(2008\)](#), que afirma que el crecimiento de la pérdida de suelos por erosión es una de las principales consecuencias del aumento de la superficie agrícola; y lo dicho por [López et al. \(2015\)](#), quienes luego de evaluar una gran cantidad de lotes bajo SD en la región subhúmeda-semiárida del sudoeste bonaerense, afirman que muchos de ellos presentan una cobertura menor a la necesaria para proporcionarle al suelo una correcta protección contra la erosión.

Análisis acerca de la pérdida económica

Con referencia a la disminución real del rendimiento (R), los valores conseguidos evidencian modificaciones según el escenario abordado y muestran concordancia con lo expresado por Pulido y Bocco (2011), quienes manifiestan que la erosión afecta directamente a la producción de cultivos. En este sentido, si tomamos lo ocurrido en el escenario I y lo comparamos con el II, podemos observar que, en las tres campañas abordadas, este último presenta aproximadamente un 50% menos de pérdida para los tres cultivos; como así también un detrimento económico inferior.

Dentro del escenario I, la pérdida de producción y su impacto económico registran valores opuestos entre ambos períodos. De esta manera, entre 1989/90 y 2002/03 se produce un decrecimiento del 27% de la merma productiva, repercutiendo en una disminución del 20% del perjuicio económico. En contraposición, entre 2002/03 y 2019/20 se observa una situación opuesta en ambos casos, manifestándose aumentos del 57% de la pérdida de producción y del 149% del impacto económico negativo.

De igual modo, en el escenario II, la disminución de la producción y su impacto económico también registran valores contrapuestos entre ambos períodos. Así, entre 1989/90 y 2002/03 se plantea una disminución del 23% de la caída productiva, repercutiendo en un descenso del 29% del perjuicio económico; y, por el contrario, entre 2002/03 y 2019/20 se exhiben aumentos de la pérdida de producción y del impacto económico negativo, con valores similares a los planteado, en el mismo período del escenario I.

Tal como lo sucedido respecto de las modificaciones en los valores de A, la disminución en los valores de R entre 1989/90 y 2002/03-2019/20, podría deberse al reemplazo de la SC por SD, el cual fue más intenso a partir del año 2000, cumpliendo un rol de gran relevancia en el decrecimiento de la TME. Si bien en el segundo período esta práctica siguió siendo utilizada y la TME se mantuvo, la pérdida de producción creció, debido al ya mencionado incremento de la superficie cultivada.

Por consiguiente, aunque la SD permite disminuir la erosión (Sequeira, Vazquez & Sacido, 2019), no es suficiente para revertir la situación observada, ya que la solución requiere más que un sencillo cambio del método de laboreo. Por ello, para lograr modelos agrícolas más sustentables, es necesario proyectar un rediseño de los agroecosistemas, donde además

de considerar la SD, se concreten prácticas como el uso de cultivos de cobertura, la planificación de rotaciones, incorporación de materia orgánica, cultivar siguiendo las curvas de nivel e integrar la actividad ganadera, entre otras (Sicard & Altieri, 2010).

Finalmente, con respecto a la pérdida económica, se destaca que los resultados obtenidos eran de esperarse, debido a la existencia de una relación directa entre la variación de la pérdida total de producción y la pérdida económica referida a la venta de los granos; la cual, a su vez, se ve profundizada por los constantes aumentos del dólar en el último período estudiado.

Conclusiones

El actual contexto marcado por la intensificación productiva, nos presenta un camino plagado de posibles impactos ambientales negativos. Teniendo en cuenta los efectos indeseados de este escenario, entre los que pueden destacarse aquellos generados en los procesos de erosión, se torna fundamental dimensionar el grado de afectación de los sistemas agroproductivos. En este sentido, la utilización de distintas clases de herramientas alcanza cada vez mayor importancia, siempre con el fin de enfrentar los desafíos en el abordaje de la obtención de sistemas productivos sustentables. Dentro de ellas, se encuentra la Ecuación Universal de Predicción de Erosión Hídrica, que ha demostrado ser un claro indicador para valorar la erosión en aquellas zonas destinadas a la agricultura.

En la presente investigación, el empleo de esta ecuación en el partido de Tres Arroyos en tres campañas agroproductivas, facilitó la estimación de la variación temporal de los valores de A y EP y de pérdida de suelos de las diversas series que componen las distintas UE definidas en el área. Asimismo, algunos de estos valores sirvieron como insumos para establecer un acercamiento a la pérdida económica ocasionada por el proceso de erosión.

En este contexto, en el cual el modelo agrícola hegemónico aumenta la vulnerabilidad de los agroecosistemas y los agricultores; el partido de Tres Arroyos manifiesta, desde la campaña 2002/03, un notable incremento en la pérdida total de producción, como consecuencia del crecimiento de la superficie sembrada y de la continuidad de procesos erosivos con características antrópicas, aún no solucionados. Sumado a ello, esto se traduce en un notable perjuicio económico, generando grandes pérdidas de

ganancias; por lo que se torna apremiante desarrollar estrategias tendientes a revertir la mencionada situación y evitar que vuelva a producirse, estableciendo las bases para el inicio de una transición hacia un modelo de producción más sustentable.

Finalmente, se afirma que los resultados permiten detectar las áreas que se vieron más afectadas, tal es el caso de aquellas compuestas por las series TA y Lpd, y establecer cuáles deberían ser analizadas con mayor profundidad. Sumado a ello, se destaca que, al haber trabajado a escala de partido, se estaría teniendo en cuenta la totalidad de un área político-administrativa, lo cual resultaría sumamente significativo al momento de transmitir los resultados a aquellos tomadores de decisiones encargados de generar diversas medidas políticas, tendientes a implementar distintas medidas de mitigación.

Referencias

- Armand, R., Bockstaller, C., Auzet, A. & Van Dijk, P. (2009). Runoff generation related to intra-field soil surface characteristics variability. Application to conservation tillage context. En: *Soil & Tillage Research*, 102, 27-37.
- Bolsa de cereales. (2020). *Cotización FOB actualizada de los principales cultivos argentinos*. Recuperado de www.bolsadecereales.com.
- Bouchoms, S., Wang, Z., Vanacker, V. & Oost, K. V. (2019). Evaluating the effects of soil erosion and productivity decline on soil carbon dynamics using a model-based approach. *Soil*, 5(2), 367-382.
- Carbone, M. E. & Piccolo, M. C. (2002). Caracterización de las sequías en la localidad de tres arroyos (1930-1975). Aplicación del Método de Palmer. *Papeles de geografía*, (36), 209-222.
- Casas, R. (2015). La erosión del suelo en la Argentina. En R. Casas y G. Albarracín (Eds.), *Degradación de Tierras en la República Argentina*. Buenos Aires: FECIC. (pp. 433-452).
- Castilla, F. (2013). Siembra directa. La elegida para conservar el suelo. *RIA. Revista de investigaciones agropecuaria*, 39(2), 118-123.
- Cerdá, E., Sarandón, S. & Flores, C. (2014). El caso de “La Aurora”: un ejemplo de aplicación del enfoque agroecológico en sistemas extensivos del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Benito Juárez, Argentina. En S. Sarandón y C. Flores (Eds.), *Agroecología: bases*

- teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables* (437-463). La Plata: Servicio de publicaciones, UNLP.
- Colombo, S. (2004). Valoración y análisis económico de impactos ambientales en procesos erosivos: aplicación de los métodos de valoración contingente y experimento de elección en la cuenca del Alto Genil. *Cuadernos Geográficos*, (34), 223-232.
- Concepción Ramos, M., Lizaga, I., Gaspar, L., Quijano, L. & Navas, A. (2018). *Soil and nutrient losses by hydric erosion under different land uses in a mountain catchment in the Ebro Basin (NE Spain)*. EGU General Assembly Conference Abstracts. 4 al 13 de abril. Viena, Austria.
- Cotler, H., López, C. A., & Martínez-Trinidad, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigación ambiental*, 3(2), 31-43.
- Cristeche, E. (2009). *Valoración económica de los efectos externos de la erosión hídrica sobre la infraestructura de caminos rurales en el Sur de la provincia de Córdoba, Argentina*. (Tesis de Maestría en economía). Facultad de Cs. Económicas, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- DAA (Datos Abiertos Agroindustria). (2020). Estadísticas agrícolas suministradas por la Secretaría de Agroindustria, Ministerio de Producción y Trabajo, República Argentina. Recuperado de <https://datos.agroindustria.gov.ar>.
- Díaz Pereira, E., Anaya Romero, M. & de la Rosa Villafranca, D. (2011). Modelos de evaluación agroecológica de tierras: erosión y contaminación en el entorno MicroLEIS. *Teoría y Praxis*, (9), 91-107.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO). (1990). *Guidelines for soil description*. Roma, Italia: FAO.
- Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FECIC)-Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua (PROSA). (1988). *El Deterioro del Ambiente en la Argentina*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Orientación Grafica Editora.
- Ferreras, L. A., Toresani, S. M. I., Faggioli, V. S. & Galarza, C. M. (2015). Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana Argentina. *Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*, 5 (3), 227-242.

- Gaitán, J., Navarro, M. F., Vuegen, L. T., Pizarro, M. J., Carfagno, P. & Rigo, S. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina*. Buenos Aires, Argentina: INTA Ediciones.
- García Ruiz, V., Savé, R. & Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas*, 22(3), 117-126.
- Gvozdenovich, J., Barbagelata, P. & López, G. (2015). *Erosión Hídrica - USLE/RUSLE* INTA EEA Paraná, Argentina. Software, Versión 2.0. Recuperado de <http://www.inta.gob.ar/parana>
- Gvozdenovich, J., Pérez Bidegain, M., Novelli, L., & Barbagelata, P. (2017). ¿Puede WEPP mejorar la predicción de la erosión de suelos respecto a USLE? *Ciencia del suelo*, 35(2), 259-272.
- Hernández, L., & Dufilho, A. C. (2012). Determinación del riesgo de erosión hídrica de los suelos de los departamentos Minas y Chos Malal (Neuquén) mediante la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE). *Boletín geográfico*, (34), 11-31.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (1990). *Atlas de suelos de la república argentina. E: 1:500.000 y 1:1000.000*. Buenos Aires, Argentina: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Proyecto PNUD ARG 85/019.
- Irurtia, C. & Cruzate, G. (2002). *Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la Provincia de Buenos Aires. Informe Técnico*. Castelar, Buenos Aires: INTA.
- Leal Villamil, J. & Lozano Botache, L. A. (2012). Niveles de fragilidad potencial para la erosión y el deslizamiento en los suelos del municipio de Ibagué (Tolima). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(1), 67-76.
- López, F. M., Duval, M. E., Martínez, J. M. & Galantini, J. A. (2015). Cobertura en el sudoeste bonaerense en suelos bajo siembra directa. *Ciencia del suelo*, 33(2), 273-281.
- Mikkelsen, C. A. (2013). Debatiendo lo rural y la ruralidad: un aporte desde el sudeste de la provincia de Buenos Aires; el caso del partido de Tres Arroyos. En: *Cuadernos de Geografía-Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 235-256.
- Nájera, O., Bojórquez, J. I., Flores, F., Murray, R. M. & González, A. (2016). Riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo

- en paisajes geomorfológicos volcánicos en México. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 45-55.
- Nearing, M. A., Xie, Y., Liu, B. & Ye, Y. (2017). Natural and anthropogenic rates of soil erosion. In: *International Soil and Water Conservation Research*, 5(2), 77-84.
- Oesterheld, M. (2008). Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas: fundamentos ecológicos y problemas más relevantes. *Ecología austral*, 18(3), 337-346.
- Pulido J. & Bocco, G. (2011). ¿Cómo se evalúa la degradación de tierras? Panorama global y local. *Interciencia*, 36 (2), 96-103.
- Sartori, M., Philippidis, G., Ferrari, E., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L. & Panagos, P. (2019). A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. *Land use policy*, 86, 299-312.
- Sicard, T. E. & Altieri, M. A. (2010). *Vertientes del pensamiento agroecológico: Fundamentos y Aplicaciones*. Bogotá, Colombia: Opciones Gráficas Editores.
- Sequeira, N. D., Vázquez, P. & Sacido, M. (2019). Erosión hídrica y su relación con el avance de la agricultura en el sudeste bonaerense, Argentina. El caso del partido de Benito Juárez durante las campañas 1989/90, 2002/03 y 2014/15. *Papeles de Geografía*, (65), 106-120.
- Toy, T. J., Foster, G. R. & Renard, K. G. (2002). *Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control*. Nueva York, USA: John Wiley and Sons.
- Vázquez, P. (2004). *Comparación temporal de la sustentabilidad de dos modalidades de producción agrícolas (Tandil, Argentina)*. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental, Facultad de Cs. Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Vázquez, P., Zulaica, L., Mickelsen, C. & Sacido, M. (2018). *Zonificación ecológica y expansión agropecuaria en el partido de Tres Arroyos: un estudio de caso en la Región Pampeana Argentina*. V Jornadas Nacionales de Investigación en Geografía Argentina y XI Jornadas de Investigación y Extensión del Centro de Investigaciones Geográficas. 16 al 19 de mayo. Facultad de Cs. Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

- Vazquez, P., Ruiz, D., Zulaica, L., Sequeira, N. D. & Daga, D. Y. (2019). *Paisajes agroproductivos y sustentabilidad agrícola en un Partido de la Región Pampeana Austral: análisis de las transformaciones del territorio rural entre 2002 y 2015*. En: I Congreso Argentino de Agroecología. 18 al 20 de septiembre. Facultad de Cs. Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.
- Villanueva, A., Cazenave, G. y Bilello, G. (2009). Valor económico del control de inundaciones en el Partido de Tres Arroyos, Pcia. de Buenos Aires, Argentina. *REGA*, 6(1), 43-53.
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Maryland, USA: Science and Education Administration.



Semiárido piauiense: expansão da cajucultura e transformações no território

Piauí state/region (Brazil) semi-arid: expansion and transformation of cashew cultivation in the territory

Piauiense semiarid: expansión y transformación del caso en el territorio

Paulo Gustavo de Alencar¹

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Giovana Mira de Espíndola²





Universidade Federal do Piauí, Brasil

Antonio Cardoso Façanha³

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Maria de Nazaré Antão de Alencar⁴

Universidade Regional do Cariri, Brasil

- 1 Engenheiro Agrônomo. Especialização em Geoprocessamento. Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Piauí, Brasil. Servidor do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. E-mail: pgalencar@yahoo.com.br.  <https://orcid.org/0000-0002-7860-6374>.
- 2 Engenheira Cartógrafa. Mestrado e Doutorado em Sensoriamento Remoto. Profa. Dra. do Centro de Tecnologia e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Piauí. E-mail: giovanamira@ufpi.edu.br.  <https://orcid.org/0000-0003-2691-8496>.
- 3 Licenciatura plena em Geografia. Mestrado e doutorado em Geografia. Prof. Dr. do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia e de Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí. E-mail: facanha@ufpi.edu.br.  <https://orcid.org/0000-0002-1658-1407>.
- 4 Licenciatura Plena em Geografia. Especialização em Geografia e Meio Ambiente. Especialização em Gestão e Educação Ambiental. Professora das redes estaduais do Ceará e Piauí. E-mail: mnazarealencar@hotmail.com.  <https://orcid.org/0000-0002-9931-4856>.

Resumo

O presente artigo objetiva analisar alguns fatores que tem contribuído para as transformações territoriais no Semiárido a partir da expansão agrícola da cajucultura para o município de Pio IX. A pesquisa baseou-se em revisão bibliográfica, entrevistas, observações de campo e análise de imagens de satélite. A abordagem de desenvolvimento territorial tem sido usada na elaboração de planos de desenvolvimento para o Semiárido piauiense. As lutas, conflitos sociais e negociações resultaram na criação de projetos de assentamentos rurais na região da cajucultura, que também foram beneficiados pelo declínio da cajucultura empresarial. A cajucultura familiar assumiu o protagonismo na reorganização da cajucultura no território, favorecidas também pelas novas organizações sociais e políticas resultantes da organização dos trabalhadores sem terra na busca pela implementação de ações de reforma agrária. As ações do estado desconsideraram organização da base produtiva, além da dimensão ambiental. Os diversos planos de desenvolvimento apontam caminhos, mas são pouco efetivos no desencadeamento de ações voltadas para o desenvolvimento territorial.

Palavras-chave: Cajucultura; Assentamento rurais; Desenvolvimento Territorial; Semiárido.

Abstract

This article aims to analyze some factors that have contributed to the territorial transformations in the semi-arid climate region of the state of Piauí, Brazil, due to the farming expansion of cashew (*Anacardium occidentale* L.) plantation in the municipality of Pio IX. The present research was based on literature review, interviews, field observations, and satellite image analysis. A territorial development approach has been used to implement development plans for the semi-arid Piauí. Struggles, agrarian conflicts and negotiations has contributed to the creation of rural settlement projects within a region traditionally inclined to cashew production; settlements creation also benefited from the decline in cashew agribusiness. Family farming cashew assumed a leading role in the restructuring of the cashew production sector that took place within this territory, this new order was also favored by the new social and political organizations created by landless workers in order to implement the agrarian reform. Government actions seem to disregard the level of organization exhibited by the cashew productive sector, and besides of being indifferent to related environmental issues. Various development plans has showed some solutions, however, these are not very effective in triggering actions aimed at territorial development.

Keywords: Cashew plantation; Rural settlements; Territorial development; Semi-arid.

Resumen

Este artículo tiene como objetivo analizar algunos factores que han contribuido a las transformaciones territoriales en el Semiárido, debido a la expansión agrícola de la cajucultura, al municipio de Pio IX. La investigación se basó en la revisión de la literatura, entrevistas, observaciones de campo y análisis de imágenes de satélite. El enfoque de desarrollo territorial se ha utilizado en el desarrollo de planes de desarrollo, para el semiárido de Piauí. Las luchas, los conflictos sociales y las negociaciones, dieron como resultado la creación de proyectos de asentamiento rural en la región del anacardo, que también se beneficiaron del declive de la cultura empresarial del anacardo. El anacardo familiar, asumió el liderazgo en la reorganización del anacardo en el territorio, favorecido también por las nuevas organizaciones sociales y políticas resultantes de la organización de los trabajadores sin tierra, en la búsqueda de la implementación de acciones de reforma agraria. Las acciones del estado desconocen la organización de la base productiva, además de la dimensión ambiental. Los distintos planes de desarrollo apuntan a caminos, pero no son muy efectivos para desencadenar acciones orientadas al desarrollo territorial.

Palabras clave: Cajucultura; Asentamientos rurales; Desarrollo territorial; Semi árido.

Introdução

O processo de modernização conseradora no campo brasileiro marcou a abertura de novas fronteiras agrícolas apoiadas na expansão dos latifúndios e na agricultura tecnicada, caracterizada pelo uso de operações mecanizaadas e uso intensivo de insumos. No Estado do Piauí, as regiões foram ocupadas por diferentes culturas: enquanto a soja tem dominado as extensas chapadas dos cerrados piauienses, no semiárido a cajucultura empresarial foi a responsável pela abertura de extensas áreas, embora não tenha sido o cultivo pioneiro nas chapadas do semiárido.

A cajucultura empresarial teve participação decisiva no processo de mobilidade de pessoas para a ocupação das chapadas do semiárido ns décadas de 1970 e 1980, principalmente em municípios do Território do Vale do Rio Guaribas, como é o caso de Pio IX, que ainda na atualidade mantêm o status de maior área plantada e maior produtor de caju e castanha do Piauí. Entretanto, enquanto a monocultura praticada nos cerrados continuou o seu processo de expansão, a cajucultura empresarial no semiárido entrou em declínio, e a agricultura familiar assumiu o protagonismo no desenvolvimento dos pomares de caju.

Já na década de 2000 o poder executivo passa a adotar a perspectiva do desenvolvimento territorial como horizonte para a elaboração de instrumentos e propostas de planejamento. O estado do Piauí propõe uma nova divisão territorial para o planejamento das ações do Estado, e assim, o “Projeto Cenários Regionais do Piauí”, elaborado pelo governo do estado do Piauí em 2003, como uma proposta de planejamento para o desenvolvimento sustentável, e o Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba (PLANAP), elaborado pela CODEVASF servem de base para a formalização da política de Territórios de Desenvolvimento.

A cajucultura foi uma das atividades apontadas no plano de desenvolvimento territorial como essenciais para o desenvolvimento do Território do Vale do rio Guaribas (CODEVASF, 2006) e a estratégia de recuperação adotada pautou-se no fortalecimento da agricultura familiar pelo apoio ao cooperativismo visando a recuperação das cooperativas singulares para o beneficiamento de castanha e a instalação da Central de Cooperativas dos Cajucultores do Estado do Piauí (COCAJUPI) para venda centralizada dos produtos com marca única e com a participação no comércio solidário (Silva, 2011).

De outra forma, algumas ações desencadeadas nos órgãos fundiários como o Programa de Crédito Fundiário (PCF), o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e o Instituto de Terras do Estado do Piauí, a partir das mobilizações das populações do campo e com o apoio de diversas instituições locais e regionais resultaram no aproveitamento de diversos imóveis deixados ociosos pelos grandes empreendimentos da cajucultura e contribuíram para incorporação de outros ao processo produtivo até então subutilizados.

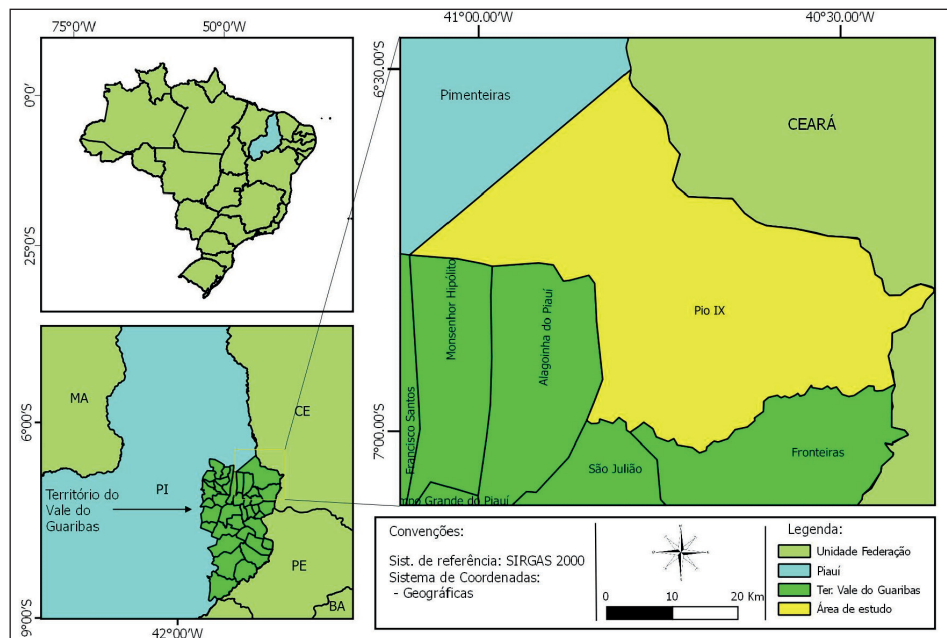
Assim, é na perspectiva das questões apresentadas que o presente trabalho visa analisar alguns fatores que tem contribuído para as transformações territoriais no Semiárido, tomando como base a expansão agrícola da cajucultura para o município de Pio IX, situado no Estado do Piauí. Analisa-se ainda alguns pontos das propostas de desenvolvimento elaboradas com a perspectiva da sustentabilidade territorial, utilizando para tanto dados de entrevistas, observações de campo, pesquisa bibliográfica e dados de instituições públicas.

A área de estudo

O município de Pio IX compreende uma área de 1.988,38 km² e localiza-se no Aglomerado 26 do Território do Vale do Rio Guaribas (Mapa 1), considerando a divisão em territórios de desenvolvimento proposta pelo Governo do Estado do Piauí (CODEVASF, 2006)

Tem como limites os seguintes municípios: ao norte, Pimenteiras, Parambu (CE) e Aiuaba (CE); ao sul, Fronteiras e São Julião; ao leste, Campos Sales (CE); e a oeste, Alagoinha do Piauí, Monsenhor Hipólito e Francisco Santos.

Mapa 1. Localização do município de Pio IX – PI (área de estudo).



Fonte: elaborado pelos autores a partir de dados do sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A sede municipal possui a coordenada geográfica de $06^{\circ}50'15''$ de latitude sul e $40^{\circ}34'45''$ de longitude oeste de Greenwich. Situa-se a uma altitude de 495 metros acima do nível do mar e dista 432 km de Teresina, capital do Piauí (CPRM, 2004). Segundo dados do Censo 2010, o município possui 6.798 domicílios e uma população total é de 17.693 habitantes, sendo 5.290 residentes na zona urbana e 12.403 na zona rural.

O clima é do tipo tropical semiárido quente e seco, com temperaturas que variam de 18°C a 36°C e precipitação pluviométrica anual em torno de 700 mm. As chuvas são irregulares e concentradas no período de janeiro a abril, geralmente intercalada com períodos de veranicos (CPRM, 2004).

O município está inserido no bioma Caatinga, com a presença de dois tipos de vegetação associadas aos dois domínios fisionômicos distintos, inclusive bem diferenciados pela população local: a caatinga hipoxerófila associada as áreas de planalto (chamadas de “serras” pela população local) com altitudes, geralmente, superiores a 550 metros, caracterizada

pela topografia plana a suave ondulada com o predomínio de Latossolos Amarelos associados à Neossolos Quartzarênicos; a caatinga hiperxerófila associada as áreas de “sertão” (denominação popular local) caracterizadas pela presença de relevo movimentado, de superfícies onduladas entrecortadas pela rede de drenagem e fundos de vale, com o predomínio de Neossolos Litólicos e Argissolos Vermelho Amarelos.

De acordo com as entrevistas históricas realizadas na pesquisa de campo, as áreas de planalto ocupadas foram ocupadas à partir da década de 1970 e há absoluto predomínio dos plantios de cajueiro, mas o cultivo de mandioca e do feijão caupi também são importantes, sendo comuns o consórcio entre as três culturas. A apicultura também aparece com atividade de destaque. Ainda de acordo com as informações coletadas em entrevistas, no “sertão” a pecuária é a atividade mais importante, com o destaque para a criação de ovinos, bovinos, suínos e aves, além do cultivo de milho, como atividade de suporte para a pecuária.

As dimensões do desenvolvimento territorial

Nos últimos anos tem sido comum a utilização da “abordagem” territorial para elaboração de estudos, diagnósticos e planos de desenvolvimentos, seja numa escala nacional, regional ou local, principalmente pelos órgãos estatais coordenados pelo poder executivo federal. Entretanto, para além de modificar as abordagens na formulação dos diversos programas de desenvolvimento rural, é preciso sobretudo expandir o modo de pensar, de analisar e de por em práticas as ações obedecendo os princípios sustentados por essa nova perspectiva.

Assim, [Fernandes \(2008\)](#) destaca que as primeiras publicações com a idéia de desenvolvimento territorial no Brasil começaram na década de 1990, mas a noção de território apenas como espaço físico, como geralmente tem sido feita nos estudos tradicionais, é insuficiente para se pensar o desenvolvimento territorial.

De acordo com [Raffestin \(1993, p. 153\)](#), o território tem amplas vinculações com o espaço, mas são conceitos diferentes. Assim, o território se forma a partir do empoderamento sobre o espaço, tanto do ponto de vista concreto como abstrato. O território circunscreve o espaço delimitado por um campo de poder e suas relações, ou seja, “exprime a relação que um grupo mantém com uma porção do espaço”, mesmo que seus limites não sejam materializados fisicamente.

Nesse sentido, Flores e Medeiros (2013), completam que o desenvolvimento como enfoque territorial pressupõe que o território não é apenas um conjunto de fatores físicos e de potencialidades, mas sua constituição abrange fatores imateriais que o configura como uma construção temporal a partir das identidades dos atores, onde a interação homem-espaco gera territorialidades, configurando territórios.

Segundo Saquet (2008), a formação do território se dá pela relação espaço-tempo e seus diversos processos históricos e relacionais, seus fluxos materiais e imateriais, relações de poder, diferenças correlatas e unidades comuns, das identidades do ser humano como ser social e natural, além de suas atividades produtivas. A territorialização é o movimento histórico e relacional resultante dos processos sociais e espaciais que ocorrem dentro e fora do território. Dessa forma, as relações econômicas, políticas e culturais, tanto internas quanto as externas as quais estão relacionadas definem o território.

Na visão de Andrade (1994), o território é gerado e ao mesmo tempo dependente da consciência das pessoas sobre sua participação e dos laços de cooperação, que formariam o sentimento de territorialidade. Ainda segundo o autor, territorialidade seria tanto o que se encontra no território e é influenciado por sua gestão quanto os processos subjetivos de pertencimento das pessoas ao território.

De acordo com Alves (2008), na abordagem territorial torna-se importante o conhecimento de dois modelos de desenvolvimento: o endógeno e o exógeno. No desenvolvimento exógeno a introdução da tecnologia se dá por importação de modelos ou implantação de tecnologias novas. Já o desenvolvimento endógeno abarca as práticas referentes ao enfoque territorial, que remete as empresas e iniciativas da região, e implica na participação dos atores locais em todo o processo, identificando as potencialidades e limitações da região em questão e influenciando diretamente nas decisões de desenvolvimento.

Para Wanderley (2011), o enfoque do desenvolvimento rural territorial e sustentável reafirma a existência do espaço rural como específico, com suas particularidades econômicas, sociais, políticas e culturais, e é compreendido como o desenvolvimento das qualidades específicas do rural, onde predominam as relações de proximidade e interconhecimento, e a visão dos habitantes das áreas rurais como sujeitos de direito, onde a cidadania supõe o acesso a bens e serviços já disponíveis para ao restante da sociedade.

A concentração fundiária resultante do processo de colonização e agravada por problemas estruturais e pelas grandes secas, tem sido apresentada sistematicamente como um dos principais entraves para o desenvolvimento sustentável do Semiárido e do bioma Caatinga. Dessa forma, [Silva \(2008\)](#) defende que a democratização do acesso à terra, por meio de uma reforma agrária democrática e sustentável, alinhada com os princípios da convivência com a semiaridez, é uma das mais importantes diretrizes para o desenvolvimento sustentável do Semiárido brasileiro.

[Abramovay \(1999\)](#) afirma que o acesso à terra é uma das condições básicas para a inserção social, para o aumento das oportunidades de melhoria de vida, mas que só faz sentido se for acompanhado do acesso a um conjunto de condições que alterem o ambiente institucional local e regional e permitam a revelação dos potenciais com que cada território pode participar do processo de desenvolvimento.

Para [Morin \(2013\)](#), a revitalização das zonas rurais como forma de inverter os fluxos migratórios, encorajar os êxodos urbanos, como uma via fundada no direito à terra dos agricultores sem-terra, tomando como exemplo o caso específico da reforma agrária poderiam ter evitado, em parte, as migrações do Nordeste do Brasil para São Paulo. Entretanto, dado o conservadorismo da formação da nossa sociedade e do Estado brasileiro a implementação da reforma agrária não tem sido um ponto de convergência entre os diversos setores que interagem no rural brasileiro, que tem sido marcado por conflitos da natureza agrária.

De acordo com [Fernandes \(2008\)](#), a relação conflituosa nasce na contradição existente entre a estrutura do sistema capitalista, que produz a concentração de riquezas e a expansão da pobreza e miséria, e o paradoxo do movimento da questão agrária, que destrói, cria e recria relações sociais simultâneas entre capitalismo e campesinato. E nesse sentido, as lutas e disputas pela terra assumem um papel fundamental para reconfiguração do espaço agrário e no território.

Entretanto, [Andrade \(1994\)](#) alerta que os conflitos entre grupos politicamente dominantes e grupos vulneráveis, ao mesmo tempo que expandem o território e consolidam novas territorialidades, ocorre a desterritorialidade dos grupos prejudicados, geralmente de forma violenta como no caso dos choques das diferentes concepções de uso da terra entre os que a enxergam como mercadoria e os se importam com o valor de

uso. Dado as constantes disputas de jogo de interesses a da capacidade de imposição dos grupos mais fortes, tanto a categoria território como territorialidade devem ser encaradas como transitórias, já que tudo se acha em constante transformação no tempo e no espaço.

Nessa mesma linha, [Roos \(2009\)](#) afirma que é a partir da luta de classes que o território é transformado e essa transformação reflete na transformação regional, já que a região assim como o próprio território é uma construção social e, portanto, modificável pela ação dos sujeitos na sua relação com o ambiente, mas principalmente que esses sujeitos mantêm entre si. Para [Roos \(2009\)](#), embora os camponeses se organizassem desde um passado distante, é a partir da década de 1980, ao adotarem como principal forma de lutas as ocupações de terra e acampamentos nos latifúndios, que se inicia a principal forma de pressionar o Estado a resolver o problema da posse da terra e a efetivação da reforma agrária.

Do ponto de vista do poder, a sustentabilidade implica o avanço dos processos de gestão participativa que modifique as estruturas dominantes e excludentes do poder político e econômico ([Silva, 2008](#)). E para [Roos \(2009\)](#), após a conquista da terra, a luta camponesa não perde sua organização, pois continua dotada de grande conteúdo político entre assentados, que agora passam a se preocupar com a sua reprodução na terra enquanto assentados, o que tem sido luta dos pequenos agricultores frente à ordem expropriatória do sistema capitalista.

[Abramovay \(2003\)](#) tem destacado em seus estudos a noção de capital social como de fundamental importância para o desenvolvimento territorial. Para esse autor, mais importante que vantagens competitivas advindas da potencialidades naturais, de localização ou setoriais, são as relações sociais diretas entre atores, capaz de enriquecer o tecido social de um determinado local, e que permite esses atores se articular e potencializar a utilização do conjunto do ambiente no território, e de convertê-lo numa base para empreendimentos inovadores, e que caracterizam a dimensão territorial do desenvolvimento.

Assim, como observado nas discussões anteriores, a abordagem do desenvolvimento territorial se contrapõe a outras interpretações e apropriações do termo de sustentabilidade, tal qual é apropriado pela corrente econômica neoclássica, que reduz a sustentabilidade à questão da eficiência econômica e trata a solução dos problemas no território como a uma mera questão técnica.

Metodologia

A metodologia para construção da presente análise levou em conta dados de pesquisa bibliográfica, dados de pesquisas junto ao IBGE, ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), bem como dados preliminares do reconhecimento de paisagem e de entrevistas para o levantamento do histórico da cajucultura no Semiárido piauiense e Diagnóstico dos Sistemas Agrários em pesquisa de mestrado realizada junto a Universidade Federal do Piauí.

A metodologia para realização das entrevistas históricas seguiu as recomendações de [Richardson \(1999\)](#) e a amostragem para definição das entrevistas seguiu o método não probalístico descrito por [Sampieri, Collado e Lúcio \(2013\)](#) para as pesquisas qualitativas. Foram aproveitadas as informações de 05 entrevistas do universo de 55 realizadas.

Para compreensão da dinâmica espacial da cajucultura no município no período de compreendido entre 1985 e 2016 foram realizados 2 mapeamentos de uso e cobertura da terra a partir da classificação de imagens de satélite do Landsat 5 (junho e julho de 1985) e Landsat 8 (agosto de 2016), utilizando-se os mosaicos das cenas órbita/ponto 217/065 e 218/065 (USGS, 1985, 2016). Para o processamento digital de imagens, classificação de imagens e geração de dados temáticos, análise espacial dos dados e produção de mapas temáticos foram utilizados os programas SPRING e QGIS 2.18.24.

Como as imagens do Landsat 8 OLI tem uma resolução radiométrica de 12 bits, diferente das imagens do Landsat 5 TM (8 bits), o que confere a primeira uma maior possibilidade de caracterização dos alvos, foram adotados procedimentos diferenciados para tratamento, segmentação e classificação das imagens.

No tratamento das imagens do Landsat 5 TM foram realizadas as etapas de pré-processamento, segmentação e classificação. O pré-processamento, que consiste na correção e preparação das imagens, foi realizado pelo processo de normalização radiométrica, através do método de uniformização das médias e variâncias, conforme metodologia descrita por [Santos, Peluzio e Saito \(2010\)](#). No caso do Landsat 8 OLI as cenas foram segmentadas e classificadas em separado e a fusão das imagens temáticas foi realizada em fase posterior, ou seja, após classificação e validação por meio de edição matricial.

A classificação das imagens foi realizada utilizando-se o método de classificação supervisionada por crescimento de região através do algoritmo de Bhattacharya no SPRING com a diferenciação do uso de bandas para os diferentes produtos dos sensores no processo de segmentação e com limiar de aceitação de 99 %.

O mapa de relevo que deu suporte a algumas análises foi gerado a partir da sobreposição de uma imagem com classificação de declividade e uma imagem com relevo sombreado, ambas elaboradas com base em dados do Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, resolução de 30 metros (USGS, 2014). Os intervalos para geração das classes de declividade foram construídos de acordo com a classificação de relevo da Embrapa (EMBRAPA, 1979).

Resultados e discussões

A interface da cajucultura com os assentamentos de reforma agrária

Para melhor compreensão das mudanças que ocorrem no território faz-se importante também compreender os processos históricos que acontecem numa escala local, levando em conta, entretanto, o contexto dos processos históricos mais gerais que contribuem para a definição das diretrizes das políticas nacionais.

Em balanço sobre os estudos rurais no Brasil, Wanderley (2011) divide didaticamente a história política vinculada ao meio rural em dois subperíodos: o primeiro, que corresponde ao governos militares (1964 – 1985), marcado pelo grande apoio do Estado à modernização conservadora da agricultura e à expansão capitalista da fronteira econômica versus a repressão aos movimentos sociais e bloqueio da reforma agrária; e o segundo que se confunde com a redemocratização, após 1985, que favoreceu a consolidação dos movimentos sociais e o debate democrático, bem como a emergência de uma pluralidade de sujeitos de direito que reclamam o seu reconhecimento da sociedade brasileira, fortalecidos ainda mais após a constituição de 1988.

Na década de 1970 inicia-se a implantação dos cultivos de cajueiro no Semiárido piauiense através de duas estratégias distintas. A primeira estratégia foi marcada pelo incentivo aos pequenos produtores por meio da rede de assistência técnica oficial e a oferta de crédito. Já no caso dos

grandes produtores, o fomento se deu por meio de subsídios e incentivos fiscais obtidos junto a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), por meio do Fundo de Investimento do Nordeste e Financiamento (FINOR), e de incentivos ao reflorestamento junto ao extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF).

De acordo com as entrevistas históricas, no município de Pio IX, a cajucultura passa a ocupar as áreas de chapada (“serras”) no planalto da Serra Grande. Os pequenos produtores começam a implantar seus pomares no início da década de 1970 em localidades situada em Datas⁵ demarcadas e julgadas pelo poder judiciário, a exemplo das Datas Tamanduá e Povoação (Alencar, 2018, informação verbal⁶; Bezerra, A.V., 2017, informação verbal⁷).

Já os grandes projetos de cajucultura empresarial começam a ser implantados no final da década de 1970 e ocupam uma região de grande concentração fundiária localizadas em Datas não demarcadas, com registros de terras irregulares, a exemplo da Data Cova Donga, cujas irregularidades foram diagnosticadas em processos de comprovação de dados cadastrais junto ao INCRA (INCRA, 1995a, 1995b). A conformação da estrutura fundiária local é determinante para a localização inicial dos diversos segmentos produtivos da cajucultura: os grandes empreendimentos empresariais nos grandes imóveis rurais das Datas não demarcadas e os agricultores familiares nos pequenos imóveis originados das demarcações judiciais e subdivisões por herança.

Wanderley (2011), resume dessa forma a política de incentivos fiscais:

A política de incentivos fiscais visava ao desenvolvimento da atividade produtiva em áreas escolhidas, especialmente no Nordeste e na Amazônia. Com seu apoio, pessoas jurídicas de todo o país, eram autorizadas a aplicar parte do seu imposto devido em projetos que fossem considerados de interesse para o desenvolvimento regional. Na verdade, pela ótica dos objetivos declarados, os pífios resultados obtidos com essa política não

5 Datas de Sesmarias ou simplesmente Datas referem-se as concessões de “terras incultas” (do ponto de vista do colonizador) dadas pela coroa portuguesa ou por autoridade revestidas de tal poder a quem se dispusesse em cultivá-las. Eram extensos domínios territoriais concedidas a um único sesmeiro que podiam receber mais de uma sesmaria.

6 Alencar, A. A. De. (2017). *Audomi Antão de Alencar: entrevista* [mar. 2017]. Entrevistador: Paulo Gustavo de Alencar. Pio IX: UFPI/PRODEMA. 1 arquivo.mp3 (36 min.).

7 Bezerra, A. V. (2017). *Antonio Valdenor Bezerra. entrevista* [mar. 2017]. Entrevistador: Paulo Gustavo de Alencar. Pio IX: UFPI/PRODEMA. 2 arquivos.mp3 (62 min.).

justificam em nada os vultuosos recursos públicos canalizados para atrair grandes empresas para essas regiões (p. 39).

Assim, a implantação dos grandes empreendimentos da cajucultura, baseados no latifúndio e na empresa capitalista, caracterizam as ações de apoio do estado ao projeto político de modernização conservadora, e o abandono de grande parte desses empreendimentos, conforme se constata-se ao longo do presente artigo, confirmam a pertinência da crítica da autora citada.

A implantação dos grandes empreendimentos da cajucultura empresarial deu início a migrações de trabalhadores os quais se vinculavam, principalmente, como trabalhadores assalariados, morando em agrovilas, como no caso da Fazenda Planalto, ou em residências dispersas, como no caso da Fazenda Capisa e Fazenda São Luís, conforme verificou-se na pesquisa de campo.

Das entrevistas históricas extraiu-se que até a década de 1980 do século passado, a economia rural do municipal girava em torno da integração lavoura de algodão arbóreo – pecuária bovina, comum no semiárido nordestino, quando por problemas estruturais a cultura do algodão entrou em decadência (Almeida, 2017, informação verbal⁸). E embora não haja uma relação de casualidade entre o declínio da lavoura algodoeira com a expansão da cajucultura pela concorrência das áreas de produção, já que se adaptam a condições edáficas diferentes, a cajucultura assumiu a lacuna deixada pela lavoura algodoeira no plano socioeconômico (Souto, 2017, informação verbal⁹; Almeida, 2017, informação verbal¹⁰).

Interessam aqui duas questões de natureza local que são definidoras de uma importante interface entre os projetos de assentamento com o arranjo produtivo do caju. A primeira é que a grande concentração fundiária no planalto da Serra Grande, também foco da implantação de grandes projetos e da existência de terras como mera reserva de valor nas Datas não demarcadas, motivam inicialmente a disputa dos movimentos sociais do campo por terra nessa região.

8 Almeida, J. J. (2017). *José Joaquim de Almeida: entrevista* [mar. 2017]. Entrevistador: Paulo Gustavo de Alencar. Pio IX: UFPI/PRODEMA. 1 arquivo.mp3 (1h 20min.).

9 Souto, J. C. (2017). *José Cavalcante Souto: entrevista* [mar. 2017]. Entrevistador: Paulo Gustavo de Alencar. Jaicós: UFPI/PRODEMA. 2 arquivos.mp3 (58 min.).

10 Almeida, J. J. (2017). *José Joaquim de Almeida: entrevista* [mar. 2017]. Entrevistador: Paulo Gustavo de Alencar. Pio IX: UFPI/PRODEMA. 1 arquivo.mp3 (1h 20min.).

A segunda, mas também de grande importância, é que a expectativa em torno da geração de renda por parte da cajucultura foi um dos fatores que contribuiu para a mobilização dos trabalhadores rurais sem terra da região para os projetos de assentamento nas áreas de planalto. A partir dos anos 1980, a cultura de cajueiro passou a ser explorada de forma mais incisiva pelos agricultores familiares com pequena produção, acarretando migração de famílias do “sertão” para a região de planalto, fomentada pelas expectativas econômicas da nova cultura e o declínio da cultura do algodão, praticada no “sertão”.

Os agricultores familiares absorveram parte da tecnologia de produção disseminada pelos grandes grupos empresariais e produzidas pela Embrapa, a exemplo do uso de variedades de cajueiro anão precoce, o plantio de mudas enxertadas e a substituição de copas. Assim, a atividade da cajucultura no âmbito familiar associada a implantação das agroindústrias locais de processamento de pedúnculo foi responsáveis pela dinamização da economia da região nos últimos 20 anos (Alencar, 2018).

Para Façanha (2016), os fluxos intensos de pessoas do Nordeste das décadas de 1960 e 1970 já não se repetiu na década de 1990, resultado de uma reorganização territorial com a construção de novas regiões que promoveu inovações nas dinâmicas urbanas e rurais, gerando novas relações sociais. Mesmo localizando-se na região semiárida, onde o êxodo rural é uma questão emblemática, observa-se que a população do município de Pio IX teve um aumento de 40,79% entre 1970 e 2010 (IBGE, 2016).

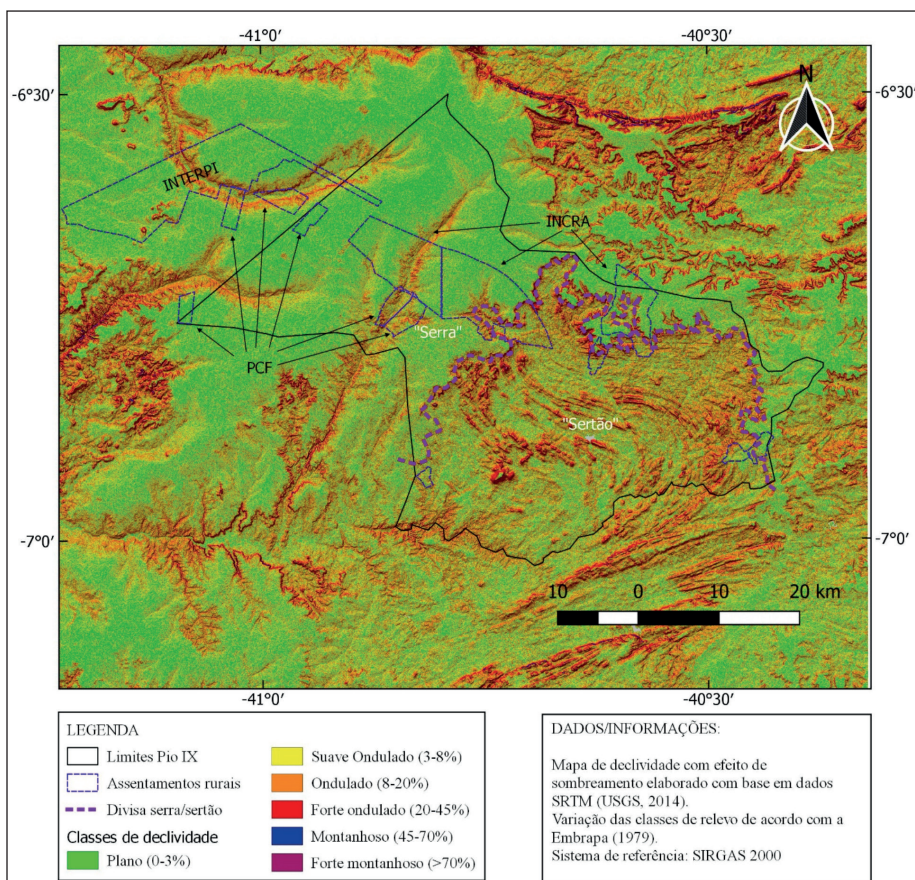
Nos últimos 18 anos, com a implantação de diversos projetos de assentamento da reforma agrária, as áreas de cajueiro anão-precoce foram ampliadas. Dos assentamentos criados no município de Pio IX, dez estão localizados nessa região de interface com a cajucultura (na “serra”), seja total ou parcialmente, e assim, contribuíram para a democratização do acesso à terra, modificando a paisagem, construindo e reconstruindo as relações políticas, sociais e ambientais.

O mapa 2 mostra o mapa de relevo construído a partir da sobreposição de imagem classificada com declividade com uma imagem de sombreamento com o objetivo de diferenciar as áreas de chapada, associadas a fitofisionomia de “serra” (planalto), da fitofisionomia de “sertão”. A partir dessa diferenciação do relevo e do gradiente de altitude perceptível pelo efeito tridimensional da sobreposição da imagem sombreada com a classificação de declividade é possível destacar as áreas de planalto das áreas

de menor altitude e com relevo movimentado (“sertão”), cuja delimitação aproximada foi representada pela linha roxa pontilhada.

São nessas áreas de “serra” onde localizam-se tanto as áreas da cajucultura quanto a maioria dos assentamentos do Programa Crédito Fundiário (PCF), do INCRA e do Instituto de Terras do Estado do Piauí (INTERPI) vinculados ao município de Pio IX (INCRA, 2016). Como bem representado na figura abaixo nem todos os assentamentos constantes oficialmente no município de Pio IX nos dados dos órgãos gestores de terras estão completamente contidos no polígono do município.

Mapa 2. Relevo do área de estudo e interface dos assentamentos de reforma agrária com as áreas de chapada.



Fonte: elaborado pelos autores com base em dados da SRTM (USGS, 2014) e EMBRAPA (1979).

Façanha (2016) explica que existem frações do território piauiense que participam do processos globais, são dotados de infra-estrutura técnica e logística que interligam os negócios rurais com o mundo urbano, o que torna as cidades pontos de referência para o rural, surgindo daí uma necessidade para um olhar mais complexo da relação campo – cidade.

Ainda que a cadeia produtiva do caju não possam ser comparadas com a inserção no mercado mundial da maioria das *commodities*, parte dos seus produtos tem como destino principal o mercado internacional, a exemplo da amêndoa do caju, que tem na exportação para o mercado externo o destino de 90% da sua produção (FBB, 2010). Assim, essa região da cajucultura pode ser considerada como participe desses processo globais e umas das beneficiárias desse processo de globalização explicado por Façanha (2016).

Outros produtos como o suco de caju tem como mercado outros estados do Nordeste, e a cajuína tem Picos e Teresina como mercados principais, também proporcionando uma inserção nos mercados regionais. Dessa forma, a entrada dessa atividade no região tem contribuído para geração de renda, fixação do homem no campo, e em conjunto com as novas relações sociais criadas, tem influenciado na dinâmica populacional do território.

O contexto fundiário e as lutas camponesas

No contexto da estrutura fundiária, Pio IX destoa dos demais municípios do Aglomerado 26 do Território Vale do Rio Guaribas, geralmente caracterizados pela inexistência de grandes latifúndios. De acordo com dados do Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR) do INCRA (INCRA, 2011), até o ano de 2011 existiam 22 grandes propriedades que somavam uma área 115.078,4501 hectares, representando 7,70 % dos imóveis cadastrados e que ocupavam 43,02% da área total cadastrada no município. Já os minifúndios eram representados por 2.265 imóveis (79,30 %) e ocupavam uma área de 58.065,7205 hectares (21,70 %).

Assim, para esse município, as ações de reforma agrária assumem uma importância fundamental para o desenvolvimento territorial e sustentável, eis que grandes porções das terras do planalto da Serra Grande, estão concentradas em grandes propriedades rurais, notadamente nas Datas Cova Donga e Condado.

Os grandes imóveis dessas duas Datas foram originaram de registros irregulares de terras ocorridos em meados do século passado, facilitados pelo relações de “compadrio” entre o coronelismo e o judiciário local, corroborando com a afirmação de Wanderley (2011, p. 64) de que grande parcela das grandes propriedades no Brasil foram apropriadas de forma ilegal, através de um processo fraudulento comumente chamado de “grilagem de terras”. Em muitas dessas terras, a exemplo da Fazenda Esplanada, da empresa CIONE, e da Fazenda Sítios Novos, do Grupo Ernani Viana, foram implantados grandes projetos de caju, a maioria desativados após a redução dos incentivos fiscais ou pela falência dos empreendimentos.

Embora, sempre tenham sido noticiados conflitos de terras nessa vasta região, esses parecem ter sido abrandados de certa forma pelo desinteresse inicial da população local pelas terras de planalto. Esse desinteresse permaneceu até a década de 1980, quando se iniciou o processo de organização de movimentos de camponeses e a luta pela terra, com a formação do Sindicato de Trabalhadores Rurais apoiados pela Comissão Pastoral da Terra, padres e missionários da Igreja Católica. Aliás, a história das lutas no campo no Estado do Piauí tem importante capítulo nesse município onde ocorreram diversas discussões sobre a questão agrária, formando-se lideranças e a organização de trabalhadores rurais vinculados ao Sindicato de Trabalhadores Rurais, sempre apoiado pela Igreja Católica (Borges, 2017, informação verbal¹¹).

A aquisição de grandes porções de terras pelas empresas vinculadas a atividade da cajucultura geraram conflitos entre posseiros e empresas, como no caso da Fazenda Baixão da Extrema adquirida pela Companhia de Óleos do Nordeste (CIONE), cuja solução foi mediada por acordo e resultou na destinação do citado imóvel pela empresa CIONE aos posseiros históricos (INCRA, 2000a).

As mobilizações em torno desses conflitos desembocaram na realização da primeira romaria da terra da Diocese de Picos ocorrida na região de Cova Donga (margem da BR-020), no ano de 1983, que teve participação de todas as dioceses do Estado do Piauí. O evento ficou marcado como a primeira romaria da terra estadual, e a escolha do local não foi aleatória, contestavam a implantação dos megaprojetos de

11 Borges, G. F. (2017). *Gregório Francisco Borges: entrevista* [mar. 2017]. Entrevistador: Paulo Gustavo de Alencar. Teresina: UFPI/PRODEMA. 1 arquivo.mp3 (21 min.).

cajucultura e a expulsão de posseiros para a margem da BR-020 (Borges, 2017, informação verbal¹²).

O Sindicato de Trabalhadores Rurais continuou suas ações iniciais voltadas para defesas judiciais da posse de terra dos pequenos posseiros, abertura de processos de desapropriação de grandes latifúndios. Na década seguinte, a luta pela terra foi se arrefecendo, principalmente após a saída de religiosos e missionários que assessoravam no processo de organização. O primeiro assentamento veio a ser criado no ano de 2002, como objeto de negociação através do Programa Crédito Fundiário.

Na década de 2000 dois conflitos de terra originaram a formação de acampamentos como estratégia para pressionar o poder público a efetivar ações de reforma agrária que tiveram importância fundamental para reconfiguração do espaço agrário regional. Ambos foram vinculados aos Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem-Terra (MST), mas que tiveram apoio do Sindicato de Trabalhadores Rurais de Pio IX, da Comissão Pastoral da Terra, além de lideranças locais.

Foram palcos de acirradas disputas, resultando na desapropriação do imóvel São Luís, com área superior a 9 mil hectares (INCRA, 2002) e a arrecadação do imóvel Ponta da Serra, com área superior a 17 mil hectares (INCRA, 2000b, 2000c). Ambos resultaram na instalação de assentamentos rurais de reforma agrária, o primeiro sob jurisdição do INCRA e o segundo sob jurisdição do governo do estado do Piauí.

No caso da área arrecadada, embora seu processo de arrecadação tenha sido conduzido pelo governo do estado por questões de competência legal, não houve ação proativa desse ente. A proposta de transferência do imóvel partiu da empresa proprietária como alternativa para “se livrar do acampamento” e obter como compensação a regularização de outro imóvel com registro de terra também de reconhecida origem irregular (INCRA, 2000b, 2000c).

O acordo firmado pelo governo do estado com autorização da Assembleia Legislativa foi um marco nos processos de arrecadação de terras do Estado do Piauí, já que foi o primeiro que ocorreu dessa forma. No acordo, foram reconhecidos pelo poder público as regularidades dos registros das terras do imóvel Sítio Novo, com 24 mil hectares, enquanto o

12 Borges, G. F. (2017). *Gregório Francisco Borges: entrevista* [mar. 2017]. Entrevistador: Paulo Gustavo de Alencar. Teresina: UFPI/PRODEMA. 1 arquivo.mp3 (21 min.).

estado recebeu em troca o imóvel Ponta da Serra, com área registrada de 26 mil hectares (INTERPI, 2006).

A crise na cajucultura empresarial também contribuiu para a saída de empresas do município, para a regressão dos monocultivos de caju, bem como ajudou a diminuir as tensões em algumas aquisições de terra e, conseqüentemente facilitou a destinação de terras de grandes projetos empresariais para a reforma agrária no território.

Ainda na década de 2000, alguns imóveis ociosos foram negociadas por agricultores sem-terra com auxílio do Programa de Crédito Fundiário (a exemplo dos assentamentos Santa Fé e Nova Esperança). Assim, somando-se os assentamentos rurais do PCF com os assentamentos rurais instalados nos imóveis desapropriados para fins de reforma agrária pelo Governo Federal e o imóvel arrecadado pelo Governo do Estado, foi possível assentar centenas de trabalhadores rurais sem terra da zona urbana e da zona rural, agricultores sem-terra de outras regiões, posseiros, rendeiros e parceiros, além de trabalhadores rurais desempregados dos grandes projetos de caju em decadência (DEEPASK, 2012; INCRA, 2016).

Nesse sentido, no período de 2002 a 2011 foram criados em Pio IX 14 projetos de assentamento de reforma agrária, sendo 10 vinculados ao Programa Crédito Fundiário, 03 ao INCRA (com 06 núcleos distintos) e 01 ao INTERPI (DEEPASK, 2012; INCRA, 2016).

Eles nascem de contextos específicos que envolvem negociações, conflitos e lutas, enfrentados por organizações sociais distintas, com envolvimento e apoio de movimentos sociais e atores diversos como o Sindicato de Trabalhadores e Trabalhadores Rurais de Pio IX, Comissão Pastoral da Terra – CPT e Igreja Católica (paróquia de Pio IX e diocese de Picos), Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra - MST, Federação dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais na Agricultura do Piauí - FETA-G-PI, lideranças políticas, e associações locais.

Para Roos (2009) a luta pela terra e a criação de assentamentos é característica marcante no processo de transformação regional e reconfiguração territorial, pois ocorre um redesenho da paisagem, uma redefinição econômica no nível de produção e da circulação das mercadorias, principalmente no nível local, já que a produção nos assentamentos é maior que no antigo latifúndio. Nesse sentido a criação dos assentamentos não interfere somente na reconfiguração fundiária e econômica do território,

eles modificam além dos aspectos produtivos, constroem novas relações sociais, políticas e ambientais, e dessa forma novas territorialidades.

O planejamento do desenvolvimento territorial

Entre os exemplos de uso da abordagem territorial constam a política de desenvolvimento territorial da Secretaria de Desenvolvimento Territorial (SDT) do Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA), criada na década de 2000, com a utilização dos “Territórios de Desenvolvimento” como ponto de partida para a implementação da política de desenvolvimento local.

Na elaboração do Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba (PLANAP), instrumento de planejamento para implementação de políticas públicas articuladas no âmbito da Bacia do Rio Parnaíba com foco na sustentabilidade, a noção de território também foi adotada. Nesse plano toma-se como base a proposta de regionalização do Governo do Estado do Piauí para o desenvolvimento sustentável denominada “Projeto Cenários Regionais do Piauí”, fundamentada na divisão do estado em Territórios de Desenvolvimento, a partir das indicações do Planos Territoriais da SDT do MDA (CODEVASF, 2006).

Embora a proposta tenha se fundamentado em variáveis ambientais, sociais, econômicas e político-institucionais, ao estabelecer as divisões de macrorregiões e territórios baseada nas características físicas, nas potencialidades de produção e a dinâmica de desenvolvimento (CODEVASF, 2006), pelas próprias contradições do Estado, o viés de “sustentabilidade” tornou-se mero “figurante” nas ações estatais. Dessa forma, esse instrumento de planejamento tem sido mais utilizados para tomadas de decisão na alocação de investimentos do que propriamente para fomentar desenvolvimento territorial.

Assim, a maioria desses planos apontam para necessidade de reformas estruturantes, sobretudo no que diz respeito a reestruturação fundiária, mas que tem sido atrasadas ou negligenciadas pelo Estado, principalmente quanto trata-se do desenvolvimento sustentável do meio rural. As mudanças ocorridas na política de reforma agrária apontam para o contrário e, de acordo com dados do Sistema de Informações de Projetos de Reforma Agrária (SIPRA), o último assentamento criado no Território do Vale do Rio Guaribas se deu em 2011 (INCRA, 2016). Na realidade a questão

agrária e ambiental tem sido pouco consideradas na aplicação das políticas públicas para desenvolvimento sustentável do Semiárido.

Silva (2011) destaca que o programa para recuperação da cajucultura com foco no beneficiamento de castanha via cooperativismo foi fomentado a partir do planejamento programa estadual de desenvolvimento sustentável materializado nas discussões do projeto Territórios da Cidadania do Governo Federal, no qual foi definido o apoio as cadeias produtivas de maior relevância para cada região como uma estratégia de desenvolvimento rural sustentável.

O programa financiado pela Fundação Banco do Brasil e outras entidades consistiu em apoiar a instalação de cooperativas singulares nos municípios produtores de castanha bem como recuperar as existentes. Propõe também a criação da Central de Cooperativas dos Cajucultores do Estado do Piauí (COCAJUPI) para qualificar os processos de agroindustrialização e comercialização dos produtos (FBB, 2010).

Entretanto, como observado por Silva (2011), a fragilidade no elo entre as cooperativas singulares, a centralidade das decisões entre os dirigentes da cooperativa central e na passividade dos cooperados e desconsideração do protagonismo dos trabalhadores como estratégia fundamental para planejamento do desenvolvimento, são indicativos de limitação a participação dos agricultores nos processos de decisão.

Em que pese a assertividade da estratégia desenhada para o desenvolvimento da cajucultura piauiense, as informações colhidas em campo e nas revisões bibliográficas atestam que existiram falhas tanto de planejamento quanto de execução nas ações definidas, o que tem dificultado o atingimento dos objetivos. Embora tenham sido reestruturadas diversas cooperativas singulares, a maioria encontra-se paralisadas.

A adesão de apenas 450 produtores em todo o Estado do Piauí a comercialização de castanha via COCAJUPI, conforme informado pelo seu Presidente (Bezerra, 2017, informação verbal¹³), a dependência dos cajucultores em relação aos atravessadores na comercialização de castanha e do pedúnculo, conforme Quadros 6 e 11, demonstram que as ações adotadas ainda não foram suficientes para modificar o panorama de organização da cajucultura familiar na região de estudo.

13 Bezerra, J. B (2017). *Jocibel Belchior Bezerra: entrevista* [mar. 2017]. Entrevistador: Paulo Gustavo de Alencar. Monsenhor Hipólito: UFPI/PRODEMA. 1 arquivo.mp3 (45 min.).

Como foi observado pelo Presidente da COCAJUPI em entrevista, o principal problema das cooperativas singulares é de gestão, o que aponta para uma deficiência no assessoramento técnico na base produtiva. Das nove cooperativas singulares com minifábricas de beneficiamento de castanha instaladas no Estado do Piauí com apoio da Fundação Banco do Brasil, apenas três estão em funcionamento (Bezerra, J. B., 2017, informação verbal¹⁴).

Mesmo diante da importância da cajucultura para geração de trabalho e renda para o município, nas visitas à Secretaria Municipal de Desenvolvimento Rural e ao Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural do Piauí (EMATER/PI), constatou-se que não há profissionais disponíveis para assessoramento técnico aos cajucultores. Na realidade, como se observou ao longo da pesquisa de campo, as ações do governo do estado tem se resumido a distribuição de mudas do cajueiro anão-precoce para recuperação dos pomares.

Análise dos dados espaciais e estatísticos

O mapa 3 que apresenta o uso e cobertura do município de Pio IX no ano de 1985 reforça a interface das áreas de cultivo com cajueiro com a fitosionomia da “Serra”, caracterizadas pela localização no planalto (ver mapa 2), com vegetação de caatinga mais densa (categoria temática representada pelo verde escuro) e solos mais arenosos. Também se pode interpretar que os plantios de cajueiro estão concentrados em monocultivos, conforme observa-se na porção norte extremo oeste do município.

Analisando dados do Censo Agropecuário de 1985, Alencar (2018) constatou que naquele levantamento de dados a área colhida da cajucultura no município de Pio IX foi de 15.000 hectares distribuídos em 524 unidades produtivas. Embora nos dados daquele censo não constasse estratificação de área dos estabelecimentos vinculados a cajucultura, pelo mapeamento de uso e cobertura da terra deduz-se que a cajucultura era ainda dominada pelas grandes empresas, já que é possível observar a concentração dos pomares formando monocultivos. Pelos dados de campo, constatou-se que essas áreas extensivas concentradas na porção norte do município estão

14 Bezerra, J. B. (2017). *Jocibel Belchior Bezerra: entrevista* [mar. 2017]. Entrevistador: Paulo Gustavo de Alencar. Monsenhor Hipólito: UFPI/PRODEMA. 1 arquivo.mp3 (45 min.).

localizadas em grandes propriedades das Datas Cova Donga e Condado, vinculadas a empresas oriundas, sobretudo, do Estado do Ceará.

Os principais grupos empresariais instalados na região foram a Caucaia Industrial Ltda. (CAISA, atual grupo Ernani Viana) e a Companhia de Óleos do Nordeste (CIONE). O grupo CAISA chegou a implantados 21 mil hectares de cajueiro até o ano de 1991 (INCRA, 1995a) e o grupo CIONE implantou 19,8 mil hectares até meados da década de 1990 (INCRA, 1995b).

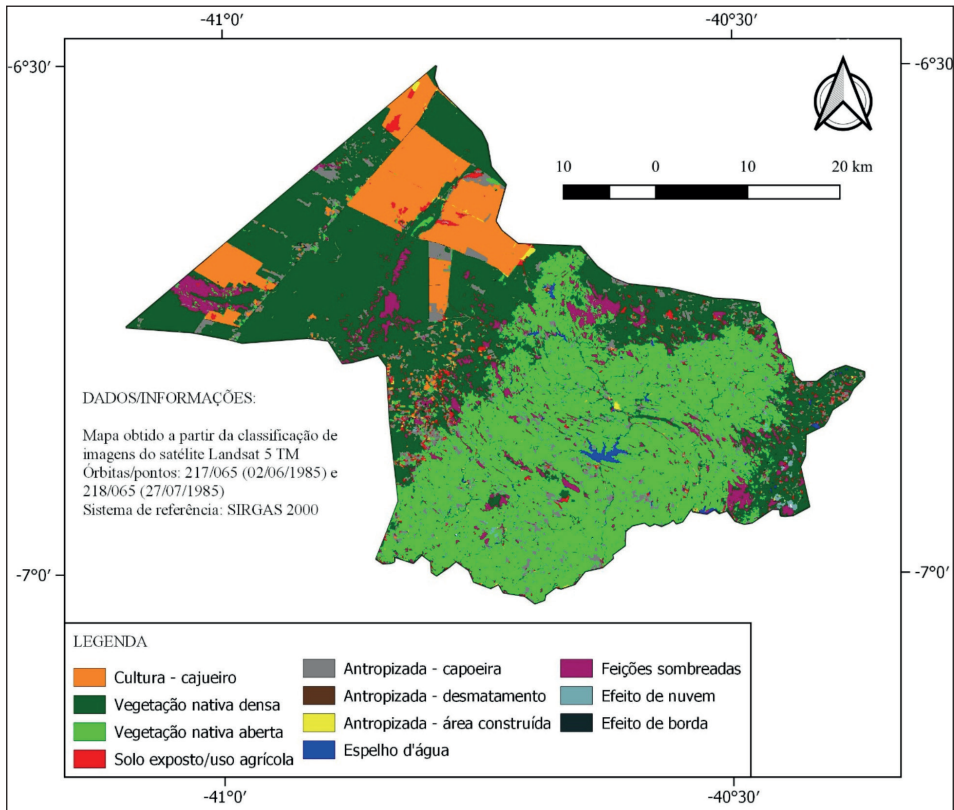
No ano de 1990, o município teve uma 46.827 hectares de área colhida de cajueiro, mas foi no ano de 1995 que atingiu o ápice, com uma área colhida de 64.570 hectares. Curiosamente, no ano seguinte, em 1996, houve uma queda brusca na área colhida, que passou para 8.697 hectares distribuídos em 803 unidades produtivas, refletindo a crise da cajucultura empresarial. Das 803 unidades produtivas, 732 vinculavam-se ao estrato de área inferior a 100 hectares (91%), o que representava a importante adesão dos agricultores familiares ao novo cultivo (Alencar, 2018).

Ainda com base no mapa 3 observa-se plantios de cajueiro dispersos na porção centro-oeste do município, que caracterizam o predomínio da cajucultura familiar, presentes sobretudo pelas nas pequenas propriedades rurais das Datas Tamanduá e Povoação.

O dados do Censo Agropecuário 2006 ao mesmo tempo que reforçam a adesão dos agricultores familiares ao cultivo do caju, já que 727 unidades produtivas, do total de 758 unidades, situavam-se no estrato de imóveis rurais abaixo de 100 hectares (95,91%). O envolvimento de unidades produtivas envolvidas com a colheita do pedúnculo (caju) passou de 19,92 % no Censo Agropecuário de 1995/1996 para 52,37% no Censo Agropecuário de 2006, o que reflete o aproveitamento do caju pela agroindústria recém instalada no local.

De qualquer forma ainda havia uma concentração da produção nos grandes monocultivos, pois 17.481 hectares (de um total de 20.540 hectares) estavam vinculados a imóveis com área superior a 1000 hectares. Por outro lado, 544 unidades estavam contidas no estrato de área inferior a 5 hectares, o que dá indicativos de má distribuição fundiária como um fator limitante para o desenvolvimento da atividade (Alencar, 2018).

Mapa 3. Mapa de uso e cobertura da terra do município de Pio IX do ano de 1985.



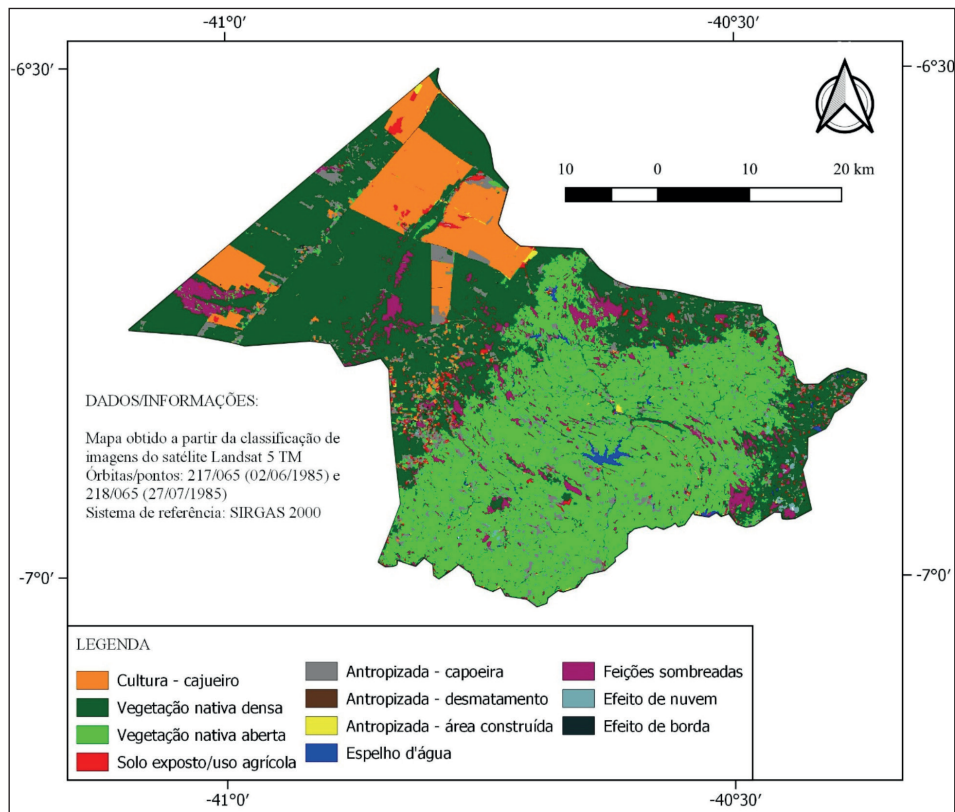
Fonte: elaboração dos autores com base em imagem do Landsat 5 fornecida pelo USGS/NASA (USGS, 1985).

O mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2016 (mapa 4) permite interpretar que há uma expansão da área da cajucultura familiar na região centro-oeste, dado o formato entrecortado dos polígonos dos pomares na região imediatamente inferior aos 4 assentamentos rurais mais centrais. Constata-se ainda que ocorreu a introdução da cajucultura nos assentamentos recém-criados entre 2002 e 2011 o que poder ser observado pela categoria temática “cultura – cajueiro” no interior dos 4 polígonos centrais de assentamentos rurais.

De acordo com Leite (1994), após a retirada dos incentivos fiscais e a concorrência da amêndoa de castanha de caju da Índia no mercado

internacional uma grave crise assolou a cajucultura empresarial na década de 1990. O mapa 4 caracteriza bem a retração das áreas de cajucultura extensivas das grandes empresas pelo abandono de seus pomares e surgimento da categoria temática “antropizada capoeira” em locais anteriormente ocupados com monocultivos de cajeiro.

Mapa 4. Mapa de uso e cobertura da terra do município de Pio IX do ano de 2016.



Fonte: elaboração dos autores com base em imagem do Landsat 8 fornecida pelo USGS/NASA (USGS, 2016).

Comparando os mapas 3 e 4 extrai-se que foi a expansão da cajucultura que causou os maiores impactos sobre a Caatinga na área de estudo, notadamente nas áreas de planalto. Inicialmente, as áreas empresariais foram as responsáveis pelas retiradas de grandes porções florestais, mas a expansão da cajucultura familiar também favoreceu a fragmentação da

vegetação, principalmente na porção centro-oeste da imagem. A expansão da vegetação de caatinga aberta para as regiões de planalto também, como se observa no mapa 4, deve estar relacionada com a mortalidade da vegetação nativa ocasionada pelo longo período de estiagem que assolou a região no período de 2011 a 2016.

No ano de 2015 a área colhida sofreu uma redução para 18.487 hectares, o que pode estar relacionado também com o longo período de estiagem que assolou a região. Já no Censo Agropecuário de 2017 observa-se um ligeira recuperação da área colhida que é de 22.918 hectares, mas associada a apenas 650 unidades produtivas o que pode representar ainda os efeitos da estiagem prolongada (Alencar, 2018).

Considerações finais

A expansão da fronteira agrícola foi decisiva para as alterações no território do município em questão, que se caracterizam por diversos processos territorialização, desterritorialização e reterritorialização, seja pelo declínio de arranjos produtivos, como ocorreu com o binômio algodão – pecuária bovina, seja pela introdução da cajucultura.

Com a crise da cajucultura nordestina na década de 1990, a cajucultura empresarial também sofreu um processo de desterritorialização, e a cajucultura familiar em conjunto com a agroindústria de processamento de pedúnculo contribuíram para a revigoração da atividade na região, marcada pelo predomínio dos pequenos plantios de cajueiro anão-precoce e aproveitamento do caju (pedúnculo).

A expansão da cajucultura gerou a expropriação de posseiros, mas resultou também em negociações que desembocaram no reconhecimento de posses, além da geração de empregos diretos na fase inicial. As lutas e conflitos sociais marcaram as disputas e negociações pelas posses e os processos de aquisição de terras, originando os projetos de assentamentos, além de migrações e emigrações. Esses distintos processos tiveram influência tanto na modificação do espaço, quanto nas relações e organizações sociais, políticas e ambientais, algumas das quais ainda em plena construção e reconstrução, que marcam o caráter transitório do território e da territorialidade.

Os processos que apontam para a reconfiguração territorial são resultantes de pressões sociais e políticas que fortaleceram alguns atores locais, notadamente os agricultores familiares e pequenos empresários locais. Nas

últimas décadas forjou-se o surgimento de uma nova categoria, os assentados de reforma agrária, que emergiram junto aos novos espaços de reprodução, e organização político-social, os assentamentos rurais de reforma agrária, que por sua vez continuam a promover a reterritorialização.

Pelo que foi discutido até o presente, entende-se que há um capital social em formação a partir da criação dos diversos projetos de assentamentos rurais na região de estudo, da expansão da cajucultura familiar e das agroindústrias locais. Mas, a inexistência em nível local e regional de assessoria técnica que considere as novas relações sociais e suas dimensões territoriais, incluindo aqui a dimensão ambiental, contribui para dificultar a integração das comunidades e assentamentos rurais. Esse deveria ser o principal foco de atuação do poder público nas diversas escalas para contribuir com o desenvolvimento sustentável da região.

Em que pese a existência de diversos planos de desenvolvimento elaborados pelo poder público que consideram no seu arcabouço teórico a abordagem da territorialidade e da sustentabilidade, os entes estatais não agem proativamente. A paralisação das ações de reforma agrária e a desconsideração das ações de reestruturação fundiária para o desenvolvimento do Território do Vale do Guaribas mostram a falta de compromisso do estado com o desenvolvimento do Semiárido piauiense.

As ações do Governo do Estado, restritas e distribuição de mudas de apenas dois tipos de clones de cajueiro para a recuperação dos pomares, tem contribuído para homogeneidade das populações de cajueiro, o que demonstra falta de uma política integrada com base em desenvolvimento territorial, que considere, entre outras, a dimensão ambiental.

Referências

- Abramovay, R. (1999). Agricultura familiar e desenvolvimento territorial. *Revista da Associação Brasileira de Reforma Agrária*, 28 -29, 49-67.
- Abramovay, R. (2003). *O futuro da regiões rurais*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- Alves, A. F. (2008). Conhecimentos convencionais e sustentáveis: uma visão de redes interconectadas. *Desenvolvimento territorial e agroecologia*. São Paulo: Expressão Popular.

- Andrade, M. C. (1994). Territorialidades, desterritorialidades, novas territorialidades: os limites do poder nacional e do poder local. *Território: globalização e fragmentação*. São Paulo: Editora Hucitec.
- Alencar, P. G. (2018). *Cajucultura no Semiárido piauiense: sistemas agrícolas e dinâmica espacial*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí, Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Teresina.
- CODEVASF. (2006). *Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba*. Plano de ação para o desenvolvimento integrado da Bacia do Parnaíba. CODEVASF. Brasília: TDA Desenhos & Arte Ltda.
- CPRM. (2004). *Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de Pio IX*. Robério Bôto de Aguiar e José Roberto de Carvalho Gomes (Org.). Fortaleza: CPRM.
- DEEPASK. (2012). *Programa Nacional de Crédito Fundiário: Veja recursos investidos por cidade do Brasil - PIO IX, PI*. Crédito Fundiário. Gráficos com dados de Pio IX, PI. Recuperado de: <http://www.deepask.com/goes?page=pio-ix/PI-Programa-Nacional-de-Credito-Fundiario:-Veja-recursos-investidos-por-cidade-do-Brasil>.
- EMBRAPA. (1979). Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. SNLCS. Súmula da 10*. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS:
- Façanha, A. C. (2016). Ensaio sobre a agricultura familiar no território, no rural e nas políticas públicas. In: *Piauí, desenvolvimento territorial e escalas de abordagem*. Teresina: EDUFPI.
- Fernandes, B. M. (2008). Conflitualidade e Desenvolvimento Territorial. In: *Luta pela terra, reforma agrária e gestão de conflitos no Brasil*. Campinas, SP: Editora da Unicamp.
- Flores, S. S. e Medeiros, R. M. V. M. (2013). A dimensão territorial da sustentabilidade. In: *Estudos territoriais na ciência geográfica* (1 ed.) São Paulo: Outras Expressões.
- FBB. (2010). FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. Fruticultura – Caju: volume 4. *Desenvolvimento Regional Sustentável*. Série Cadernos de propostas para a atuação em cadeias produtivas. Brasília: Banco do Brasil/IICA.

- IBGE. (2016). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Banco de Dados Agregados – População*. Tabelas de novembro de 2016. Recuperado de: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=202&z=t&o=25&i=P>.
- INCRA. (1995a). Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Desapropriação por interesse social para fins de reforma agrária do imóvel rural Fazenda Sítio Novo, situada no município de Pio IX*. Processo nº 21680.001400/95-62. Documentos do processo. Teresina, PI: INCRA/SR-24/PI.
- INCRA. (1995b). Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Comprovação de dados cadastrais da Fazenda Esplanada, situada no município de Pio IX*. Processo nº 21680.000179/95-43. Documentos do processo. Teresina, PI: INCRA/SR-24/PI.
- INCRA. (2000a). Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Comprovação de dados cadastrais da Fazenda Baixão da Direita/ Data Cova Donga (Serra Nova), situada no município de Pio IX*. Processo nº 54380.000131/00-44. Documentos do processo. Teresina, PI: INCRA/SR-24/PI.
- INCRA. (2000b). Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Comprovação de dados cadastrais da Fazenda Ponta da Serra, situada no município de Pio IX*. Processo nº 54380.000160/00-42. Documentos do processo. Teresina, PI: INCRA/SR-24/PI.
- INCRA. (2000c). Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Comprovação de dados cadastrais da Fazenda Sítio Novo, situada no município de Pio IX*. Processo nº 54380.000172/00-21. Documentos do processo. Teresina, PI: INCRA/SR-24/PI.
- INCRA. (2002). Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Desapropriação por interesse social para fins de reforma agrária do imóvel rural Fazenda São Luís, situada no município de Pio IX*. Processo nº 54380.001373/2002-70. Documentos do processo. Teresina, PI: INCRA/SR-24/PI, 2002.
- INCRA. (2011). Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Situação jurídica dos imóveis rurais, por município no Estado do Piauí*. Estrutura_Fundiária_Nov_2011.xls (arquivo). INCRA. Sistema Nacional de Cadastro Rural – SNCR.

- INCRA. (2016). Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Relatório de Projetos de Reforma Agrária – Piauí*. INCRA. Sistema de Informações de Projetos de Reforma Agrária – SIPRA.
- INTERPI. (2006). Instituto de Terras do Estado do Piauí. INTERPI fecha acordo em Pio IX para assentar mais de mil famílias. Portal do Governo do Estado Piauí. Recuperado de: www.interpi.pi.gov.br/materia.php?id=80.
- Leite, L. A. de S. (1994). *A agroindústria de caju no Brasil: políticas públicas e transformações econômicas*. 176 f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas.
- Morin, E. (2013). *A via para o futuro da humanidade*. Carvalho, E. de A. e Bosco, M. P. (tradução). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Raffestin, C. (1993). Por uma geografia do poder. Tradução de Maria Cecília França. *Série Temas, v.29, Geografia e Política*. São Paulo: Editora Ática.
- Richardson, R. J. (1999). *Pesquisa social: métodos e técnicas* (3 ed).. São Paulo: Atlas.
- Roos, D. (2009). Territorialização da luta pela terra e transformações regionais. In: *Leituras do conceito de território e de processos espaciais*. Saquet, Marcos Aurélio e Souza, Edson Belo Clemente de (Organizadores). São Paulo: Expressão popular.
- Santos, A. R. dos, Peluzio, T.M. de O.; Saito, N. S. (2010). *SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas*. Alegre: F & M Gráfica.
- Sampieri, R.H.; Collado, C. F. e Lucio, M. del P. B. (2013). *Metodologia de Pesquisa*. Tradução de Daisy Vaz de Moraes (5. ed). Porto Alegre: Penso.
- Saquet, M. A. (2008). Por uma abordagem territorial. In: *Territórios e territorialidades: teorias, processos e conflitos*. São Paulo: Expressão Popular: UNESP.
- Silva, R. M. A. Da. (2008). *Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil.
- Silva, M. das M. E. (2011). *Associativismo: as cooperativas de caju em Picos, Piauí - COCAJUPI*. Dissertação (Mestrado em Serviço Social) - Universidade Federal do Pernambuco, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Picos.

- USGS. (1985). *United States Geological Survey*. Landsat 4-5 Mission . Recuperado de: <https://earthexplorer.usgs.gov/Landsat/LandsatCollection2Level-2/Landsat4-5TMC2L2>.
- USGS. (2014). *United States Geological Survey*. Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, . Recueprado de: <https://earthexplorer.usgs.gov/DigitalElevation/SRTM>.
- USGS. (2016). *United States Geological Survey*. Landsat 8 Mission, . Recuperado de: <https://earthexplorer.usgs.gov/Landsat/LandsatCollection2Level-2/Landsat8OLI/TIRSCL2>.
- Wanderley, M. de N. B. (2011). *Um saber necessário: os estudos rurais no Brasil*. Campinas, SP: Editora da Unicamp.



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, o a la MSc. Lilliam Quirós Arias (lquiros@una.cr) o la Mag. Consuelo Alfaro Chavarría 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.

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

<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 or directly contacting MSc. Lilliam Quirós Arias (lquiros@una.cr) or Mag. Consuelo Alfaro Chavarría (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.

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

<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.