



ISSN 1011-484X
e-ISSN 2215-2563

REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL

64 (1)

Enero-junio 2020

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



CONTENIDO

CONTENTS

Pág.

PRESENTACIÓN

PRESENTATION

Lilliam Quirós Arias

Consuelo Alfaro Chavarría9

TEORÍA, EPISTEMOLOGIA Y METODOLOGIA

THEORY, EPISTEMOLOGY AND METHODOLOGY

Evaluación cualitativa de indicadores de sostenibilidad socioambiental para su selección y aplicación en ciudades costarricenses

Qualitative evaluation of socio-environmental sustainability indicators for their selection and application in Costa Rican cities

Marilyn Romero-Vargas

Tania Bermúdez-Rojas

Maritza Duque-Gutiérrez17

Aportes desde la conservación genética al mejoramiento de las áreas verdes en la ciudad

Contributions from genetic conservation to the improvement of urban green spaces

Omar Barrantes-Sotela43

Metodología para la determinación del crecimiento de la mancha urbana en las capitales de la región centroamericana (1975-1995-2014)

Methodology for determining the growth of urban sprawl in the capital cities of the Central American region (1975-1995-2014)

Christian Vargas-Bolaños

Ricardo Orozco-Montoya

Annie Vargas-Hernández

Jairo Aguilar-Arias59

ESTUDIOS DE CASO

CASE STUDIES

Playas críticas por erosión costera en el caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005-2016

Critical beaches due to coastal erosion in the Caribbean south of Costa Rica during the period 2005-2016

Gustavo Barrantes-Castillo

Isabel Arozarena-Llopis

Luis Fernando Sandoval-Murillo

José Francisco Valverde-Calderón 95

Critical beaches due to coastal erosion in the Caribbean south of Costa Rica, during the period 2005-2016

Playas críticas por erosión costera en el caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005-2016

Gustavo Barrantes-Castillo

Isabel Arozarena-Llopis

Luis Fernando Sandoval-Murillo

José Francisco Valverde-Calderón 123

Visión geográfica de la percepción de riesgos por peligros hidrometeorológicos extremos en Cuba

Geographic vision of the perception of risks due to extreme hydrometeorological hazards in Cuba

Pablo Bayón-Martínez

Lilia Susana Padilla y Sotelo 151

Estudio de caso: Lajas Compartir, un acercamiento al desplazamiento ambiental en Costa Rica

Case study: Lajas Compartir, a rapprochement to environmental displacement in Costa Rica

Jacqueline Centeno-Morales

Yendry Vargas-Trejos

Marianela González-Varela

Estaban Alfaro-Orozco 179

Procesos de pérdida y recuperación del contenido de carbono en biomasa aérea en las zonas forestales del área de protección de flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo 2000-2013

Carbon content loss and recovery processes in aerial biomass in the forested areas of the Nevado de Toluca Flora and Fauna Protected Natural Area during the period 2000-2013

Héctor Hugo Regil-García

Sergio Franco-Maass

Angel Rolando Endara-Agramont

Alejandro Fidel Flamenco-Sandoval

Alejandra Espinoza-Maya

Rafael Calderón-Contreras

Blanca Azucena Pérez-Vega.....203

Efeitos da precipitação pluviométrica sobre a produção agrícola nos municípios de Belmonte e Ipiaú, estado da Bahia, Brasil

Effects of pluviometric precipitation on agricultural production in the municipalities of Belmonte and Ipiaú, Bahia states, Brazil

Efectos de la precipitación pluviométrica sobre la producción agrícola en los municipios de Belmonte y Ipiaú, Estado de Bahia, Brasil

Paulo César Bahia de Aguiar

Nelma Lima-Bruno

Mônica de Moura-Pires

Christiana Cabicieri-Proffice

Josiclêda Domiciano-Galvêncio.....235

Ciclo hidrosocial y acceso al agua en la periferia de la ciudad de Morelia, México: Estudio de caso en La Aldea

Hydrosocial cycle and access to water in the periphery of the city of Morelia, Mexico: Case study in La Aldea settlement

Lorena García-Estrada

Juan Hernández-Guerrero269

Normas de publicación301



PRESENTACIÓN PRESENTATION

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

La revista está destinada para difundir la Ciencia Geográfica y afines en todos los ámbitos, mediante la publicación de trabajos originales, informes inéditos, o adelantos de investigación que tengan especial relación con América Central, abordando temáticas propias de la Geografía: estudios regionales, problemáticas urbano/rural, ordenamiento territorial, recursos naturales y su relación con el medio 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.

Esta oportunidad, corresponde a la publicación No.64 de la *Revista Geográfica de América Central* del I semestre de 2020 (enero-junio). Incluye 10 artículos ubicados en las diferentes secciones de la revista: teoría, epistemología y metodología, estudios de caso y notas, y documentos. Disponible en versión impresa y digital, esta última se puede encontrar en el siguiente link <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>.

En el primer artículo, desde el modelo de gestión del desarrollo sostenible, presenta un estudio que surge de la necesidad de contar con un sistema de seguimiento de la sostenibilidad socioambiental de las ciudades

por medio de criterios e indicadores. Con la participación de expertos nacionales se generó una lista 327 indicadores, los cuales fueron reagrupados según sus características en 82 indicadores, distribuidos en 9 criterios: agua, energía, fauna, áreas verdes urbanas, suelo, gestión ambiental, manejo de residuos sólidos y líquidos, ordenamiento del territorio y sociedad & gobernanza. Por medio de una profunda revisión bibliográfica, solo 43 indicadores contaron con información completa y operativa para ser evaluados. Mediante un taller de expertos nacionales se evaluó la factibilidad teórica de ser aplicados. El resultado final es un compendio de 19 indicadores socioambientales, que cumplen con al menos el 80 % de pertinencia, relevancia, robustez y disponibilidad de datos. Sin embargo, los expertos mencionaron que el costo, la escala y la calidad son variables, que deben ser utilizadas para seleccionar, adaptar o construir indicadores que permitan el seguimiento de la sostenibilidad socioambiental para ciudades de Costa Rica.

En el segundo artículo se examina el uso potencial de los preceptos y conceptos de la conservación genética en los espacios verdes de las áreas urbanas. Las áreas verdes, usualmente, son consideradas como parte del inmobiliario urbano, y su uso está asociado a un aspecto estético de la ciudad. Su planificación no considera aspectos técnicos o científicos. Además, se desestiman del estudio de las ciudades las condiciones genéticas de las especies en un ambiente que, por lo general, se considera hostil. Se propone la elaboración de estudios de conservación genética para mejorar la calidad de la diversidad biológica de las áreas verdes urbanas con propósitos más funcionales.

En el tercer artículo se presenta la implementación de una metodología para la determinación del crecimiento de la mancha urbana de las ciudades capitales de la Región Centroamericana (RC), en el periodo 1975-1995-2014. El objetivo de la investigación fue generar la mancha urbana de las ciudades capitales centroamericanas de los años de estudio mediante una metodología con sensores remotos y la implementación de diversas técnicas para el procesamiento y post-procesamiento de las imágenes satelitales de Landsat; además, se usaron técnicas en fotointerpretación, clasificación y digitalización con Sistemas de Información Geográfica (SIG), determinando las manchas urbanas de cada país de la región para el periodo de estudio, lo que funciona como línea base para un

análisis comparativo de cada ciudad capital, utilizando elementos geográficos, políticos y algunos estudios afines al tema, siendo esta investigación un insumo para futuros estudios sobre análisis y planificación urbana, así como para el ordenamiento del territorio.

El cuarto artículo plantea una metodología para cuantificar el acelerado proceso de erosión en playas arenosas del litoral caribeño costarricense e identificar los puntos calientes; esta metodología consiste en levantar la línea de costa a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales de alta resolución espacial, con el fin de determinar la tasa de retroceso de la costa. Las fotos e imágenes utilizadas cubren un periodo entre 2005 y 2016. De esta forma fue posible identificar once puntos calientes de erosión, así como la estimación de sus tasas areales de retroceso para dos periodos (2005-2010 y 2010-2016). En este sentido, las localidades que han experimentado la mayor erosión en sus playas arenosas son el Parque Nacional Cahuita, Westfalia y playa Bananito.

El **quinto artículo** corresponde a la traducción del artículo cuarto Playas críticas por erosión costera en el caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005-2016

El sexto artículo plantea que la comprensión de las particularidades geográficas del espacio donde transcurre la vida cotidiana del individuo coadyuva a la percepción de los riesgos por peligros hidrometeorológicos extremos. El artículo es resultado del análisis, desde una visión geográfica, del estudio de percepción nacional de riesgos por peligros hidrometeorológicos de 2009-2011 en Cuba, con la inclusión de mapas temáticos afines, aporte que se incorpora a los esfuerzos de la Agencia de Medio Ambiente en los estudios sociales del ambiente, la gestión de riesgos de desastres y la educación geográfica local.

El séptimo artículo describe el desplazamiento ambiental experimentado por la Comunidad de Calle Lajas, la cual fue afectada debido a un deslizamiento ocurrido el 3 de noviembre del 2010, que trajo como consecuencia pérdidas humanas y materiales, además, la comunidad tuvo que ser reubicada en la actual Lajas Compartir. La situación vivida por la comunidad permite realizar un censo a la población reubicada y entrevistas a actores involucrados; evidenciando con ambas técnicas los retos y aprendizajes en la gestión del riesgo y la atención a las poblaciones que viven el desplazamiento ambiental.

En el octavo artículo se proponen mecanismos de control para la evaluación de los bosques templados de México que están bajo fuertes presiones tanto por procesos biológicos como de explotación antrópica, aun si pertenecen a Áreas Naturales Protegidas (ANP's). Se calculó la biomasa y el contenido de C por hectárea de especies forestales predominantes (*Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, *Quercus laurina* y *Alnus jorullensis*) con datos representativos de 30 parcelas. Con los datos de densidad de arbolado por hectárea, dominancia de especies, densidad básica de la madera y factor de expansión de biomasa, se estimó el stock de Carbono de cada zona forestal. Se sobrepusieron los mapas de stock de C (2000 y 2013) y se obtuvieron las áreas en donde se presentan procesos de cambio en el stock de C. Los bosques con mayor pérdida de C son: *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*.

El noveno artículo tiene como objetivo comparar y analizar la influencia de los patrones de precipitación pluviométrica, en dos períodos distintos de normales climatológicas (medias del acumulado mensual), sobre la producción agrícola de los municipios de Belmonte e Ipiaú, Bahía. Se hizo el levantamiento de datos secundarios de naturaleza socioeconómica; las series históricas de datos pluviométricos, relativas a los períodos de 1956 a 1987, y 1996 a 2017 (Belmonte) y 1950 a 1979 y 1980 a 2008 (Ipiaú). Se constató que en Belmonte, en la mayor parte del período entre los años 2004 a 2015, hubo disminución en el perfil total de lluvia, y los principales productos agrícolas presentaron una producción creciente o estable. En Ipiaú, se observó que los picos de lluvia dentro del total pluviométrico fueron mayores en el primer período analizado (1950 a 1979); y que excesos de lluvia, influenciaron negativamente algunos cultivos, sobre todo, la producción de olerícolas cultivadas por pequeños y medianos agricultores. Se puede inferir, que para los períodos analizados, el patrón de pluviosidad se alteró poco, y los cambios observados no afectaron la distribución de lluvias a lo largo del año, manteniéndose relativamente bien distribuida.

Finalmente el décimo artículo analizó el acceso al agua a través del ciclo hidrosocial en la periferia norte de la ciudad de Morelia, México, específicamente, en el asentamiento La Aldea. El objetivo se contestó con recorridos de campo, observaciones, entrevistas y encuestas. Los resultados indican estrés en el ciclo hidrosocial, donde el flujo es disímil y supereditado por movimientos políticos y desarrolladoras. Además, disminuyó la

participación de la población e incrementó la compra de agua embotellada y camiones cisterna, mientras que la intervención de las autoridades es limitada y permisible.

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

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

Saludos cordiales,

MSc. Lilliam Quirós Arias
Mag. Consuelo Alfaro Chavarría



TEORÍA, EPISTEMOLOGÍA Y METODOLOGÍA

**THEORY, EPISTEMOLOGY
AND METHODOLOGY**



Evaluación cualitativa de indicadores de sostenibilidad socioambiental para su selección y aplicación en ciudades costarricenses

Qualitative evaluation of socio-environmental sustainability indicators for their selection and application in Costa Rican cities

*Marilyn Romero-Vargas*¹

*Tania Bermúdez-Rojas*²

Universidad Nacional, Costa Rica

*Maritza Duque-Gutiérrez*³

Universidad del Norte, Colombia

Resumen

Desde el modelo de gestión del desarrollo sostenible, las ciudades deben procurar unas relaciones de equilibrio entre los recursos naturales y el desarrollo económico y social, de tal forma que las condiciones ambientales dentro y fuera de estos espacios urbanos no alcancen patrones y condiciones no deseadas. Este estudio surge de la necesidad de contar con un sistema de seguimiento de la sostenibilidad socioambiental de las ciudades por medio de criterios e indicadores. Con la participación de expertos nacionales se generó una lista 327 indicadores, los cuales fueron reagrupados según sus características en 82 indicadores distribuidos en 9 criterios: agua, energía, fauna, áreas verdes urbanas, suelo, gestión ambiental, manejo de residuos sólidos y líquidos, ordenamiento del territorio y sociedad & gobernanza. Por medio de revisión bibliográfica, solo 43 indicadores contaron con información completa y operativa para ser evaluados. Mediante taller de expertos nacionales se evaluó la factibilidad teórica de ser aplicados. El resultado final es un compendio de 19 indicadores socioambientales, que cumplen con al menos el 80 % de pertinencia, relevancia, robustez y disponibilidad de datos. Sin embargo, los expertos mencionaron que el costo, la escala

- 1 Doctora en Geografía. Académica de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional Costa Rica correo electrónico mari.romerov@gmail.com
- 2 Master of Science, Bióloga. Académica de la Escuela Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Costa Rica correo electrónico tania.bermudez.rojas@una.cr
- 3 Doctora en Tecnología Ambiental y Gestión del Agua. Académica de la Universidad del Norte de Colombia correo electrónico maritzaduque@uninorte.edu.co

y la calidad son variables que deben ser utilizadas para seleccionar, adaptar o construir indicadores que permitan el seguimiento de la sostenibilidad socioambiental para ciudades de Costa Rica.

Palabras clave: indicadores socioambientales, sostenibilidad ecológica, ciudades costarricenses.

Abstract

From the sustainable development management model, cities must seek balance relationships between natural resources and economic and social development in such a way that the environmental conditions inside and outside these urban spaces do not reach undesirable patterns and conditions. This study arises from the need to possess a system for monitoring the socio-environmental sustainability of cities through criteria and indicators. With the participation of national experts, a preliminary list of 327 indicators was generated which were then grouped based on their characteristics into 82 indicators distributed along 9 distinctive criteria, namely: water, energy, fauna, urban green areas, soil, environmental management, solid and liquid waste management, land use planning and society & governance. By means of bibliographic review, only 43 indicators were found to hold complete and operative information to be evaluated. Through a participative workshop involving the national experts, the theoretical feasibility of applying the selected indicators was evaluated. The final result is a compendium of 19 socio-environmental indicators, which comply with at least 80% pertinence, relevance, robustness and data availability. However, the experts point out that cost, scale and quality are all variables that must be used in selecting, adapting or creating indicators that allow for the monitoring of socio-environmental sustainability in Costa Rican cities.

Keywords: Socio-environmental indicators; Ecological sustainability; Costa Rican cities.

Introducción

Las ciudades, hábitat de la especie humana (*homo urbanis*; Gleeson 2013:1841), son desde el punto de vista ecológico, ecosistemas heterótrofos (Odum, 1971), es decir, su organización depende del aporte continuo de agua, materiales y energía que obtienen de ecosistemas adyacentes, sean estos locales, regionales o globales. Esta dependencia del sistema se ha visto agravada en la época del Antropoceno (Crutzen, 2010), cuyas ciudades se caracterizan por acelerados procesos de urbanización, rápido crecimiento poblacional, estilos de vida consumista y dificultades de gestión de los residuos.

La urbanización como proceso destruye y fragmenta ecosistemas naturales con la consiguiente pérdida de biodiversidad, modificación de los flujos de agua, energía y nutrientes. Consume dos terceras partes de la energía mundial, secuestra considerables proporciones de servicios de los ecosistemas, introduce especies invasoras, expulsa grandes cantidades de residuos y emisiones a la atmósfera (Montes y Duque, 2015:2).

Los espacios urbanos en general y las ciudades costarricenses en particular están distribuidos en todo el territorio nacional, sin embargo, por tamaño, densidad urbanística, cantidad de población y densidad poblacional, la mayor concentración urbana se ubica en el interior del país, conformando la región Gran Área Metropolitana (GAM) localizada en el Valle Central; una región de aproximadamente 1 779 79 Km² (3,78 % del territorio nacional) pero con más de la mitad (52, 7 %) de la población total del país, para una densidad poblacional de 70 hab/Ha (Consejo Nacional de Planificación Urbana, 2013, p I-43; Decreto Ejecutivo N°38145 2014). La GAM, con sus cuatro áreas metropolitanas: San José, Alajuela, Heredia y Cartago, presentan un patrón de conurbación urbana a partir de la expansión horizontal de sus cabeceras de cantón (distritos centrales), un modelo de ciudad polinuclear desconcentrado conceptualizado en el Plan GAM de 1982, que con el nuevo Plan GAM 2013-2030 (Decreto Ejecutivo N°38145 2014) busca reorientar su desarrollo urbano hacia un modelo de centralidades densas e integrales, es decir, un modelo de ciudad regional (Consejo Nacional de Planificación Urbana, 2013 p 20),

Además de la GAM, existen ciudades de menor tamaño en otras regiones del país, localizadas, tanto en el interior como en zonas costeras, entre las que destacan las ciudades costeras Puntarenas, Limón y Jacó, así como Liberia, Ciudad Quesada, San Isidro de El General y Guápiles como ciudades del interior.

De acuerdo con el Estado de la Nación (2015), entre 1982 y 2013 el área construida de la GAM casi se duplicó, debido, principalmente, a la dinámica del mercado inmobiliario. El Estado de la Nación señala, en su capítulo “Armonía con la Naturaleza”, las implicaciones de la falta de ordenamiento territorial en la GAM y reconocen que el modelo de ciudad costarricense carece de visión regional y ha provocado severos efectos ambientales, económicos y sociales debido a patrones de crecimiento desordenado y débiles o nulas políticas de gestión del suelo. Lo más grave, es, según el Estado de la Nación (Programa Estado de la Nación, 2017), que las ciudades intermedias como San Isidro del General, Guápiles y Ciudad Quesada, están reproduciendo los errores de la GAM, inclusive un crecimiento más acelerado y disperso, problemas de red de saneamiento, gestión de residuos, congestión vehicular, contaminación atmosférica

asociada a los hidrocarburos, cambios en el uso del suelo, escasez y contaminación de agua, ocupación de áreas vulnerables, etc.

Según este informe del Estado de la Nación (2017), con la excepción de las áreas de conservación, Costa Rica no tiene una prioridad ambiental en la forma de planificar la ocupación del suelo, ni el aprovechamiento de los recursos naturales, por lo que “en el mediano y largo plazo prevalecen tendencias insostenibles” y aunque también reportan fortalezas históricas y avances específicos como la recuperación de la cobertura forestal, electricidad limpia, acceso al agua potable, herramientas legales e instrumentos pioneros para la conservación, el mensaje del Programa es enfático al señalar que: “estos logros no alcanzan para cambiar el rumbo de los patrones de uso del territorio y su falta de ordenamiento, el aprovechamiento de los recursos naturales clave para el desarrollo (como energía y el agua) y la gestión política.” (Programa Estado de la Nación, 2017: 55)

Las ciudades pueden ser conceptualizadas desde dos enfoques distintos: desde un ecosistema urbano o desde un metabolismo urbano. Aunque ambos son conceptualmente distintos, ellos comparten atributos que son esencialmente importantes en el manejo y gestión de las ciudades, lo que permite la combinación de estos (Bai, 2016), orientando la ciudad hacia la sostenibilidad. Basados en la ciudad como un sistema metabólico, es importante que este trascienda de un sistema lineal (de la cuna a la muerte) a uno cíclico, lo cual significa que los insumos que entran al sistema, por ejemplo, agua y energía, deben contar con acciones estratégicas de manejo y gestión que disminuyan las salidas de residuos, vertidos y emisiones (Figura 1). Sin embargo, la ciudad nunca será sostenible en sentido ecológico, debido a su dependencia de otros sistemas. Por tanto, desde el modelo de ciudad sostenible, su sostenibilidad es un horizonte definido por los objetivos normativos sociales que se persiguen.

Lo anterior implica que la ciudad debe ser pensada como un sistema complejo, impredecible en su trayectoria y de efectos multiescalares (Montes y Duque 2015), el cual requiere de instrumentos de evaluación que permitan medir la calidad del sistema, para la toma de decisiones y así establecer acciones estratégicas de manejo y gestión. Estos instrumentos pueden ser indicadores enfocados desde el concepto metabólico cíclico, acompañados con algunos aspectos de ecosistema urbano.

Los indicadores son un instrumento de toma de decisiones, ya que estos presentan características observables y muchas veces asociadas a un dato estadístico, lo cual permite el análisis y seguimiento de las acciones (Niemi y McDonald 2004). Además, los indicadores generan información numérica, precisa y contextualizada que puede aplicarse en el ámbito social, económico, ambiental y urbanístico, según las necesidades y objetivos planteados para su uso (Rueda, 1999; Quiroga, 2009; Rueda, S., De Cáceres, R., Cuchí, A., & Brau, L., 2012).

Por otro lado, la selección de los indicadores es de suma importancia y cuidado para medir realmente lo que se busca. En este sentido, la comunidad internacional señala que un indicador es considerado funcional si cumple con un conjunto de características, tales como: ser medible, de bajo costo, fácil de comprender, ser exacto, tener capacidad de síntesis, entre otras (Rueda 1999, Feria 2003, Niemi y McDonald 2004, Hernández 2009, Morales- Cerdas 2017).

Sumado a lo anterior, los indicadores se basan en una dimensión de interés dentro de un marco de acción, con un conjunto de criterios que se agrupan según sus similitudes (Escobar, 2006). El presente estudio está enfocado hacia la sostenibilidad de las ciudades costarricenses desde una dimensión socioambiental, seleccionando cualitativamente, mediante criterio de expertos indicadores que permitan evaluar la calidad de la ciudad desde un sistema metabólico cíclico, pero también incorporando atributos del ecosistema urbano (Bai 2016) (Figura 1). Definimos para este estudio criterio e indicador socioambiental, como aquel que permite medir la interrelación sociedad, ambiente, cultura y naturaleza producto del uso, manejo y gestión de los recursos naturales.

Figura 1. Diagrama conceptual para la aplicación de indicadores de evaluación socioambiental del manejo y la gestión de la ciudad, combinando los enfoques de metabolismo cíclico y ecosistema urbano (Basado en Bai 2016).



Fuente: Elaboración propia basado en Bai 2016.

Metodología

La selección de indicadores socioambientales se realizó por medio de la metodología de criterio de experto, este es un método válido, ya que considera la experiencia de los técnicos y profesionales que diariamente gestionan y manejan el territorio que comprenden las ciudades. Este método, tiene la capacidad de recopilar información sobre un tema particular, a través de expertos que están físicamente alejados, además, genera información válida con respuestas abiertas y bien estructuradas (Luna *et al*, 2005, Blasco *et al*, 2010, Munier, 2011).

La consulta a los expertos se realizó por medio de una encuesta vía web, enviada a 87 investigadores nacionales de diferentes disciplinas. La selección de estos expertos se realizó por medio de la metodología de “bola de nieve”, que se basa en muestreos en cadena no probabilísticas, en donde los investigadores, luego de contactar al primer sujeto le pide ayuda a él para identificar otras personas que tengan el rasgo o la información afín al tema a investigar (Corral *et al*, 2015).

En busca de la multidisciplinariedad, los expertos consultados laboran en instituciones públicas y privadas en temas relacionados con planificación urbana, gestión ambiental o ecología urbana. La encuesta fue completada por 40 expertos lo que representa un 45 % de respuesta.

La información obtenida en la encuesta fue recopilada, sistematizada y ordenada. Asimismo, estos indicadores fueron agrupados en criterios, basados en las similitudes de aspectos que evalúa cada uno, tomando como referencia la literatura disponible, así como bases de datos digitales (Academic Search Complete, Annual Reviews, Biological Abstracts, Current Contents, Environment Complete, JSTOR, Science, Scopus, Springer, Web of Science), permitiendo con esto obtener la operacionalización de los indicadores. Cada indicador se detalló en fichas de sistematización la cual incluyó nombre, descripción, método de medición, escala y las referencias pertinentes de cada indicador (Quiroga 2009).

Seguidamente, se realizaron dos talleres con 15 y 10 expertos, respectivamente, que participaron en la encuesta. En estos talleres se presentó la lista preliminar de indicadores, agrupados en criterios y con información sistematizada y completa para su análisis. Asimismo, los participantes en estos talleres fueron divididos en dos grupos de trabajo, con la finalidad de calificar cualitativamente la factibilidad de cada indicador de ser aplicado en ciudades costarricenses. Esto se efectuó por medio de un instrumento de evaluación teórica por parte de los especialistas, que incluyó nueve variables (Cuadro 1). (Morales – Cerdas, 2017 construido a partir de: Rueda, 1999, Niemi y McDonald, 2004, Feria 2003, Hernández, 2009).

Las variables consideradas presentan una escala de uno a cinco, siendo: 1 muy baja, 2 baja, 3 regular, 4 alta y 5 muy alta. La puntuación máxima por alcanzar por cada indicador fue de 45 puntos (Morales-Cerdas, 2017). A partir de este puntaje se determinó el valor de factibilidad para cada indicador, seleccionando aquellos con un valor mayor o igual a 36 puntos como factibles para ser aplicados en ciudades costarricenses.

Por último, se sistematizó aquellos indicadores con un puntaje mayor o igual a 36 puntos, equivalente al 80 %, y se incluyeron en un cuadro resumen con el nombre del indicador, la descripción, el método, la escala y la referencia respectiva.

Cuadro 1. Variables utilizadas en la valoración de la factibilidad.

Variable de análisis	Descripción
Disponibilidad de datos (DD)	Los datos necesarios para desarrollar el indicador se encuentran disponibles o bien la toma de estos es posible.
Utilidad del indicador en instituciones municipales (UIIM)	El contenido o alcance del indicador representa un aspecto de interés en instituciones municipales.
Factibilidad para la toma de datos en una sola época (TDSE)	La toma de datos necesarios para generar el indicador se puede realizar en una sola estación (es independiente de la época seca o lluviosa)
Aplicabilidad en gestión ambiental y planificación urbana (AGAPU)	El indicador puede aplicarse en gestión ambiental y urbana.
Incidencia positiva en la calidad ambiental (IPCA)	El indicador representa una alternativa que puede repercutir positivamente en la calidad del ambiente, o sea tiene doble función no solo mide la calidad, sino también su aplicación puede servir para mejorar el ecosistema urbano.
Oportunidad de la información (OI)	El indicador representa la posibilidad de obtener y generar información que contribuya con la gestión ambiental.
Relevancia (Re)	El indicador es de importancia en la gestión ambiental.
Robustez (Ro)	A través del indicador se pueden generar datos e información de validez.
Continuidad (Co)	Se cuenta con la información para que el indicador pueda ser mantenido a través del tiempo o bien la característica a medir lo permite.

Fuente: Morales-Cerdas, V. 2017 construido a partir de: (Rueda, 1999, Niemi y McDonald, 2004, Feria, 2003 y Hernández, 2009)

Resultados y discusión

Para orientar las ciudades hacia la sostenibilidad y la resiliencia ecológica se requiere, como señala Bai (2016), integrar la metáfora de la ciudad como un organismo (Ecosistema Urbano), con el concepto de ciudad como un sistema sociológico complejo humano-dominante (Metabolismo Urbano; MU). Además, pasar del MU conceptuado como metabolismo lineal que actualmente tienen las ciudades, caracterizado por alto consumo y producción de residuos, a un MU con enfoque cíclico, propio de los sistemas complejos que en términos prácticos significa reducir la ingesta de recursos y los residuos a niveles manejables por la naturaleza, a través

de la innovación social y tecnológica para una eficiencia metabólica, procurando de esta forma la salud humana, tal y como plantea el Panel Internacional de la ONU (IRP 2018) y que se encuentra en el objetivo 11 de los Objetivos de desarrollo Sostenible (ODS).

Los expertos identificaron 327 indicadores de sostenibilidad socioambiental, los cuales se analizaron según sus características, similitudes y objetivos, agrupándolos en 82 indicadores, distribuidos en 9 criterios (cuadro 2): agua, energía, fauna, áreas verdes urbanas (AVU), suelo, gestión ambiental, manejo de residuos sólidos y líquidos (MRS&L), ordenamiento del territorio y sociedad & gobernanza.

Respecto a la cantidad de indicadores, según criterio, hay cuatro de ellos que sobresalen: sociedad & gobernanza, áreas verdes urbanas (AVU), agua y gestión ambiental. Adicionalmente, basados en el marco conceptual expuesto en este artículo, ninguno de los especialistas mencionó indicadores asociados a los criterios aire, transporte o alimentación, lo que supone falta de experiencia de los entrevistados en estos temas o poca relación conceptual con la categoría socioambiental por parte de ellos. Según Cabe-ro & Infante (2014) una de las desventajas que presenta el método de criterio de experto es la dificultad de establecer el grado de experiencia de los expertos, además, de la influencia que pueden tener sobre acontecimientos imprevistos, lo que puede provocar sesgo en las respuestas.

Para indagar la instrumentalización de los indicadores a través de la bibliografía no se incluyó el criterio sociedad & gobernanza, ya que la mayoría de estos indicadores no se relacionan directamente con el eje socioambiental, por lo que el análisis de estos se realizará desde otro enfoque. De esta forma solo se indagaron 63 indicadores para su instrumentalización, de estos solo 43 contaron con una descripción detallada, con metodología, operacionalización y escala de análisis (Cuadro 2), evidenciando que no todos los expertos conocen la instrumentalización de los indicadores señalados por ellos, y su factibilidad de aplicación. Esto podría deberse al poco conocimiento y utilización de indicadores como parte del seguimiento y evaluación constante en el manejo y gestión en ciudades o la carencia de un conjunto de indicadores que permitan la planificación y contextualización de la realidad de cada ciudad, enfocada desde la perspectiva del bienestar humano y la sostenibilidad.

Para establecer la factibilidad teórica de cada indicador para ser aplicado en ciudades costarricenses se les facilitó a los expertos una ficha técnica con la instrumentalización de 32 indicadores, debido a que el criterio de AVU que cuenta con 11 indicadores fue analizado, tanto a nivel teórico como de campo por medio de un Trabajo Final de Graduación (Morales-Cerdas, 2017) y publicado posteriormente (Morales-Cerdas *et al*, 2018).

La factibilidad teórica fue de tipo cualitativo, determinando, según los expertos consultados, que solo 19 indicadores son factibles para ser aplicados en ciudades costarricenses (Cuadro 2). El resto de los indicadores (24), obtuvo una evaluación menor al 80 %, debido a que las variables disponibilidad de datos, factibilidad para la toma de datos en una sola época, oportunidad de la información y robustez, presentaron valores bajos.

Cuadro 2. Número de indicadores agrupados por criterio, según: encuesta a expertos, instrumentalizados y con factibilidad de ser aplicados.

ENFOQUE	DIMENSIÓN	CRITERIO	NÚMERO DE INDICADORES		
			Encuesta a expertos	Instrumentalizado	Factibles
SOSTENIBILIDAD URBANA	SOCIOAMBIENTAL	Agua	12	7	4
		Energía	2	2	1
		Fauna	2	2	1
		Áreas Verdes Urbanas	17	11	-
		Suelo	6	5	5
		Gestión ambiental	10	9	3
		Residuos sólidos y líquidos	6	3	3
		Ordenamiento del territorio	8	4	2
		Sociedad y Gobernanza	19	-	-
		TOTAL	82	43	19

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, dentro de las observaciones más relevantes que señalaron los expertos, y que no estaban contenidas en el instrumento de evaluación, sino que surgieron en la discusión, resaltan el tema del (1) costo, (2) la escala espacial y (3) la calidad del dato. Estos 3 aspectos no

fueron evaluados por los expertos debido a que son variables que están pensadas para ser analizadas en campo, como fue el caso del criterio AVU (Morales-Cerdas, 2017).

Los especialistas señalaron que a pesar de que los indicadores seleccionados son de gran relevancia para evaluar la sostenibilidad socioambiental de las ciudades, estos tres aspectos son fundamentales para la factibilidad de los indicadores. Para el caso de costo, aunque este es un criterio clave de selección, existe muy poca referencia bibliográfica al respecto. En todo caso, tal y como señala Escobar (2006), el indicador debe ser costo-eficiente, es decir, que debe existir una relación positiva entre el volumen de información requerido y el costo de recolección.

Otro aspecto para considerar más allá del costo del dato es la adquisición de datos, los cuales en ciertas ocasiones no son accesibles y hasta imposibles de obtener, lo que ocasiona una disminución de la calidad de los datos para los índices planteados. Como expone Tanguay; Rajaonson; Lefebvre & Lanoie (2010), las limitaciones causadas por la accesibilidad de los datos impiden la cuantificación y la calificación específica de indicadores.

Por otro lado, la importancia de tomar en cuenta el tamaño de la ciudad y donde se pretende implementar es fundamental, ya que la selección de los indicadores considera características, tales como densidad de población, temperatura, patrones de paisaje, entre otros (Hiremath; Balachandra; Kumar; Bansode & Murali, 2013). Diferentes personas que viven en diferentes lugares tienen diferentes valores. Por lo tanto, los indicadores deben ser capaces de tener en cuenta la diversidad de lugares, personas, culturas e instituciones (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002).

Conceptualizar la ciudad como un socioecosistema de humanos y naturaleza, conformado por una unidad biofísica, interaccionando con diferentes actores sociales y sus instituciones que dinamizan desde adentro el sistema (Montes y Duque, 2015), en términos operativos, se requiere la delimitación espacial de la ciudad como unidad geográfica de análisis. Toda ciudad es un espacio urbano, pero no todo espacio urbano es una ciudad.

En el caso de Costa Rica, la región GAM puede ser un socioecosistema urbano, por tanto, podría definirse como la ciudad “la Gran Ciudad Costarricense”, el sitio más poblado del país y estudiar su sostenibilidad socioambiental. Sin embargo, la división territorial administrativa del país (Decreto N° 40184-MGP 2017), reconoce como ciudad únicamente al

distrito central de cada cantón -un socioecosistema urbano con una unidad física de menor tamaño-, pero con funciones económicas de mayor jerarquía. En este sentido, surge la dificultad de delimitar la ciudad para su análisis ¿se le define como el espacio geográfico compuesto por el núcleo y su mancha urbano circundante? o como ¿el territorio perteneciente al distrito primero de cada cantón? tal y como lo establece la división político-administrativa costarricense. Esta delimitación es importante, ya que esto condiciona la selección y la utilidad de los indicadores generados en su aplicación, sobre todo en espacios urbanos muy conurbados pero divididos política y administrativamente como es el caso de la GAM, donde cada municipio define o cuenta con información distinta, que dificulta dar seguimiento al desempeño de la gestión ambiental de todas las ciudades que conforman la región. A pesar de los intentos por estandarizar los indicadores, en la realidad existe una diversidad de criterios e indicadores en temas ambientales, desde los criterios e indicadores de Bandera Azul Ecológica, los indicadores de los ODS, hasta los utilizados por el Programa Estado de la Nación, sin mencionar los que utilizan las instituciones y empresas para medir su desempeño ambiental.

En el caso de los indicadores de seguimiento adoptados por Costa Rica respecto a los ODS (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica 2017), estos presentan diferentes unidades espaciales de análisis, según la disponibilidad de datos. La misma situación en cuanto a escalas o unidades espaciales de análisis, se presenta con los indicadores de desempeño utilizados por el Programa Estado de la Nación para abordar el análisis del desarrollo sostenible de la ciudad (Programa Estado de la Nación 2015; 2017). La mayoría de estos indicadores están pensados para trabajar a escala país, y en algunos casos a escala cantonal o distrital en menor grado, la dificultad radica en que a menor tamaño de las unidades espaciales y o funcionales, más difícil resulta la disponibilidad y el acceso a los datos, especialmente, datos recolectados y analizados por las instituciones públicas y los municipios.

Otro caso interesante es el sistema de indicadores de desarrollo sostenible elaborado e implementado por el Banco Interamericano de Desarrollo (2016), en busca de ciudades emergentes y sostenibles de Latinoamérica y el Caribe. Este sistema es uno de los que cumple de mejor manera los requisitos que se piden de cualquier indicador y cubren todos

los ámbitos (ambiental, social y económico) del enfoque de la sostenibilidad, sin embargo, algunos de ellos parecen ser costosos y de difícil recolección de datos, así como, unidades mínimas cartografiables distintas, lo que pareciera dificultar la integración de los datos. Sin embargo, estos fueron aplicados con éxito a escala de cantón, a la capital del país San José, definida por el BID como ciudad emergente. Con base en los indicadores seleccionados a partir de las prioridades establecidas por el municipio de la lista de indicadores de BID (2016), se realizó un diagnóstico y un plan de acción para la ciudad capital, denominado “San José Ciudad: De la acción local a la sostenibilidad metropolitana” (BID &MSJ, 2016).

La ventaja que tiene este municipio es su capacidad económica y recurso humano para contar con información disponible, situación que sería difícil en la mayoría de municipios del país.

Para finalizar, este artículo presenta un resumen de los 19 indicadores recomendados por los expertos (Cuadro 3) a partir del análisis de su factibilidad teórica, no obstante, es importante señalar la necesidad de contar con un sistema de indicadores socioambientales para ciudades costarricenses a escala cantonal y distrital, o inclusive de barrio, que permita el seguimiento en el tiempo y la comparación entre ciudades, tomando en cuenta sus particularidades y su operacionalización dentro de un contexto geográfico particular, de esta forma se plantea una serie de característica básicas para la construcción o adaptación de un “set” de indicadores para las ciudades de Costa Rica, entre los que tenemos:

- Indicadores homogenizados y reglamentados.
- Adaptados a las características de la ciudad, la cual requiere ser claramente definida.
- De bajo costo y fácil aplicación por parte del ente competente, sea municipalidad o institución gubernamental.
- Fácil adquisición de datos que permita la verificación de la calidad de los mismos.
- Objetivos claros enfocados hacia el bienestar humano y la sostenibilidad de las ciudades.

Cuadro 3. Sistema de indicadores socioambientales factibles para evaluar la sostenibilidad ambiental en ciudades costarricenses. Modificado de Romero-Vargas et al 2016

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	MÉTODO	ESCALA	REFERENCIA
CRITERIO AGUA				
Huella hídrica (HH)	Permite saber el consumo y la contaminación del agua. Este indicador nos permite conocer la cantidad de agua que aprovecha una persona, un grupo de consumidores, una región, país o a nivel mundial.	$HH = HH_{urb} + AU_{urb} + UA_{ind} + HHI$, ind $+ HHE$, ind Donde <i>HH_{urb}</i> corresponde a la huella hídrica de la agricultura, <i>UA_{urb}</i> al consumo de agua urbano, <i>UA_{ind}</i> consumo de agua en la industria, <i>HHI</i> , ind + <i>HHE</i> , ind a la huella hídrica interna y externa respectivamente. Índice de Clasificación Holandés de Valoración y el Índice Biológico (BMWP-CR). Valores de referencia varía de 0 a 200. Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas a Aguas de calidad excelente	Persona, comunidad, distrito, provincia, país o región.	Rodríguez et al, 2008; CENTA, 2012; Morales-Hidalgo, 2013; Vázquez & Buenfil, 2012; García, 2013
Calidad de agua superficial	Determina la calidad de los cuerpos de agua superficial, como, ríos, quebradas, arroyos permanentes o no, lago, lagunas, embalses naturales o artificiales, turberas o, pantanos de agua dulce.	Índice de Clasificación Holandés de Valoración y el Índice Biológico (BMWP-CR). Valores de referencia varía de 0 a 200. Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas a Aguas de calidad excelente	Río, riachuelos, quebradas, subcuenca, cuenca o cualquier región hidrográfica.	Decreto N° 33903-MI-NAE-S., 2007
Consumo de agua	Consumo anual de agua per cápita de personas cuyas viviendas tienen conexión a la red de agua de la ciudad	$\frac{\text{Consumo de agua}}{\# \text{ de habitantes}}$ Volumen de agua consumido durante un periodo Unidades: Litros/habitante/día. Valor de referencia entre 50 y 100 litros de agua por persona al día para cubrir las necesidades básicas.	comunidad, distrito, cantón provincia o país	ONU & OMS, 2010; BID, 2013.
Extracción anual de agua superficial y subterránea	Cuantifica los volúmenes de agua superficial y subterránea concesionados para el uso consuntivo del recurso.	$\text{Volumen de agua extratido} = \text{VASC} + \text{VASbC}$ VASC=Volumen de agua superficial concesionado VASbC=Volumen de agua subterránea concesionado Unidades: metros cúbicos/año	Cantonal, distrital, regional, nacional. Nivel de sectorial	MINAE, 2004; Comisión Nacional de Agua 2009; SEMARNAT 2015.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	MÉTODO	ESCALA	REFERENCIA
CRITERIO ENERGÍA	Producción de energía renovable vs energía convencional	Corresponde al porcentaje de energía renovable sobre el total de generación eléctrica.	Regional, distrital, cantonal, provincial o nacional.	BID, 2013
		$ER_{vsEC} = \frac{EER}{ETG}$ Energía generada de fuentes de energía renovables (EER): energía producida a partir de fuentes no fósiles como: energía geotérmica, solar, eólica, hidroeléctrica etc. Energía Total Generada (ETG): corresponde al total de energía que se genera en una región Unidades: % Valor de referencia: $ER_{vsEC} \geq 50\%$ Sostenible, o buen desempeño. $ER_{vsEC} = 20\%$ $50\% - 50\%$ potencialmente problemático. $ER_{vsEC} \leq 20\%$ no sostenible, o desempeño altamente problemático.		
CRITERIO FAUNA	Número de especies de fauna nativas y exóticas registradas en una de interés	Corresponde al porcentaje de especies nativas y exóticas región registradas en una de interés	Regional, cantonal, área protegida, provincia, país.	Ley N°7788 de Biodiversidad, 1998; SEMARNAT, 2015.
		$\% \text{ Especies nativas} = \frac{\text{Número de especies nativas}}{\text{Totalidad de especies}}$ $\% \text{ Especies exóticas} = \frac{\text{Número de especies exóticas}}{\text{Totalidad de especies}}$ Este cálculo puede realizarse por grupo faunístico, por ejemplo: aves, mamíferos, anfibios, reptiles, peces, etc. Unidades: % de especie		

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	MÉTODO	ESCALA	REFERENCIA
CRITERIO SUELO Permeabilidad de Suelo (IBS)	Indica la relación entre las superficies funcionalmente significativas en el ciclo natural del suelo y la superficie total de una zona de estudio	El indicador se calcula asignando un valor a cada tipo de suelo, que oscila entre 0 y 1, en función de su grado de naturalidad. Siendo 1 para los suelos totalmente permeables y 0 para los impermeables. Además, tiene en cuenta las medidas que resultan compensatorias en casos especiales, como las cubiertas de vegetación en azoteas, paredes y muros, que favorecen la infiltración de agua y el aumento de biodiversidad. Una vez asignado el valor a cada tipo de superficie en la zona estudiada, el índice biótico del suelo se calcula mediante la fórmula indicada, donde (fi) corresponde al factor de tipo de suelo, (ai) es el área de superficie de suelo y (At) es el área total de la zona de estudio. $IBS = \frac{\sum (fi \times ai)}{At}$	Distrito, cantón o comunidad	Agencia de ecología urbana de Barcelona, 2010
Densidad Edificatoria	Realiza una categorización de la densidad de edificios presentes en una región urbana de interés. TDSE	Inicialmente, se debe realizar la digitalización de las parcelas, las cuales se recomienda que sean de 100 m por 100 m (malla de referencia), en estas se debe realizar un conteo del número total de viviendas presentes en cada uno. A esto se le da una asignación proporcional del número de viviendas a cada celda de la malla de referencia (intersección espacial), para obtener como producto final un mapa temático, según rangos cuantitativos de densidad edificatoria. $\text{Densidad edificatoria} = \frac{\text{Superficie total} * \text{MR}}{\# \text{ de viviendas}}$ Donde MR corresponde a la malla de referencia (cuadrante de 100 m x 100 m) Valor de referencia: Densidad mínima edificatoria de 45 viviendas por hectárea. Recomendable 60 viviendas por hectárea.	Distrito, cantón o comunidad	Agencia de ecología urbana Barcelona, 2008.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	MÉTODO	ESCALA	REFERENCIA
Capacidad Absoluta	Relaciona directamente el volumen edificado con el territorio, teniendo en cuenta solamente la intensidad edificatoria. El indicador representa la altura media de la edificación de un área determinada.	Capacidad absoluta (c) = $\frac{\text{Volumen edificado}(m^3)}{\text{MR}}$ Donde MR corresponde a la malla de referencia (cuadrante de 200m x 200m)	Distrito, cantón o comunidad.	Agencia de ecología urbana Barcelona, 2008
Capacidad corregida	Es un indicador que corrige el valor de la compacidad absoluta (C), entendiéndose que ésta no es substancialmente buena, ya que una sobre compacidad puede tener efectos perversos para los intereses de la ciudad. La substitución de la superficie urbanizada por el espacio público atenuante mayor de 500 m ² , permite co-nocer, para una determinada área urbana, el equilibrio entre aquello construido y los espacios libres y de relación.	Capacidad corregida (cc) = $\frac{\text{Volumen edificado}(m^3)}{\text{espacio público atenuante}(m^2)}$	Distrito, cantón o comunidad.	Agencia de ecología urbana Barcelona, 2008
Porcentaje de cambio del Usos de Suelo	Cambio de uso del suelo en los principales centros urbanos de una región de interés	El cambio en el uso de la tierra se evalúa mediante sistemas de información geográfica y percepción remota, así como análisis multitemporales de las capas de uso de interés, en las zonas de deseadas. $r = \left(\frac{s_2}{s_1} \right) \left(\frac{1}{t} \right) * 100 - 100$ Donde r = tasa de cambio, s1 = superficie al tiempo inicial, s2 = superficie al tiempo final, t = tiempo transcurrido entre las fechas.	Distrito, cantón o comunidad	SEMARNAT, 2015

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	MÉTODO	ESCALA	REFERENCIA
CRITERIO GESTIÓN AMBIENTAL				
Número de empresas con programas de gestión ambiental en las ciudades	Cantidad de empresas en el área de interés que cuentan con un programa de gestión ambiental. TDSE	Cálculo del porcentaje de empresas públicas y privadas con Programas de Gestión Ambiental Institucional (PGAI) o normas ISO 14000.	Barrio, distrito, cantón o provincia.	Beejadhur, Gujadhur, & Ghizzoni 2007; MINAE, 2011
Número de programas municipales y sectoriales relacionados con la gestión ambiental	Corresponde a la cantidad de programas municipales y sectoriales por ser ejecutados o en ejecución, relacionados con la gestión ambiental.	Programas municipales o sectoriales de gestión ambiental (PMSGa) $PMSGa = \frac{\# \text{programas gestión ambiental}}{\# \text{de municipalidades}}$	Barrio, distrito, cantón o provincia	Rodríguez, 2006
Inversión económica en protección y desarrollo de servicios ambientales por municipalidad o sectorial (IESA)	Describe la cantidad de recursos económicos que destina la municipalidad o sector para el desarrollo o financiamiento de programas o servicios ambientales. TDSE	$IESA = \frac{\text{Presupuesto para protección ambiental}}{\# \text{de habitantes por canton}}$	Barrio, distrito, cantón o provincia.	Rodríguez, 2006
CRITERIOS RESIDUOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS				
Porcentaje de residuos de reciclaje vs residuos ordinarios	Porcentaje de residuos reciclables y ordinarios generados en una región de interés.	Porcentaje de Residuos reciclables % $RR = \frac{(\text{residuos reciclables} / \text{total de residuos}) * 100}$ Porcentaje de Residuos ordinarios % $RO = \frac{(\text{residuos ordinarios} / \text{total de residuos}) * 100}$	Barrio, distrito, cantón o provincia.	Ley N° 8839 para la Gestión Integral de Residuos sólidos 2010
Frecuencia en el servicio de recolección por tipo de residuo	Frecuencia con la cual la población tiene acceso al servicio de recolección de residuos según el tipo de residuo	Realizar entrevistas a la población sobre la frecuencia con la cual los camiones recolectores pasan por sus sitios de residencia, recolectando residuos de papel o cartón, vidrio, plástico, orgánicos, entre otros. O bien realizar la entrevista a los miembros del departamento municipal encargado de brindar dicho servicio.	Nacional, cantón o distrito.	García y Aburto, 2003

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	MÉTODO	ESCALA	REFERENCIA
Cantidad de aguas residuales tratadas vs cantidad de aguas producidas	Porcentaje de aguas residuales tratadas en una región de interés.	Si la ciudad cuenta con instalaciones de tratamiento con tecnología de medición de flujos apropiada, esta cifra puede obtenerse directamente de los caudales que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales. Así, el indicador se obtiene como el cociente entre el agua residual tratada y el agua consumida (facturada). Si no se obtiene ninguna cifra de las instalaciones de tratamiento, esta puede calcularse indirectamente como el cociente entre la población que cuenta con servicio de alcantarillado que se descarga en una instalación de tratamiento y la población total con acceso al agua potable. Estas cifras pueden obtenerse a partir de información recopilada del departamento de facturación y de la unidad de operaciones. Si los tanques sépticos se manejan y mantienen adecuadamente, debería sumarse también el porcentaje de la población que desecha sus efluentes en este sistema.	Nacional, cantón, distrito, comunidad.	BID, 2013
CRITERIO ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO				
Dirección del crecimiento de la ciudad	Evalúa el ritmo de ocupación de las reservas urbanas del centro de población. Su registro histórico representa la evolución de la estructura urbana	Se establece el área ocupada por la mancha urbana en los años de interés, basándose en imágenes satelitales o áreas de las zonas de interés. A través de análisis como fotointerpretación y análisis de uso del suelo a través del tiempo.	Distinto, cantón o comunidad.	SEDATU, 2014; Salinas y Pérez, 2011.
Cantidad y calidad de espacios públicos	Sistema de evaluación integral de nueve variables que condicionan la percepción positiva del espacio público por parte de los ciudadanos. Estas variables se clasifican en: ergonómicas, fisiológicas y psicológicas	$IHEP = [\Sigma Ve + \Sigma Vps + \Sigma Vf]$ Donde IHEP = Índice de Habitabilidad en el Espacio Público $\Sigma Ve = \text{variables ergonómicas}$ $\Sigma Vps = \text{variables psicológicas}$ $\Sigma Vf = \text{variables fisiológicas}$	Distinto, cantón o comunidad.	Agencia de ecología urbana de Barcelona. 2010.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En este estudio el uso del criterio de experto permitió identificar, seleccionar y medir la factibilidad de indicadores socioambientales, para evaluar la sostenibilidad de las ciudades. A pesar de esta fortaleza, al realizar una búsqueda detallada de cada indicador, no todos contaban con una descripción, metodología, operacionalización y escala de análisis. Esto supone, que en caso de los expertos puede haber una falta de conocimiento en temas emergentes a nivel de país o sociedad; desconocimiento de la instrumentalización de muchos de los indicadores y poca relación conceptual con la sostenibilidad socioambiental de ciudades. Aun así, el uso de esta metodología es importante, ya que los expertos son los que trabajan en el manejo y la gestión de la ciudad. Es recomendable robustecer esta metodología con comprobaciones de campo que incluya variables, tales como costo, escala espacial y calidad del dato, permitiendo así la triangulación de varios métodos.

Al evaluar la calidad del sistema urbano por medio de los indicadores, un elemento clave a tomar en cuenta es la definición conceptual y espacial de la ciudad costarricense. Aun cuando existe a nivel administrativo la definición de ciudad (se reduce solo al distrito central de cada cantón), esta es muy limitada para efectos del seguimiento y la comparación, ya que excluye otros espacios y elementos que forman parte del entramado urbano. Además, como no existe una delimitación integral de la ciudad, cada planificador o gestor utiliza diferentes conceptos y escalas de análisis.

Finalmente, es recomendable concebir la ciudad como un sistema que entrelace el metabolismo urbano cíclico con el ecosistema urbano, esto permite que no solo se analicen las entradas y salidas del sistema, sino también la estructura, la función, los patrones y los procesos en/de la ciudad.

Referencias

- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2008). *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla*.
- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2010). *Plan de Indicadores de Sostenibilidad Urbana de Vitoria-Gasteiz*.
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica (1998). Ley de Biodiversidad. [Ley N°7788]. *La Gaceta* N° 101 del: 27/05/1998.

- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica (2010). Ley para la Gestión Integral de Residuos sólidos. [Ley N° 8839]. *La Gaceta* N° 135 del 13/07/2010.
- Bai, X. (2016). Eight energy and material flow characteristics of urban ecosystems. *Ambio* 45,819-830 Doi 10.1007/s13280-016-0785-6
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2016). *Indicadores de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles, Guía metodológica*. Anexo (Pdf). Disponible en [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/\[Recuperado 4/01/2019\]](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/[Recuperado 4/01/2019])
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Municipalidad de San José. (2016). *San José, de la acción local a la sostenibilidad metropolitana* (Pdf). San José, Costa Rica. Disponible en <https://www.msj.go.cr/MSJ/Capital/SiteAssets/> [Recuperado 4/01/2019]
- Beejadhur, Y., Gujadhur, S. & Ghizzoni, L. (2007). *Introducción a ISO 14000, sistemas de gestión ambiental*. Boletín 78.
- Blasco, J.; López, A.; Mengual, S. (2010). Validación mediante método delphi de un cuestionario para conocer las experiencias e interés hacia las actividades acuáticas con especial atención al windsurf. *Ágora para la educación y el deporte* 12(1),75-96.
- Cabero, J. & Infante, A. (2014). Empleo del método Delphi y su empleo en la investigación en comunicación y educación. EDUTEC. *Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, N°48. Recuperado de http://edutec.rediris.es/Revelec2/Revelec48/n48_Cabero_Infante.html
- CENTA. (2012). *Día mundial del agua: material didáctico sobre la huella hídrica, la huella del agua*.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2009). *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México*. México.
- Consejo Nacional de Planificación Urbana. (2013). Plan GAM 2013-2030. Informe técnico. Recuperado de <http://www.mivah.go.cr>.
- Corral, Y., Corral, I., y A. Franco. (2015). Procedimientos de muestreo. *Revista Ciencias de la Educación* 26 (46), 151-167. Recuperado de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/educacion/revista/46/art13.pdf>. [Recuperado 16/05/2019]
- Crutzen, P. J. (2010). *Anthropocene Man*. *Nature International Journal of Science* (pdf), 467(7317): S10. <http://doi.org/10.1038/4675S10a>.

- Escobar, L. (2006). Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. *EURE* 32 (96): 73-98.
- FAO. (2002). *Pressure-State-Response Framework and Environmental Indicators*. Recuperado de <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/lead/toolbox/refer/envindi.htm> [Accessed July 2018].
- Feria, T. (2003). Indicadores de sustentabilidad: un instrumento para la gestión urbana. López Trigal, L. *et al.*, coord. *La ciudad. Nuevos procesos, nuevas respuestas*. Universidad de León-AGE, 241-253.
- García, A. (2013). *La huella hídrica como indicador de presiones: aplicación a la cuenca del Duero y al sector porcino español*. Universidad de Alcalá. Madrid, España
- García, L. y Aburto, A. (2003). *Recolección y Tratamiento de Desechos Sólidos Manuales Elementales de Servicios Municipales*. El Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM). Nicaragua.
- Gleeson, B. (2013). What role for social science in the ‘urban age’? *International Journal of Urban and Regional Research* 37 (5), 1839–51.
- Hernández, A. (2009). Calidad de vida y medio ambiente urbano. Indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. *Revista INVI*, 65 (24), 79-111.
- Hiremath, R. B; Balachandra, P.; Kumar, B.; Bansode, S. S. & Murali, J. (2013). Indicator based urban sustainability. A review. *Energy for Sustainable Development* 17, 555- 563. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.08.004>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2018). *Costa Rica en cifras* (Pdf). Disponible en www.inec.go.cr/sites/documetos-biblioteca-virtual/, [Recuperado 25/01/19]
- IRP (2018). *The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization*. Swilling, M., Hajer, M., Baynes, T., Bergesen, J., Labbé, F., Musango, J.K., Ramaswami, A., Robinson, B., Salat, S., Suh, S., Currie, P., Fang, A., Hanson, A., Kruit, K., Reiner, M., Smit, S., Tabor, S. A. *Report by the International Resource Panel*. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- Luna, P.; Infante, A.; Martínez, F. J. (2005). Los Delphi como fundamento metodológico predictivo para la investigación en sistemas de información y tecnologías de la información (IS/IT). *Revista de Medios y Educación* 26,89-112.

- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, Secretaría Técnica de los ODS. (2017). *Objetivos de desarrollo Sostenible: Indicadores de seguimiento, Costa Rica* (PDF). MIDEPLAN; INEC; PNUD-San José, CR. Disponible en www.mideplan.go.cr Recuperado [24-01-2019]
- MINAE. (2011). *Guía para la elaboración de programas de gestión ambiental Institucional (PGAI) en el sector público de Costa Rica: documento de orientación para las instituciones públicas*. MINAET, Ministerio de Salud. San José, Costa Rica: CYMA, USAID, CCAD, GIZ.
- MINAE. (2004). *Manual técnico del departamento de aguas*. La Gaceta No 98 del 20/05/2004
- MINAE-S. (2007). *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales*. [Decreto N° 33903]La Gaceta diario oficial, Costa Rica, 17 de setiembre del 2007.
- MGP. (2017). (2017). *División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica. Editorial Imprenta Nacional*. [Decreto N° 40184]La Gaceta diario oficial N 48. Disponible en https://www.imprentanacional.go.cr/editorialdigital/libros/historiaygeografia/division_17. [Recuperado 24/01/2019].
- Montes, C. y Duque, M. (2015). Ciudades resilientes en el Antropoceno; mito o realidad. Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales. *CyTET XLVII* (183).
- Morales-Cerdas, V., Piedra Castro, L., Romero Vargas, M. & Bermúdez Rojas, T. (2018). Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1421-1435.
- Morales-Cerdas, V. (2017). *Indicadores de calidad ambiental a partir del criterio áreas verdes urbanas: aplicación en dos ciudades de Costa Rica*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Morales-Hidalgo, D. (2013). Costa Rica. En J. Mahlknecht. & E, Pastén-Zapata. *Diagnóstico de los recursos hídricos en América Latina* (221-245p). México: Pearson Education.
- Munier, N. (2011). Methodology to select a set of urban sustainability indicators to measure the state of the city, and performance assessment. *Ecological Indicators*, 11(5), 1020-1026.

- Niemi, G. & McDonald, M. (2004). Application of Ecological Indicators. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35, 89-111.
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology*. Third Edition, W.B. Saunders Co., Philadelphia.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) y Organización Mundial de la Salud (OMS). (2010). *El derecho al agua. folleto informativo 35*.
- PLAN-MINAE-MIVAH-MOPT-S-MAG (2014). *Oficializa el Plan Regional de Ordenamiento Territorial de la Gran Área Metropolitana, Plan GAM 2013-2030*. [Decreto N° 38145]. Gaceta N°82. Recuperado de <http://www.pgrweb.go.cr> [recuperado 01/02/2019]
- Programa Estado de la Nación (2015). *Informe Estado de la Nación 2015*. San José Costa Rica. Recuperado de www.estadonacion.or.cr
- Programa Estado de la Nación (2017). *Informe Estado de la Nación 2017*. San José, Costa Rica. Recuperado de www.estadonacion.or.cr
- Quiroga, R. (2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. CEPAL. Manual N° 61.
- Rodríguez, R., Garrido, A., Llamas, R. & Varela, C. (2008). La huella hidrológica de la agricultura española. *Papeles de Agua Virtual*, 2. 22p.
- Rodríguez, G. (2006). *Décimo tercer informe Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible: Gestión Ambiental Municipal y Participación Local*. Estado de la Nación, Costa Rica.
- Romero-Vargas, M., Bermúdez-Rojas, T., Piedra-Castro, L. & Morales-Cerdas, V. (2016). Criterios e Indicadores de Sostenibilidad Socioambiental para Ciudades de Costa Rica. *Informe Técnico. Universidad Nacional, Heredia, CR*.
- Rueda, S. (1999). Modelos e indicadores para ciudades más sostenibles. *Taller sobre Indicadores de Huella y Ambiental Urbana*. Barcelona. España.
- Rueda, S., De Cáceres, R., Cuchí, A., & Brau, L. (2012). *El urbanismo ecológico: su aplicación en el diseño de un ecobarrio en Figueras*. Barcelona: BCN ecología (Agencia de Ecología Urbana).
- Salinas, E. y Pérez, L. (2011). Procesos urbanos recientes en el Área Metropolitana de Concepción: transformaciones morfológicas y tipologías de ocupación. *Rev. geogr. Norte Gd.* [online]. 49, 79-97.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). *Indicadores básicos del desempeño ambiental en México*. Suelo. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/03_suelos/03_suelos_esquema.html. [Recuperado julio 2017].
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, México (SEDA-TU). (2014). *Sistema de Indicadores de Evaluación y Seguimiento Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Cancún 2014-2030*.
- Tanguay, G. A., Rajaonson, J., Lefebvre, J.F. & Lanoie, P. (2010) Measuring the sustainability of cities: An analysis of the use of local indicators. *Ecological Indicators* 10, 407–418.
- Vázquez, R. & Buenfil, M. (2012.). Huella Hídrica de América Latina: retos y oportunidades. *Aqua-LAC*, 4 (1), 41 – 48p.



Aportes desde la conservación genética al mejoramiento de las áreas verdes en la ciudad

Contributions from genetic conservation to the improvement of urban green spaces

Omar Barrantes-Sotela¹
Universidad Nacional, Costa Rica

Resumen

Se examina en una reflexión teórica el uso potencial de los preceptos y conceptos de la Conservación genética en los espacios verdes de las áreas urbanas. Las áreas verdes, usualmente, son consideradas como parte del inmobiliario urbano y su uso frecuentemente es asociado a un aspecto estético de la ciudad. Su planificación no considera aspectos técnicos o científicos. Además, se desestima del estudio de las ciudades las condiciones genéticas de las especies en un ambiente que por lo general se considera hostil. Se propone la elaboración de estudios de conservación genética para mejorar la calidad de la diversidad biológica de las áreas verdes urbanas con propósitos más funcionales.

Palabras clave: conservación genética, genética del paisaje, ecología del paisaje, áreas urbanas, áreas verdes, ciudad.

Abstract

The potential use of the precepts and concepts of genetic conservation in urban green spaces is examined through a theoretical reflection. Usually, urban green spaces are considered as part of the urban real-estate and its use is frequently associated with an aesthetic aspect of the city. Its planning does not consider technical nor scientific aspects. Additionally, studies of cities disregard the genetic conditions of species in an environment generally already considered hostile. It is proposed the development of genetic conservation studies to improve the quality of the biological diversity in urban green spaces with evermore functional purposes.

Keywords: Genetic conservation; Landscape genetics; Landscape ecology; Urban areas; Urban green spaces; City.

¹ Académico Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional de Costa Rica. Correo electrónico: omar.barrantes.sotela@una.ac.cr

Introducción

La mayor cantidad de la población del mundo, vive, trabaja, se moviliza y consume en las ciudades (Tello, 1996). Para el año 2020 pueden existir más de 500 ciudades con más de un millón de habitantes, entre las más importantes destacan Tokio, Shanghái, Yakarta, Delhi, Seúl, Ciudad de México, Nueva York y Sao Paulo. Por primera vez en la historia, la cantidad de habitantes en las zonas urbanas sobrepasarán en números a los habitantes de las zonas rurales. Además, se espera que un alto porcentaje del crecimiento natural de la población mundial sea absorbido por las áreas urbanas con menor desarrollo en el mundo. Como un factor clave, se establece que la urbanización es un proceso cultural primario característico de la evolución de las sociedades humanas, y por tal razón, debe ser abordado de manera prioritaria para alcanzar el tan deseado desarrollo sostenible.

En el 2012, las Naciones Unidas han reconocido la realidad de las ciudades contemporáneas, tanto así que uno de los principales objetivos del desarrollo sostenible es mejorar la sostenibilidad de las ciudades. Sin embargo, los procesos de urbanización sin control ni planificación son los que propician la pérdida de hábitats naturales y por ende la pérdida de especies (Pellissier, Cohen, Boulay, & Clergeau, 2012). La carencia de claros lineamientos y prácticas sostenibles de planificación urbana limita los servicios ecosistémicos que las áreas naturales brindan a las urbes.

Maurice Strong afirmó que la batalla de sustentabilidad se ganará o se perderá en las ciudades (Wackernagel, 1996). No se puede estar más de acuerdo con tal aseveración. La ciudad es un espacio logísticamente fundamental, pero para muchas personas es considerada como un espacio biológicamente poco productivo. Es un espacio que importa recursos como energía y alimento de las áreas periféricas, y exporta productos residuales a las áreas rurales. Es decir, es un agente contaminador, pero que no puede desligarse del sistema territorial en el que está inmerso. El desarrollo de los espacios urbanos, no solo limitan el desarrollo de los espacios rurales, sin que cada vez lo disminuye (Tello, 1996).

De manera contradictoria, las ciudades por lo general invierten pocos recursos para proteger, mantener y mejorar las condiciones ecológicas de los bosques urbanos, para así maximizar los numerosos beneficios ecosistémicos y estéticos que brindan (Millward & Sabir, 2010). En este trabajo de investigación se pondrá énfasis en el papel que los espacios públicos

verdes aportan a la sostenibilidad urbana, y cómo este, puede verse beneficiado del uso de los instrumentos y técnicas de la conservación genética.

El ecosistema urbano

Primero, es importante abordar la concepción de la ciudad como un lugar ajeno a los espacios naturales. Esta idea es la más aceptada por la sociedad. En las ciencias sociales se considera la ciudad como una asociación específica (aspectos económicos, sociales y culturales) entre los seres humanos (Bettini, 1998). En menor medida se refiere a la ciudad como un sistema ecológico. En algunos casos existe una tendencia en comparar la ciudad con un organismo vivo (megaorganismo), lo cual es un error, ya que esa analogía confunde los preceptos establecidos en la ecología humana con la ecología urbana.

Al considerar las ciudades como un lugar artificial desprovisto de naturaleza, se produce una falsa cultura de la sostenibilidad, en la que en muchas oportunidades solo se busca la conservación de áreas naturales. Lo que es peor, en el inconsciente colectivo social la degradación continua de los sistemas urbanos se racionaliza como algo normal, siempre y cuando, se protejan y conserven los espacios naturales. Se produce un pensamiento pasivo tendiente a que no es necesario mejorar las condiciones ambientales de las áreas urbanas ante la disponibilidad de recursos, que pueden ser extraídos de la naturaleza.

Según (Higueras, 2006), un ecosistema se define como un entramado de relaciones entre seres vivos y elementos abióticos, que forman un conjunto cuya complejidad es superior a la suma de sus partes. En el que, además, se puede describir por los diversos tipos de flujos de materia y energía que transcurren en espacio y tiempo determinado. Bajo esta definición, es posible afirmar que las ciudades son ecosistemas complejos y sus conexiones se extienden por todo el planeta.

El medio urbano supone una profunda alteración de las condiciones físicas y ambientales de un territorio (Fernández, 2017). Debido a que su funcionamiento se basa en el consumo masivo de energía, lo que a su vez permite su mantenimiento y crecimiento. Ante estas características Odum (1971) define la ciudad como un ecosistema heterótrofo en el que predomina el ser humano, dependiente de amplias zonas limítrofes para la energía y materiales, que son transportados de manera horizontal. El marco de referencia

presentado anteriormente permite el uso de los conceptos y metodologías asociados al estudio de la ciudad, desde una perspectiva de la biología de la conservación, la sostenibilidad y la ecología, por citar algunos.

Las áreas verdes urbanas

Como se mencionó anteriormente las áreas urbanas se están expandiendo muy rápido y cada vez son más dispersas. Esto ha desarrollado un nuevo interés en entender las relaciones entre las ciudades y los espacios abiertos. Este creciente interés se debe a que, cada vez más, el sistema de parques urbanos es la única forma de contacto con la naturaleza que disponen los habitantes de las ciudades.

Las áreas verdes y espacios abiertos tienen una gran importancia y sirven para una variedad de usos. Son esenciales para la salud ecológica de los entornos urbanos, ya que ayudan a regular la temperatura. También reducen la contaminación y contribuyen a controlar y limpiar la escorrentía de aguas pluviales (Johnson, 2013). De forma conjunta los parques urbanos proporcionan campos de juego, son aulas de ecología, ofrecen senderos para ejercicios, mitigan las inundaciones, son espacios para disfrutar el ocio y en el que se organizan actividades lúdicas como conciertos y obras de teatro. Protegen la vida silvestre, proveen espacio para jardines, brindan un respiro de la conmoción y el rápido trajín de la convivencia urbana (Harnik, 2000, 2003).

Más allá de las oportunidades recreativas que ofrecen las áreas verdes, investigaciones recientes muestran que el contacto con el mundo natural mejora la salud física y psicológica de las personas (Arnberger, 2012; Johnson, 2013). Según (Calthorpe & Van der Ryn, 1986), el objetivo principal de los futuros parques debería ser ayudar a la metrópoli a construir relaciones sostenibles con sus sistemas de agua, atmósfera y plantas. Mientras que un segundo objetivo compatible debería ser alentar a la metrópolis a convertirse en un lugar más sociable para sus habitantes.

A su vez, es posible identificar beneficios económicos y sociales. Las propiedades tienden a incrementar su valor cuando están cerca de este tipo de amenidades. También, suelen atraer negocios comerciales y residentes en sus alrededores. En otros casos forman parte de los atractivos turísticos que puede ofrecer la ciudad. En el ámbito social son puntos de encuentro y reunión, en el que se pueden asociar eventos trascendentales en la historia de

una nación. Son un espacio que permite el desarrollo de expresiones culturales y en el que incluso se desarrollan manifestaciones sociales y políticas.

Es así como las ventajas que derivan del arbolado urbano son función de la composición vegetal de la arbolada misma. Los beneficios específicos derivan de una mezcla precisa de vegetación y de la estructura forestal. La estructura es, a su vez, función de varios factores, entre los cuales se cuentan el número de plantas, el que sean árboles, arbustos o herbáceas, la disposición de las especies, su edad y fisiología (Bettini, 1998). Bajo esta concepción, es importante establecer que existe una secuencia del verde urbano, que casi responde a un proceso de sucesión ecológica en términos de los servicios que ofrecen, de tal forma que las áreas verdes se pueden describir en:

1. jardines privados residenciales,
2. paseos lineales,
3. pequeñas plazas,
4. grandes parques urbanos,
5. bosques urbanos.

Cada una de estas secuencias "verdes" tiene un proceso explicativo en su conformación y requiere de atenciones y condiciones en su gestión, las cuales pueden ser mínimas y generales hasta específicas y complejas. Es común que por la dinámica urbana grandes extensiones de espacios abiertos en los sectores periféricos de la ciudad sean asimiladas por el crecimiento urbano, tal y como puede ocurrir en un ámbito más natural. También, aunque no es común, es posible encontrar zonas urbanas degradadas, las cuales de manera pausada son recuperadas por la naturaleza. Si bien, mediante un estudio histórico-temporal es posible determinar los procesos que ahí se desarrollaron, y es posible aplicar métodos de restauración ecológica a partir de la teoría de la ecología del paisaje. Sobre todo, bajo los principios en los que ocurre la fragmentación de parches naturales, pero aplicado a los ámbitos urbanos.

Dentro de los aspectos generales, considerados y aplicados en la Ecología del Paisaje se enumeran el análisis de los atributos de la tierra, como objetos y variables que pueden ser factores claves para ser controladas por la inteligencia humana el estudio de la tierra como ente holístico,

creado por diferentes elementos y que se influncian unos con otros, así como el desarrollo y la dinámica de la heterogeneidad espacial, las interacciones espaciotemporales e intercambios entre paisajes heterogéneos, influencias de la heterogeneidad espacial en procesos bióticos y abióticos, y el manejo de la heterogeneidad espacial.

En resumen, los ejes temáticos que importan a la Ecología del Paisaje en la constitución del paisaje son la estructura, la función y los cambios. Según (Forman & Godron, 1986; McGarical & Marks, 1994), citado en Carpenter & Turner (2007) y Carreiro *et al.* (2008), se definen como:

Estructura: Es la relación espacial entre los ecosistemas distintivos o elementos presentes, más específicamente, la distribución de energía, materiales, y especies en relación con los tamaños, formas, números, tipos, y configuraciones de los ecosistemas.

Función: Es la interacción entre los elementos espaciales, que son, flujos de energía, materiales, y especies entre los componentes ecosistémicos.

Cambios: Es la alteración en la estructura y la función de los mosaicos ecológicos sobre el tiempo.

Estos ejes pueden relacionarse para introducir los preceptos de la conservación genética y en la que se pueden aplicar sus metodologías e instrumentos.

La restauración de las áreas verdes

Las principales alteraciones de los patrones urbanos se deben a fenómenos no planificados, por cuanto el ordenamiento que se deriva no es el resultado de un diseño, sino de una manifestación, de una tendencia o conducta humana. El deseo de las personas por mantener patrones de consumo poco sostenibles tiende a influir en el diseño urbano, cada vez más orientado al uso del automóvil, a la construcción de edificios y a pavimentar el suelo. Esto a pesar de la creciente evidencia de que la sociedad se beneficia de los servicios ecosistémicos proporcionados dentro y más allá de las fronteras urbanas. A menudo faltan datos empíricos, herramientas específicas y principios rectores para planificar y administrar paisajes urbanos con el fin de optimizar la provisión de servicios y recursos (Burguillos, Parra, & Wagner, 2008; Wagner, 2013).

Ante este panorama, los municipios están recurriendo a la restauración ecológica de las áreas verdes, en especial al orientarse al estado de bosques urbanos como una medida para mejorar la sostenibilidad de las ciudades y también brindar beneficios de salud pública y de bienestar a la población (Kramer, Ison, Ashley, & Howe, 2008; Shanahan, Lin, Gaston, Bush, & Fuller, 2015). Mediante la perspectiva urbana sobre el uso de la teoría de la sucesión en la restauración ecológica, y la fase de sucesión adaptativa, es posible desarrollar un nuevo enfoque para planificar los entornos urbanos naturales, que fueron altamente perturbados y están en un estado de heterogeneidad.

Al anticipar los disturbios urbanos y la sucesión ecológica, la gestión puede ser un objetivo a medida que se desarrollan los procesos ecológicos. Los modelos de restauración ecológica desarrollados en ambientes más prístinos pueden ser modificados para su uso en las ciudades. Un enfoque urbano para la restauración ecológica debe valorar los hábitats existentes, a fin de preservar y mejorar la biodiversidad urbana, tanto para los beneficios a corto plazo como para la sostenibilidad a largo plazo.

Antes de proponer algunas estrategias de conservación genética que pueden ser aplicadas en el mejoramiento de las áreas verdes, es importante indicar que desde las etapas de conceptualización de los parques urbanos y programas de arborización se introducen disposiciones y acciones que atentan contra la biodiversidad en las ciudades. Con la constitución de un área verde en el espacio urbano, lo que se busca es mejorar las condiciones medioambientales de la ciudad. A pesar de lo anterior, es el criterio estético y de oportunidad el que se impone sobre los criterios funcionales en la selección de las especies vegetales, que incluso aportan poco o nada a la restauración ecológica de las aglomeraciones humanas. Incluso en una gran mayoría de los casos, las municipalidades tienden a asignar el mantenimiento de los parques y áreas verdes comunes a los departamentos de ornato y aseo, los cuales desarrollan más actividades de jardinería y mantienen un vínculo limitado con los departamentos de servicios de gestión ambiental y de mejoramiento del hábitat humano.

La conservación genética en las áreas verdes de las ciudades

Después de una búsqueda de literatura en bases de datos indexada sobre este tema particular, es posible afirmar que es un tema que no ha sido desarrollado a profundidad por los investigadores. De forma concreta, la mayoría de las publicaciones sobre áreas verdes estudian el componente estructural, es decir, la composición, disposición y ubicación de los individuos o especies forestales en las urbes (Mapa 1). Se generan y manejan listas de especies de árboles según su fisionomía vegetal, forma de hojas y dosel, así como su distribución espacial por edades con el propósito de asignar una función urbana a cada una de estas especies. Sin embargo, estas métricas no se traducen en un plan estratégico viable de sucesión forestal, que incluya un componente de adaptación a entornos degradados o considere escenarios de variabilidad climática. En el caso de los estudios de genética del paisaje, estos abordan los efectos de la composición del paisaje, la configuración y la calidad de la matriz paisajística sobre el flujo de genes y la variación genética espacial de estos, pero con un marcado interés orientado al diagnóstico de espacios naturales con pérdidas de hábitat, aislamiento espacial o fragmentación (Fahrig, 1997, 2003).

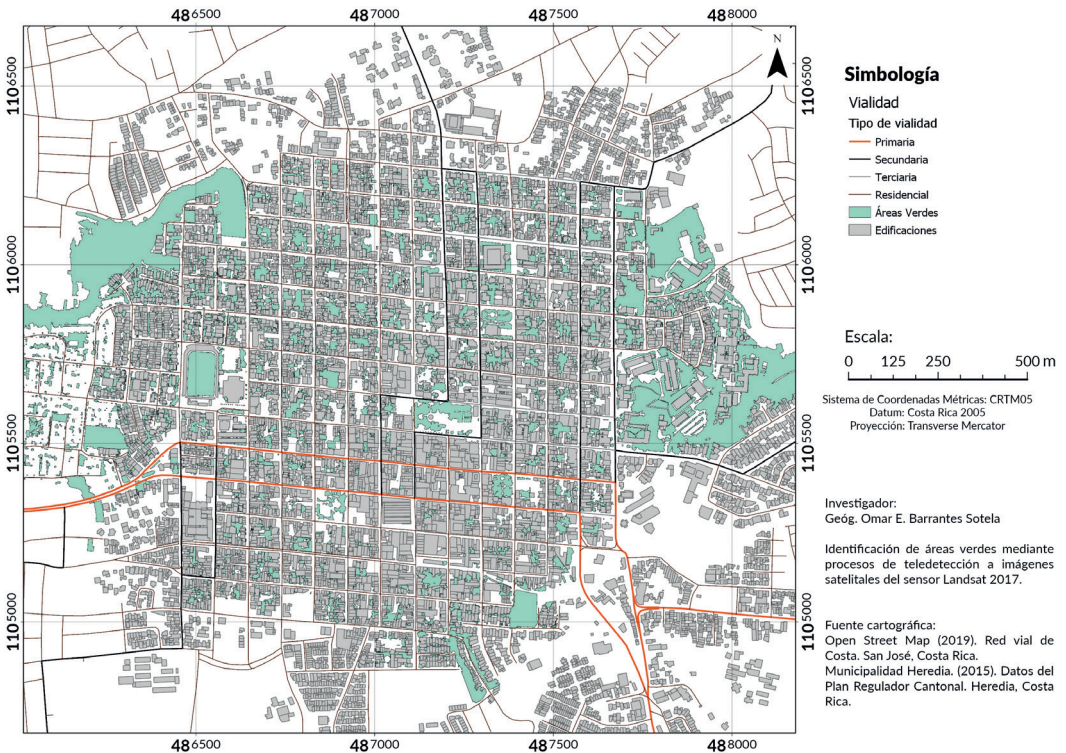
Al dirigir los esfuerzos de investigación de la ecología del paisaje y la conservación genética a la planificación y el diseño urbano supondría una nueva perspectiva para examinar o entender procesos espaciales y temporales que ocurren en esos espacios, y que pueden ser claves en los esfuerzos de conservación y de restauración ecológica de otras áreas menos degradadas o que mantienen un mayor estado de naturalidad. Con la integración de indicadores de la genética de poblaciones y las estadísticas espaciales sería posible reevaluar las estrategias de paisajismo, los patrones de localización y de selección para el mejoramiento de especies forestales en el diseño de áreas verdes en los ámbitos urbanos.

Por ejemplo, Millward & Sabir (2010) reportan que el 40 % de los árboles recién plantados en espacios urbanos mueren en sus primeros 10 años, y además, presentan tasas de crecimiento muy por debajo de la media en comparación con aquellas especies localizadas en entornos naturales (Millward & Sabir, 2010). Dado el tipo de inversión en tiempo y recursos que se destinan en el mantenimiento de un espacio verde, así como la gran cantidad de beneficios obtenidos para el sistema urbano, pues parecería

normal considerar como incrementar el rendimiento de las funciones esperadas de estos.

De esta manera, sí en el diseño e implementación de la propuesta ecológica que se desea para las áreas verdes en las ciudades está claro cuáles son las características más importantes para conservar o a mejorar; entonces también se pueden comprender los patrones genéticos en las relaciones de procesos a intervenir. Incluso la genómica del paisaje ya contribuye a la comprensión de la naturaleza de los genes involucrados en la adaptación local a la heterogeneidad ambiental. Sin embargo, la genómica del paisaje también tiene que pasar de la identificación de los loci o regiones genómicas bajo selección para diseccionar y caracterizar los genes subyacentes, la arquitectura genómica, los mecanismos moleculares y las funciones ecológicas (Manel & Holderegger, 2013).

Mapa 1. Heredia: Identificación de áreas verdes (2017).



Algunas de las funciones ecológicas deseables en las que se puede orientar la selección de características de las especies son: a) para garantizar la diversidad genética, esto con la finalidad de mantener una población saludable y aumentar la resiliencia de plagas al retener la suficiente variabilidad para la adaptación futura, b) crecimiento rápido de la especie, con el propósito de instaurar o restaurar una zona verde en el menor tiempo posible, c) mejoramiento en el desarrollo del dosel (vertical o horizontal), según la necesidad, por ejemplo, para sombra y reducción de ruido se recomienda hojas más grandes y coráceas, mientras que en el caso de zonas con alta exposición al viento, su selección se basa en hojas pequeñas y dosel con poca extensión; d) incremento de la resistencia a contaminantes, algunas especies filtran mejor los polvos y partículas, mientras que otros son más susceptibles a los contaminantes fotoquímicos que predominan en las ciudades; e) según su rendimiento por factores edáficos, entre un 75 % o 80 % de los problemas en las áreas verdes se debe al suelo, por tal motivo se pueden seleccionar ciertas especies en función a su respuesta a las condiciones edáficas predominantes. Con estos ejemplos, se trata de evidenciar que la cantidad de opciones a considerar son tan extensas como la biodiversidad existente, y que pueden existir tantas combinaciones como se necesiten.

Algunas consideraciones al respecto se refieren a las limitaciones de estudiar la diversidad genética de los árboles, al no ser posible su observación directa, e incluso las diferencias fenotípicas entre las procedencias o razas autóctonas de los árboles forestales son menos evidentes que en muchos cultivos agrícolas o animales (Geburek & Konrad, 2008). Aunque la necesidad de una variación genética en una especie de vertebrado es obvia para el público, aumentar la conciencia pública sobre los recursos genéticos forestales (RGF) es mucho más difícil. Esta falta de interés probablemente se debe al concepto de los bosques como entidades autosuficientes. Por lo tanto, es imperativo que los profesionales y el público en general tengan un papel más comprometido en este campo. Otra limitación, es el costo asociado.

Además, muchos de los enfoques analíticos comúnmente utilizados en la genética del paisaje asumen condiciones de equilibrio, tales como el equilibrio de la deriva de la migración. Este tipo de suposiciones y preunciones se deben al limitado desarrollo de una base teórica consolidada.

Por ejemplo, la teoría predice la pérdida de diversidad genética por deriva y endogamia de árboles sujetos a la fragmentación de hábitat. Esa afirmación debe manejarse con sumo cuidado en los espacios urbanos. La teoría de la genética de poblaciones puede ser mal interpretada en especies vegetales, en relación con la realidad ecológica en la ocurren los procesos ecosistémicos. Es decir, en la ciudad los fragmentos no delimitan poblaciones, por tanto, la teoría genética de las poblaciones pequeñas no aplica. Aun en poblaciones espacialmente aisladas, donde la teoría genética eventualmente puede aplicar, los argumentos evolutivos asumen que las muestras de poblaciones fragmentadas representan árboles que han tenido suficiente tiempo para experimentar deriva, endogamia y, finalmente, depresión por endogamia, una suposición que carece de base y donde los individuos de los fragmentos son relictos vivientes de poblaciones no emparentadas antes de una posible perturbación (Gazmararian *et al.*, 2006).

Ante este panorama, posibles líneas de investigación que podrían implementarse para mejorar las áreas verdes y los bosques en general son el análisis de endogamia, fortalecimiento genético para aumentar la resistencia a las condiciones ambientales más extremas del medio y la selección de recurso genético (área de bosque o especie en peligro de extinción), para ser conservado exclusivamente con un fin utilitario (como es la forma tradicional de seleccionar rodales o árboles de calidad superior, para ser cultivados en lugares de conservación) (Verrelli, Dowling, & Wojciechowski, 2013). Es decir, si un recurso ha sido protegido en base a su alta variabilidad o singularidad genética. A menudo estos dos objetivos son compatibles. La conservación de especies comunes y económicas se realiza mediante el enfoque “utilitario”, mientras que la protección de especies raras y en peligro se logra a través del enfoque “ecológico”. De igual forma, es necesario solucionar la carencia de marcadores que muestren variación adaptativa e iniciar un registro del uso y transferencia de germoplasma de árboles de bosque y no solo de especies vegetales de interés económico. Aunque es comprensible el alto costo económico actual de este tipo de estudios, se espera que través de los años, estas técnicas mejoren de forma sustancial y que su costo también disminuya.

Conclusiones

Para avanzar hacia ciudades más sostenibles, los responsables de la toma de decisiones tienen el desafío de desarrollar estrategias para aumentar la calidad ambiental, mediante el uso de criterios ecosistémicos, en los cuales los espacios públicos y de áreas verdes deben jugar un papel preponderante. Las áreas verdes no solo proveen de experiencias recreacionales, sino que cumplen otros roles como la producción de oxígeno, la reducción de temperatura, la escorrentía y la conservación de la biodiversidad.

Además, debe existir un mantenimiento del potencial evolutivo y ecológico de las especies de árbol. Si bien, el enfoque ecológico debería ser la base, ya que sirve a los objetivos de conservación y económicos. El mismo debe ser apoyado por los instrumentos desarrollados desde los enfoques de la Conservación biológica y la genética de los paisajes. Es así como debe fomentarse la conservación de los recursos genéticos forestales, e iniciar procesos de restauración ecológica de las ciudades.

Se necesita más investigación para identificar áreas importantes de diversidad y caracterizar la estructura de la población y los patrones filogeográficos, especialmente, de las especies en peligro de extinción, así mismo, para desarrollar estrategias de conservación y mejorar los entornos naturales y urbanos.

Agradecimientos

El autor desea expresar las gracias al Programa de Maestría de Desarrollo Sostenible de la Universidad de Costa Rica, por la asistencia brindada. Así como a las académicas Marilyn Romero Vargas y Greyty Quesada Thompson de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, por las sugerencias recibidas. Este ensayo es producto de la investigación realizada en el Proyecto de Clima Urbano: Variabilidad Climática de los centros urbanos de Heredia y Alajuela.

Referencias

- Arnberger, A. (2012). Urban densification and recreational quality of public Urban green spaces-A viennese case study. *Sustainability*, 4(4), 703-720. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/su4040703>
- Bettini, V. (1998). *Elementos de una ecología urbana* (1st ed.). Madrid: Editotial Trotta, S.A.
- Burguillos, L., Parra, L., & Wagner, E. (2008). *Human, ecological, and biophysical dimensions of tropical dry forests. Manual of methods. Human, Ecological, and Biophysical Dimensions of Tropical Dry Forests*.
- Calthorpe, P., & Van der Ryn, S. (1986). *Sustainable Communities: A New Design Synthesis for Cities, Suburbs and Towns*. San Francisco: Sierra Club Books.
- Carpenter, S. R., & Turner, M. G. (2007). A Decade of Ecosystems. *Ecosystems*, 10(4), 519–522. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9044-9>
- Carreiro, M. M., Song, Y.-C., & Wu, J. (2008). *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests*. (M. M. Carreiro, Y.-C. Song, & J. Wu, Eds.). New York, NY: Springer New York. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/978-0-387-71425-7>
- Fahrig, L. (1997). Relative effects of habitat loss and fragmentation on population extinction. *The Journal of Wildlife Management*, 61(3), 603–610.
- Fahrig, L. (2003). Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 487–515. Recuperado de <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- Fernández, I. C. (2017). *Planning for Urban Ecosystem Services : Generating Actionable Knowledge for Reducing Environmental Inequities in Santiago de Chile*. Arizona State University.
- Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. New York: John Wiley & Sons.
- Gazmararian, J., Kripalani, S., Miller, M., Echt, K., Ren, J., & Rask, K. (2006). Factors Associated with Medication Refill Adherence in Cardiovascular-related Diseases: A Focus on Health Literacy. *J Gen Intern Med*, 21(4), 1215–1221. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1525-1497.2006.00591.x>.

- Geburek, T., & Konrad, H. (2008). Why the conservation of forest genetic resources has not worked. *Conservation Biology*, 22(2), 267–274. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00900.x>
- Harnik, P. (2000). *Inside City Parks*. Urban Land Institute.
- Harnik, P. (2003). *The Excellent City Park System: What Makes it Great and How to Get There*. The Trust for Public Land.
- Higueras, E. (2006). *Urbanismo bioclimático* (1st ed.). Barcelona: Editorial Gustavo Gill.
- Johnson, L. R. (2013). *Long-term outcomes of ecological restoration and management in urban forest patches*. The State University of New Jersey.
- Kramer, A. T., Ison, J. L., Ashley, M. V., & Howe, H. F. (2008). The paradox of forest fragmentation genetics. *Conservation Biology*, 22(4), 878–885. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00944.x>
- Manel, S., & Holderegger, R. (2013). Ten years of landscape genetics. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(10), 614–621. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.05.012>
- McGarical, K., & Marks, B. J. (1994). FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. *General Technical Report PNW-GTR-351. US ... 97331(503)*, 134.
- Millward, A. A., & Sabir, S. (2010). Structure of a forested urban park: Implications for strategic management. *Journal of Environmental Management*, 91(11), 2215–2224. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.06.006>
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia: Saunders.
- Pellissier, V., Cohen, M., Boulay, A., & Clergeau, P. (2012). Birds are also sensitive to landscape composition and configuration within the city centre. *Landscape and Urban Planning*, 104(2), 181–188. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.10.011>
- Shanahan, D. F., Lin, B. B., Gaston, K. J., Bush, R., & Fuller, R. A. (2015). What is the role of trees and remnant vegetation in attracting people to urban parks? *Landscape Ecology*, 30(1), 153–165. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0113-0>
- Tello, E. (1996). Ciudades sostenibles: un cambio de rumbo. *Mientras Tanto*, (64), 35–61. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/27820253>
Ciudades sostenibles

- Verrelli, B., Dowling, T., & Wojciechowski, M. (2013). *Spatial and temporal patterns of population genetic diversity in the fynbos plant , Leucadendron salignum , in the Cape Floral Region of South Africa* by Erica Tassone (A Dissertation Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Docto), (May).
- Wackernagel, M. (1996). ¿Ciudades sostenibles? *Ecología Política*, (12), 43–50. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/20742894>
- Wagner, J. L. (2013). *Evolution of a sustainable park: Forest Park, St. Louis, Missouri*. Saint Louis University.



Metodología para la determinación del crecimiento de la mancha urbana en las capitales de la región centroamericana (1975-1995-2014)

Methodology for determining the growth of urban sprawl in the capital cities of the Central American region (1975-1995-2014)

Christian Vargas-Bolaños¹

Centro Nacional de Alta Tecnología, Costa Rica

Ricardo Orozco-Montoya²

Universidad Nacional, Costa Rica

Annie Vargas-Hernández³

Secretaría Técnica Nacional Ambiental, Costa Rica

Jairo Aguilar-Arias⁴

Fundación Promotora de Vivienda, Costa Rica

Resumen

Este trabajo presenta la implementación de una metodología para la determinación del crecimiento de la mancha urbana de las ciudades capitales de la Región Centroamericana (RC), en el periodo 1975-1995-2014. El objetivo de la investigación es generar la mancha urbana de las ciudades capitales centroamericanas de los años de estudio mediante una metodología con sensores remotos y la implementación de diversas técnicas para el procesamiento y post-procesamiento de las imágenes satelitales de Landsat; además, se usaron técnicas en fotointerpretación, clasificación y

1 Bachiller. Centro Nacional de Alta Tecnología, Laboratorio PRIAS, San José, Costa Rica. Correo electrónico: cvargas@cenat.ac.cr

2 Magister Scientiae. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: ricardo.orozco.montoya@una.cr (Autor para correspondencia)

3 Licenciada. Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), Ministerio de Ambiente y Energía, San José, Costa Rica. Correo electrónico: avahe08@gmail.com

4 Bachiller. Fundación Promotora de Vivienda (FUPROVI), Moravia, San José, Costa Rica. Correo electrónico: jaguilar@fuprovi.org

digitalización con Sistemas de Información Geográfica (SIG), determinando las manchas urbanas de cada país de la región para el periodo de estudio, lo que funciona como línea base para un análisis comparativo de cada ciudad capital utilizando elementos geográficos, políticos y algunos estudios afines al tema, siendo esta investigación un insumo para futuros estudios sobre análisis y planificación urbana, así como para el ordenamiento del territorio.

Palabras clave: Centroamérica; ciudades capitales; Landsat; sensores remotos; urbano.

Abstract

This paper presents the implementation of a methodology for determining the growth of urban sprawl in the capital cities of the Central American Region (CAR) during the period 1975-1995-2014. The objective of the investigation is to recreate the urban sprawl of the Central American capital cities throughout the studied years by means a methodology involving remote sensing and the implementation of various techniques for the processing and post-processing of Landsat satellite images. Additionally, photointerpretation, classification and GIS (Geographic Information Systems) digitalization techniques were used in determining the urban sprawls of each country for the period under consideration to provide a baseline for the comparative analysis of each capital city taking into account geopolitical elements and some related studies. (Se recomienda hacer pausa con punto para describir finalmente la utilidad del estudio). This study serves as input for future research on the analysis of urban planning as well as territorial planning.

Keywords: Central America; Capital cities; Landsat; Remote sensing; Urban.

Introducción

América latina y el Caribe es la región más urbanizada del mundo en desarrollo y se caracteriza por un crecimiento acelerado, ya que para 1950 los niveles de urbanización en esta región estaban muy por debajo de los registrados en países desarrollados de Europa, América del Norte y Oceanía, pero en menos de 40 años alcanzó los porcentajes urbanos europeos, debido principalmente a las migraciones desde áreas rurales a urbanas, generando un crecimiento urbano explosivo (Cunha y Rodríguez, 2009).

El proceso de urbanización en Latinoamérica tiene su origen desde la época colonial, marcada por la fundación de ciudades donde se daba el dominio primacial, heredado de economías extrovertidas que concentraban la riqueza en las antiguas capitales del imperio español, trasladando esta situación a las nuevas repúblicas latinoamericanas (Williams, 2004), de esta forma la corona española empezó a crear una “estrategia urbanamente centrada para la colonización” en Latinoamérica (Smith, 1991), lo cual repercutió en la designación de poblados, villas y ciudades como centros de control, por ejemplo, en Centroamérica ya para 1600 la mayoría de ciudades en Guatemala estaban fundadas, así como en El Salvador,

siendo Nicaragua y Costa Rica las provincias con mayor área deshabitada (Smith, 1991). Basado en la centralidad heredada, desde ese momento y hasta la actualidad, las áreas rurales de Latinoamérica se han visto como un espacio complementario, dependiente en la mayoría de los casos de las ciudades y sobre todo de las grandes aglomeraciones que son vistas como los centros indiscutibles de control (Hidalgo y Borsdorf, 2009).

Uno de los principales procesos que ha conformado las ciudades latinoamericanas es el movimiento de la población del campo a la ciudad, el cual es considerado como uno de los factores que producen desequilibrios regionales en los países donde se han producido (Ospina, 2013). Este éxodo rural ha continuado y con ello la urbanización, llevando a la región a índices de un 80 % de población urbana en la actualidad, solo superada por América del Norte (Cunha y Rodríguez, 2009).

Basado en lo anterior, para entender el esquema estructural actual de la ciudad latinoamericana, es importante la comprensión de su conformación desde la época colonial. De acuerdo con Hidalgo y Borsdorf (2009), la ciudad colonial fue catalogada como la ciudad compacta (1820); luego inicia una primera fase de urbanización que culmina en 1920 y desde ese momento inicia la segunda fase de urbanización, empujada por las migraciones campo-ciudad que se extienden hasta los años 80, considerada como la ciudad polarizada. A partir de finales de los 80 y hasta la actualidad, las ciudades latinoamericanas son consideradas como ciudades fragmentadas o desconcentradas que han dado pie a la periurbanización.

El concepto de periurbanización es presentado por Cardoso y Ortiz (2012), como la integración de los antiguos núcleos rurales a las dinámicas metropolitanas como consecuencia de la suburbanización, la cual se refiere al surgimiento de periferias más o menos densas con conexión a la ciudad central. Es debido a esto que las ciudades latinoamericanas a partir de la década de los 90 evidencian una difusión y fragmentación hacia zonas periurbanas, generando una expansión de su mancha urbana.

El proceso anterior ha sido experimentado por las ciudades de la Región Centroamericana (RC), las cuales se convirtieron en las capitales de las repúblicas después de la independencia de 1821, localizadas la mayoría, en las zonas interiores de los territorios colonizados, a excepción de Panamá que fue construida desde el inicio a la orilla del mar (Lungo, 2001). El proceso económico de estas capitales inició con la economía

cafetalera en la segunda mitad del siglo XIX y luego la instalación de las primeras industrias manufactureras iniciando el siglo XX, consolidando a San Salvador, San José y Managua como las principales ciudades centroamericanas, junto con Guatemala que fue la capital colonial y Panamá (Lungo, 2001).

Para 1970, los países centroamericanos tenían un 62% de su población residiendo en áreas rurales, lo cual cambió cuatro décadas después en el 2000, cuando Centroamérica dejó de ser mayoritariamente rural, pasando de un 44% de habitantes ocupando áreas urbanas en 1990 a casi 50% en el 2000 y luego un 58.5% en el 2010 (Urzúa, 2015). Para el año 2016 casi el 60% de la población Centroamericana vivía en zonas urbanas, sin embargo, se espera que para las generaciones futuras siete de cada 10 habitantes se consoliden en las ciudades, siendo esto un equivalente a 700 000 nuevos residentes urbanos cada año, proyectando así un total de 25 millones de habitantes antes del 2050 (Banco Mundial, 2016).

Es importante indicar algunos datos que caracterizan la urbanización de los países centroamericanos según el Banco Mundial (2016), uno de ellos es que Centroamérica es la región con la tasa de urbanización más rápida del mundo, después de África; además el 81% del Producto Interno Bruto (PIB) se concentra en estas ciudades, generando una centralización y desigualdad con el resto del país. Se destaca que el 29% de los ciudadanos de estas ciudades viven en asentamientos informales y el 75% de los activos se encuentran expuestos a riesgos de desastres.

Por otra parte, Augustin *et al.*, (2018), indican que los países de Centroamérica concentran mayormente los desafíos más apremiantes de la región, experimentando en diversos grados, limitaciones para el crecimiento económico y la competitividad, falta de inclusión social y además destacan la exposición y vulnerabilidad de seis países de Centroamérica a los desastres, identificando la resiliencia como una importante prioridad de política. En cuanto a la inclusión social, la región Centroamericana sigue siendo testigo de la desigualdad de ingresos, la exclusión económica, falta de acceso a algunos servicios públicos básicos de calidad y alta tasa de delincuencia y violencia, a esto se suma la baja productividad, los bajos niveles de inversión y la falta de diversificación de las exportaciones (Augustin *et al.*, 2018).

Los datos anteriores evidencian las consecuencias del crecimiento espontáneo de las ciudades centroamericanas, ligado a una deficiente planificación que ha llevado al levantamiento de asentamientos informales en áreas más expuestas a efectos de desastres debido a la falta inclusión social, además de sistemas de transporte público ineficientes, e insuficiente infraestructura vial, recreativa y de servicios, así como contaminación por inadecuada disposición de residuos sólidos, uso poco sostenible del territorio y agudización de la vulnerabilidad a desastres (Orozco *et al.*, 2015).

Dado lo anterior, surge la importancia de conocer el crecimiento y la extensión urbana de las capitales de Centroamérica; por ello el objetivo de la presente investigación es extraer la mancha urbana de las capitales centroamericanas en el periodo 1975-1995-2014, mediante una metodología de análisis de sensores remotos. Los resultados del presente trabajo pretenden ser una línea base para el análisis comparativo del crecimiento de estas ciudades en el periodo 1975-2014, de forma tal que el estudio sea un insumo para futuras investigaciones sobre la región que analicen las causas y consecuencias de esta expansión urbana.

El estudio se centra en mostrar la metodología empleada para la extracción de la mancha urbana del periodo de análisis, a través de la cual se emplearon diversas técnicas para el procesamiento y post-procesamiento de las imágenes satelitales de Landsat. Es de esta forma que los SIG y la utilización de imágenes satelitales, se convierten en una herramienta eficaz para el análisis urbano y su expansión.

Área de estudio

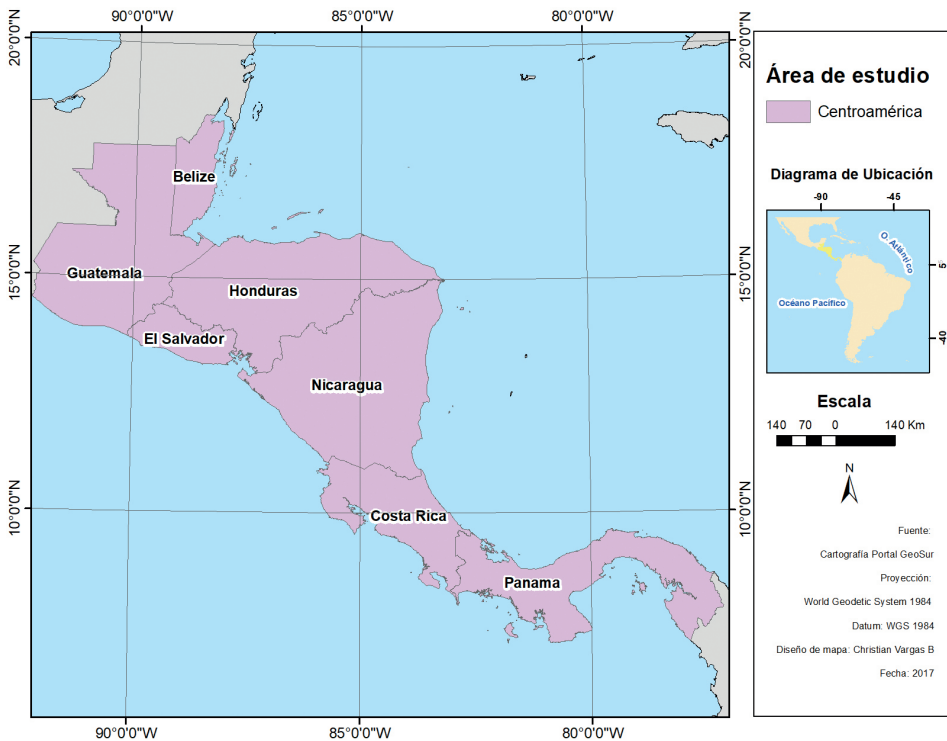
Para este estudio se utilizó la RC y sus ciudades capitales (Cuadro 1). La región está conformada por siete países: Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá (Figura 1), cuenta con una población de 47 000 000 millones de habitantes en una extensión de 522 760 km² (World Population, 2015).

Cuadro 1: Características territoriales de países centroamericanos

País	Población Total	Superficie (km ²)	Densidad de población (hab/km ²)	Ciudad capital
Belice	361 000	23 000	15.69	Belmopán
Guatemala	15 608 000	109 000	143.19	Ciudad de Guatemala
El Salvador	6 401 000	21 040	304.23	San Salvador
Honduras	8 309 000	112 100	74.12	Tegucigalpa
Nicaragua	6 198 000	121 430	51.04	Managua
Costa Rica	4 773 000	51 100	93.41	San José
Panamá	3 913 000	74 180	52.75	Ciudad de Panamá

Fuente: Programa Estado de la Nación (2016).

Figura 1: Área de estudio: Región Centroamericana (RC)



El estudio considera el área metropolitana y la periferia, vistos estos como la mancha urbana de las ciudades capitales de los países de la RC. El área metropolitana fue definida como el área geográfica continua donde se forma una gran aglomeración que constituye un importante mercado de trabajo diversificado con relaciones de interdependencia entre los núcleos que la integran (Lahoz, 2010), la cual a su vez es definida por Moura y de F. Firkowski (2007), como la ciudad principal de aglomeraciones que se destacan no solo por los grados elevados de concentración poblacional y económica, sino por el desempeño de funciones complejas y diversificadas en el territorio, por la extensión espacial de las relaciones económico-sociales y por la fuerza de centralidad que ejerce y trasciende a otros sitios.

Precisamente esta aglomeración está marcada por dos denominadores, según Serrano (2007): los formales y los funcionales. Los primeros suelen agrupar una serie de entidades urbanas con núcleos compactos y otras formas de poblamiento complementarias, donde existe una jerarquía urbana marcada tanto por sus volúmenes demográficos dispares, como por sus roles tradicionales, además a estos núcleos urbanos, se añaden, superponen y agregan en sus alrededores, proximidades y cercanías, otras formas de expansión. Los funcionales, corresponden a los flujos, tanto la infraestructura de transporte como los flujos inmateriales que de pronto no se advierten visualmente. De esta forma, partiendo de las definiciones anteriores es que se define el área metropolitana de cada ciudad capital de la RC.

Por su parte, la periferia se concibió como los extremos o márgenes geográficos en contraposición al centro. Es decir, periferia es el territorio externo de la ciudad formada por una franja en mayor o menor grado urbanizada, cuyas partes están localizadas a cierta distancia del centro y a las cuales éste extiende su acción (Arteaga, 2005). Es importante indicar que, para referirse a periferia en la actualidad, no se cuenta con un dato específico de distancia, si no, se sigue un patrón de dispersión con características residenciales en su mayoría (Orozco *et al.*, 2015).

Metodología

El estudio es un acercamiento por parte del Informe del Estado de la Región para determinar cuáles han sido las capitales que han tenido un mayor aumento en su desarrollo urbanístico y cómo este se ha extendido por el territorio en el periodo 1975-2014.

Tomando en cuenta que el interés del presente trabajo es mostrar el proceso metodológico empleado para la extracción de la mancha urbana de las capitales centroamericanas, se muestra la figura 2 que resume este proceso, el cual consiste en dos fases, la primera es el tratamiento de las imágenes satelitales del sensor Landsat 5, 7 y 8 mediante las etapas de pre y post procesamiento de las imágenes; y la segunda es la obtención de las coberturas vectoriales tipo shape, las cuales serán utilizadas en programas SIG para su análisis e interpretación.

El principal insumo para este trabajo fueron las imágenes Landsat, las cuales forman parte del Programa Landsat el cual tiene como objetivo la observación de la tierra por medio de satélites gestionados por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (IGAC, 2013). Estas imágenes son gratuitas y en este proyecto se utilizaron los sensores: Landsat 2 para identificar la mancha urbana de los países de Centroamérica para el año 1975, el sensor Landsat 5 para el año 1995 y el sensor Landsat 8 para el año 2014 (Orozco *et al.*, 2015). Los años elegidos responden a una cronología de 20 años, es decir, la importancia de su selección radica en la necesidad de observar los cambios cada 20 años en la mancha urbana, iniciando desde el 2014 como último año de análisis y desde ese hacia atrás para analizar el cambio.

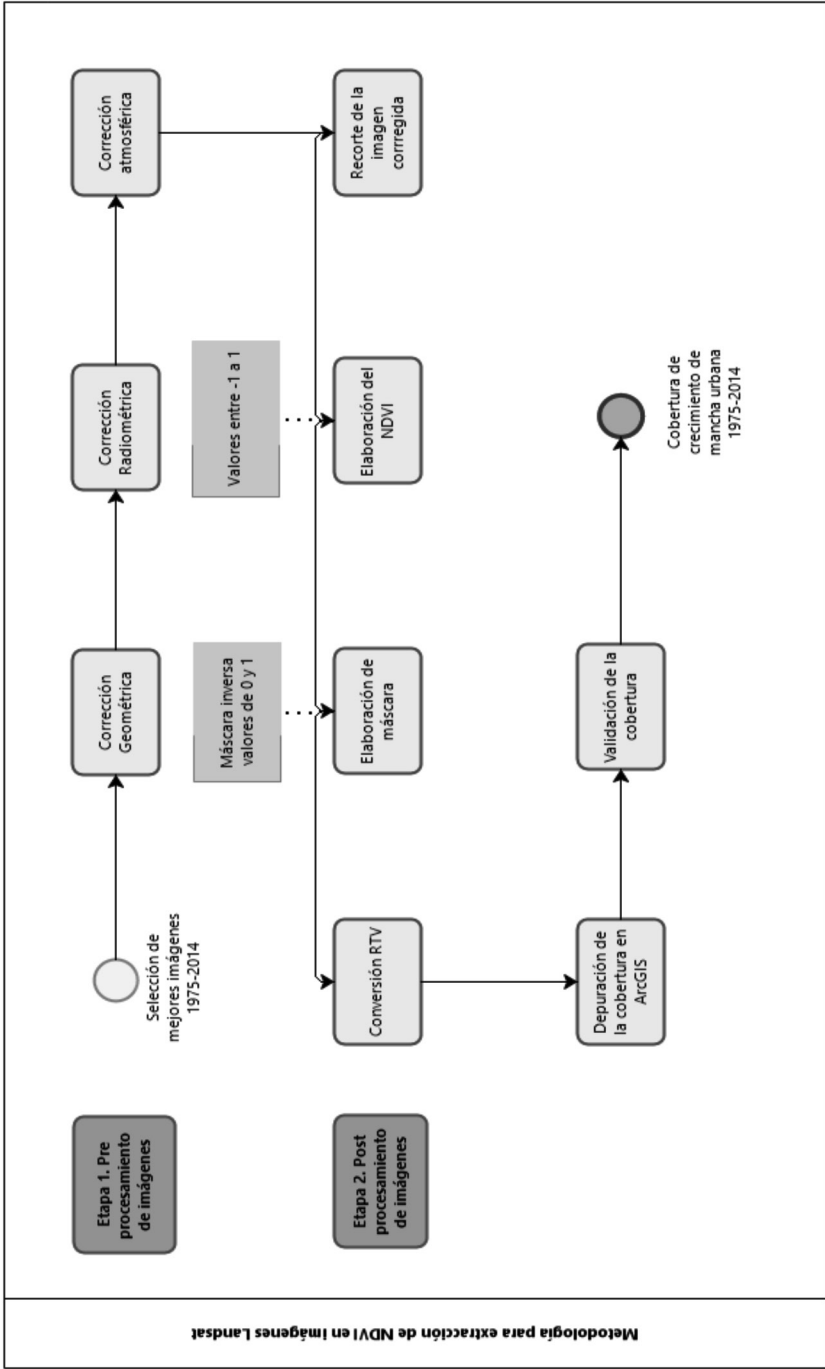
Fase I: Tratamiento de las imágenes Landsat

Preprocesamiento de las imágenes Landsat

Corrección Geométrica

Estas correcciones se realizan debido al cambio en la direccionalidad del satélite y la captura de la información ocasionada por el sensor, las mismas están establecidas por la USGS que aplica una interpolación de convolución cúbica (Hantson *et al.*, 2011; Chander *et al.*, 2009). Para Chuvieco (2010), la corrección geométrica se genera debido al cambio en el posicionamiento de los píxeles que conforman la imagen, ya que al ser un formato digital, en este se aplican funciones numéricas (vecino más próximo, bilinear, convolución cúbica) que modifican la geometría; las mismas pueden ser verificadas en el metadato que acompaña las imágenes descargadas cuyo archivo es el MTL.txt; en él se lee la información del nombre del sensor, procesamiento que ha tenido la imagen y otra información importante.

Figura 2: Diagrama metodológico aplicado



Corrección Radiométrica

Se entiende como la modificación de Números Digitales (ND), o valores que van en un rango de 0 a 255 en las imágenes satelitales cuyo valor sea de 8 bits, la información es almacenada por la intensidad de la radiación electromagnética (Kruse, 2004). El rango de los ND depende de cada sensor y de la cantidad de luz solar percibida en la toma de cada imagen, es por lo que los ND deben transformarse a una escala espectral normalizada (Edwards, 1998), convirtiendo los valores para cada una de las bandas del sensor a radiancia.

Corrección Atmosférica

Es un proceso que se aplica en imágenes satelitales posterior a la transformación de los valores de ND a valores de radiancia. Este proceso consiste en convertir la radiancia a valores de reflectividad en el techo de la atmósfera “Top of Atmosphere” (TOA), esto con la finalidad de eliminar el efecto de los aerosoles y la radiancia intrínseca que se introduce en el sensor (Aguilar *et al.*, 2014; Brizuela *et al.*, 2007); se utilizó el módulo FLASSH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) del software ENVI 5.2.

Postprocesamiento de las imágenes Landsat

Posterior a las correcciones de las imágenes, se procedió a la realización del postprocesamiento de las imágenes Landsat. A continuación, se explica el proceso metodológico a seguir para el tratamiento de las imágenes:

Recorte de la imagen

La imagen Landsat abarca una extensión territorial mayor al área de estudio de interés, por lo que se realizó un recorte de la imagen con la herramienta ROI (Region of interest), extrayendo la mancha urbana de las ciudades capitales de los países Centroamericanos y parte de la periferia (buffer de 2.5 km). Como referencia se utilizó la capa de mancha urbana del Programa GEOSUR, 2013.

Elaboración del NDVI

El NDVI (por sus siglas en inglés) es el índice de vegetación de diferencia normalizada. Este índice generalmente se utiliza para el análisis

de la vegetación con valores de -1 a 1, siendo -1 valores donde no hay presencia de vegetación, y 1 valores con presencia de esta. Sin embargo, en este estudio se utilizó de una manera inversa para la extracción de la mancha urbana. En este proceso, se realizó un ajuste a los parámetros para dar énfasis a la obtención de información de infraestructura urbana. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = \frac{IR - R}{IR + R}$$

Elaboración de la máscara

La máscara se elaboró con el objetivo de separar la mancha urbana de todo aquello que no lo es. En este caso, se interpretó la máscara con valores de 0 y 1, donde 0 representa valores no seleccionados para la interpretación, es decir, son valores que se desean excluir porque no representan un uso urbano, mientras que los valores de 1 son áreas seleccionadas y deseables.

Es así como con base en el NDVI generado con el programa ENVI, se aplicó una máscara inversa a partir de los valores extraídos de las imágenes, revirtiendo los valores que genera el NDVI, por lo tanto, los valores de 0 corresponden a áreas no urbanas como la vegetación y los valores de 1, representan toda la infraestructura urbana. Esta máscara se generó en formato raster.

Fase II: Obtención de coberturas vectoriales

Conversión de raster a formato vectorial

Posterior a la elaboración de la máscara que se obtuvo en formato raster, se procedió a la transformación de esta capa en formato vectorial.

Depuración de la capa

La depuración de la capa vectorial se ejecutó en el software ArcGIS 10.3, con la finalidad de limpiar la capa de rastros que no son de utilidad para el estudio. En este proceso se extrajo de la capa final: nubes, sombras de nubes, ríos, áreas verdes, así como aquellas coberturas que se consideraron innecesarias para cumplir con los objetivos de este proyecto. Es importante mencionar que se eliminaron todas las nubes y sombras de nubes que se encontraban dentro de la capa de la mancha urbana resultante, justificándose en el hecho de que no se tiene la certeza de la presencia de

uso urbano en estas zonas. Además, no se utilizaron otras imágenes para completar el faltante de información en estas áreas.

Validación

La validación se realizó por medio de un análisis Random con el uso del software ENVI, este análisis es una clasificación supervisada que mejora la precisión en la clasificación mediante la aleatoriedad, resultando de este modo una validación que permite mayor exactitud en la imagen (Richards, 2013). Se debe aclarar que para este estudio no se realizó validación de campo.

Análisis del cambio de la mancha urbana

El análisis del cambio de la mancha urbana se llevó a cabo con el software ArcGis 10.3, para obtener la diferencia de crecimiento urbano por medio del álgebra de mapas. Esta herramienta tiene como función la sobreposición de las capas de mancha urbana, restándose entre ellas para obtener la diferencia de crecimiento, es decir, se resta el año más actual al que lo antecede.

Resultados

Los resultados muestran los productos obtenidos a partir de la metodología empleada, con la finalidad de que estos funcionen como insumo y línea base de futuras investigaciones que ahonden en el tema de la expansión urbana de las capitales centroamericanas.

Los resultados se traducen en siete mapas que contemplan las manchas urbanas de los países que conforman la RC. En cada uno de ellos se sobreponen las capas de los tres periodos trabajados, siendo la mancha urbana de color rojo el primer año de análisis, correspondiente al año de 1975, el color amarillo el año intermedio, es decir, 1995 y el color verde el año más reciente, representado por el año 2014.

Cada mapa de los diferentes países se mostrará a continuación, donde a su vez se explicará el proceso en cuanto a la selección de imágenes y la aplicación de la metodología anteriormente expuesta.

1). Managua, Nicaragua; períodos 1975, 1996, 2014

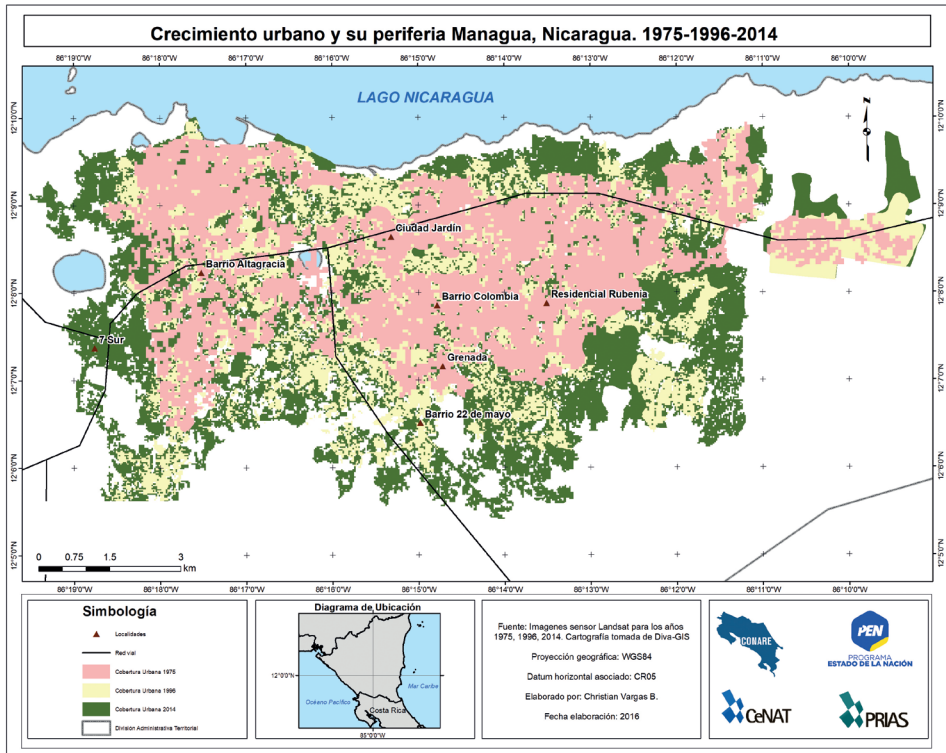
Para el caso de la mancha urbana de Managua, Nicaragua; se trabajó con las imágenes del sensor Landsat 2, 5 y 8, que corresponden a los años 1975, 1996 y 2014 respectivamente (Figura 3).

La selección de las imágenes se basó en la escogencia de aquellas que tuvieran menor porcentaje de nubosidad sobre la mancha urbana de Managua. No obstante, algunas secciones en la cobertura urbana de 1975 y de 2014, como se observa en la figura 3, carecen de información debido a la nubosidad presente, por lo que se desconoce si existe o no cobertura urbana en esa zona, por ello se optó por no tomarlo en consideración dentro del resultado final de la capa.

Respecto a la mancha urbana de Managua, puede destacarse que esta limita al este con el Aeropuerto Internacional de Managua Augusto C. Sandino, y al norte con el lago de Managua, como se aprecia en la figura 3. La ciudad de Managua y el municipio como tal forman parte de la Región Metropolitana de Managua (RMM), la cual, tiene una extensión aproximada de 6 197 km², lo que representa un 4.8% del territorio nacional, con una población de un poco más de 2 000 000 de habitantes (Orozco *et al.*, 2015).

La ciudad de Managua surge desde la colonia como el centro de poder político, administrativo y con claras relaciones con el resto del territorio, por lo cual, recibe el título de capital en la segunda mitad del siglo XIX (Delgado, 2012). La ciudad ha protagonizado distintas situaciones desde su conformación, siendo una de las más graves en 1972 cuando fue impactada por un terremoto de magnitud 6.2 grados, generando daños en toda la ciudad; además en el periodo 1979-1990 se da la revolución nicaragüense con el Frente Sandinista de Liberación Nacional (FSLN) que provoca fuertes flujos migratorios internos y fuera del país (Orozco *et al.*, 2015).

Figura 3. Comparación del crecimiento de la mancha urbana de Managua, Nicaragua, del periodo 1975, 1995, 2014.



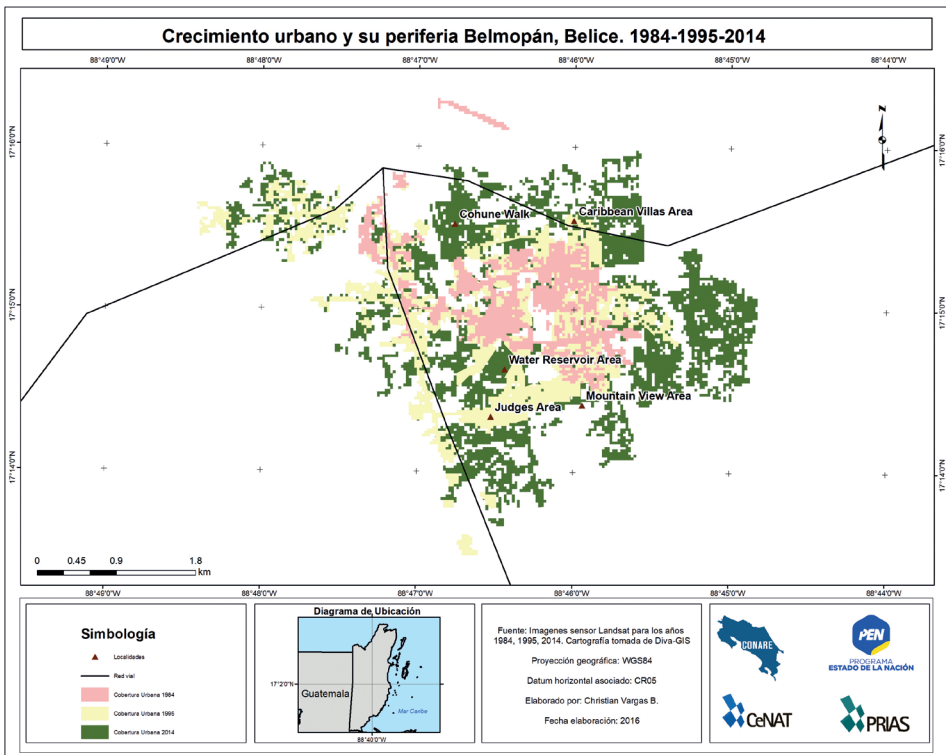
Desde 1975 la mancha urbana de Managua inicia un proceso de conurbación con otros centros urbanos cercanos a la capital como Colonia El Periodista, Altamira y Rubenia; luego para 1995, el crecimiento se dirige hacia el este y sur de la capital, y finalmente para el 2014, su expansión se dirige hacia el sector oeste, constituyendo un proceso de periurbanización (Orozco *et al.*, 2015). En la actualidad, la RMM involucra 30 municipios adyacentes con una conectividad importante, produciendo conurbaciones entre municipios como el eje de carretera a Masaya: Managua-Ticuantepé, en el oeste en la carretera hacia León: Managua-Ciudad Sandino, Managua-Mateare, hacia la carretera sur Managua-El Crucero y hacia la carretera norte: Managua-Tipitapa (Uribe *et al.*, 2010).

2). Belmopán, Belice; períodos 1984, 1995, 2014

En la figura 4 se observa la mancha urbana de la ciudad de Belmopán, Belice. Debido a la cantidad de nubes presentes en el área de interés en la imagen del año 1975, se utilizó la imagen del año 1984, haciendo la aclaración de que a pesar de que el año de esta imagen es distinto, el sensor de captura de la imagen es el mismo: Landsat 2.

Igualmente, para las manchas urbanas siguientes se trabajó con los años 1995 y el 2014, puesto que las imágenes presentaban las condiciones óptimas para trabajar la mancha urbana en el área de interés (Figura 4).

Figura 4. Comparación del crecimiento de la mancha urbana de Belmopán, Belice, del periodo 1984, 1995, 2014



La ciudad de Belmopán es una de las capitales más jóvenes del continente americano, por lo tanto, su fortalecimiento ha sido menor al resto de las ciudades. Su fundación se dio en 1970, ya que la antigua capital beliceña, la ciudad de Belice, fue devastada por un huracán en 1969 debido a su localización en la costa del Caribe, es debido a lo anterior que se decide el traslado de la capital a Belmopán (Torres, 2008).

Belmopán fue fundada debido al crecimiento de su sector industrial, que para 1984 estaba conformada por 167 Ha localizadas alrededor de la red vial circundante. Para 1995, el crecimiento de la mancha urbana se da hacia el sur y oeste, generando un patrón de conurbación más visible hacia otros centros urbanos como Roaring Creek. Ya para el 2014 la expansión urbana de Belmopán es sorprendente, creciendo 4.5 veces más respecto al 2014 (Orozco *et al.*, 2015).

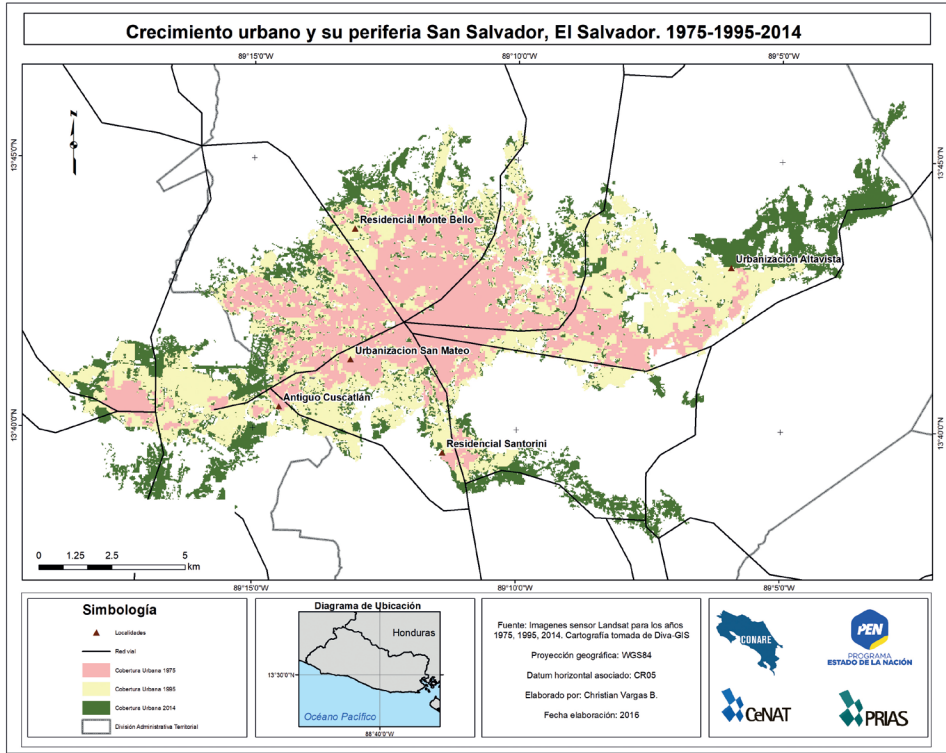
3). San Salvador, El Salvador; períodos 1975, 1995, 2014

La mancha urbana de San Salvador se aprecia en la figura 5. Los años de cobertura urbana corresponden a 1975, 1995 y 2014.

Las capas correspondientes a esta ciudad capital requirieron de una depuración cuidadosa, ya que San Salvador cuenta con límites naturales como el volcán de San Salvador y el Cerro San Jacinto que cuentan con una cobertura vegetal bastante considerable, por lo que posterior a la creación de la máscara se tuvieron que remover varios píxeles que no correspondían a cobertura urbana, dando como resultado las tres manchas urbanas expuestas en la figura 5.

La ciudad de San Salvador está situada en el centro del país y fue constituida durante la época republicana (1811-1935), luego de la década de 1940 empezó a extender su estructura reticular hacia la periferia, configurándose el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) entre 1945 y 1965 (Lungo, 1999). Es de esta forma como según la figura 5, puede observarse que para 1975, ya estaban conformados importantes centros urbanos como Nueva San Salvador (Santa Tecla), San Marcos, Mejicanos y Soyapango que estaban conectados con el AMSS por las vías de acceso, pero sin procesos de conurbación importantes. La situación anterior cambia para 1995, cuando se observa que dichos centros urbanos pasaron a formar parte de la mancha urbana de San Salvador, creciendo esta hacia todas direcciones (Orozco *et al.*, 2015).

Figura 5. Comparación del crecimiento de la mancha urbana San Salvador, El Salvador del periodo 1975, 1995, 2014



Para el 2014, la mancha urbana de San Salvador es de aproximadamente 12 400 Ha, evidenciando su crecimiento hacia la cercanía de áreas protegidas como el volcán de San Salvador al noroeste, el cerro San Jacinto al sureste y el lago Ilopango situado al este, los cuales a su vez se muestran como limitantes para la expansión de la mancha urbana hacia estos sectores (Orozco *et al.*, 2015), sin embargo, la periurbanización se ha extendido hacia el sector norte y noreste conectando con el municipio de San Martín, y luego hacia el suroeste uniéndose con Nuevo Cuscatlán y hacia el sureste con Santo Tomás.

Es importante indicar el proceso de periurbanización del AMSS, ya que sobresale el crecimiento de población de manera acelerada en los municipios y centros urbanos que conectan con el centro, pero el municipio de San Salvador como tal experimenta una tasa de decrecimiento respecto

a los municipios colindantes, sin embargo, el empleo y la provisión de ciertos servicios se concentra en la AMSS, principalmente en San Salvador, Santa Tecla y Antigua Cuscatlán (Uribe *et al.*, 2010), lo cual resalta la centralización y el proceso de fragmentación de la ciudad, la cual es vista como centro administrativo y laboral, relegando la residencia hacia las afueras de la ciudad y con ello fortaleciendo la periurbanización.

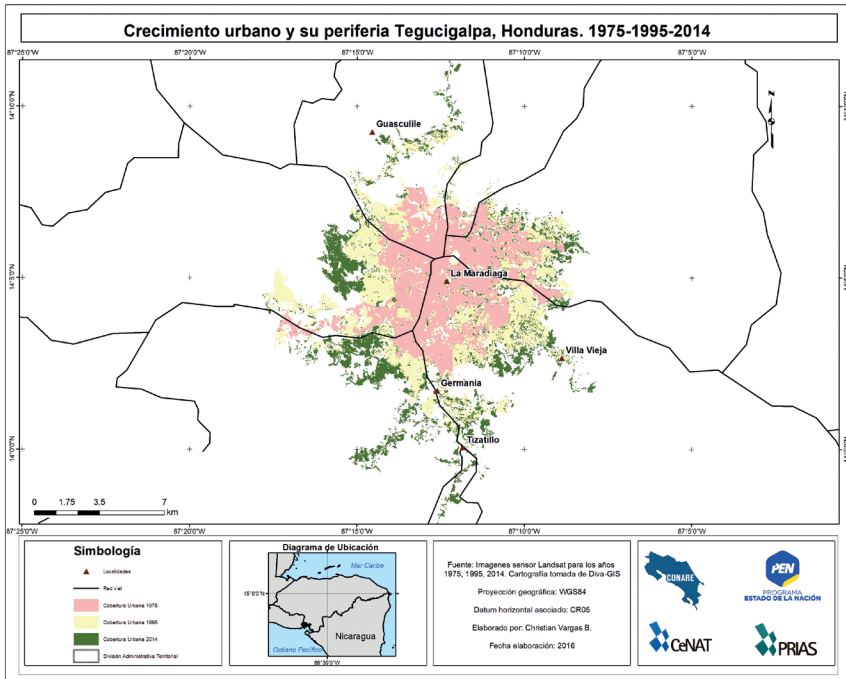
4). Tegucigalpa, Honduras; períodos 1975, 1995, 2014

Los años trabajados para la mancha urbana de Tegucigalpa fueron 1975, 1995 y 2014. Algunas secciones de la cobertura de 1975 carecen de información debido a la presencia de nubes en el área de interés. Para el año 1995, dichas secciones cuentan con información que permiten suponer que hace 20 años posiblemente sí había presencia de cobertura urbana en esa área, pero que no se puede asegurar. Lo anterior se termina de ratificar con la mancha urbana del 2014, como se aprecia en la figura 6.

La ciudad de Tegucigalpa es denominada el Distrito Central (DC) y está conformada por dos ciudades gemelas, Tegucigalpa al este y Comayagüela al oeste, las cuales se fusionaron en 1938 mediante la conformación del Municipio del Distrito Central (MDC) (Orozco *et al.*, 2015).

Para 1975, la mancha urbana de Tegucigalpa se caracterizó por ser compacta y pequeña con algunas conurbaciones hacia Comayagüela, Ciudad Nueva y San José de la Vega; luego para 1995 la mancha urbana se expande de manera gradual principalmente hacia el este y oeste; por último, para el 2014, sobresale una periurbanización mayor hacia todas direcciones y siguiendo el patrón de las principales vías de comunicación.

Figura 6. Comparación del crecimiento de la mancha urbana de Tegucigalpa, Honduras, del periodo 1975, 1995, 2014



De acuerdo con Uribe *et al.*, (2010), Tegucigalpa está rodeada de 13 municipios con los cuales se ha dado el proceso de conurbación, teniendo como límites físicos para su crecimiento las montañas El Picacho, El Pili-güin y El Hatillo al noreste y el cerro Grande y Berrinche al noroeste, así como los ríos Guacerique, Grande y Chiquito al Suroeste. Es importante destacar que la ciudad es de topografía muy irregular, rodeada de montañas y con condiciones difíciles para su expansión, además posee terrenos susceptibles a deslizamientos debido a su formación geológica, pendiente y formas de construcción de la ciudad (Uribe *et al.*, 2010).

La ciudad ha experimentado situaciones particulares que han marcado su desarrollo, una de ellas se dio en la década de 1950 cuando se dio una explosión demográfica por migraciones internas, lo que generó una severa crisis urbana, déficit habitacional y de servicios públicos que se mantiene

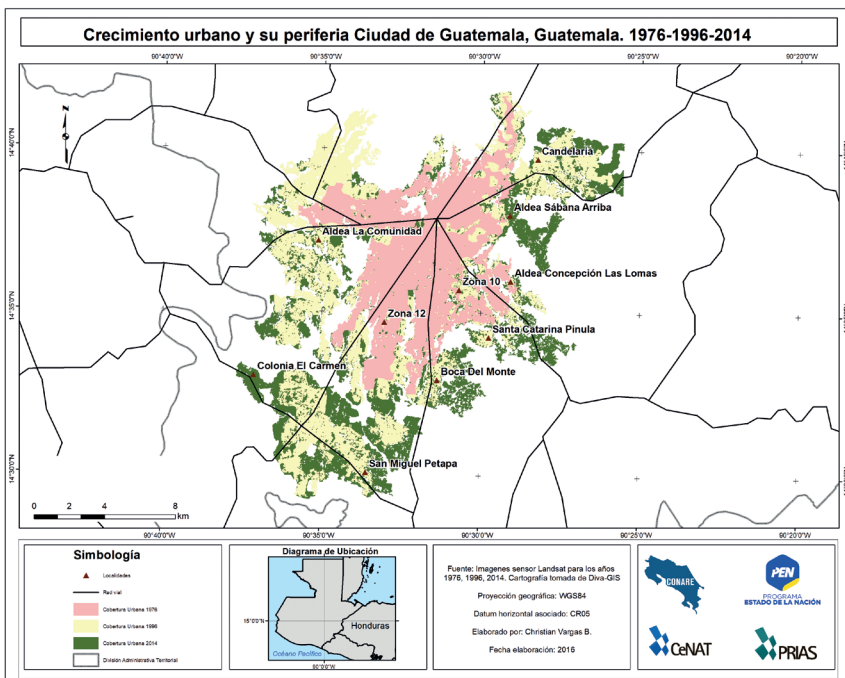
hasta la actualidad (Uribe *et al.*, 2010). Otra situación importante se da en 1998, cuando el huracán Mitch devastó la capital hondureña, lo cual evidenció la falta de planificación y construcción en áreas no óptimas.

5). Ciudad de Guatemala, Guatemala; períodos 1975, 1995, 2014

Para Ciudad de Guatemala, la mancha urbana se elaboró con las imágenes satelitales de los años 1975, 1995 y 2014, coberturas que sirvieron de insumo para la confección de la figura 7.

Algunas secciones de las diferentes coberturas urbanas tenían presencia de nubes, por lo que en la depuración se descarta dicha información como parte de la mancha urbana de Ciudad de Guatemala, ya que se desconoce la existencia de uso urbano en la zona cubierta por nubosidad.

Figura 7. Comparación del crecimiento de la mancha urbana de Ciudad de Guatemala, Guatemala, del periodo 1975, 1995, 2014.



La ciudad de Guatemala ha tenido un proceso de metropolización desde 1950 cuando el Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala (AMCG) comienza a rebasar los límites jurisdiccionales del municipio de Guatemala, alcanzando municipios periféricos por medio de la conurbación y migraciones internas entre municipios, por lo cual, actualmente se considera todo el departamento como la región metropolitana del país (Uribe *et al.*, 2010).

Desde 1975, puede observarse que la mancha urbana de la ciudad de Guatemala tiene un proceso de conurbación hacia otros municipios, que luego para 1995, este se consolida hasta conectar dentro de la mancha urbana a municipios como Colonia Santa Marta, Candelaria, Santa Catarina Pinula y Villa Nueva, creciendo de esta forma hacia todas direcciones, y observándose un crecimiento acelerado en 20 años (Figura 7). Luego para el 2014, se observa que el crecimiento no es tan notorio, y este se intensifica al noreste y suroeste.

Es importante indicar que la Ciudad de Guatemala ha experimentado una serie de situaciones ligadas a diversos factores, uno de los más notorios, es que la capital se ha trasladado en tres ocasiones debido a terremotos que han devastado la ciudad, de lo cual la actual capital no se libró, ya que en 1976 se dio uno que provocó daños y pérdidas considerables. Otro factor importante, fue la guerra civil entre 1960-1996 que provocó la migración de gran cantidad de personas hacia la capital (Rivadeneira, 2001).

De acuerdo con Uribe *et al.*, (2010), la configuración territorial metropolitana de la Ciudad de Guatemala tiene una estructura de centros asimétrica y desequilibrada con una constante macrocefalia de la ciudad dentro de los centros urbanos circundantes. Para el 2010, la población de Ciudad de Guatemala superó los tres millones de habitantes, concentrando al 22 % de la población total del país en este territorio con una densidad de 1.42 habitantes por km², lo cual representa 10 veces más del promedio nacional (Uribe *et al.*, 2010).

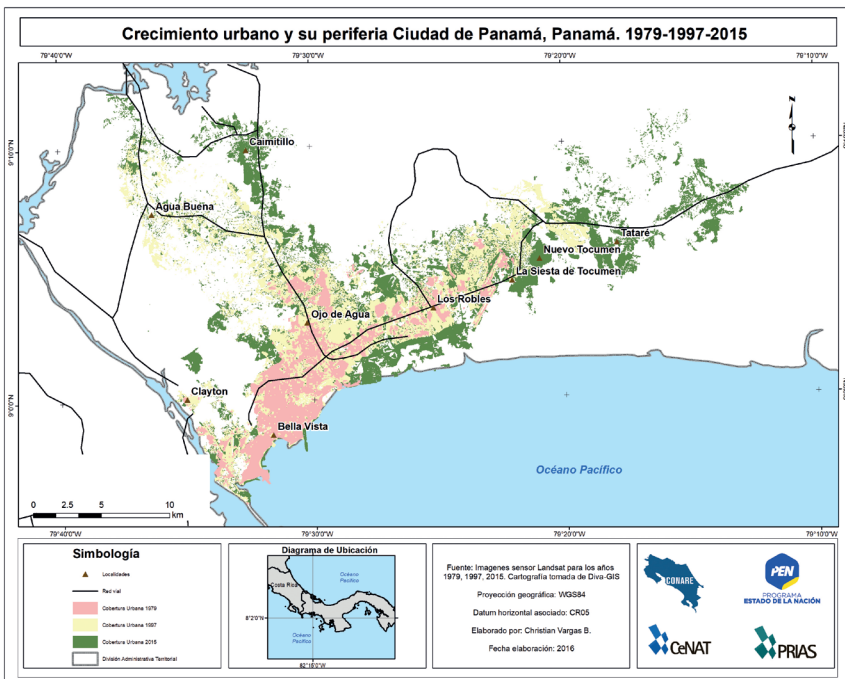
6), Ciudad de Panamá, Panamá; períodos 1979, 1997, 2015

En el caso de Ciudad de Panamá, la mancha urbana se trabajó con el año 1979 debido al significativo porcentaje de nubes que contenía la imagen de 1975; el año intermedio se trabajó con la imagen de 1997 ya que fue la única disponible en el área para ese periodo específico, y la imagen para

el periodo reciente corresponde al 2015, justificándose su elección por el hecho de que cuenta con información más actualizada. Se tiene como resultado final tres capas que representan el incremento de la mancha urbana de Ciudad de Panamá, tal y como se aprecia en la figura 8.

La expansión de la mancha urbana de la ciudad de Panamá claramente ha sido provocada en gran parte por el Canal de Panamá y todo el desarrollo que ha llevado este a la ciudad, este inició a comienzos del siglo XX y para 1913 se estableció un límite de crecimiento urbano a la ciudad, que luego con la construcción de la carretera transístmica en 1942, se inicia una conurbación más agresiva hacia el sector norte (Uribe *et al.*, 2010).

Figura 8. Comparación del crecimiento de la mancha urbana de Ciudad de Panamá, Panamá, del periodo 1979, 1997, 2015.



La mancha urbana de la Ciudad de Panamá en 1979 tenía un estrato urbano ya consolidado y algunos centros urbanos de la periferia comenzaban a mostrar conectividad con Ciudad de Panamá. Además, el Canal

de Panamá, la costa, el Cerro Ancón y el Parque Natural Metropolitano, marcan las nuevas líneas de crecimiento de la ciudad. Para 1997 la mancha urbana se extendió hacia el norte y el este principalmente, evidenciando un proceso de conurbación con los centros urbanos de Tocumen, Alcalde Díaz y Paso Real. Para el 2015, se aprecia el estrato de la mancha urbana, donde Chilibre empieza a unificarse con Alcalde Díaz, debido al crecimiento urbano en dirección norte y noroeste. Además, hacia el sector este, Tocumen y Pacora también presentan indicios de conurbación (Orozco *et al.*, 2015). Por otro lado, la mancha urbana de Ciudad Panamá presenta características de desarrollo lineal en su periferia, lo que evidencia la influencia de la red vial en la periurbanización.

El Área Metropolitana de Panamá (AMP) ha sido dividida por Uribe *et al.*, (2010) en cinco zonas: casco central que contiene tres subzonas, casco viejo, centro e intermedia; área del canal, en el corregimiento de Ancón; periferia norte, que incluye al distrito de San Miguelito, y los corregimientos de Las Cumbres y Chilibre en el distrito de Panamá; periferia este, incluyendo los corregimientos Juan Díaz, Tocumen y Pacora del distrito de Panamá; y la periferia oeste, que está conformada por el distrito de Arraiján y los corregimientos más urbanizados del distrito La Chorrera, como barrio Balboa, barrio Colón, Guadalupe, El Coco, playa Leona y Puerto Caimito.

7). San José, Costa Rica; períodos 1975, 1996, 2014

En cuanto al resultado obtenido para la mancha urbana de San José, esta se puede observar en la figura 9. La cobertura urbana corresponde a los años 1975, 1996 y 2014. No se incluye la ciudad de Cartago debido a que los cerros de Ochomogo y la zona protectora Cerros de La Carpintera, han limitado la conurbación hacia el este de la capital, sin embargo, a lo largo de la autopista Florencio del Castillo que comunica San José con Cartago, se han ubicado cada vez más obras de desarrollo urbano.

Esta ciudad requirió de un proceso de depuración meticuloso, debido a la presencia de varios parches de cobertura vegetal dentro de la mancha urbana resultante, por lo que fue necesario extraer dicha información que no era de interés para este trabajo.

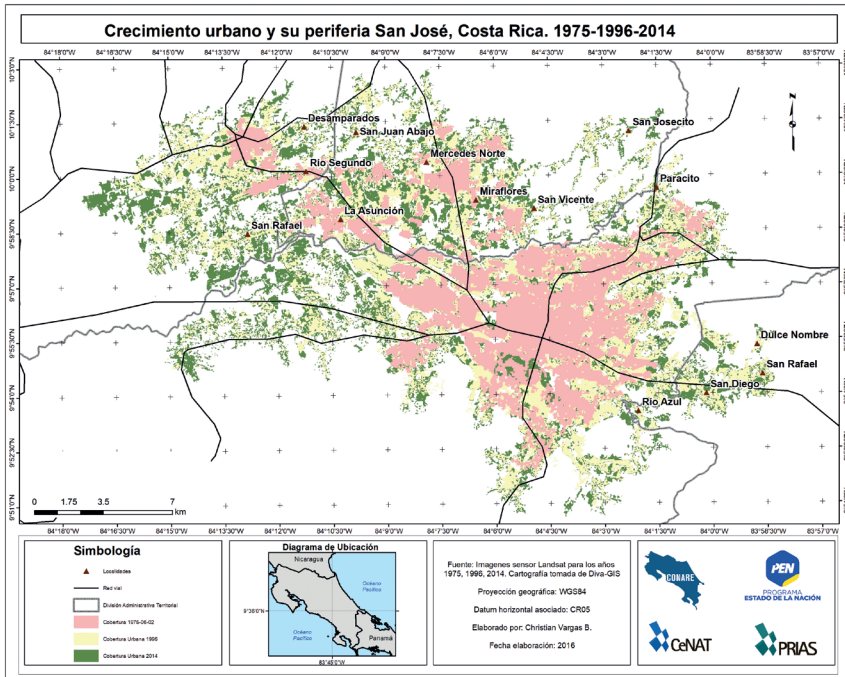


Figura 9. Comparación del crecimiento de la mancha urbana de San José, Costa Rica, del periodo 1975, 1996, 2014.

La mancha urbana de San José se ha convertido en una superficie homogénea que involucra a tres ciudades importantes: Alajuela, Heredia y San José, las cuales han crecido desde sus cascos urbanos y han logrado absorber otros pequeños centros hasta conectarse de manera conjunta con la capital (Pujol y Pérez, 2012).

Para 1975 ya estaban conformadas las ciudades de Alajuela, Heredia y San José. Puede observarse que las tres ciudades se encontraban separadas, y para el caso específico de Alajuela y Heredia, se aprecia principalmente su casco urbano y unas pocas manchas urbanas siguiendo la ruta nacional N°3 que comunica a ambas ciudades (Figura 9). Para el año 1996, se evidencia el crecimiento de las ciudades de San José, Alajuela y Heredia, las cuales para este año presentan una expansión importante que no se concentró solo en los centros urbanos, sino en otros centros que fueron habitados debido al proceso de conurbación que se llevó a cabo, como es el caso de La Guácima, San Isidro y Santa Ana. Se muestra, una mancha

urbana en constante crecimiento principalmente al sur y este de San José, en el sector de Aserrí, Tres Ríos y Mata de Plátano (Orozco *et al.*, 2015).

En el 2014, se observa un aumento de la mancha urbana principalmente en la parte sur y oeste de San José, repitiendo el patrón de crecimiento desde el año 1975, y además se aprecia un crecimiento al norte de las ciudades de Alajuela y Heredia. Tanto Tres Ríos, Santa Ana, Aserrí, Mata de Plátano y La Guácima; se consolidan como centros urbanos importantes en este último año de estudio.

De acuerdo con Jiménez (2017), en la Gran Área Metropolitana (GAM) conformada por las ciudades de San José, Alajuela, Heredia y Cartago, habita casi el 53 % de la población total del país en apenas el 3.8 % del territorio nacional. Las cuatro ciudades principales se han conurbado y han generado que otras cabeceras cantonales ubicadas dentro de la GAM tengan en algunos casos especialización de actividades, como Montes de Oca, Escazú o Curridabat. Además, la periurbanización, ha llevado que otros centros urbanos más pequeños fuera del anillo de contención urbana se empiecen a desarrollar de manera acelerada como San Pedro de Poás, San Rafael de Heredia y Oreamuno de Cartago. Es así como la GAM se ha desarrollado como un sistema polinuclear desconcentrado que continúa transformando el suelo rural en urbano sin tener certeza sobre sus límites (Jiménez, 2017).

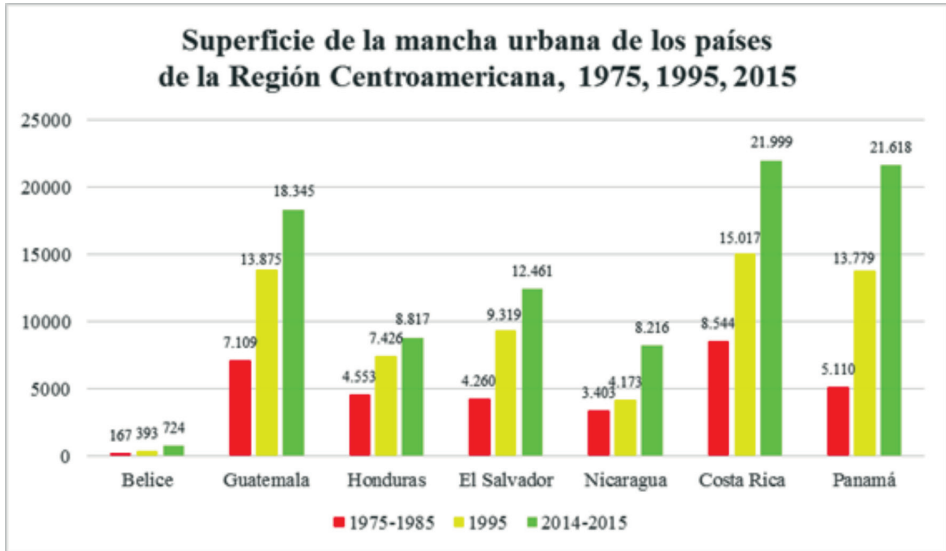
8). Comparación de las manchas urbanas de la Región Centroamericana

Con los resultados obtenidos por cada país de la RC, se procedió a hacer una comparación entre las diferentes manchas urbanas, como un insumo para futuras investigaciones que se puedan desprender de este trabajo (Figura 10). Por su parte, la figura 11 muestra el aproximado del crecimiento de las manchas urbanas de los siete países de la RC. Los datos obtenidos se expresan en hectáreas (Ha) y permiten comprender el comportamiento en cuanto al aumento de la cobertura urbana entre los periodos trabajados por país, así como analizar o comparar dicho crecimiento entre países.

Figura 10. Comparación del crecimiento de la mancha urbana para las ciudades capitales de Centroamérica, del periodo 1975, 1995, 2014.



Figura 11. Superficie de la mancha urbana de los países de la Región Centroamericana.



La mancha urbana de San José, Costa Rica es la que predomina en los tres años trabajados, mientras que Belmopán, Belice se encuentra en la última posición.

Las manchas urbanas de mayor crecimiento en el periodo de estudio fueron para los países de Panamá y Costa Rica, debido principalmente a su orografía plana (32.2% y 28.4% respectivamente), seguido por El Salvador con 22.7% de crecimiento. En el caso de Nicaragua, Guatemala y Honduras, el proceso de crecimiento de población urbana fue más lento, oscilando entre 9.6% y 15.4%. Belice es un caso excepcional, ya que además de ser el país más pequeño con menor población de la región, presentó una disminución de la población urbana (-1.5%), lo anterior de acuerdo con datos del Programa Estado de la Nación (2013; 2014).

De acuerdo con los datos de la figura 11, la ciudad de Panamá pasó de tener 5 110 hectáreas en 1975 a 21 618 hectáreas en el 2014, lo que implica un crecimiento del área de 323% (16 508 ha). En el caso de Belmopán, su mancha urbana tuvo una fuerte expansión (334%) durante el periodo analizado, lo cual contrasta con la disminución en la proporción de población urbana a nivel nacional, lo que podría evidenciar que el crecimiento

urbano del país se concentró en la ciudad capital (Orozco *et al.*, 2015). Por su parte, en El Salvador, Guatemala y Nicaragua, el crecimiento de la mancha en el periodo osciló entre 193% y 141%.

En 1975, la Ciudad de Guatemala ocupaba el segundo lugar, después de San José en cuanto a superficie de mancha urbana, seguido por Ciudad de Panamá en tercer lugar, Tegucigalpa en el cuarto puesto y San Salvador en la quinta posición. Para 1995 tanto la mancha urbana de San José, Ciudad de Guatemala y Ciudad de Panamá mantienen las posiciones que ocupaban en el periodo previo. Sin embargo, San Salvador subió al cuarto puesto y Tegucigalpa pasó al quinto lugar (Orozco *et al.*, 2015).

Finalmente, en el periodo 2014-2015, la mancha urbana de Ciudad de Panamá se ubica como la segunda de mayor superficie, muy similar a la de San José y es seguida por Ciudad de Guatemala en el tercer lugar. Mientras que San Salvador y Tegucigalpa ocupan las mismas posiciones que en el periodo previo.

Discusión

El análisis espacial mediante el uso de los SIG ha permitido que este estudio proyecte una perspectiva sobre el crecimiento de la mancha urbana para las ciudades capitales de la RC, y para medir este crecimiento se utilizaron imágenes de satélite del sensor Landsat 5, 7 y 8. Justificando su uso, ya que la familia de este satélite se mantiene capturando información desde los años 70, siendo este sensor considerado como el proyecto de mayor longevidad en la observación de la Tierra a través de imágenes multiespectrales.

Es basado en lo anterior que la aplicación de la metodología evidencia que, a nivel regional, el área de las manchas urbanas casi se triplicó en los últimos 40 años, pasando de 33 146 hectáreas en 1975 a 92 180 en el año 2014. Dado el alto crecimiento de la Ciudad de Panamá, su peso relativo pasó de 15% a 23%, junto con la ciudad de San José figuran el 47% e incluyendo la Ciudad de Guatemala representan el 67% del área metropolitana total de la región (Orozco *et al.*, 2015). Esta extensión de la mancha urbana se da por un proceso de periurbanización que se ha consolidado en los últimos años, uniando centros urbanos aislados a la dinámica territorial de las capitales.

La periurbanización en latinoamericana toma importancia a partir de la década de 1990, promoviendo la expansión territorial, es de esta forma como las áreas periféricas se expanden en la RC en respuesta a las siguientes funciones de acuerdo con Cardoso y Ortiz (2012): a) función residencial: atiende a las necesidades habitacionales de distintas clases sociales; b) función de abastecimiento: distribuye para la ciudad y para el campo productos y servicios (energía, agua potable, salud, transporte, aeropuertos, entre otros); c) función industrial: necesidad de espacio, bajo costo del suelo y proximidad a rutas clave, lo que favorece las instalaciones industriales en el área periurbana; d) función social: el periurbano ofrece a la población áreas de esparcimiento y recreación, así como áreas educativas; e) función ecológica: puede tener la función de equilibrio de sistemas naturales de una región.

Específicamente las ciudades capitales de la RC son de especial interés, principalmente porque la región cuenta con la tasa de urbanización más rápida del mundo (Banco Mundial, 2016), por lo que Lungo (2000) las reconoce como ciudades grandes en países pequeños, lo que podría acarrear una serie de problemáticas que se dan en las grandes urbes latinoamericanas; una de ellas la manifiesta Lungo (2001), en cuanto a la ocurrencia de eventos de desastre en las capitales centroamericanas, poniendo en manifiesto su vulnerabilidad de acuerdo con su ubicación y al proceso de construcción y conurbación que han vivido, por ejemplo, Lungo (2001) analiza la situación de San Salvador, San José y Ciudad de Panamá, donde las dos primeras se ubican en ámbitos territoriales similares, como valles intermontanos afectados por erupciones volcánicas y sismos frecuentes, tierras de alta fertilidad y biodiversidad, cuya expansión territorial ha provocado la disminución y erradicación de tierras aptas para la agricultura y de riqueza natural, lo que ha llevado a la expansión urbana hasta áreas más susceptibles a deslizamientos u otras amenazas, mientras que Panamá tiene sus amenazas ligadas a eventos costeros.

Basado en lo anterior y en el proceso constructivo de las capitales de los países de la RC, puede determinarse que seis de ellas (Ciudad de Guatemala, San Salvador, Tegucigalpa, Managua, San José y Ciudad de Panamá) se encuentran ubicadas en áreas donde los límites a su expansión territorial están dados por límites físicos, como áreas montañosas, volcanes, lagos, zonas protegidas o el mar, sin embargo, algunas de estas áreas se encuentran con procesos de periurbanización hacia los sectores montañosos principalmente, asentándose población en áreas de riesgo.

Es importante indicar que los anteriores son hallazgos generales obtenidos del análisis de las manchas urbanas de las capitales centroamericanas, no obstante, el objetivo de este trabajo no consiste en determinar las razones o condiciones que han propiciado el crecimiento más rápido o más lento de una capital, sin embargo, se deja el insumo para que se incentiven nuevos estudios.

Por su parte, la metodología utilizada, que es el principal tema de análisis de este trabajo, tiene como ventaja que puede ser replicada en otras áreas urbanas del mundo y realizarse una comparación entre manchas urbanas de distintos continentes, debido a que las imágenes Landsat, como principal insumo, están disponibles para otras regiones. Además, la metodología utilizada podría aplicarse a otros temas no urbanos, por ejemplo, en vez de extraer la mancha urbana, podrían extraerse los parches de bosque en un corredor biológico o en una cuenca hidrográfica, también las zonas verdes en una ciudad o en un municipio, entre otros.

Conclusiones

La metodología aplicada permitió obtener el resultado esperado de la investigación, respecto a la comparación en el crecimiento de la mancha urbana de cada capital de la RC, siendo el índice de vegetación de diferencia normalizada, clave para la obtención de la mancha urbana. Además, la metodología es aplicable en otras temáticas no solo urbanas, sino ambientales.

El estudio aporta resultados en las capas vectoriales, las cuales podrán ser utilizadas por los investigadores y público en general; ya que no existía este tipo de información de manera accesible.

Las capitales de los países de la RC presentan un crecimiento notorio entre 1975 y 2014, evidenciándose la periurbanización en la mancha urbana analizada para la década de 1990, la cual se consolida y aumenta para la mancha analizada en el 2014.

El área total de las manchas urbanas configuradas por las ciudades capitales y las áreas periféricas de la región casi se triplicó en los últimos cuarenta años, pasando de 33 146 hectáreas en 1975, a 92 180 en 2014.

El proceso de expansión urbana se ha dado de manera distinta en los países de un periodo a otro. Las mayores tasas de crecimiento fueron las de Belice y Panamá (superiores al 7 % anual), seguidos por El Salvador (5.51

%), Guatemala y Costa Rica (4.85 %). No obstante, en todos los países, excepto en Nicaragua, las tasas de crecimiento fueron mayores en el primer periodo (1975-1995) que en el segundo (1995-2014).

Las manchas urbanas de los países del sur de América Central (Costa Rica y Panamá) son las que han crecido más rápidamente de la RC en todos los periodos de análisis, a excepción de 1995 cuando la Ciudad de Guatemala creció mínimamente más que la ciudad de Panamá. Es así como Panamá y Costa Rica, siendo países pequeños y menos poblados, presentan el mayor incremento de mancha urbana, correspondiente al 32.2 % y 28.4 %, respectivamente.

Es importante considerar las coberturas a extraer de las imágenes de satélite, ya que, por su tamaño de píxel, en este caso 30 metros, se dificulta realizar la adecuada interpretación de la información, se sugiere trabajar con imágenes de mayor resolución (5 metros o menos) de ser necesario.

Considerar el trabajo de campo para la toma de datos, ya que al tratarse de un estudio a nivel regional existen áreas donde no es posible identificar la clase de uso/cobertura que existió en los periodos iniciales 1975-1995.

Agradecimientos

Al señor Alberto Mora, Coordinador del Informe del Estado de la Nación, Programa Estado de la Nación (PEN) del Consejo Nacional de Rectores (CONARE) en Costa Rica, por toda la colaboración brindada para conseguir la información pertinente y financiamiento para el desarrollo de este trabajo tan importante a nivel de la Región.

Referencias

- Aguilar, H., Mora, R. & Vargas, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes ASTER, RapidEye, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo FLAASH del software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, 53, 39-59.
- Arteaga, I. (2005). De periferia a ciudad consolidada: Estrategias para la transformación de zonas urbanas marginales. *Bitácora Urbano/territorial*, 9 (1), 98-111. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/748/74800909.pdf>

- Augustin, M., Acero, J., Aguilera, A. & García, M. E.d. (2018). Estudio de la urbanización en Centroamérica: Oportunidades de una Centroamérica urbana. Washington, DC: Banco Mundial. doi:10.1596/978-1-4648-1220-0.
- Brizuela, A. B., Aguirre, C.A, Velasco, I. (2007). Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. Recuperado de <http://www.aet.org.es/congresos/xii/arg27.pdf>: junio 2015
- Banco Mundial. (2016). Estudio de la Urbanización en Centroamérica: Oportunidades de una Centroamérica Urbana. Recuperado de: <http://documents.worldbank.org/curated/en/406571468196193946/pdf/106268-REVISED-SPANISH-PUBLIC-P152713-Central-America-Urbanization-Review-Final-Output-SPANISH-2.pdf>
- Cardoso, A. & Ortíz, P. (2012). Periurbanización, segregación social y fragmentación territorial. *Encuentro de Geógrafos de América Latina 12*. Recuperado de: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Geografiasocioeconomica/Geografiaurbana/255.pdf>
- Chander, G., Markham, B. L. & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment 113*, 893-903.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona, España: Editorial Planeta, S.A. Primera edición.
- Cunha, J. M. & Rodríguez, J. (2009). Crecimiento urbano y movilidad en América Latina. *Revista Latinoamericana de Población*, 3 (4-5), 27-64.
- Delgado, H. (2012). La Región Metropolitana de Managua: Temas claves para el ordenamiento territorial. Tesis de Máster en Desarrollo Urbano y Territorial. Universidad de Catalunya, España.
- Edwards, A. J. (1998). Lesson 3: Radiometric correction of satellite images: when and why radiometric correction is necessary. Recuperado de <http://www.ncl.ac.uk/tcmweb/bilko/module7/lesson3.pdf>: junio 2015
- Hantson, S., Chuvieco, E., Pons, X., Domingo, C., Cea, C., Moré, G., Cristóbal, J., Peces, J.J., & Tejeiro, J.A. (2011). Cadena de preprocesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección*, (36), 51-61.

- Hidalgo, R & Borsdorf, A. (2009). El crecimiento urbano en Europa: Conceptos, tendencias y marco comparativo para el área metropolitana de Santiago de Chile. *Estudios Geográficos*, LXX (266), 181-203.
- IGAC. (2013). Descripción y corrección de productos Landsat 8 LCDM. Bogotá, Colombia. Version 1.0.
- Jiménez, A. (2017). Planificación urbana en Costa Rica: Apuntes sobre nuestra forma de hacer ciudad en el último siglo. Recuperado de <https://urbem21blog.wordpress.com/2017/01/08/planificacion-urbana-en-costa-rica/>
- Kruse, F.A. (2004). Comparison of ATREM, ACORN, and FLAASH atmospheric corrections using low-altitude AVIRIS data of Boulder, CO. Recuperado de http://www.w.hgimaging.com/PDF/Kruse-JPL2004_ATM_Compare.pdf; junio 2015
- Lahoz, E. (2010). Reflexiones medioambientales de la expansión urbana. *Cuadernos Geográficos*, 46 (1), 293-313.
- Lungo, M. (1999). Gestión de la tierra y planificación urbana en San Salvador y Panamá. *Lincoln Institute Research Report*. San salvador, El Salvador.
- Lungo, M. (2000). Ciudad grande, país pequeño: Los desafíos de la gestión metropolitana en Centroamérica. *Repensando la experiencia urbana de América Latina: questões, conceitos e valores*, A.C. CLACSO, Buenos Aires.
- Lungo, M. (2001). Centroamérica: La ciudad y sus vulnerabilidades. *Quórum*, 3 (17), 53-59.
- Moura, R., & de F. Firkowski, O. L. (2007). La Dimensión Regional de las Aglomeraciones Urbanas Brasileñas y los Retos de Gestión. *PAM-PA*, 1(3), 121-144. <https://doi.org/10.14409/pampa.v1i3.3144>
- Orozco, R., Vargas, C., Vargas, A. & Aguilar, J. (2015). Crecimiento de las principales áreas metropolitanas de Centroamérica. Informe final de investigación para el *Quinto Informe Estado de la Región*. San José, Costa Rica: Programa Estado de la Nación.
- Ospina, G. (2013). Migraciones campo-ciudad en el MAGREB. *UNISCI Discussion Papers*, (31), 69-90.
- Pujol, R., & Pérez, E. (2012). Crecimiento urbano en la región metropolitana de San José, Costa Rica: Una exploración espacial y temporal de los determinantes del cambio de uso del suelo, 1986–2010. Documento de Trabajo del Lincoln Institute of Land Policy. Lincoln Institute Product Code: WP13RP1SP.

- Programa Estado de la Nación. (2013). XIX Estado de la Nación. San José, Programa Estado de la Nación.
- Programa Estado de la Nación. (2014). XX Estado de la Nación. San José, Programa Estado de la Nación.
- Programa Estado de la Nación. (2016). Quinto Informe Estado de la Región en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Programa Estado de la Nación.
- Programa GEOSUR (Red Geoespacial de América Latina y el Caribe). (2013). Base de datos espaciales. Recuperado de https://www.geosur.info/geosur/index.php/es/?Itemid=470&option=com_service_statuschecker&view=servicestatus&servicetype=wfs
- Richards, J. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Australia: Editorial Springer. Quinta edición.
- Rivadeneira, L. (2001). Guatemala: población y desarrollo, un diagnóstico demográfico. *Secretaría de Planificación y programación (SEGEPLAN) y Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE)*. Santiago de Chile.
- Serrano, J. (2007). Crecimiento y consolidación de las principales aglomeraciones urbanas españolas. *Investigaciones Geográficas*, 44, 33-54.
- Smith, C. (1991). El patrón de urbanización de Centroamérica en el siglo XIX. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 17 (1), 21-46.
- Torres, M. (2008). La construcción de la nueva capital de Belice, Belmopán. *Jornadas Estudiantiles Latinoamericanas*. México.
- Uribe, A., Marín, M., Morales, N., Baires, S. & Zeitún, E. (2010). Notas técnicas sobre tendencias del crecimiento urbano en Centroamérica. Informe final de investigación para el *Cuarto Informe Estado de la Región*. San José, Costa Rica: Programa Estado de la Nación.
- Urzúa, M. (2015). Gestión de los servicios urbanos en Centroamérica. Informe final de investigación para el *Quinto Informe Estado de la Región*. San José, Costa Rica: Programa Estado de la Nación.
- Williams, J. (2004). Sistemas urbanos en América Latina: Globalización y Urbanización. *Cuadernos de Geografía*, (13), 41-58.
- World Population. (2015). 2015 World Population Data Sheet: whit a special focus on women's empowerment. Recuperado de http://www.prb.org/pdf15/2015-world-population-data-sheet_eng.pdf



ESTUDIOS DE CASO

CASE STUDIES



Playas críticas por erosión costera en el caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005-2016

Critical beaches due to coastal erosion in the Caribbean south
of Costa Rica during the period 2005-2016

*Gustavo Barrantes-Castillo*¹

*Isabel Arozarena-Llopis*²

*Luis Fernando Sandoval-Murillo*³

*José Francisco Valverde-Calderón*⁴

Universidad Nacional, Costa Rica

Resumen

Desde el 2010 en la prensa local se ha venido reportando un proceso acelerado de erosión en playas arenosas del litoral caribeño costarricense, que incluso ha sido documentado al interior de las áreas protegidas. Para cuantificar este proceso e identificar los puntos calientes por erosión costera en el Caribe Sur, se planteó una metodología que consiste en levantar la línea de costa a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales de alta resolución espacial, con el fin de determinar la tasa de retroceso de la costa. Las fotos e imágenes utilizadas cubren un periodo entre 2005 y 2016. De esta forma fue posible identificar once puntos calientes de erosión, así como la estimación de sus tasas areales de retroceso para dos periodos (2005-2010 y 2010-2016). En este sentido, las localidades que han experimentado la mayor erosión en sus playas arenosas son el Parque Nacional Cahuita, Westfalia y playa Bananito.

Palabras clave: erosión costera, Caribe costarricense, dinámica costera, provincia de Limón, erosión de playas.

1 Doctor, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: gbarrantes@una.cr

2 Doctora, Departamento de Física, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: iarozarena@gmail.com

3 Máster, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: luis.sandoval.murillo@una.cr

4 Ingeniero, Escuela de Topografía Catastro y Catastro, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: jose.valverde.calderon@una.cr

Abstract

Since 2010, the local press has been reporting an accelerated process of erosion on the sandy beaches of the Costa Rican Caribbean coast, it has even been documented within protected areas. To quantify this process and identify coastal erosion hotspots in the Caribbean south, a methodology was proposed for detecting and delineating the shoreline using aerial photographs and high-resolution satellite imagery to determine the rate of coastline retreat, the employed photographs and images cover the period between 2005 and 2016. By such means it was possible to identify eleven erosion hotspots, as well as estimation of their retreat rates for the periods 2005-2010 and 2010-2016. The localities that have experienced the greatest erosion of their sandy beaches are Cahuita National Park, Westfalia and Bananito Beach.

Keywords: Coastal erosion; Costa Rican Caribbean; Coastal dynamics; Limón province; Erosion of beaches.

Introducción

Las playas de arena son formaciones muy comunes en las costas tropicales (Gerrard, 2007). Se trata de una forma costera en la cual se da una transición entre los ambientes marino y terrestre (Dingler, 2005). La erosión de playas arenosas puede ser analizada como un balance negativo entre la entrada y salida de sedimentos de la playa, que resulta en un cambio morfológico que comúnmente es percibido por los ocupantes de estos espacios como un retroceso en la línea de costa (Masselink, 2012). Este balance negativo puede ser provocado por una amplia variedad de causas entre las que se encuentran los cambios en el uso del suelo de las cuencas hidrográficas, la disminución del aporte de sedimentos de los ríos como resultado de la construcción de represas, la edificación de infraestructura costera, cambios en el viento, oleaje, el patrón de las tormentas o en el nivel medio del mar.

De acuerdo con Silva, *et al.* (2014), en América Latina la erosión costera no es un problema generalizado, sin embargo, se encuentra extendida y resulta ser un problema grave en determinados sitios. En el caso de Costa Rica, en los últimos 15 años algunos investigadores han advertido sobre los efectos de los cambios en la línea de la costa Pacífica (Lizano *et al.*, 2002; Denyer *et al.*, 2004 y Ortiz, 2012). Más recientemente, Lizano (2013) reporta procesos de erosión en playas que se encuentran en áreas protegidas y sitios turísticos de la costa Caribe costarricense, hechos que son rápidamente asociados con el cambio climático (Quesada & Molina, 2016) sin que existan estudios que permitan cuantificar el proceso, establecer tendencias o explorar otras posibles causas.

En este sentido, el estudio realizado en el marco del proyecto Biodiversidad Marino Costera en Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2013), elaboró un mapa donde presenta las áreas de costa potencialmente afectadas como resultado del aumento en el nivel del mar, en el cual se brindan cinco categorías de exposición en función de sus elevaciones en metros sobre el nivel del mar (msnm), a saber: muy alta 0-1 msnm; alta 1-2 msnm; media 2-4 msnm; baja 4-8 msnm; y muy baja 8-16 msnm. Con base en esta clasificación, la zona costera Caribe experimentaría un amplio impacto a causa del cambio del nivel del mar vinculado al cambio climático. De acuerdo con este mismo estudio, se indica que el mar Caribe tiene una tendencia al aumento del nivel del mar (1-2 mm/año), no obstante, señalan que este fenómeno puede ser atribuido a la variabilidad multidecadal del ENSO, o a un cambio en la Circulación de la Corriente del Caribe (CC) y el Giro Panamá Colombia (GPC).

Cabe resaltar que se ha reportado un proceso de erosión acelerada en varios sectores del Caribe Sur en playas como Cieneguita (Bosque, 2016; Mora, 2015; Barrantes, *et al.*, 2017), el Parque Nacional Cahuita (Soto, 2014) y el refugio de vida silvestre Gandoca-Manzanillo (Quesada & Molina, 2016). Debido a lo anterior, se ha desarrollado esta investigación que busca identificar y cuantificar las áreas de mayor erosión en las playas, denominadas puntos calientes o *hot spots* en inglés (Finkl, 1993) que se localizan entre Puerto Limón y la desembocadura del río Sixaola, frontera con Panamá. Su identificación y cuantificación precisa resulta central en la planificación de las zonas costeras, en particular en sitios de donde se ubican infraestructuras (Anthony, 2005).

Cálculo de la erosión costera

La erosión costera puede ser estudiada en marcos espacio temporales distintos, que se relacionan con los procesos que provocan en los cambios, así como con las técnicas para su estudio (Tabla 1).

Tabla 1. Escalas de análisis de la erosión costera

Periodo	Escala espacial y temporal	Procesos que influyen en los cambios	Método de estudio
Muy corto plazo	De mm a m De segundos a horas	Oleajes, corrientes y vientos	Introducción de arena marcada con color o fluorescente. Varillas segmentadas de aluminio
Corto plazo	De m a km De horas a años	Oleajes, vientos, mareas, marejadas, cambios estacionales y tormentas	Cambios en el perfil de playa GPS diferencial
Mediano Plazo	kilómetros De años a décadas	Cambios en el régimen de oleaje, tormentas severas, cambio en el aporte de sedimentos de los ríos, obras sobre el litoral	Fotografías aéreas Imágenes satelitales y ortofotografías analizadas en SIG
Largo Plazo	Decenas de km De décadas a centurias	Cambios en el transporte de los sedimentos y cambios en el nivel del mar	Técnicas de estudios cuaternarios (foto-geomorfología, arqueología, sedimentología, entre otros)
Muy Largo Plazo	Cientos de Km De centurias a milenios	Cambios en el nivel del mar, variaciones en el aporte de sedimentos y cambios de oleaje regional.	Técnicas de estudios cuaternarios (foto-geomorfología, arqueología, sedimentología, etc.)

Fuente: elaboración propia a partir de (Taveira-Pinto *et al.*, 2011) y Gracia *et al.*, (2005).

Por el tipo de fuentes utilizadas y los métodos de análisis esta investigación se embarca en el mediano plazo. Así mismo, las tasas de la erosión pueden ser calculadas de tres formas distintas (Ojeda, 2000; Prieto, 2017):

- Cálculo de distancias (m/año): se determina a partir del registro de la distancia de retroceso de dos o más líneas de costa. También se puede obtener por medio de perfiles de playa o distancias medidas en campo desde puntos fijos de referencia.
- Cálculo de superficies (m²/año): se basa en la elaboración de polígonos entre dos líneas de costa levantadas en diferentes fechas.

- Cálculo de volumen (m³/año): para su obtención se requiere de levantamientos topográficos con altimetría de alta precisión de la playa en estudio.

De estos procedimientos, el cálculo de volúmenes aporta más información por incorporar tres dimensiones (3D) en su análisis, pero resultan muy costosos por los equipos involucrados (GPS deferido o sensores aerotransportados LiDAR). El cálculo de superficie que ofrece un análisis en dos dimensiones (2D), para su implementación requiere definir un proxi de línea de costa que se pueda reconocer en las fotografías aéreas o imágenes satelitales. El método de cálculo de distancia es muy utilizado, lo que permite su comparación con otros casos de estudio y resulta de fácil comprensión para los tomadores de decisiones, no obstante, solo ofrece una dimensión de análisis. Con base en las fuentes de información disponibles y la escala espacio temporal de análisis seleccionada, en este estudio se optó por el cálculo de superficies.

Área de Estudio

Costa Rica se ubica en América Central, cuenta con costas en el Océano Pacífico y en el Mar Caribe. La costa Caribe tiene una extensión aproximada de 220 km, casi cinco veces menor que la costa Pacífica (Vargas, 2006) debido, por un lado, a las fronteras establecidas con Nicaragua al norte y con Panamá al Sur, así como a una configuración más rectilínea de la costa Caribe. Por otro lado, el clima en el Caribe se caracteriza por no presentar una estación seca definida, mostrando dos periodos en que disminuyen las precipitaciones, el primero de febrero a marzo y el segundo entre setiembre y octubre (IMN, 2017). Herrera (1986) clasifica el clima del Caribe Sur como húmedo caliente con estación seca corta.

En cuanto a las mareas, la costa Caribe presenta una condición micro-mareal donde las mareas raramente superan los 30 cm (Murillo, 2001). El oleaje normalmente proviene del noreste con períodos promedio de ola de 7.38 s y un carácter marcadamente local, con mayor energía durante los últimos y los primeros meses del año y menor de setiembre a octubre cuando disminuyen los vientos alisios (Lizano, 2007). Las principales corrientes a lo largo de la costa discurren de noroeste a sureste, como parte de la denominada circulación ciclónica del Giro Panamá-Colombia (GPC) (Andrade *et al.*, 2003).

Desde un punto de vista geológico y geomorfológico, la costa Caribe puede dividirse en dos sectores, el norte y el sur. La sección norte presenta características de un margen continental pasivo y un régimen tectónico extensivo (fallas normales) mientras que el sur presenta un régimen compresivo con ocurrencia de terremotos importantes (Alvarado & Cárdenas, 2016). Geomorfológicamente, el sector norte muestra una configuración relativamente recta, con presencia de playas arenosas, barras de arena, lagunas costeras y un sistema de canales artificiales. La sección sur, por su parte, se caracteriza por la proximidad del sistema montañoso a la costa; entre Puerto Limón y Puerto Viejo se localizan playas arenosas extensas, no obstante, a partir de ésta última localidad, a la línea de costa se vuelve más intrincada, las playas se acortan hasta desarrollar playas de bolsillo o de herradura (*pocket beaches*), y se intercalan con costas rocosas (Figura 1).

La costa del Caribe Sur contrasta con la uniformidad de la costa Caribe Norte. La costa alterna entre áreas donde las llanuras costeras tienen una considerable extensión, con otras en las que las colinas de hasta 100 m llegan casi hasta el mar (Battistini & Bergoeing, 1984). Se presentan promontorios rocosos que están asociados a un complejo arrecifal atribuido al Pleistoceno medio, conocido como Formación Puerto Viejo, que posee afloramientos rocosos en Puerto Limón, Cahuita y Puerto Viejo, así como a lo largo de las costas rocosas que se presentan entre Puerto Viejo y Punta Mona. De acuerdo con Battistini & Bergoeing (1984), se trata de macizos de coral que alternan con brechas coralinas, así como con antiguos lechos de playa fosilizados (areniscas negras). Dicho complejo sobreyace en algunos sectores como Limón una formación similar denominada Portete, de edad Pleistoceno inferior. Los sectores rocosos de costa, además, presentan plataformas arrecifales expuestas o situadas en o cerca del nivel del mar actual, y que llegaron a esta posición debido al terremoto de Limón de 1991; por detrás de estas plataformas, recientemente levantadas, es frecuente encontrar otras terrazas, de entre 2 y 4 m sobre el nivel del mar actual, que pueden haberse formado por terremotos anteriores al del 91, aunque en su actual localización también pueden haber influido los movimientos eustáticos cuaternarios (Denyer, *et al.*, 1994). Además, en sectores como Cahuita y Manzanillo, especialmente, encontramos extensas plataformas arrecifales sumergidas actuales.

Metodología

La metodología utilizada se basa en el cambio de posición de la línea de costa, entendiendo esta como el límite preciso entre la tierra y el mar. A pesar de que su trazo se realiza usualmente siguiendo el nivel medio del mar, por la dificultad que representa identificar dicho nivel en el terreno, se utilizó como indicador el límite de la vegetación sobre la playa, alternado con el lado hacia el mar de las estructuras humanas en la costa cuando no es posible utilizar el primer criterio (Moore, 2000), un proxi recomendado cuando se desea enfatizar en la erosión de playas (Boak & Turner, 2005).

Como fuentes de información para esta investigación, se utilizaron fotografía aéreas e imágenes de satélite. Para cumplir con el objetivo de establecer tasas de erosión costera, se debieron seleccionar aquellas secuencias de fotografía que cubrían un área a gran escala y que contaran con procesos de ortorectificación. Donde las fotografías aéreas existentes entre 1956 y 1993 no fueron utilizadas debido a las variaciones de sus escalas (la mayoría entre 1:60 000 y 1:40 000) o a la inexistencia de los parámetros de calibración de la cámara, necesarios para la realización de procesos de ortorectificación, lo que las hace una fuente inapropiada para un enfoque cuantitativo (Thiele & Danforth, 1994; Moore, 2000), como el que se utiliza en este trabajo.

Siguiendo estos criterios, se seleccionó un mosaico de ortofotos a escala 1:5 000 del año 2005 (con una resolución espacial de 0,5 m por píxel) que fue encargado por el Registro Nacional y avalado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Del mismo modo, se eligieron las orto-fotografías aéreas del año 2016, que contrató la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) como parte de un levantamiento LiDar de la zona costera, a escala 1:1 000 (con resolución espacial de 0,1 m). Por la extensión de tiempo que representa el periodo entre 2005 y 2016 y con la intención de evaluar las tendencias temporales con mayor detalle, se adquirieron seis imágenes pancromáticas de satélite de muy alta resolución espacial (0,5 y 0,6 m) con ortorectificación rigurosa, para cubrir el año 2010 a escala 1:5 000.

Una vez definidas las fuentes de datos se procedió con la digitalización de las líneas de costa para los años 2005, 2010 y 2016, por medio del uso de un Sistema de Información Geográfico (SIG). Para la homogenización de los productos obtenidos se definió la escala 1:1 000 para la

digitalización de dichas líneas. Lo anterior permitió el establecimiento de dos periodos de análisis para su comparación, 2005 a 2010 y 2010 a 2016.

Posteriormente, se clasifican los cambios de posición de estas líneas como avance, retroceso y estabilidad. El primer caso se presenta cuando la línea de costa avanza hacia el mar entre el año inicial y el final; el segundo cuando la línea retrocede hacia tierra entre el año inicial y el final, y el último cuando las líneas del año inicial y final registran poco cambio entre ellas. En las playas donde se encontró un mayor retroceso de la línea de costa, se procedió a estimar la tasa de retroceso areal ($m^2/año$) (Ojeda, 2000), tanto para el periodo 2005-2010, como para el periodo 2010-2016. De esta forma fue posible determinar si la tendencia observada en la primera serie temporal se mantiene, aumentó o disminuyó en el segundo periodo. Una vez calculada la tasa se realiza una verificación de campo, para comprobar si el resultado encontrado por medio de técnicas de fotointerpretación se corresponde con un proceso acelerado de erosión de playa.

Resultados

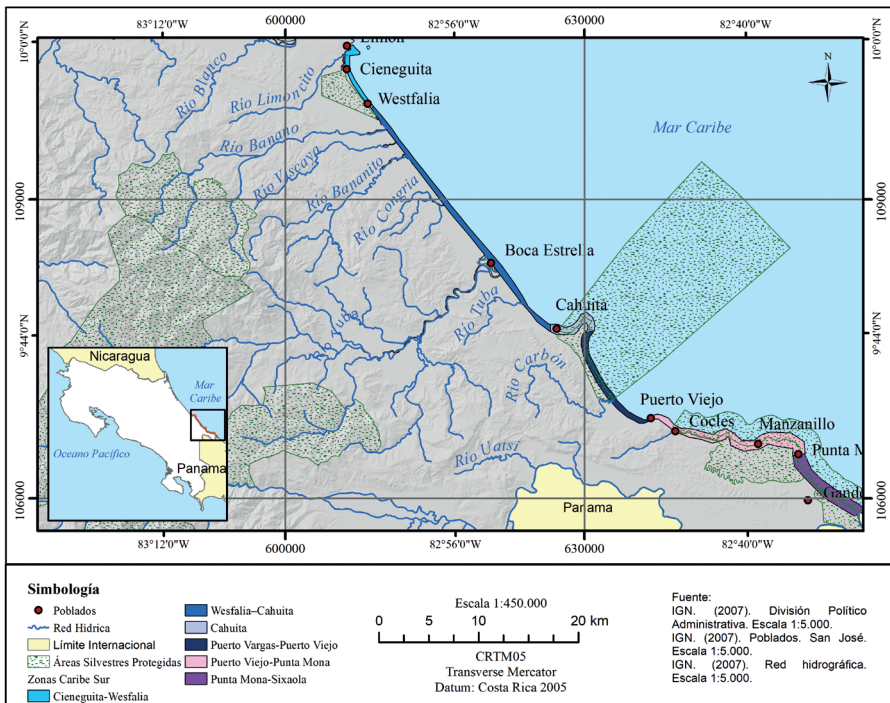
Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos, la costa fue dividida en seis áreas atendiendo a la configuración de la costa (Figura 2), estas son:

- Cieneguita-Westfalia: sector ubicado al extremo noroeste, caracterizado por presentar una playa extensa con una ligera concavidad hacia el mar, en dirección al norte, principalmente, en el sector más próximo al promontorio rocoso donde se asienta la ciudad de Limón. La playa de Cieneguita presenta un espigón hacia la mitad de la misma.
- Westfalia-Cahuita: se presenta como una costa rectilínea con presencia de desembocaduras de importantes sistemas fluviales y humedales en sus alrededores (esteros).
- Cahuita: se trata de una pequeña península en la que encontramos dos sectores en los que aflora la plataforma rocosa arrecifal intercalada por una playa arenosa (Playa Blanca de Cahuita); sobre el sector de plataforma más pequeño se encuentra la población del mismo nombre, y sobre el otro la Punta Cahuita propiamente. Tanto la playa como la Punta son parte de un área protegida (Parque Nacional

Cahuita). Entre las principales características del parque está la presencia de un importante arrecife coralino actual.

- Puerto Vargas-Puerto Viejo: desde el antiguo atracadero conocido como Puerto Vargas hasta la localidad de Puerto Viejo se extiende un litoral rectilíneo a ligeramente cóncavo hacia el mar Caribe, interrumpido únicamente por la desembocadura del río Carbón.
- Puerto Viejo-Punta Mona: zona compuesta por playas relativamente cortas y *pocket beaches* intercaladas con salientes, promontorios rocosos y afloramientos de las formaciones arrecifales del Pleistoceno, en forma de terrazas.
- Punta Mona-Sixaola: litoral rectilíneo interrumpido por antiguas desembocaduras y humedales; solamente el sector inicial de Punta Mona es rocoso. Finaliza en el extremo sur de Costa Rica, en la desembocadura del río Sixaola, en correspondencia de la frontera con Panamá.

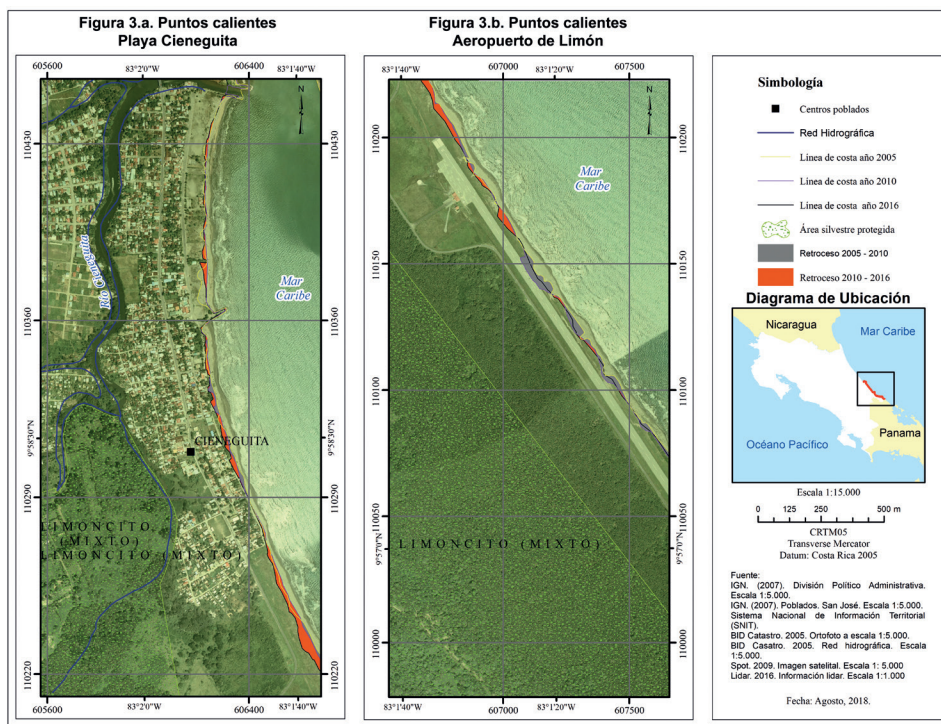
Figura 2. Zonas para el análisis de la erosión de playas en el Caribe Sur



Los cambios en la línea de costa registrados entre los periodos 2005 - 2010 y 2010 - 2016 revelaron 11 puntos calientes de erosión costera en el Caribe Sur de Costa Rica, los mismos se presentan a continuación en cada zona establecida:

Cieneguita-Westfalia

Al norte de esta sección se encuentra un área urbanizada llamada Barrio Cieneguita, denominada oficialmente como sector Cristóbal Colón, y al sur, el aeropuerto de Limón (Figura 3.b). Este sector está influenciado por la presencia de un importante humedal que se localiza tierra adentro; se trata de un área protegida denominada Refugio de Vida Silvestre Limoncito. El retroceso de la línea de costa es más evidente al sur del espigón (Figura 3.a), un área donde la deriva litoral de sedimentos fue cortada por la construcción de dicha obra. Al sur de la línea de costa alcanza ya las infraestructuras húmedas colocadas en la costa (acera, ciclovía y alumbrado público).



El sector entre el espigón hasta la pista de aterrizaje se considera un punto caliente de erosión donde se registra una tasa de retroceso de 1 430 m²/año para el periodo 2005-2010 y de 3 936 m²/año para el periodo 2010-2016. De acuerdo con estos datos la tasa de retroceso casi se triplicó en el segundo periodo (Figura 3.a). Este retroceso apunta a un proceso de erosión que se constató en el trabajo de campo, donde se encontró afectación sobre la infraestructura pública y la consecuente realización de obras para contenerlo, como la colocación de piedras y mallas (Figuras 4 y 5).

Figura. 4. Colocación de cantos rodados en Playa Cieneguita para proteger la infraestructura pública.



Fuente: Tomada por G. Barrantes, 2017.

Figura 5. Revestimiento pedregoso con malla para proteger la calzada en Playa Cieneguita.



Fuente: Tomada por G. Barrantes, 2017.

Otro punto caliente de erosión se encuentra en las proximidades del aeropuerto (Figura 3.b). Para el periodo 2005-2010, la tasa de erosión de este sector fue de 8 801 m²/año y para el periodo 2010-2016 se redujo a 1 599 m²/año. Al sur del aeropuerto se encuentra un humedal caracterizado por la presencia de pequeños lagos elongados, interconectados por canales que desaguan antes de alcanzar el poblado de Westfalia, lo que evidencia que se trata de una alteración de parte del humedal de Cieneguita. La erosión de la playa ha afectado la capa asfáltica de la pista; para su protección se ha colocado un revestimiento de rocas con malla (Figura 6).

Figura 6. Revestimiento pedregoso con malla a un costado de la pista de aterrizaje donde la erosión ha obligado a proteger la obra.

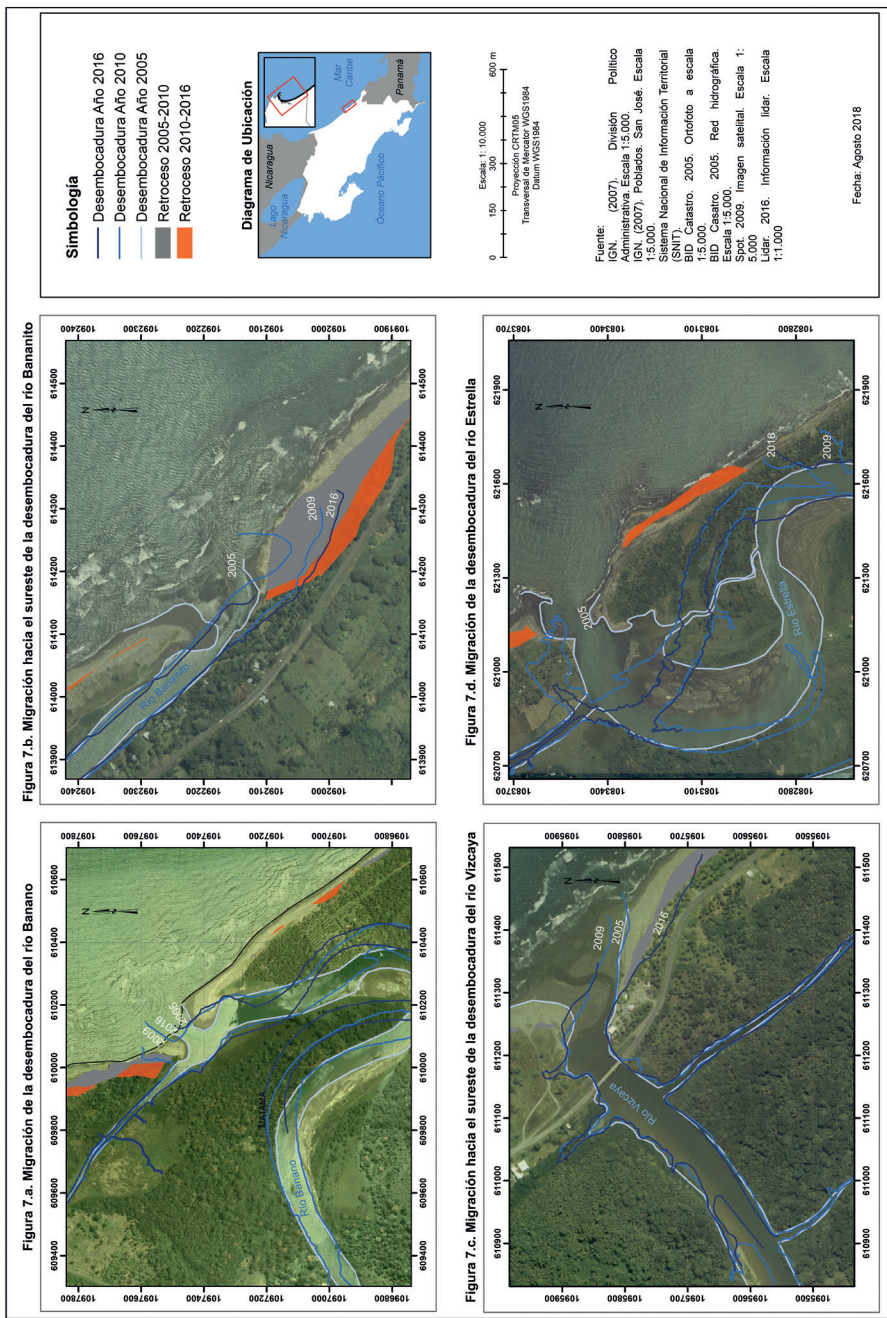


Fuente: Tomada por G. Barrantes, 2017.

Sector Westfalia-Cahuita

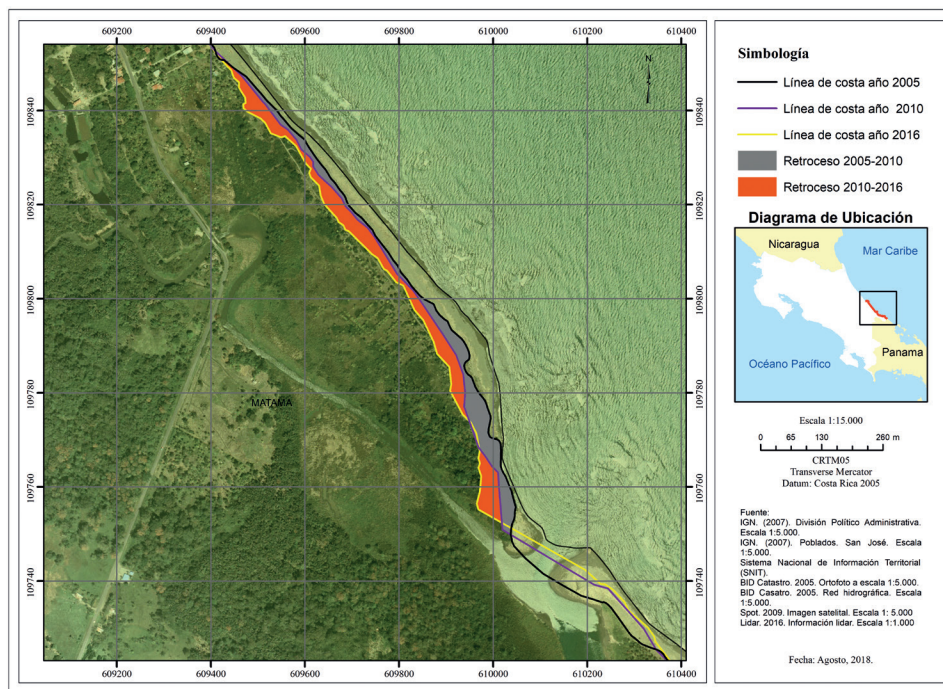
Se trata de un sector con playas extensas intercaladas con desembocaduras de importantes sistemas fluviales (Figura 2). La dinámica litoral se manifiesta en drásticos cambios en la forma de la línea de costa debido, principalmente, por la migración de las desembocaduras. En este sector sobresalen los cambios en la desembocadura del río Banano (Figura 7.a, arriba a la izquierda), lo que originó un retroceso local de la línea de costa asociado con la erosión de la margen izquierda de la desembocadura y la acumulación de sedimentos en la margen derecha. Otras desembocaduras con importantes cambios son la del río Vizcaya, río Bananito y río La Estrella (Figura 7.b, 7.c y 7.d respectivamente).

Figura 7. Erosión costera y migración de las desembocaduras de los ríos en el sector Westfalia-Cahuita



El primer punto caliente de este sector se localiza al sur del poblado de Westfalia, asociados con la migración de la desembocadura del río Banano (Figura 8). En esta sección la línea de costa ha experimentado una tasa de erosión de 4 842 m²/año en el periodo 2005-2010, monto que aumento a 6 471 m²/año entre el 2010-2016, lo que representa un aumento de la velocidad del proceso.

Figura 8. Punto caliente localizado al sur del poblado de Westfalia.



Otro punto crítico de erosión se localizó en la desembocadura del río Bananito (Figura 7.a), donde al igual que en los casos anteriores, está ligado a la migración del cauce. En este caso la proximidad de la línea de costa con la carretera resulta en una amenaza para la carretera principal que da acceso al resto de la región (figura 9). La tasa de erosión en este punto es de 2 817 m²/año en el periodo 2005-2010 y de 2 793 m²/año entre el 2010-2016, lo que indica que la tasa se mantiene similar entre los dos periodos.

Figura 9. Proximidad de la carretera con la zona de erosión de playa.



Fuente: Tomada por G. Barrantes, 2017.

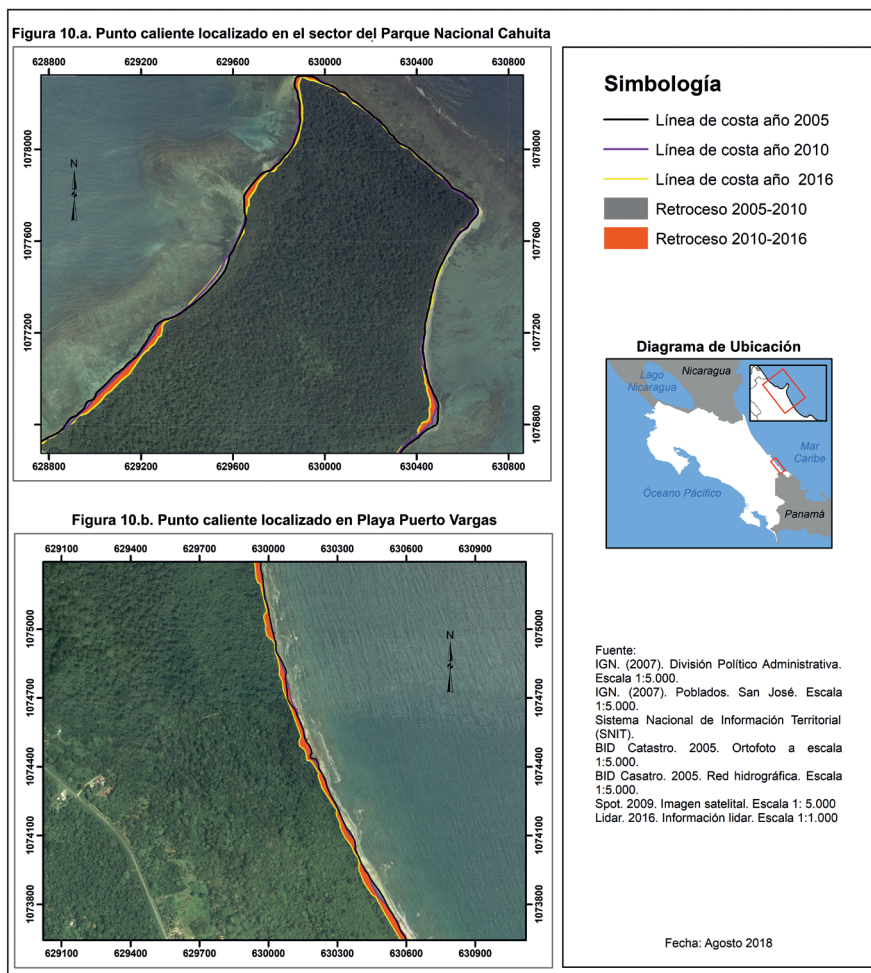
Sector Cahuita

Este sector se caracteriza por la presencia de promontorios rocosos relacionados con una antigua paleo-plataforma coralina descrita por Battistini & Bergoeing (1984), así como por la presencia de coral vivo frente a la punta, que se encuentra protegido por la existencia del Parque Nacional Cahuita (Figura 2).

El primer punto de erosión acelerada se encuentra propiamente dentro del Parque Nacional, específicamente en el sector conocido como Cahuita (Figura 10.a). En este sector del parque el retroceso de la línea de costa para el periodo 2005-2010 fue de 1 300 m²/año, valor que se incrementa a 4 598 m²/año entre el 2010 -2016. Estos valores muestran que la tasa de erosión se triplicó en el periodo más reciente.

El otro punto caliente de esta área se localiza al otro sector de Punta Cahuita, conocida como Puerto Vargas (Figura 10.b). En este punto la tasa de erosión fue de 2 480 m²/año en el periodo 2005-2010, pasando a 9 510m²/año en el periodo 2010-2016. En este punto, al igual que en el anterior la tasa se triplicó entre un periodo y el otro. Este incremento se evidencia a lo largo del sendero de acceso al sector donde se encontraba el antiguo Puerto Vargas.

Figura 10. Puntos calientes localizados en el Parque Nacional Cahuita.



En los puntos anteriores es notable que la presencia de un extenso arrecife actual, considerado el más grande de Costa Rica (Cortés *et al.*, 2010), no parece representar una protección natural contra la erosión, a pesar de abrigar la costa frente a los puntos críticos de esta sección. Es posible que las variaciones locales de profundidad, junto con la presencia de canales rocosos, puedan crear refracciones del oleaje y una redistribución de las corrientes de deriva, lo que parcialmente explicaría la presencia de estos dos puntos calientes de erosión.

Sector Puerto Vargas-Puerto Viejo

Se trata de una extensa playa que inicia al sur de Punta Cahuita y finaliza en playa Negra de Puerto Viejo, antes del poblado del mismo nombre (Figura 2). En este sector se localiza un punto caliente en los alrededores de la calle de acceso al sector Puerto Vargas del Parque Nacional Cahuita que se extiende hacia el sur de la misma (Figura 10.b), a pesar de no localizarse dentro del parque a diferencia de la zona anterior, estas playas no están protegidas del oleaje por el arrecife coralino.

La erosión de la playa de Puerto Vargas se registra en 986 m²/año entre 2005-2010, este valor se incrementa notablemente entre el 2010-2016, alcanzando una tasa de 8 953 m²/año, lo que representa un aumento de nueve veces la tasa del periodo anterior.

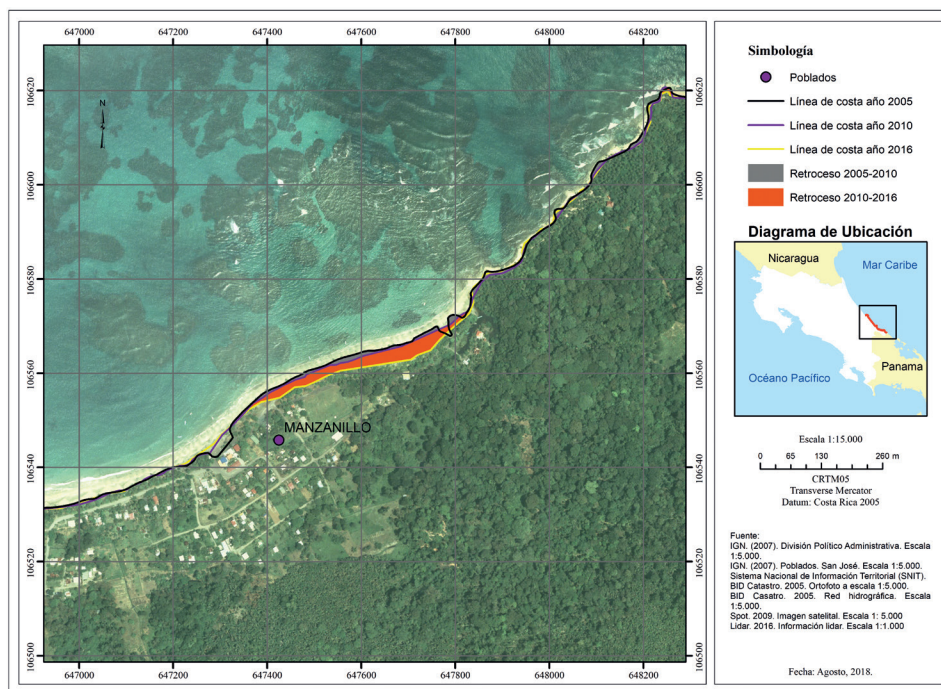
Puerto Viejo-Punta Mona

En este sector encontramos playas de bolsa y algunas más extensas, como playa Cocles, alternando con sectores más rocosos, en los que afloran las formaciones arrecifales del Pleistoceno, y cerca del nivel del mar el arrecife levantado en el terremoto de 1991. También, bajo el agua, aparecen parches de arrecife actual. Casi toda el área se localiza dentro del Refugio Natural de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo, bajo un modelo de administración mixto (estatal y privado) (Figura 2).

La Playa Manzanillo se ubica frente a un el arrecife que es considerado por Cortés *et al.* (2010) como una incipiente cresta de algas; de acuerdo con estos autores, para el 2003 el coral vivo abarcaba apenas un 7 % de su extensión. Al igual que en el caso de los puntos anteriores, la tasa de erosión de la playa se registra moderada en el periodo 2005-2010,

alcanzando un valor de 745 m²/año, que se incrementa a 1 678 m²/año entre el 2010-2016, lo que representa un aumento de más del doble (Figura 11).

Figura 11. Punto caliente de erosión localizado en las proximidades del poblado de Manzanillo



Punta Mona-Sixaola

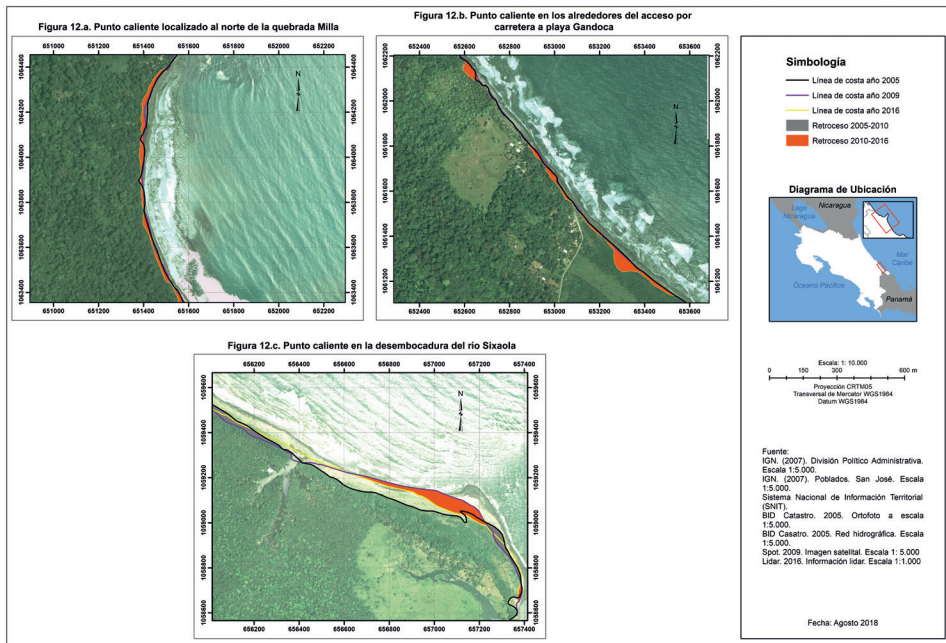
Se trata de una extensa playa convexa hacia el mar que es interrumpida por desembocaduras actuales y antiguas que se mantienen actualmente como humedales (Figura 2). La zona incluye dos largas playas: Mile Creek y Gandoca. En esta zona se encuentra el poblado de Gandoca que presenta una baja densidad de población.

En el sector se han localizado tres puntos calientes, el primero en el sector de playa Mile Creek o quebrada Milla (Figura 12.a). En este caso, la

zona de retroceso de la línea de costa se encuentra extendida a lo largo de la playa. Para el periodo 2005-2010 la tasa de erosión correspondía a 626 m²/año, valor que aumentó en más de 7 veces en el periodo 2010-2016, pasando a alcanzar una tasa de 4 865m²/año.

El segundo punto se encuentra próximo a la carretera de acceso a playa Gandoca (Figura 12.b). Se trata de un área pequeña donde, al igual que en el caso anterior, la erosión era menor para el periodo 2005-2010 con una tasa de 1 194m²/año, que se incrementó tres veces para el periodo 2010-2016, hasta llegar a un valor de 3 642m²/año.

Figura 12. Puntos calientes localizados en el sector Punta Mona-Sixaola



El último sector de esta área es la playa que se encuentra entre la laguna de Gandoca y el río Sixaola (Fig. 12.c), en este punto la erosión alcanzó una tasa de 1 697 m²/año en el periodo 2005-2010, valor que se incrementó más de cuatro veces para el periodo 2005-2016, alcanzando una tasa de 7 456 m²/año.

Discusión de resultados

Se realizó una división de la línea de costa como marco de análisis para los procesos de erosión acelerada en las playas en el Caribe Sur de Costa Rica, definidos a partir de características geomorfológicas similares. En todos los sectores definidos se encontraron puntos calientes de erosión costera. En consecuencia, el retroceso de la costa se presenta en playas extensas rectas y cóncavas, con presencia de desembocaduras, playas cortas entre promontorios rocosos (*pocket beaches*), e incluso en zonas protegidas del oleaje directo por arrecifes de coral. Lo anterior lleva a concluir que en el Caribe Sur de Costa Rica se está experimentando un proceso extendido de erosión costera que se manifiesta en once puntos críticos a lo largo de la costa.

Las playas que han experimentado la mayor pérdida de área, para el periodo 2005-2016, fueron: El sector próximo al antiguo Puerto Vargas (71 924 m²), Westfalia (63 038 m²), la playa de Puerto Vargas al sur del antiguo puerto (58.650 m²) y la playa Bananito, al sur de la desembocadura del río del mismo nombre (53 599 m²).

En el Tabla 2 y 3 se resumen las playas que experimentaron la mayor tasa de erosión, en los dos periodos analizados.

Tabla 2. Playas con mayor tasa de erosión en los periodos 2005-2010

Localidad	Tasa	Periodo
Aeropuerto de Limón	8 801 m ² /año	2005-2010
Westfalia	4 842 m ² /año	2005-2010
Puerto Varga en punta Cahuita	2 972 m ² /año	2005-2010
Desembocadura del río Bananito	2 817 m ² /año	2005-2010

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Playas con mayor tasa de erosión en los periodos 2010-2016

Localidad	Tasa	Periodo
Puerto Vargas en Punta Cahuita	9 510 m ² /año	2010-2016
Playa Puerto Vargas al sur del antiguo puerto	8 953 m ² /año	2010-2016
Playa Gandoca hasta la desembocadura del río Sixaola	7 456 m ² /año	2010-2016
Westfalia	6 471 m ² /año	2010-2016

Fuente: elaboración propia

El mayor incremento en las tasas de erosión para el periodo 2010 - 2016, con respecto al periodo anterior 2005 - 2010, se presentó en Cahuita, específicamente en el sector Puerto Vargas, seguido por Gandoca en la playa de Mile Creek y entre la Laguna de Gandoca y la desembocadura del río Sixaola. Contrariamente, las playas donde se redujo la tasa de erosión fueron Bananito y Aeropuerto (Tabla 2 y 3).

A pesar de que en esta investigación no se realizan análisis correlacionales, es posible analizar algunas posibles causas de la presencia y aumento de procesos de erosión en la costa Caribe Sur de Costa Rica. En primer lugar, la presencia de edificaciones sobre la línea de costa, parece explicar la erosión encontrada únicamente en Playa Cieneguita, por la presencia de un espigón que, según la evidencia que se encuentra en las fotografía aéreas y el estudio a detalle de la evolución de las líneas de costa en este sector, realizado por Barrantes *et al.*, (2017), explicaría la erosión acelerada que se presenta al sur de la obra, proceso que puede estar afectando inclusive el punto localizado en los alrededores del aeropuerto de Limón. En las demás playas no se encuentran edificaciones que alteren sustantivamente la distribución de los sedimentos por deriva litoral o las condiciones del oleaje.

En cuanto al suministro de sedimentos por parte de los ríos, estos no han experimentado la construcción de embalses que limiten su transporte a la costa. A pesar de que se han realizado dragados para mitigar las inundaciones, éstos resultan puntuales en el tiempo y el espacio, por lo que su impacto es reducido.

Del mismo modo, no se han experimentado cambios significativos en el uso del suelo, que puedan modificar la disponibilidad de sedimentos.

No obstante, al igual que el país, las cuencas hidrográficas que desembocan en esta zona ha experimentado un aumento de la cobertura forestal que puede estar causando una disminución del aporte de los sedimentos, sin que existan estudios al respecto.

En cuanto al aumento en el nivel del mar, BIOMARCC-SINAC-GIZ (2013) presenta tasas anuales de alrededor de 2 mm/anuales para la zona, valor que no difieren de la media mundial. Este aumento constante en el nivel de mar puede ser una de las causas del proceso de erosión. No obstante, la geodinámica local juega un papel de primer orden en la compensación de este efecto. En este sentido el levantamiento cosísmico, asociado con el Terremoto de Limón de 1991, provocó un levantamiento generalizado en la costa, proceso que favoreció el avance hacia el mar de la línea de cota. Actualmente, no se disponen de datos para evaluar la participación de la geodinámica local sobre el proceso de erosión costera.

En este sentido, la tectónica regional pueda estar jugando un papel en los procesos erosivos de la costa, similar al que juega en la costa de la Península de Nicoya. En este sector del Pacífico Norte, se alternan terremotos que levantan la costa, con períodos de aproximadamente 50 años, en los que se produce subsidencia en el litoral, debido al acople de las placas en una zona de subducción, y el consiguiente arrastre hacia debajo de la placa superior (Norabuena *et al.*, 2004; M. Protti, F. Güendel, & E. Malavassi, 2001). En el caso del Caribe Sur, también es conocida la periodicidad de los terremotos que levantan la costa (G. Alvarado & G. Cárdenas, 2016, P. Denyer, O. Arias, & S. Personius., 1994; J. S. Marshall, 2007). Aunque la geodinámica y tectónica de este margen caribeño no se corresponde propiamente con una zona de subducción tampoco se ha estudiado con detalle el mecanismo de acumulación de esfuerzos y subsidencia costera que podría existir en los periodos entre grandes sismos que levantan la costa, comportamiento que podrían contribuir a explicar los procesos de erosión acelerada descritos que, hasta el momento, no parecen tener una explicación clara.

Otras posibles variables explicativas se relacionan con la variabilidad climática, en particular los episodios de “El Niño”, las fluctuaciones en las corrientes marinas locales, cambios en el patrón del oleaje relacionado con tormentas ciclónicas, para los cuales se tienen pocos datos que permitan evaluar su aporte al proceso.

Conclusiones

Se identificaron 11 puntos calientes (*hot spot*) de erosión costera en el Caribe Sur. Estas playas se localizan en: Cieneguita, Aeropuerto de Limón, Westfalia, Boca Bananito, Playa Blanca de Cahuita, Puerto Vargas alrededor del antiguo puerto, Playa Puerto Vargas al sur de la carretera de acceso, Manzanillo, Mile Creek, Gandoca y Sixaola.

La ubicación de estos puntos calientes comprende los diferentes tipos de línea de costa descritos, según la delimitación utilizada, donde se incluyen: las playas rectas extensas expuestas al oleaje, con presencia de desembocaduras, pequeñas playas en herradura entre promontorios rocosos (*pocket beaches*), e incluso en zonas protegidas del oleaje directo por arrecifes de coral. Este hecho lleva a afirmar que se está presentando un proceso extensivo de erosión acelerada en el Caribe Sur de Costa Rica.

Las playas que experimentaron la mayor pérdida de área, para todo el periodo de estudio (2005-2010) fueron: Westfalia, Puerto Vargas, y la playa de Puerto Vargas, al sur del antiguo puerto, y la playa Bananito, al sur de la desembocadura del río del mismo nombre. Así mismo, el mayor incremento en las tasas de erosión en el segundo periodo analizado (2010-2016) se registró en: Puerto Vargas, alrededor del antiguo puerto y en Gandoca. Contrariamente, las playas donde se redujo la tasa de erosión fueron Bananito y Aeropuerto.

Los procesos de erosión son evidentes en el campo, incluso han llevado a la construcción de obras de mitigación, entre las que destacan el revestimiento con rocas y la construcción de muros de piedras, que se han colocado para proteger el sector de playa de la comunidad de Cieneguita, el Aeropuerto de la región y la ruta nacional 36 próxima a la desembocadura del río Bananito.

Referencias

- Alvarado, G. & Cárdenas, G. (2016). Chapter 3 Geology, Tectonics, and Geomorphology of Costa Rica: A Natural History Approach. En M. Kappelle, *Costa Rican Ecosystems* (p. 744). London: University of Chicago Press.
- Andrade, C. A., Barton, E. D. & Mooers, C. N. (2003). Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coast. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(C6).

- Anthony, J. E. (2005). Beach erosion. En M. Schwartz, *Encyclopedia of coastal science* (pp. 140-145). Netherlands: Springer.
- Barrantes, G., Valverde, J. F., Piedra, L., Quesada, A., Castillo, M., Sandoval, L., y otros. (2017). Cambios en la línea de costa en playa cienuguita, limón. *17° Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar* (págs. 1212-1214). Balneário Camboriú, Brasil : Associação Latino-Americana de Pesquisadores em Ciências do Mar.
- Battistini, R. & Bergoeing, J. P. (1984). Geomorfología de la Costa Caribe de Costa Rica. *Revista Geográfica* (99), 167-188.
- BIOMARCC-SINAC-GIZ. (2013). *Análisis de vulnerabilidad de las zonas oceánicas y marino-costeras de Costa Rica frente al cambio climático*. San José.
- Boak, E. H. & Turner, I. L. (2005). Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research* (214), 688-703.
- Bosque, D. (14 de Febrero de 2016). Mar se come poco a poco el barrio Cieneguita en Limón. *La Nación*.
- Cortés, J., Jiménez, C., Fonseca, A., & Alvarado, J. J. (2010). Status and conservation of coral reefs in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 58 (suppl.1), 33-50.
- Denyer, P., Arias, O., & Personius., S. (1994). Efectos tectonicos del terremoto de Limon, Costa Rica. *Rev. Geol. Amer. Central, Volumen especial*, 39-52.
- Denyer, P., Cárdenes, G. & Kruse, S. (2004). Registro histórico y evolución de la barra arenosa de Puntarenas, Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 31, 45-59.
- Dingler, J. R. (2005). Beache processes. En M. Schwartz, *Encyclopedia of coastal science* (pp. 161-169). Netherlands: Springer.
- Finkl, C. J. (1993). Pre-emptive strategies for enhanced sand bypassing and beach replenishment activities in southeast Florida: a geological perspective. *Journal of Coastal Research* (18), 59-89.
- Gracia, F. J., Anfuso, G., Benavente, J., Río, L. D., Domínguez, L., & Martínez, J. A. (2005). Monitoring coastal erosion at different temporal scales on sandy beaches: application to the Spanish Gulf of Cadiz coast. *Journal of Coastal Research*, 22-27.
- Gerrard, J. (2007). *Fundamentals of Geomorphology* (2ª. ed.). New York: Routledge.

- Herrera, W. (1986). *Clima de Costa Rica: Vegetacion y clima de costa Rica*. San José: EUNED.
- IMN. (2017). *Clima de Costa Rica: el clima y las regiones climáticas de Costa Rica*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2017, de Instituto Meteorológico Nacional: <https://www.imn.ac.cr>
- Lizano, O. (Enero de 2007). *Climatología del viento y oleaje frente a las costas de Costa Rica, parte 1*. Recuperado de MIOCIMAR: http://miocimar.ucr.ac.cr/sites/default/files/articulos/CLIMATOLOGIA_DEL_VIENTO_Y_OLEAJE_FRENTE_A_LAS_COST.pdf
- Lizano, O. G. (2013). Erosión en las costas de Costa Rica, incluyendo la Isla del Coco. *INTERSEDES*, 14 (27), 6-27.
- Lizano, O. G. & Salas, D. M. (2002). Variaciones geomorfológicas en los últimos 50 años de la Isla de Damas, Quepos, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49, 171-178
- Marshall, J. S. (2007). Chapter 3 The Geomorphology and Physiographic Provinces of Central America. In G. (Bundschuh, J. & Alvarado (Ed.), *CENTRAL AMERICA: GEOLOGY, RESOURCES AND HAZARDS* (pp. 1-51). Taylor & Francis, London.
- Masselink, G. (2012). Coasts. En J. Holden, *An introduction to Physical Geography and the Environment* (3ª ed., p. 876). London: Pearson Education Limited.
- Moore, L. J. (2000). Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16(1), 111-124.
- Mora, C. (7 de Marzo de 2015). Cieneguita, barrio limonense, estrena nuevas canchas deportivas, parques y una ciclovía. *crhoy.com*.
- Murrillo, L. M. (2001). Las mareas en Costa Rica. *Inter Sedes*, 2 (2-3), 93-108.
- Norabuena, E., Dixon, T. H., Schwartz, S., DeShon, H., Newman, A., Protti, M., Sampson, D. (2004). Geodetic and seismic constraints on some seismogenic zone processes in Costa Rica. *Journal of Geophysical Research*, 109, B11403.
- Ojeda, J. (2000). Métodos para el cálculo de la erosión costera: revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*.(30), 103-118.

- Ortiz, E. (2012). Cambios geofomológicos en el litoral Caribe y Pacífico de Costa Rica. Caso del Complejo Déltico de Sierpe. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 5 (15), 45-54.
- PNUD. (2013). *Informe nacional sobre desarrollo humano 2013*. San José: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Prieto, A. (2017). Metodología para el cálculo, explotación y difusión de líneas de costa y tasas de erosión a medio plazo (1956-2011) en Andalucía. *Tesis doctoral* (pág. 336). Universidad de Sevilla.
- Protti, M., Güendel, F. & Malavassi, E. (2001). *Evaluación del potencial sísmico de la Península de Nicoya*. Heredia, Costa Rica: Editorial Fundación UNA.
- Quesada, S. & Molina, L. (20 de Enero de 2016). Calentamiento global dispara erosión en playas de Limón. *Semanario Universidad*.
- Silva, R., Martínez, L., Hesp, P., Catalan, P., Osorio, A., Martell, R. & Govaere, G. (2014). Present and Future Challenges of Coastal Erosion in Latin America. *Journal of Coastal Research*, 1-16.
- Soto, M. (5 de junio de 2014). Mar arrebató 20 metros al Parque Nacional Cahuita en últimos 15 años. *La Nación*.
- Taveira-Pinto, F., Silva, R., & Pais-Barbosa, J. (2011). Coastal erosion along the Portuguese northwest coast due to changing sediment discharges from rivers and climate change. In *Global change and baltic coastal zones* (pp. 135-151). Springer, Dordrecht.
- Thiele, E. R., & Danforth, W. W. (1994). Historical shoreline mapping (I): improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research*, 10(3), 549-563.
- Vargas, G. (2006). *Geografía de Costa Rica*. San José: EUNED.



Critical beaches due to coastal erosion in the Caribbean south of Costa Rica, during the period 2005-2016

Playas críticas por erosión costera en el caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005-2016

*Gustavo Barrantes-Castillo*¹

*Isabel Arozarena-Llopis*²

*Luis Fernando Sandoval-Murillo*³

*José Francisco Valverde-Calderón*⁴

Universidad Nacional, Costa Rica

Abstract

Since 2010, the local press has been reporting an accelerated process of erosion on the sandy beaches of the Costa Rican Caribbean coast, it has even been documented within protected areas. To quantify this process and identify coastal erosion hotspots in the Caribbean south, a methodology was proposed for detecting and delineating the shoreline using aerial photographs and high-resolution satellite imagery to determine the rate of shoreline retreat, the employed photographs and images cover the period between 2005 and 2016. By such means it was possible to identify eleven erosion hotspots, as well as estimation of their retreat rates for the periods 2005-2010 and 2010-2016. The localities that have experienced the greatest erosion of their sandy beaches are Cahuita National Park, Westfalia and Bananito Beach.

Keywords: Coastal erosion; Costa Rican Caribbean; Coastal dynamics; Limón province; Erosion of beaches.

1 Doctor, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: gbarrantes@una.cr

2 Doctora, Departamento de Física, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: iarozarena@gmail.com

3 Máster, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: luis.sandoval.murillo@una.cr

4 Ingeniero, Escuela de Topografía Catastro y Catastro, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: jose.valverde.calderon@una.cr

Resumen

Desde el 2010 en la prensa local se ha venido reportando un proceso acelerado de erosión en playas arenosas del litoral caribeño costarricense, que incluso ha sido documentado al interior de las áreas protegidas. Para cuantificar este proceso e identificar los puntos calientes por erosión costera en el Caribe Sur, se planteó una metodología que consiste en levantar la línea de costa a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales de alta resolución espacial, con el fin de determinar la tasa de retroceso de la costa. Las fotos e imágenes utilizadas cubren un periodo entre 2005 y 2016. De esta forma fue posible identificar once puntos calientes de erosión, así como la estimación de sus tasas areales de retroceso para dos periodos (2005-2010 y 2010-2016). En este sentido, las localidades que han experimentado la mayor erosión en sus playas arenosas son el Parque Nacional Cahuita, Westfalia y playa Bananito.

Palabras clave: Erosión costera, Caribe costarricense, dinámica costera, provincia de Limón, erosión de playas.

Introduction

Sandy beaches are very common formations on tropical coasts (Gerard, 2007). They are transitional coastal forms between marine and terrestrial environments (Dingler, 2005). The erosion of sandy beaches can be analyzed as a negative balance between the dynamic entry and exit of sediments occurring in a beach resulting in a morphological change that is commonly perceived by the occupants of these spaces as a retreat of the shoreline (Masselink, 2012). A negative balance can be created by a wide variety of events such as: changes in land use within hydrographic basins, decrease in the contribution of river sediments resulting from the construction of dams, coastal infrastructure development, changes in wind, waves, the pattern of storms or mean sea level.

According to Silva, *et al.* (2014), in Latin America coastal erosion is not a widespread problem, however, it is prevalent and a serious problem in certain places. In the case of Costa Rica, in the past 15 years some researchers have warned about the effects of changes in the Pacific shoreline (Lizano *et al.*, 2002; Denyer *et al.*, 2004 and Ortiz, 2012). More recently, Lizano (2013) reports erosion processes on beaches that are found in protected areas and tourism sites on the Costa Rican Caribbean coast; such events are rapidly associated with climate change (Quesada & Molina, 2016) without there being studies that quantify the erosion process, establish trends or explore alternative causes.

In this sense, the investigation carried out in the framework of the *Costa Rican Coastal Marine Biodiversity, Development of Capabilities*

and *Adaptation to Climate Change (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2013) Project*, developed a map exhibiting the potentially affected coastal areas as a result of the increase in sea level and wherein five exposure categories are proposed based on their elevation measured in meters above sea level (masl), namely: very high, 0-1 masl; high, 1-2 masl; average, 2-4 masl; low, 4-8 masl; and very low, 8-16 masl. Based on this categorization, the Costa Rican Caribbean coastal would experience a large impact due to the change in sea level associated with climate change. According to this same study, the Caribbean Sea shows a tendency towards increasing sea level (1-2 mm/year), however, it is also pointed out that such trend can be attributed to the multidecadal variability of the ENSO phenomenon, or to a change in the Circulation of the Caribbean Current (CC) and the Giro Panama-Colombia (GPC).

It should be noted that an accelerated erosion process has been reported in several sectors of the south Caribbean coastal, in beaches such as Cieneguita (Bosque, 2016, Mora, 2015, Barrantes, *et al.*, 2017), Cahuita National Park (Soto, 2014) and the Gandoca-Manzanillo Wildlife Refuge (Quesada & Molina, 2016). Due to the above, the present investigation was developed to identify and quantify the areas of greatest erosion, termed hotspots (Finkl, 1993), in the beaches located between Puerto Limón and the mouth of the Sixaola River, at the international border with Panama. Hotspots identification and precise quantification is vital for coastal region planning, particularly in places where infrastructure already exists (Anthony, 2005).

Calculation of coastal erosion

Coastal erosion can be studied in different spatial-temporal frames, which are related to the processes causing changes, as well as to the methods and techniques employed for their study (Table 1).

Table 1. Scales of analysis of coastal erosion

Period	Spatial and temporal scale	Processes that influence changes	Study methods and techniques
Very short-term	-mm to m -Seconds to hours	Waves, currents and winds	- Colored or fluorescent dyed tracer sand - Segmented aluminum rods
Short-term	-m to km -Hours to years	Waves, winds, tides, tidal surges, seasonal changes and storms	- Changes in beach profile - Differential GPS
Medium-term	-km -Years to decades	Changes in wave regime, severe storms, changes in the contribution of rivers sediments, costal civil works (infrastructure)	- Aerial photographs - Satellite images and GIS-analyzed orthophotographies
Long-term	-Tens of km -Decades to centuries	Changes in sediment transport and changes in sea level	Quaternary techniques (photo-geomorphology, archeology, sedimentology, among others)
Very long- term	-Hundreds of km - Centuries to millennia	Changes in sea level, variations in the contribution of sediments and changes of regional swell.	Quaternary techniques (photo-geomorphology, archeology, sedimentology, among others)

Source: own elaboration based on (Taveira-Pinto *et al.* 2011) and Gracia *et al.*, (2005).

Due to the type of sources used and the methods of analysis, the time scale of the present investigation pertains only to medium-term time frame. Additionally, the rates of erosion can be calculated by means of three alternative methods (Ojeda, 2000, Prieto, 2017):

- Distance calculation (m/year): determined from the record of shoreline retreat distances of two or more shoreline. It can also be obtained by means of beach profiles or field measured distances from fixed reference points.
- Surface calculation (m²/year): based on the elaboration of polygons between two shoreline surveyed on different dates.
- Volume calculation (m³/year): it requires topographic surveys with high precision altimetry of the beach under study.

Of these methods, volume calculations provide the most information as they encompass three-dimensional (3D) analysis but are very expensive due to the required equipment (differential GPS or airborne LIDAR sensors). For the implementation of a two-dimensional (2D) analysis surface calculation method, a proxy coastal line must be defined that can be recognized in aerial photographs or satellite images. Finally, the distance calculation method is widely used because it allows data comparison with other case studies as well as being very comprehensible for decision makers. However, distance calculation methods only offer unidimensional analysis. Based on the available information sources and the selected analysis spatial-temporal scale, the surface calculation procedure was chosen.

Study area

Costa Rica is located in Central America, it has shoreline in the Pacific Ocean and in the Caribbean Sea. The Caribbean shoreline runs approximately 220 km, almost five times less than the Pacific shoreline (Vargas, 2006) due to the borders established with Nicaragua to the north and Panama to the south, as well as to a more rectilinear Caribbean shoreline. The climate in the Caribbean coast is characterized by an undefined dry season, having two periods in which precipitation decreases, the first from February to March and the second between September and October (IMN, 2017). Herrera (1986) classifies the Caribbean south climate as hot-humid with short dry periods.

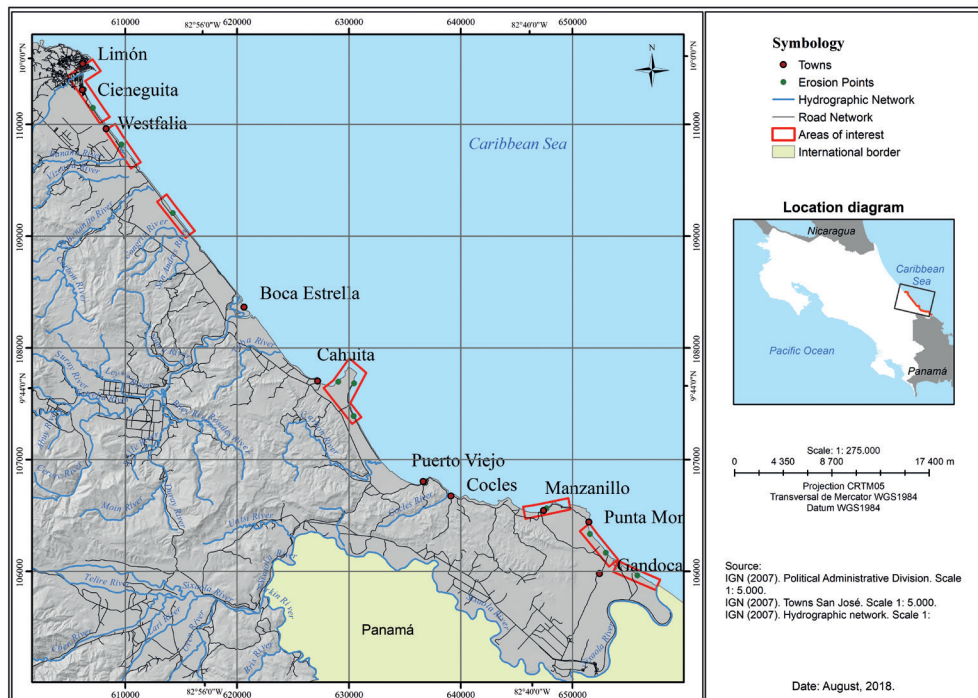
As for tides, the Caribbean coast presents a micro-tidal condition where tides rarely exceed 30 cm (Murillo, 2001). Waves usually come from the northeast direction with average wave periods of 7.38 s of markedly local character, with higher energy during the last and the first months of the year and lower energy from September to October when the trade winds diminish (Lizano, 2007). The main currents along the coast run from northwest to southeast, as part of the so-called cyclonic circulation of the Giro Panama-Colombia (GPC) (Andrade *et al.*, 2003).

From a geological and geomorphological perspective, the Caribbean coast can be divided into two regions, the north and the south. The northern region presents characteristics of a passive continental margin and an extensive tectonic regime (normal faults) while the southern region presents a compressive regime with the occurrence of major earthquakes

(Alvarado & Cárdenas, 2016). Geomorphologically, the northern region shows a relatively rectilinear configuration, with the presence of sandy beaches, sand bars, coastal lagoons and a system of artificial canals. The southern region, on the other hand, is characterized by the proximity of a mountainous system to the coast; between Puerto Limón and Puerto Viejo there are extensive sandy beaches, however, starting at the latter town, the shoreline becomes more intricate, the beaches shorten until developing into so-called *pocket beaches* which intercalate with coastal rocky formations (Figure 1).

The Caribbean south coast contrasts with the uniformity of the Caribbean north coast. The south coast alternates between areas where coastal plains have a considerable extension, with others where hills up to 100 m high almost reach the shoreline (Battistini & Bergoing, 1984). There are rocky promontories associated to a reef complex attributed to the Middle Pleistocene, known as the Puerto Viejo Formation, which has rocky outcrops in Puerto Limón, Cahuita and Puerto Viejo, as well as along the rocky coast that occurs between Puerto Viejo and Punta Mona. According to Battistini & Bergoing (1984) they are coral massifs that alternate with coral breccias as well as old fossilized beach beds (black sandstones). This complex overlays in some sectors like Limón a similar formation called Portete, of lower Pleistocene age. Moreover, rocky coastal sectors exhibit exposed reef platforms or reef platforms located at or near the current sea level, that came about their position after the 1991 Limón earthquake; behind these recently erected platforms, it is common to find other terraces, between 2 and 4 m above current sea level, which may have been formed by earthquakes prior to 1991, although their current position may also have been influenced by quaternary eustatic movements (Denyer, *et al.*, 1994). Additionally, in sectors such as Cahuita and Manzanillo, especially, we find recent extensive submerged reef platforms.

Figure 1. Study area.



Source: own elaboration.

Administratively, the Caribbean south coast lies between the municipalities of Limón and Talamanca, which, as of 2011 (UNDP, 2013), ranked in positions 74 and 62 of the Human Poverty Index amongst the 81 cantons that make up Costa Rica, and positions 73 and 80 of the Human Development Index, respectively; such metrics reveal the lag in economic development of the region and related social problems aggravated by unemployment. The main economic activities of the Caribbean region are beach and nature tourism, port activities and banana cultivation.

Methodology

The employed methodology is based on the change of position of the shoreline, defining this as the precise limit between land and sea. Although shoreline delineating is usually made following the mean sea level, the difficulty of identifying the sea level in the surveyed terrains required the

alternative approach, that consist to use the vegetation limit as a the shore-line proxy. Alternatively, beachfront public infrastructure was also used as shoreline indicators. When the mean sea-level methodology (Moore, 2000) is not practical, the use of the vegetation limit proxy is recommended if beach erosion study is the emphasis of the investigation (Boak & Turner, 2005).

Aerial photography and satellite images were used as information sources. In order to comply with the objective of establishing coastal erosion rates, only photographic sequences that covered a large-scale area and to which orthorectification had been applied were selected. Available aerial photographs from 1956 to 1993 were not used due to the variations in their scales (most of them between 1:60000 and 1:40000) or the inexistence of camera calibration parameters data necessary for carrying out orthorectification processing, thus making these photographs inappropriate for quantitative work (Thiele & Danforth, 1994; Moore, 2000).

Following the above criteria, a mosaic of orthophotographs from the year 2005, at scale of 1:5000, were selected (spatial resolution of 0.5 m per pixel); the orthophotographs were commissioned by the National Registry and endorsed by the National Geographic Institute (IGN). Likewise, a set of orthophotographs (1:1000 scale, spatial resolution 0.1 m per pixel) from 2016 were chosen, these had been commissioned by the National Commission for Risk Prevention and Emergency Response (CNE) as part of a LIDAR survey study of the coastal zone. Because of the prolonged period from 2005-2016 and, with the intention of evaluating temporal trends in greater detail, six very high spatial resolution (0.5 and 0.6 m) panchromatic satellite images with rigorous orthorectification were acquired to cover the year 2010 at 1:5000 scale.

Once the data sources were defined, GIS-assisted digitalization of the shoreline for the years 2005, 2010 and 2016 was performed and digitalized data homogenized to 1:1000 scale. Two periods of analysis were established for comparison, namely 2005 to 2010 and 2010 to 2016.

Subsequently, the changes in shoreline position were classified as *advance*, *backward* and *stable*. The first case occurs when the shoreline advances towards the sea between the initial and final years; the second when the line retreats inland between the initial and final years and *stable* occurs when the lines of the initial and final years register but little change

between them. For the beaches showing the greatest shoreline retreat, we proceeded to estimate the aerial regression rate ($m^2/year$) (Ojeda, 2000) for periods 2005-2010 and 2005-2016. In this way it was possible to determine if the trend observed in the first time series is maintained, increased or decreased relative to the second period. Once the rate has been calculated, a field verification is carried out to check whether the result found by means of photographic interpretation techniques correspond to an accelerated beach erosion process.

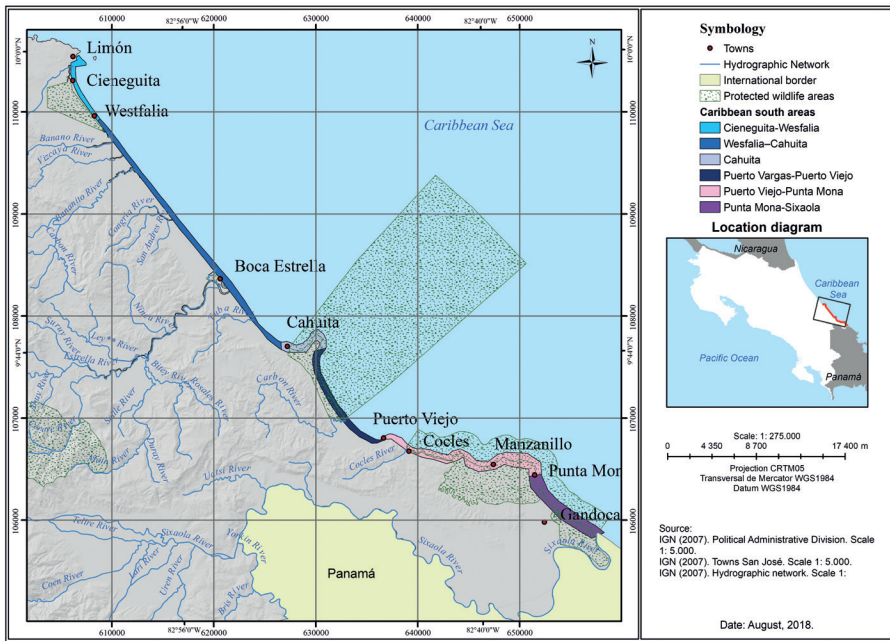
Results

To facilitate the interpretation of the obtained results, the study area was divided into six sectors according to the configuration of the coast (Figure 2), namely:

- **Cieneguita-Westfalia:** sector located at the northwest end, characterized by possessing an extensive beach with a slight concavity pointing north opening to the Caribbean Sea, mainly in the sector closest to the rocky promontory where the city of Limón is located. Cieneguita Beach has a jetty approaching the middle of the beach.
- **Westfalia-Cahuita:** this sector appears as a rectilinear coast having in its surrounding the presence of the mouths of important fluvial systems and wetlands (estuaries).
- **Cahuita:** small peninsular sector having two sections where the rocky reef platform is interspersed by a sandy beach (Cahuitas's Blanca Beach); on the smallest section of the platform sits the town bearing the same name (Spanish "Playa Blanca"), and on the other a section of land called Punta Cahuita. Both Blanca Beach and Punta Cahuita are part of a wildlife protected area (Cahuita National Park). Among the current main features of the park is the presence of an important coral reef.
- **Puerto Vargas-Puerto Viejo:** this corresponds to a straight to slightly concave shoreline sector spanning from the old berth town of Puerto Vargas to the town of Puerto Viejo; shoreline concavity opening to the Caribbean Sea. The continuity of this shoreline is only interrupted by the mouth of the Carbón River.

- **Puerto Viejo-Punta Mona:** this sector is comprised of relatively short and pocket beaches interspersed with ledges, rocky promontories and outcrops of the Pleistocene reef formations in the form of terraces.
- **Punta Mona-Sixaola:** rectilinear shoreline interrupted by ancient estuaries and wetlands; only the initial section of Punta Mona is rocky. It ends at the southern tip of Costa Rica, at the mouth of the Sixaola River which serves as the Costa Rica-Panama international border.

Figure 2. Beach erosion study areas in the Costa Rican Caribbean south.



Registered changes in the shoreline recorded between the 2005-2010 and 2010-2016 periods revealed 11 coastal erosion hotspots in the Costa Rican Caribbean south as presented below for each established sector:

Cieneguita-Westfalia Sector

In the northern section of this sector is an urbanized area called Barrio Cieneguita, officially called the Cristóbal Colón sector, and to the south, the Limón Airport (Figure 3.b). The Cieneguita-Westfalia sector is

influenced by the presence of an important wetland that is located inland; it is a protected area called the Limoncito Wildlife Refuge. The shoreline retreat is more evident south of the jetty (Figure 3.a), an area where the coastal drift of sediments was cut by the construction of said structure. To the south, the shoreline already reaches manmade public infrastructure (sidewalks, bicycle ways and public lighting posts).

The sector between the jetty and the airport runway is considered an erosion hotspot registering a retreat rate of 1,430 m²/year for the 2005-2010 period and 3,936 m²/year for 2010-2016. According to these data, the retreat rate almost tripled in the second period (Figure 3.a). The above points to an apparent erosion process indeed confirmed by field inspection, during which it was also evidenced the resulting deterioration of public infrastructure and the ongoing maintenance works to contain further down-grade by placement of stones and wire meshing (Figures 4 and 5).

Figure 3.a. Hotspots in Cieneguita Beach.
Figure 3.b. Hotspots in Limón Airport Beach.

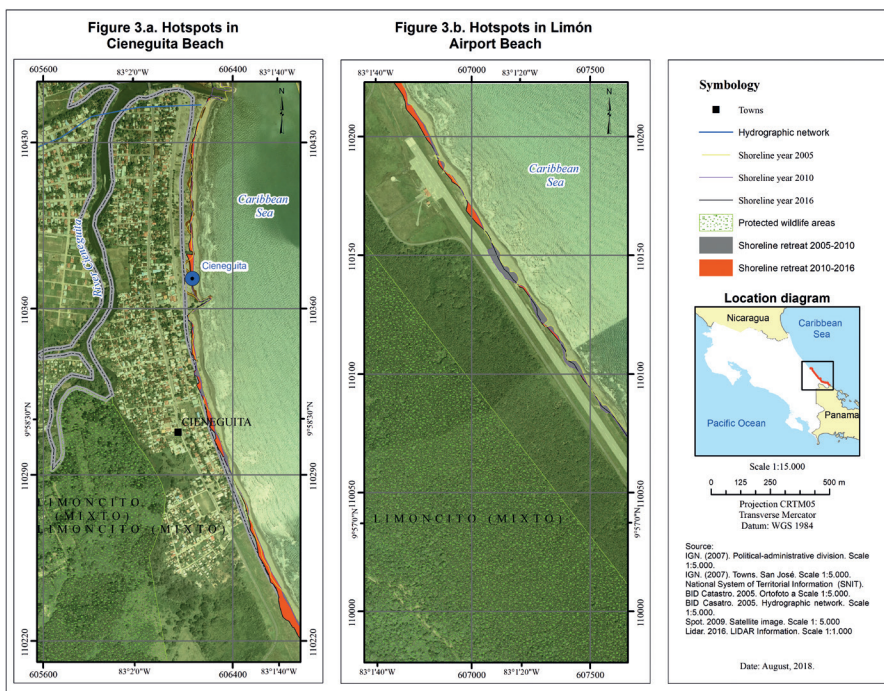


Figure 4. Placement of rocks for public infrastructure protection in Cieneguita Beach.



Source: Photograph by G. Barrantes, 2017.

Figure 5. Stone and wire mesh lining for road protection in Cieneguita Beach



Source: Photograph by G. Barrantes, 2017.

Another erosion hotspot is near the airport (Figure 3.b). For the period 2005-2010, the erosion rate of this sector was 8,801 m²/year and, for the period 2010-2016, it decreased to 1,599 m²/year. To the south of the airport there is a wetland characterized by the presence of small elongated lakes interconnected by channels that drain before reaching the town of Westfalia, thus suggesting an alteration of part of the Cieneguita wetland. The erosion of the beach has affected the asphalt layer of the runway; for its protection, rock and wire mesh covering has been installed (Figure 6).

Figure 6. Stone and wire mesh covering on one side of the airport runway where erosion has made necessary such repair works.

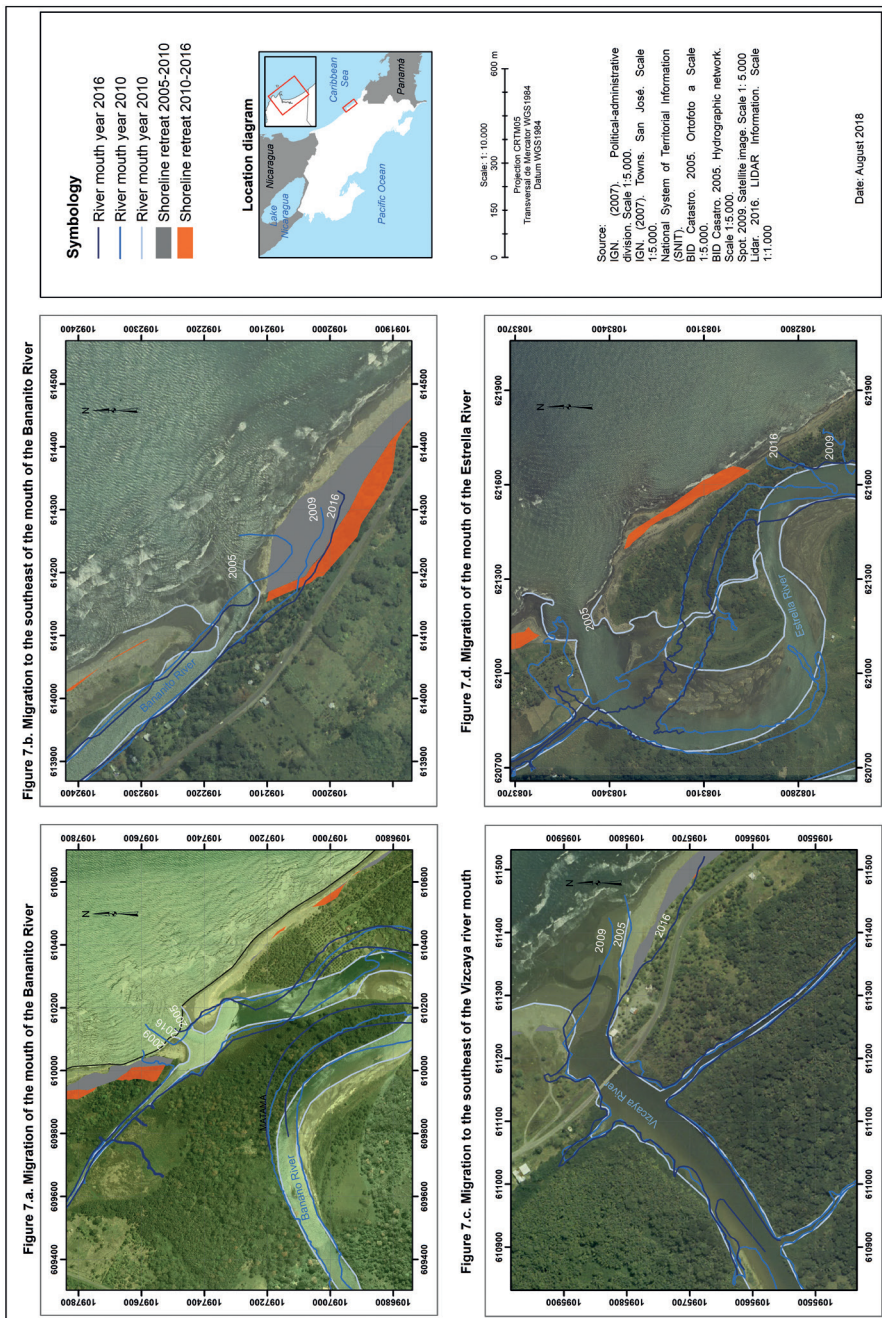


Source: Photograph by G. Barrantes, 2017.

Westfalia-Cahuita Sector

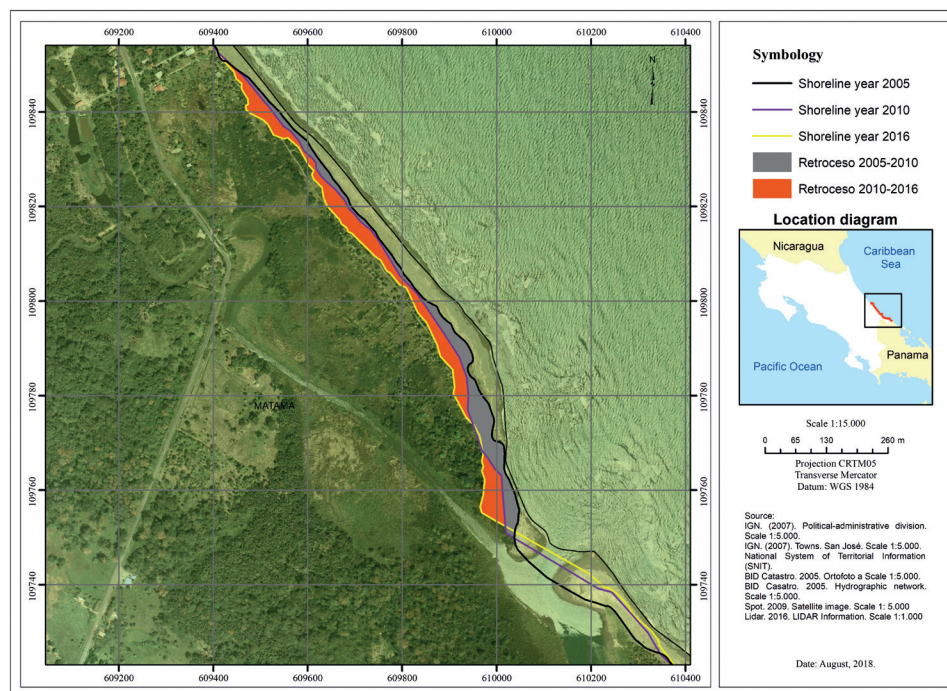
This is a sector with extensive beaches interspersed with the mouths of important river systems (Figure 2). The littoral dynamic manifests itself in drastic changes in the shape of the shoreline, mainly due to the migration of the mouths. In this sector, the changes in the mouth of the Banano River stand out (Figure 7.a, top left) as causing the local retreat of the shoreline associated with the erosion of the left margin of the mouth and the accumulation of sediments on the right margin. Other river mouths causing significant shoreline changes are those of the Vizcaya River, Bananito River and La Estrella River (Figure 7.b, 7.c and 7.d, respectively).

Figure 7. Coastal erosion and migration of river mouths in the Westfalia-Cahuita sector



The first hotspot in this sector is located south of the town of Westfalia and is associated with the migration of the mouth of the Banano River (Figure 8). In this section the shoreline has experienced an erosion rate of 4,842 m²/year in the period 2005-2010, a value that increased to 6,471 m²/year between 2010-2016, which shows an increase in erosion dynamics.

Figure 8. Hotspot located south of the town of Westfalia.



Another critical point of erosion was located at the mouth of the Bananito River (Figure 7.a) where, as in the previous cases, it is related to the migration of the river course. In this case, the proximity of the shoreline with the road threatens the integrity of the main road that gives access to the rest of the region (figure 9). The erosion rate at this point is 2,817 m²/year in the period 2005-2010 and 2,793 m²/year between 2010-2016, which indicates that the rate remains similar between the two periods.

Figura 9. Proximity of the road with the beach erosion zone.



Source: Photograph by G. Barrantes, 2017.

Cahuita Sector

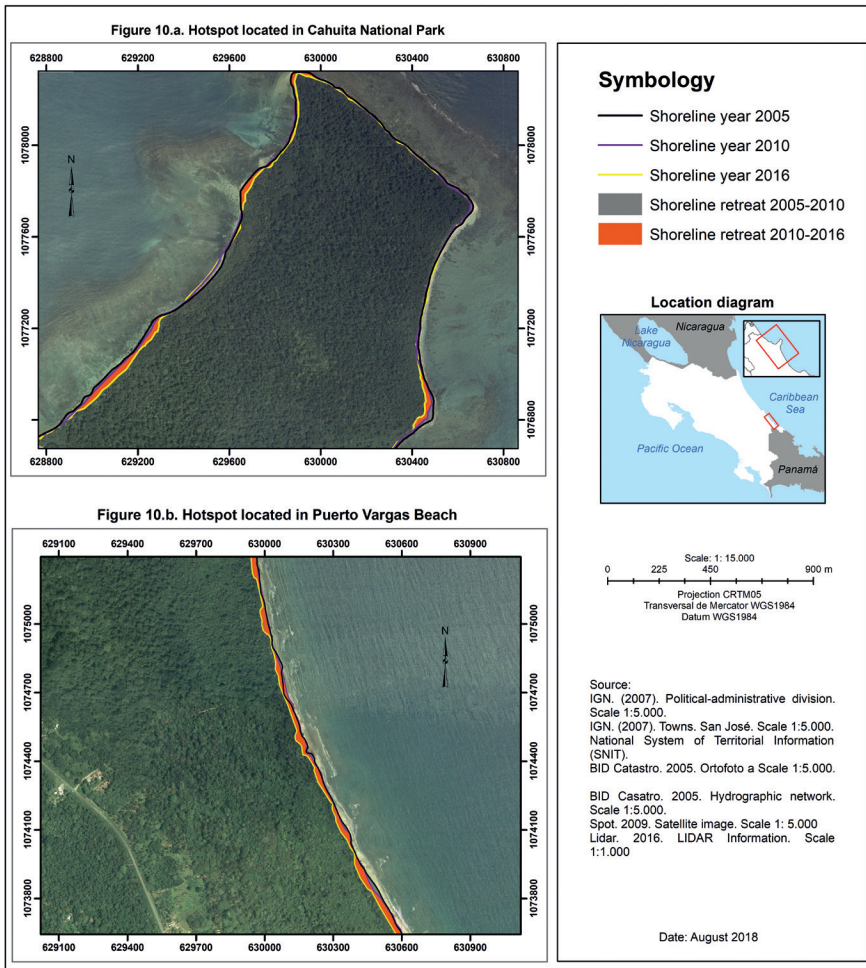
This sector is characterized by the presence of rocky promontories related to an ancient coral paleo-platform described by Battistini & Bergoeing (1984), as well as by the presence of life coral formations in front of Punta Cahuita and protected by the existence of Cahuita National Park (Figure 2).

The first point of accelerated erosion is found within Cahuita National Park, specifically in the area known as Cahuita (Figure 10.a). In this area of the park, shoreline retreat for the period 2005-2010 was 1,300 m²/year, a value that increased to 4,598 m²/year for the 2010-2016 period. These values show that the erosion rate tripled in the most recent period.

The other hotspot is in the other area of Punta Cahuita, known as Puerto Vargas (Figure 10.b). At this point the erosion rate was 2,480 m²/year in the period 2005-2010 reaching 9,510 m²/year in 2010-2016. In this

area, as in Cahuita National Park, the last period showed a triple increase relative to the 2005-2010. Heavy erosion is quite evident along the access trail to old Puerto Vargas.

Figure 10. Hotspots located around the Cahuita National Park area



In the previous points, it is notable that the presence of an extensive current reef, considered the largest in Costa Rica (Cortés *et al.*, 2010), does not seem to represent a natural barrier against erosion, despite harboring the coast in front of the critical points of this land section. It is possible

that local variations in depth, together with the presence of rocky channels, could create wave refractions and a redistribution of drift currents thus partially explaining the presence of these two erosion hotspots.

Puerto Vargas-Puerto Viejo Sector

This sector comprises an extensive beach that begins south of Punta Cahuita and ends at Negra Beach in Puerto Viejo, right before the town bearing the same name (Figure 2). In this sector a hotspot is located in the vicinity of the access road to the Puerto Vargas sector of the Cahuita National Park that extends to the south (Figure 10.b). Despite being located within the park, as opposed to the previous sector, these beaches are not protected from the waves by the coral reef.

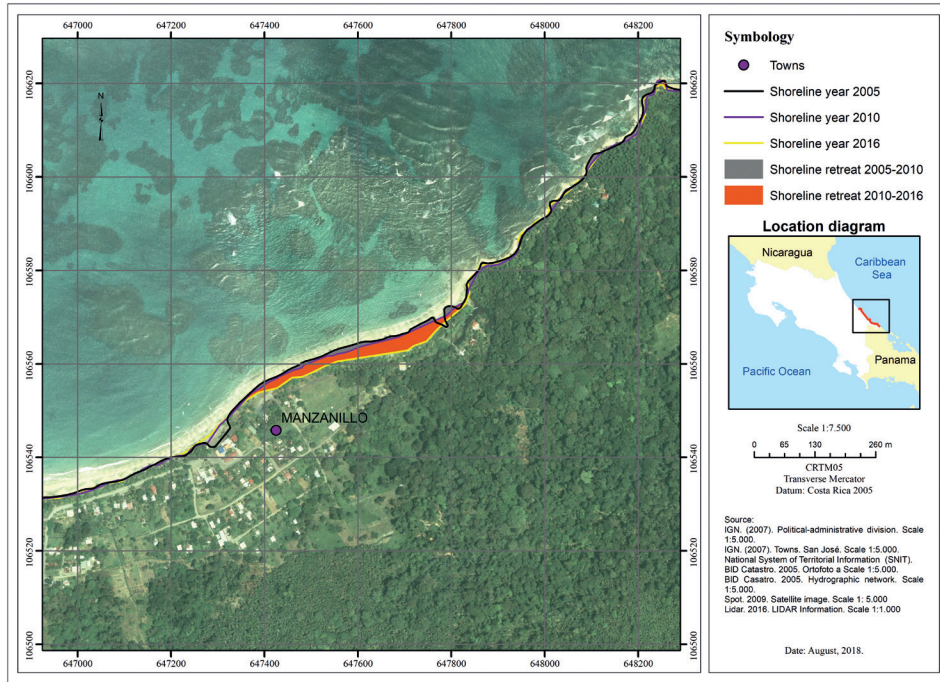
The erosion in Puerto Vargas Beach recorded 986 m²/year between 2005-2010 and increased remarkably to 8,953 m²/year in 2010-2016 representing a nine-fold increase.

Puerto Viejo-Punta Mona Sector

In this sector we find *pocket beaches* and some more extensive ones, such as Cocles beach, alternating with rockier areas where the reef formations of the Pleistocene flourish. Near sea level the reef lifted by the 1991 earthquake becomes prominent. Also, underwater reef patches appear. Almost the entirety of this sector is located within the Gandoca-Manzanillo Wildlife Refuge which is managed under a mixed state-private administration model (Figure 2).

Manzanillo Beach is located in front of a reef that is considered by Cortés *et al.*, (2010) as an incipient crest of algae; according to these authors, as of 2003, the life coral formation covered only 7% of the extension of the beach. As in the case of the previously described sectors, the erosion rate of the beach was moderate in the period 2005-2010 reaching a value of 745 m²/year, which increased to 1,678 m²/year between 2010-2016; this represents a two-fold increase (Figure 11).

Figure 11. Erosion hotspot located in the vicinity of the town of Manzanillo.



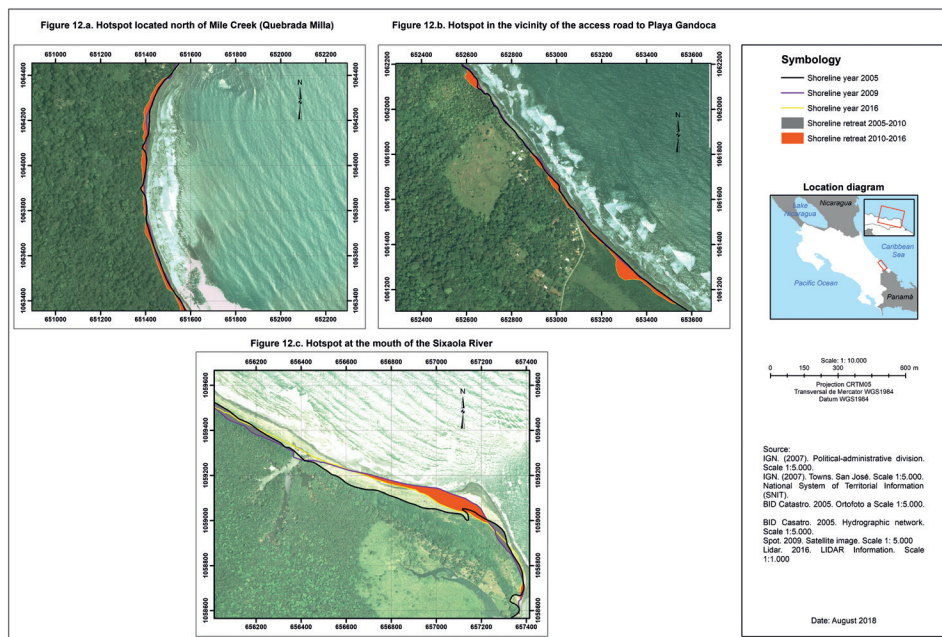
Punta Mona-Sixaola Sector

It is an extensive convex beach facing the Caribbean Sea interrupted by current and ancient estuaries that are currently maintained as wetlands (Figure 2). The area includes two long beaches: Mile Creek and Gandoca. The town of Gandoca is located within this sector and has a low population density.

Three hotspots have been discovered in this sector, the first in Mile Creek, a locality also known as Quebrada Milla (Figure 12.a). In this case, the section of shoreline retreat extends along the beach. For the period 2005-2010, the erosion rate was $626 \text{ m}^2/\text{year}$, a value that increased more than seven-fold in the second period from 2010-2016, reaching a value of $4,865 \text{ m}^2/\text{year}$.

The second hotspot is found near the access road to Gandoca Beach (Figure 12.b). It is a small area where, as in the previous case, erosion was lower for the 2005-2010 period with a rate of $1,194 \text{ m}^2/\text{year}$ that increased three times to $3,642 \text{ m}^2/\text{year}$ for the period 2010-2016.

Figure 12. Hotspots located in the Punta Mona-Sixaola sector



The last section of this sector is the beach located between the Gandoca Lagoon and the Sixaola River (Fig. 12.c), in this point erosion rate reached 1,697 m²/year in the period 2005-2010 and, increased more than four-fold to 7,456 m²/year in the period 2005-2016.

Discussion

A division of the shoreline into sectors based on geomorphological similarities was made for referencing purposes while analyzing accelerated erosion processes in beaches of the Caribbean south of Costa Rica. In all the defined sectors, hotspots of coastal erosion were found. The shoreline retreat occurs in extensive straight and concave beaches, in the presence of river mouths, pocket beaches, even in areas protected from direct waves by coral reefs. This leads to the conclusion that Costa Rica's Caribbean south coast is experiencing an extended process of coastal erosion that manifests itself in eleven critical points along the coast.

The beaches that have experienced the greatest surface area loss for the 2005-2010 period were: the section near Puerto Vargas (71,924 m²), Westfalia (63,038 m²), Puerto Vargas Beach south of the old berth (58,650 m²) and Bananito Beach to the south of the mouth of River of the same name (53,599 m²).

Tables 2 and 3 summarize the beaches that experienced the highest erosion rates in the two analyzed periods.

Table 2. Beaches with the highest erosion rates in the period 2005-2010.

Locality	Rate	Period
Limón Airport	8,801 m ² /año	2005-2010
Westfalia	4,842 m ² /año	2005-2010
Puerto Vargas in Punta Cahuita	2,972 m ² /año	2005-2010
Mouth of Bananito River	2,817 m ² /año	2005-2010

Source: own elaboration.

Table 3. Beaches with the highest erosion rates in the period 2010-2016.

Locality	Rate	Period
Puerto Vargas in Punta Cahuita	9,510 m ² /year	2010-2016
Puerto Vargas Beach south of the old berth	8,953 m ² /year	2010-2016
Gandoca Beach up to the mouth of the Sixaola River	7,456 m ² /year	2010-2016
Westfalia	6,471 m ² /year	2010-2016

Source: own elaboration.

The greatest increase in erosion rates for the period 2010-2016, compared to the previous period 2005-2010, was seen in Cahuita, specifically in the Puerto Vargas section, followed by Gandoca in Mile Creek Beach and between Gandoca Lagoon and at the mouth of the Sixaola River. Conversely, the beaches where the erosion rate was reduced were Bananito Beach and Limón Airport Beach (Table 2 and 3).

Even though correlation analyses are not carried out in the present investigation, it is conceivable to analyze some possible causes of the presence and increase in erosion processes in the Caribbean south coast of

Costa Rica. In the first place, the presence of shoreline civil works (i.e. buildings) seem to explain the erosion found only in Cieneguita Beach, due to the presence of a jetty that, according to the evidence found in aerial photography and the detailed study of shoreline evolution in this sector made by Barrantes *et al.*, (2017), would explain the accelerated erosion that occurs south of the buildings, a process that may even be affecting a hotspot located near Limón Airport Beach. The other beaches lack civil works that could significantly alter the distribution of sediments by coastal drift or wave conditions.

As for the supply of sediment by rivers, no construction of reservoirs and dams have been confirmed that would limit sediment transport to the coast. Although dredging has been performed to mitigate floods, they are punctual in time and space, so their impact is limited.

Similarly, no significant changes in land which can modify the availability of sediments have been experienced. However, like in the rest of the country, the watersheds that flow into this area have experienced an increase in forest coverage that may be causing a decrease in the contribution of sediments, without there being studies to substantiate this idea.

Regarding the increase in sea level, BIOMARCC-SINAC-GIZ (2013) presents annual rates of around 2 mm/year this region, a value that does not differ from world average. This constant increase in sea level can be one of the causes of the erosion process. However, local geodynamics play a first order role in compensating for this effect. In this sense, the seismic lifting associated with the 1991 Limón earthquake provoked a generalized coastal uplift, a process that favored shoreline displacement towards the sea. Currently, no data is available to assess the participation of local geodynamics in the observed coastal erosion processes.

In this sense, regional tectonics may be playing a role in coastal erosion processes, similar to the interplay observed in the coast of the Nicoya Peninsula. In this sector of the north Pacific, earthquakes that raise the coast alternate with periods of absent littoral activity lasting approximately 50 years, due to plate coupling in a subduction zone, consequently creating a downward drag of the upper plate (Norabuena *et al.*, 2004; M. Protti, Güendel, & Malavassi, 2001). The Caribbean south is also known for presenting periodic earthquakes causing coastal uplift (Alvarado & Cárdenas, 2016, P. Denyer, Arias, & Personius, 1994, J. S. Marshall, 2007). Although the geodynamics

and tectonics of this Caribbean margin do not correspond to a subduction zone proper, the mechanism of strain accumulation and coastal subsidence that could exist between periods of large uplifting earthquakes have also not been studied in detail, conditions/phenomena that could help explain the accelerated erosion processes that, so far, lack a clear explanation.

Other possible explanatory variables are related to climate variability, in particular, "El Niño" phenomenon, fluctuations in local marine currents, changes in wave patterns related to cyclonic storms for which limited data are known to allow correct assessment of their contribution to the erosion processes.

Conclusions

We identified 11 hotspots of coastal erosion in the Caribbean south of Costa Rica. These beaches are located in Cieneguita, Limón Airport, Westfalia, Bananito Beach, Blanca Beach of Cahuita, Puerto Vargas around the old berth, Puerto Vargas Beach south of the access road, Manzanillo, Mile Creek, Gandoca and Sixaola.

The location of these hotspots includes the different types of shoreline described, according to the delimitation used, which includes: extensive straight beaches exposed to waves, with the presence of river mouths, small horseshoe shaped beaches between rocky promontories (*pocket beaches*), and even areas protected from direct waves by coral reefs. This fact leads to affirm that an extensive process of accelerated erosion is occurring in the Caribbean south of Costa Rica.

The beaches that experienced the greatest surface area loss during the study period (2005-2010) were: Westfalia, Puerto Vargas, Puerto Vargas Beach south of the old berth, and Bananito Beach south of the mouth of the Bananito River. Likewise, the greatest increase in erosion rates in the second analyzed period (2010-2016) were recorded in Puerto Vargas around the old berth and in Gandoca. Conversely, beaches showing a decreased erosion rate were Bananito Beach and Limón Airport Beach.

Erosion processes are evident in the field and have even led to mitigation works, among which the covering with rocks and the construction of stone walls stand out as community protective measures in the beaches of Cieneguita, Limón Airport and along National Route 36 near the mouth of the Bananito River.

References

- Alvarado, G. & Cárdenas, G. (2016). Chapter 3 Geology, Tectonics, and Geomorphology of Costa Rica: A Natural History Approach. En M. Kappelle, *Costa Rican Ecosystems* (p. 744). London: University of Chicago Press.
- Andrade, C. A., Barton, E. D. & Mooers, C. N. (2003). Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coast. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(C6).
- Anthony, J. E. (2005). Beach erosion. En M. Schwartz, *Encyclopedia of coastal science* (pp. 140-145). Netherlands: Springer.
- Barrantes, G., Valverde, J. F., Piedra, L., Quesada, A., Castillo, M., Sandoval, L., y otros. (2017). Cambios en la línea de costa en playa cieneguita, limón. *17º Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar* (págs. 1212-1214). Balneário Camboriú, Brasil : Associação Latino-Americana de Pesquisadores em Ciências do Mar.
- Battistini, R. & Bergoeing, J. P. (1984). Geomorfología de la Costa Caribe de Costa Rica. *Revista Geográfica* (99), 167-188.
- BIOMARCC-SINAC-GIZ. (2013). *Análisis de vulnerabilidad de las zonas oceánicas y marino-costeras de Costa Rica frente al cambio climático*. San José.
- Boak, E. H. & Turner, I. L. (2005). Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research* (214), 688-703.
- Bosque, D. (14 de Febrero de 2016). Mar se come poco a poco el barrio Cieneguita en Limón. *La Nación*.
- Cortés, J., Jiménez, C., Fonseca, A., & Alvarado, J. J. (2010). Status and conservation of coral reefs in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 58 (suppl.1), 33-50.
- Denyer, P., Arias, O., & Personius, S. (1994). Efectos tectonicos del terremoto de Limon, Costa Rica. *Rev. Geol. Amer. Central, Volumen especial*, 39-52.
- Denyer, P., Cárdenas, G. & Kruse, S. (2004). Registro histórico y evolución de la barra arenosa de Puntarenas, Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 31, 45-59.
- Dingler, J. R. (2005). Beach processes. En M. Schwartz, *Encyclopedia of coastal science* (pp. 161-169). Netherlands: Springer.

- Finkl, C. J. (1993). Pre-emptive strategies for enhanced sand bypassing and beach replenishment activities in southeast Florida: a geological perspective. *Journal of Coastal Research* (18), 59-89.
- Gracia, F. J., Anfuso, G., Benavente, J., Río, L. D., Domínguez, L., & Martínez, J. A. (2005). Monitoring coastal erosion at different temporal scales on sandy beaches: application to the Spanish Gulf of Cadiz coast. *Journal of Coastal Research*, 22-27.
- Gerrard, J. (2007). *Fundamentals of Geomorphology* (2^a. ed.). New York: Routledge.
- Herrera, W. (1986). *Clima de Costa Rica: Vegetacion y clima de costa Rica*. San José: EUNED.
- IMN. (2017). *Clima de Costa Rica: el clima y las regiones climáticas de Costa Rica*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2017, de Instituto Meteorológico Nacional: <https://www.imn.ac.cr>
- Lizano, O. (Enero de 2007). *Climatología del viento y oleaje frente a las costas de Costa Rica, parte 1*. Recuperadode MIOCIMAR: http://miocimar.ucr.ac.cr/sites/default/files/articulos/CLIMATOLOGIA_DEL_VIENTO_Y_OLEAJE_FRENTE_A_LAS_COST.pdf
- Lizano, O. G. (2013). Erosión en las costas de Costa Rica, incluyendo la Isla del Coco. *INTERSEDES*, 14 (27), 6-27.
- Lizano, O. G. & Salas, D. M. (2002). Variaciones geomorfológicas en los últimos 50 años de la Isla de Damas, Quepos, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49, 171-178
- Marshall, J. S. (2007). Chapter 3 The Geomorphology and Physiographic Provinces of Central America. In G. (Bundschuh, J. & Alvarado (Ed.), *CENTRAL AMERICA: GEOLOGY, RESOURCES AND HAZARDS* (pp. 1-51). Taylor & Francis, London.
- Masselink, G. (2012). Coasts. En J. Holden, *An introduction to Physical Geography and the Environment* (3^a ed., p. 876). London: Pearson Education Limited.
- Moore, L. J. (2000). Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16(1), 111-124.
- Mora, C. (7 de Marzo de 2015). Cieneguita, barrio limonense, estrena nuevas canchas deportivas, parques y una ciclovía. *crhoy.com*.
- Murrillo, L. M. (2001). Las mareas en Costa Rica. *Inter Sedes*, 2 (2-3), 93-108.

- Norabuena, E., Dixon, T. H., Schwartz, S., DeShon, H., Newman, A., Protti, M., Sampson, D. (2004). Geodetic and seismic constraints on some seismogenic zone processes in Costa Rica. *Journal of Geophysical Research*, 109, B11403.
- Ojeda, J. (2000). Métodos para el cálculo de la erosión costera: revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*.(30), 103-118.
- Ortiz, E. (2012). Cambios geofomológicos en el litoral Caribe y Pacífico de Costa Rica. Caso del Complejo Déltico de Sierpe. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 5 (15), 45-54.
- PNUD. (2013). *Informe nacional sobre desarrollo humano 2013*. San José: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Prieto, A. (2017). Metodología para el cálculo, explotación y difusión de líneas de costa y tasas de erosión a medio plazo (1956-2011) en Andalucía. *Tesis doctoral* (pág. 336). Universidad de Sevilla.
- Protti, M., Güendel, F. & Malavassi, E. (2001). *Evaluación del potencial sísmico de la Península de Nicoya*. Heredia, Costa Rica: Editorial Fundación UNA.
- Quesada, S. & Molina, L. (20 de Enero de 2016). Calentamiento global dispara erosión en playas de Limón. *Semanario Universidad*.
- Silva, R., Martínez, L., Hesp, P., Catalan, P., Osorio, A., Martell, R. & Govaere, G. (2014). Present and Future Challenges of Coastal Erosion in Latin America. *Journal of Coastal Research*, 1-16.
- Soto, M. (5 de junio de 2014). Mar arrebató 20 metros al Parque Nacional Cahuita en últimos 15 años. *La Nación*.
- Taveira-Pinto, F., Silva, R., & Pais-Barbosa, J. (2011). Coastal erosion along the Portuguese northwest coast due to changing sediment discharges from rivers and climate change. In *Global change and baltic coastal zones* (pp. 135-151). Springer, Dordrecht.
- Thiele, E. R., & Danforth, W. W. (1994). Historical shoreline mapping (I): improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research*, 10(3), 549-563.
- Vargas, G. (2006). *Geografía de Costa Rica*. San José: EUNED.



Visión geográfica de la percepción de riesgos por peligros hidrometeorológicos extremos en Cuba

Geographic vision of the perception of risks due to extreme hydrometeorological hazards in Cuba

Pablo Bayón-Martínez¹

Universidad de La Habana, Habana, Cuba

Lilia Susana Padilla y Sotelo²

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Resumen

El conocimiento geográfico es base para la construcción teórica y práctica del espacio como concepción de medio ambiente, así como para la necesaria formación cultural ambiental de los actores sociales en los contextos de producción y reproducción de la vida. La comprensión de las particularidades geográficas del espacio donde transcurre la vida cotidiana del individuo coadyuva a la percepción de los riesgos por peligros hidrometeorológicos extremos. El artículo es resultado del análisis, desde una visión geográfica, del estudio de percepción nacional de riesgos por peligros hidrometeorológicos de 2009-2011 en Cuba, con la inclusión de mapas temáticos afines, aporte que se incorpora a los esfuerzos de la Agencia de Medio Ambiente en los estudios sociales del ambiente, la gestión de riesgos de desastres y la educación geográfica local.

Palabras clave: peligros hidrometeorológicos; percepción de riesgo; vulnerabilidad social; formación cultural ambiental, educación geográfica.

Abstract

Geographical knowledge is the basis for the theoretical and practical construction of space as a conception of the environment, as well as for the necessary environmental cultural formation of social actors in the contexts of production and reproduction of life. The understanding of the geographical

1 Doctor en Ciencias Geográficas. Profesor Titular, Investigador Auxiliar. Facultad de Geografía, Universidad de La Habana. Calle L No. 353 (6to piso) e/ 23 y 21, Vedado, La Habana, Cuba. CP-10400. Correo electrónico: pablo.bayon@geo.uh.cu/pabamar@yahoo.com

2 Dra. en Geografía. Investigadora Titular de Tiempo Completo del Instituto de Geografía, Departamento de Geografía Social, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad México (CDMX), México. Correo electrónico: padilla@igg.unam.mx

particularities of the space where the daily life of the individual elapses contributes to the perception of the risks brought by extreme hydrometeorological hazards. The article is the result of the analysis, from a geographical perspective, of the study of Cuba's national perception of risks from hydrometeorological hazards for the period 2009-2011, with the inclusion of related thematic maps. It aims at contributing to Cuba's Environmental Agency efforts in environment social studies, risk management of disasters and local geographic education.

Keywords: Hydrometeorological hazards; Risk perception; Social vulnerability; Environmental cultural formation; Geographical education.

Introducción

La etapa actual de transformación de la naturaleza se caracteriza por fuerzas estructurales que sistemáticamente degradan y llegan a exceder la capacidad de esta de asimilar la producción humana, por lo que ponen en movimiento una serie impredecible, pero interactiva y expansiva de fracturas sociogeoeológicas (Mateo, 2013), lo que corrobora lo afirmado por Engels (2002, p. 151) acerca de que

No debemos, sin embargo, lisonjearnos demasiado de nuestras victorias humanas sobre la naturaleza. Esta se venga de nosotros por cada una de las derrotas que le inferimos. Es cierto que todas ellas se traducen principalmente en los resultados previstos y calculados, pero acarrear, además, otros imprevistos con los que no contábamos y que, no pocas veces, contrarrestan los primeros.

La estrategia adaptativa del hombre a los procesos naturales se da principalmente a través de una plataforma cultural (González, 1996), al ser la cultura un mecanismo básico de adaptación de la naturaleza, y que combina herramientas, formas de organización social y de construcción simbólicas (Maya, 1996).

Al estudiar los sistemas ambientales, la Geografía opera con la categoría de **territorio**, aquel sobre el cual se ejerce control político por determinados grupos sociales, con límites jurídicamente establecidos según cada país (estado, departamento, provincia, municipio, consejo popular, etc.) y, **espacio geográfico**, que precisa todo lo que acontece en la superficie terrestre, resultante de la actividad humana y la herencia de su historia natural, es decir, dado por la configuración de los componentes naturales y sociales (económicos, culturales, etc.), diferenciables y distinguibles intrínsecamente, por el carácter de la ocupación por los grupos humanos en período histórico (Santos, 1996; Mateo y da Silva, 2006; Mateo, 2013).

Las categorías mencionadas constituyen referente de partida para el análisis de la percepción de riesgos hidrometeorológicos de los grupos humanos en sus territorios -desde una visión geográfica- a partir de la concepción de *paisajes* como geosistema de primer nivel en la relación sociedad-naturaleza, que aporta el conocimiento de la geografía local del espacio en que transcurre la vida cotidiana del sujeto, como premisa que incida en la percepción del sujeto con relación a los peligros hidrometeorológicos extremos, en el ejemplo de Cuba, y por ende, en sus modos de actuación cotidiana para la gestión de los riesgos en su comunidad.

Los estudios de percepción de peligros en Cuba de Espina *et al.* (2002), Núñez y Espina (2001), Núñez *et al.* (2008) y Almaguer (2008) revelan la trascendencia de los componentes socioculturales en torno a esta cuestión; visibilizan insuficiencias perceptivas territoriales y de baja percepción -alrededor del 50 % de los encuestados- a los riesgos por peligros hidrometeorológicos extremos con respecto a la insuficiente evaluación a las causas de las afectaciones y sus consecuencias, por ejemplo, a la vida, la salud humana y la contaminación del agua, entre otros, marginando el conocimiento de las particularidades geográficas del espacio donde transcurre la vida cotidiana del sujeto como elemento que incide en la percepción de sus peligros y vulnerabilidad (GER-AMA, 2013).

Según datos de la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI), desde 1791 hasta 2017, el país ha sido afectado por 116 huracanes, siendo la región occidental la que más veces ha sido azotada en 80 ocasiones (ONEI, 2018, p. 23). En los últimos tres lustros, el país recibió el impacto de 12 huracanes, los que han provocado pérdidas económicas por valor de 33 648,9 millones de pesos cubanos, con daños notables en la infraestructura de producción y servicios, con más de 1,5 millones de viviendas afectadas (ob. cit., p. 49). Las pérdidas de vidas humanas, generalmente, están relacionadas con actitudes negligentes de las víctimas por no atender las normas de protección y seguridad durante estos eventos.

El propósito de este trabajo es contribuir a los estudios de percepción de riesgo de peligros hidrometeorológicos extremos, en particular, los asociados con fuertes vientos e inundaciones por intensas lluvias y/o penetraciones del mar³, desde una perspectiva geográfica, redimensionando los

3 A los que también denominaremos dentro del texto riesgos asociados con el *viento-lluvia-mar*, en alusión a los referidos eventos hidrometeorológicos extremos (N. de los A.).

resultados del estudio de percepción nacional de 2009-2011 de la Agencia de Medio Ambiente (AMA) de Cuba, al incluir la visión geográfica en el análisis de los datos, como fundamento que aporta a los estudios de vulnerabilidad y a la identificación de pautas cognoscitivas y geográficas que han de tenerse en cuenta para la planificación y ejecución de acciones de educación geográfica local. En tal sentido, se destaca el papel de la Geografía local -como ciencia y enseñanza- para la comprensión de las relaciones que se producen en los espacios de producción/reproducción de la vida social y la singularidad geográfica del espacio donde transcurre la vida cotidiana⁴ del sujeto.

Área de estudio

La República de Cuba limita al norte con el Golfo de México, el estrecho de la Florida y el canal Viejo de Bahamas; al sur, con el Mar Caribe; al este, el paso de los Vientos que la separa de La Española; y por el oeste limita con el estrecho de Yucatán. Su posición geográfica tropical⁵ -a la entrada del Golfo de México y muy cerca del continente norteamericano- unido a su configuración alargada y estrecha en el sentido de los paralelos (Figura 1), ha determinado las principales particularidades climáticas del país, con predominio de clima cálido tropical con influencia marítima estacionalmente húmedo. Entre las principales características del clima cubano está la incidencia de huracanes, frentes fríos y sures, que modifican de forma notable el comportamiento de los parámetros meteorológicos y constituyen la principal amenaza a los subsistemas naturales y sociales. Los sures y los huracanes propician la ocurrencia de eventos de inundaciones por penetración del mar en amplios sectores costeros, fenómeno de particular interés, dado por el conocimiento previo de las futuras afectaciones por el ascenso del nivel medio del mar y la alta vulnerabilidad de las áreas costeras cubanas, donde se asienta el 10 % de su población, distribuida en 232 asentamientos, según datos del Instituto de Planificación Física referidos por Planos, Vega y Guevara (2013: 80).

4 Vida cotidiana [...] “como el espacio y el tiempo en que se manifiestan, en forma inmediata, las relaciones que los hombres establecen entre sí y con la naturaleza en función de sus necesidades, configurándose así lo que hemos denominado sus condiciones concretas de existencia [...]” (Quiroga; 1986, p. 12-13)

5 Dado por la ubicación de sus puntos extremos norte y sur respectivamente, entre los 23° 17' 09” y los 19° 49' 36” de latitud norte, cercana al trópico de Cáncer.

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.



Fuente: elaboración propia

Marco teórico-conceptual

El riesgo como construcción social: fundamentos de partida para la percepción de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos

En el análisis contemporáneo de la percepción y gestión de riesgos se comprende que los riesgos ambientales son una construcción social, de configuración de vulnerabilidades que potencian su magnitud, dado por la confluencia espacio-temporal del medio ambiente y los desastres, en los espacios de producción/ reproducción social como fenómeno humano.

El hombre histórico vive en determinada situación de desarrollo en un espacio concreto, bajo determinadas relaciones sociales con otros hombres; por ello, el reflejo subjetivo de la realidad “es el proceso activo

mediante el cual el individuo adquiere información sobre el ambiente que le rodea” (Almaguer, 2008, p. 40).

Las anteriores visiones pautan la importancia del conocimiento de las particularidades geográficas del espacio donde transcurre la vida cotidiana del individuo, que implica comprender y adaptarse de forma transformadora al territorio, lo que coadyuva a mejorar la percepción de riesgo de estudio, argumento que fue contrastado empíricamente desde la práctica profesional de los autores y, en grupo de estudio en Cuba.

El concepto de percepción ambiental dado por Peña (citado por Tse-rej y Febles, 2015), consiste en “aquel proceso cognoscitivo holístico e integral, que tiene un carácter selectivo, histórico y social [...] que permite el conocimiento del mundo y se produce en la interacción con éste; está, además, en constante cambio y necesita actualizarse sistemáticamente [...]” (p. 42) a través de la enseñanza. Se comprende que, depende -en gran medida- de la actividad de las personas que median su relación con el entorno y, “[...] se encuentra relacionada con el sistema de sentidos psicológicos y vivencias que poseen las personas de su medio ambiente” (ob. cit., p.43).

Por ende, las percepciones tienen carácter histórico-concreto, pues representan -como proceso- un aprendizaje social en relación con el lugar que ocupa el individuo en el sistema de relaciones sociales en el cual se desarrolla, vinculado con el espacio concebido como hábitat.

La percepción de las particularidades geográficas del lugar⁶ ha ocupado protagonismo en el estudio de los riesgos naturales, sobre todo en Estados Unidos, donde algunos geógrafos como White y Kates investigaron durante los años 60 y 70 del pasado siglo, la percepción popular del riesgo de inundaciones, ofreciendo pautas para evaluar la percepción de la probabilidad de accidentes de los sujetos de indagación, así como sus experiencias para la adopción de respuestas ante el peligro respectivo. Con posterioridad, estas investigaciones se extendieron a una amplia gama de fenómenos naturales: sequías, tormentas, terremotos y erupciones volcánicas (Bayón, 2012, p. 11-12).

En los 70 del siglo pasado, a partir de un enfoque que evidencia una mayor preocupación por examinar las respuestas sociales e institucionales,

6 Se refiere a la unidad territorial (espacio) de significancia identitaria y de pertenencia de los diferentes sujetos individual y colectivo, en la producción y reproducción de la vida social, de identificación espacial y simbólica de la población con el territorio (Boisier, 2004; Mateo, 2013; Ojeda *et al.*, 2014).

algunos autores ingleses como Wisner, Westgate y O'Keefe (1977) “utilizaron una aproximación que partía del conflicto social para examinar la evolución de la vulnerabilidad a desastre” (citados por Maskrey, 1993, p. 3). Durante la década de los 70 y principios de los 80, autores como Wenger (1978) y Hewitt (1995) revelaron lo importante de los condicionantes sociales para la gestión de desastres.

A partir de 1990 se hizo visible un significativo cambio en la concepción de los desastres. El riesgo se reconoce como un elemento sustancial para entender la construcción social de los desastres (Plapp, 2001; Sjöber, 2003; Cardona, 2003; Gellert de Pinto, 2012); comprendiéndose que las vulnerabilidades sociales, en particular, las relacionadas con el sujeto como ente individual y colectivo constituyen factores clave para la gestión de riesgos de desastres, en particular los relacionados con el desconocimiento de las particularidades geográficas del espacio en que transcurre la vida cotidiana del individuo, que lo hace o no, vulnerable ante la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos a partir de su percepción y la adopción de modos de actuación social de adaptación a los mismos para la reducción de sus efectos.

Calderón (2001) sintetiza en su obra otras aportaciones conceptuales importantes, dentro de las cuales se encuentra la idea de que los fenómenos naturales -o los denominados agentes destructivos- no fueran considerados más como la causa, sino “como un precipitador para la crisis y la procedencia del desastre, directamente relacionada al contexto social” (ob. cit., p.2).

Calero y Santana (2001) aportan aspectos importantes al estudio de la percepción de riesgo. En sus reflexiones expresan que la percepción de riesgos involucra “[...] los valores, las tradiciones, los estereotipos, las vivencias y los conocimientos, que tienen los individuos sobre determinados aspectos o fenómenos de la vida” (ob. cit., p.54). Estas ideas que revelan algunos rasgos de la percepción de riesgo tales como la relación -del sujeto- con un evento adverso o su amenaza, así como el proceso sociocultural e histórico, que toma en cuenta los conocimientos, los valores y vivencia del individuo en la sociedad. No obstante, marginan el reconocimiento de las dimensiones espacio - temporales que condicionan el riesgo, es decir, las particularidades geográficas y su dinámica, como factor de vulnerabilidad del espacio en que transcurre la vida cotidiana del individuo.

La percepción ambiental, en el amplio sentido, contiene la percepción de riesgo entendida por Wiedeman (1993), como:

la capacidad que tiene una persona para interpretar una situación potencialmente dañina para la salud o la vida propia o de otros, sobre la base de experiencias previas y en proyecciones futuras, que pueden variar de una opinión vaga a una firme convicción (p. 3).

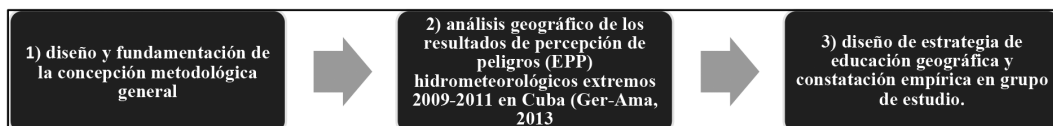
Esta perspectiva marcó el curso de la investigación base, concibiéndose -como concepto operativo- que la percepción de riesgo de peligros hidrometeorológicos extremos significa revelar el grado de vulnerabilidad del sujeto individual y colectivo, a partir del conocimiento de las particularidades geográficas y su dinámica, del espacio donde transcurre su vida cotidiana ante la amenaza concreta, como alternativa que favorece la toma de decisiones y modos de actuación oportunas antes, durante y posterior a su manifestación, minimizando las previsibles consecuencias para él y su familia.

Consideraciones metodológicas.

Se incorpora la dimensión geográfica del espacio donde transcurre la vida cotidiana del sujeto con relación al tipo de relieve predominante, paisaje geográfico y particularidades de la zona costera según grado de inundación, lo que significa la consideración de la geografía local en el análisis de la vulnerabilidad asociada con la dinámica del sistema natural en su contexto y la percepción de los riesgos referidos, lo que propiciará la asunción de criterios para el diseño e implementación de estrategia educativa geográfica -por demás ambiental-, dirigida a la formación ambiental del sujeto para la reducción del riesgo.

El desarrollo de la investigación (Figura 2) se llevó a cabo en una secuencia investigativa de tres momentos:

Figura 2. Esquema de secuencia investigativas



Fuente: elaboración propia de los autores

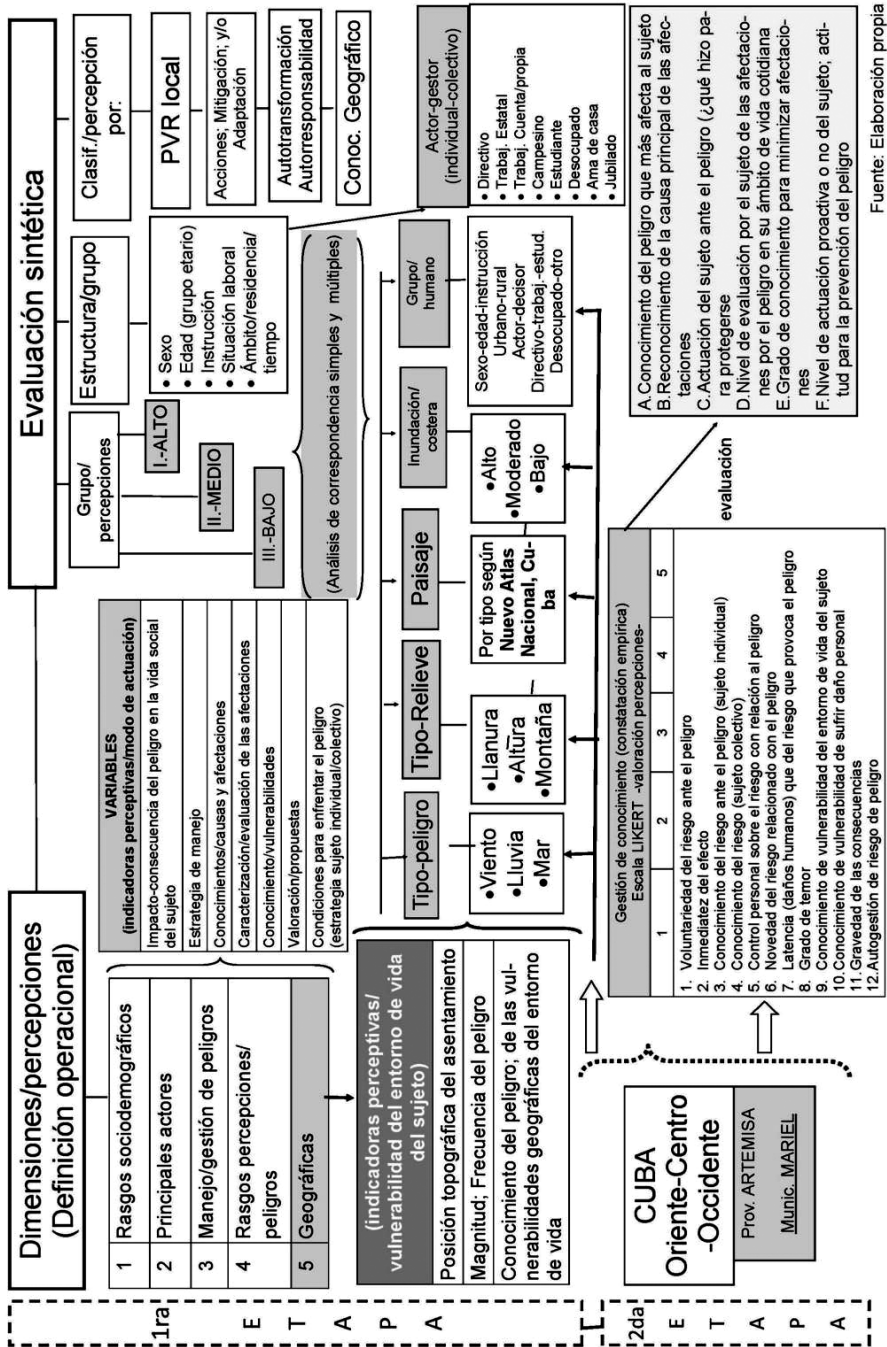
Cabe enfatizar que aquí se exponen los resultados que corresponden al segundo momento de la investigación, en relación con el análisis de los datos del estudio nacional de percepción de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos de 2009-2011 (GER-AMA, 2013), del que no existen antecedente en el país, con entrevista aplicada a 16 626 individuos, representativo del 0,14 %, aproximadamente, de la población residente en el período del estudio (ONEI, 2012: 92). Se analiza la percepción obtenida por municipios, conforme con las particularidades geográficas generales de sus territorios, según el tipo predominante de relieve (*llanura-alturamontaña*), de paisaje geográfico⁷ y el grado de inundación costera, siguiendo el esquema metodológico que se describe en la Figura 3, como aporte y complemento al estudio nacional. La distribución espacial de la percepción por municipios se representa conforme con los tres grupos de percepción identificados, concebidos en el diseño general de indagación (GER-AMA, 2013; Bayón, 2016a): Grupo I (alta), que refieren información y modos de actuación favorable ante el peligro; Grupo II (media), correspondiente a la percepción cercana a la realidad, pero insuficiente; y, Grupo III (baja), de percepción errónea o ninguna del riesgo y las maneras de enfrentarlo (López-Callejas y Núñez, 2011; López-Callejas, Núñez y Godefroy, 2013).

Se obtuvieron mapas, que más adelante se presentan, que constituyen primicia en cuanto al enfoque de los estudios de percepción de riesgos en la Agencia de Medio Ambiente de Cuba y, herramienta para la gestión pública de los tomadores de decisiones y el diseño de actividades de educación geográfica.

El estudio se complementó con otros procedimientos estadísticos, mediante el programa computarizado IBM SPSS v.22 (*Statistic Package Social Sciences*), propiciando el cruzamiento en tablas de contingencia y de frecuencia por unidad territorial descrita, según las variables geográficas de interés, y las particularidades sociodemográficas (edad, sexo, nivel de instrucción, tiempo de residencia, entre otros) de los entrevistados. Los mapas se elaboraron, empleando las herramientas del Sistema de Información Geográfica QGIS 2.14.3. (Bayón, 2016b).

7 De acuerdo con la clasificación y mapa del Nuevo Atlas Nacional de Cuba (IG e IGG, 1989).

Figura 3. Esquema de indagación



Fuente: Elaboración propia



Los resultados porcentuales de percepción por municipios: **alta**, **media** o **baja**, por cada evento relacionado con el viento, la lluvia o el mar, se asumieron cualitativamente contrastando los valores porcentuales de percepción alta y la sumatoria de la media y baja percepción, conforme la tabla de criterio (Tabla 1), consensuada en taller con miembros del grupo asesor y la consulta con especialistas del ámbito de la geografía como ciencia y enseñanza, con calificación de grado científico y/o académico, y categoría superior de investigación y docente, respectivamente.

Tabla 1. Rangos porcentuales de percepción de cada peligro de estudio para la clasificación de percepción general por cada municipio y provincia del país

Clasificación/ Percepción general		Rango porcentual de percepción		
		ALTA	MEDIA	BAJA
ALTA	-	$\geq 65,0$	$\leq 35,0$	
	Alta	-	-	$\leq 11,7$
	Media	-	-	$\geq 23,3$
MEDIA		$\leq 49,0 \leq 64,9$	$\geq 35,1 \leq 51,0$	
	Baja	-	-	$\geq 34,0$
BAJA	-	$\leq 35,0 \leq 48,9$	$\geq 51,1$	
	Media	-	$\geq 34,0$	-

Fuente: elaboración propia.

La clasificación general de percepción: alta, media, baja; se fijó por exceso, dadas las insuficiencias perceptivas a los peligros estudiados y por lo significativo de esta información para la adopción de acciones educativas e institucionales y para la gestión de los riesgos estudiados, conforme los siguientes criterios:

- **Alta:** sí el resultado porcentual de percepción “alta” respectivo, es igual o superior a 65,0 % o la sumatoria de percepción “media + baja” es igual o inferior a 35,0 %. También se clasifica de **alta**, en caso de que la percepción “baja” respectiva, sea igual o inferior a 11,7 %. Se clasifica de **media**, en similar circunstancia a lo anterior, pero en los casos que el resultado de “baja” percepción respectiva, igual o superior a 23,3 %.

- **Media:** en los casos en que el rango de la percepción “alta” oscile entre igual o superior a 49,0 % e igual o inferior a 64,9 %; o que, el rango de la percepción “media+baja” esté en el rango de igual o inferior a 35,1 % hasta igual o inferior a 51,0 %. En caso de que la percepción “baja” del evento respectivo, sea igual o superior a 34,0 %, se asume como clasificación general de **baja** percepción.
- **Baja:** en los casos en que la sumatoria de las percepciones “media y alta” sea igual o superior a 51,1 %. En caso de que la percepción “media” sea igual o superior a 34,0 %, se clasificó como **media** a la percepción general.

Resultados generales

Visión geográfica del estudio de percepción de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos en Cuba

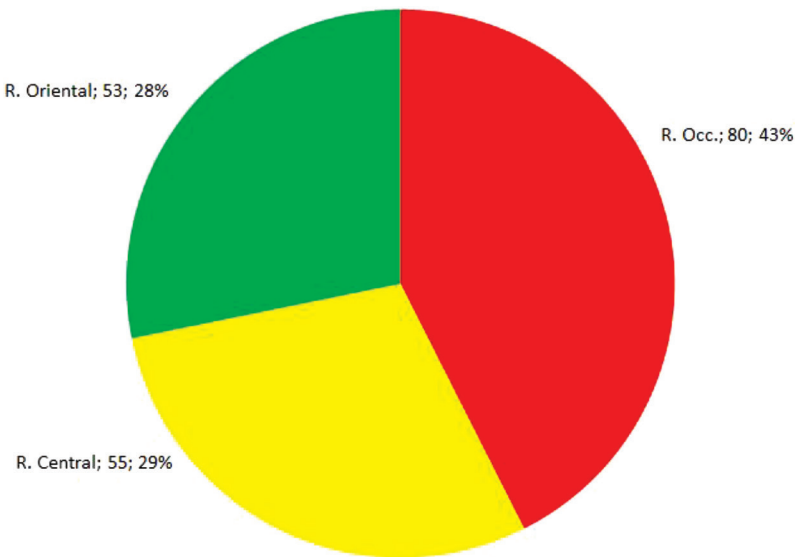
El clima en Cuba al parecer, como afirman Fernández *et al.* (2009) se está “[...] volviendo más extremo [...]” (ob. cit., p. 173) en lo que concierne a los ciclones tropicales y tormentas locales severas con caída de granizo, formación de tornados con fuertes vientos, “como fenómenos meteorológicos a los que se asocia el mayor peligro de desastre” (Planos, Vega y Guevara, 2013, p. 23), durante las tres últimas décadas. De acuerdo con Fernández *et al.* (2009), los eventos de lluvias intensas de la década de los 80 fueron los mayores reportados en el siglo XX, mientras que la ocurrencia de tornados y los eventos intensos se han hecho más frecuentes desde 1977. Adicionalmente, se han incrementado las inundaciones por penetraciones del mar moderadas y fuertes⁸, asociadas con el impacto de “siete huracanes intensos entre el 2001 y el 2011, cifra que nunca se había registrado en década alguna desde 1791 hasta el presente” (Planos, Vega y Guevara, 2013, p. 75).

8 Las inundaciones costeras se clasifican en ligeras, moderadas y fuertes combinando descriptores cualitativos y cuantitativos. En Cuba, los tramos costeros –cuatro al Norte e igual cantidad al Sur– son diferenciables por sus particularidades físico-geográficas, amplitud y profundidad de la plataforma insular, desigual manifestación de patrones meteorológicos que inciden en la frecuencia y magnitud de eventos de inundación, entre otros, lo que determina su agrupamiento en cuatro tipos de costas, según el alcance horizontal del mar hacia el interior (Hidalgo, Mitrani y Pérez, 2017). Por ejemplo: la costa tipo 1, con inundación de 0-500 m se clasifica de inundación “ligera”; de 501-1000 m “moderada”, mayor de 1000 m “fuerte” (ob. cit., pp. 212-213).

Los últimos huracanes que afectaron al país -previo al estudio nacional- ocurrieron en el 2008⁹, constituyendo record histórico de huracanes de gran intensidad para un mismo año, pues fueron tres de gran intensidad¹⁰, dos de categoría 4 y uno de categoría 3 (Gustav, Ike y Paloma, citados por Planos, Vega y Guevara (2003).

La ocurrencia de ciclones –en los últimos 200 años- ha sido más frecuente hacia el occidente y centro del país (**Figura 4-A**), hecho que se refleja, preliminarmente, en los resultados de percepción total por parte de la población. Otro elemento de consideración es la incidencia de frentes fríos de diferentes intensidades¹¹, dado que con los de mayor intensidad, se asocian eventos hidrometeorológicos intensos -coincidentemente de mayor frecuencia e incidencia- hacia la región occidental y centro del país, tal como se describe en la Tabla 2.

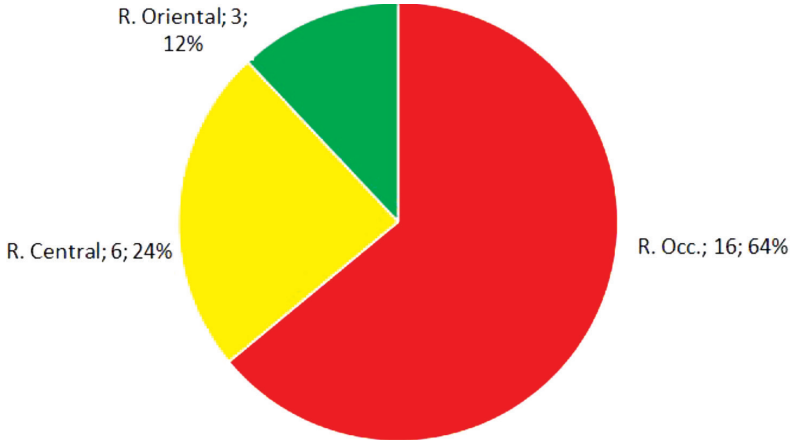
Figura 4-A: Cuba: cantidad de huracanes por regiones (1791-2017)



Fuente: elaborado por el autor a partir de datos del AEC (ONEI, 2018)

9 Se refiere como antecedente al período previo al estudio de percepción de referencia entre 2009-2011.
10 De acuerdo con la escala de huracanes de *Saffir-Simpson* que clasifica los ciclones según la intensidad del viento: **SS-1** (119-153 km/h); **SS-2** (154-177 (Km/h); **SS-3** (178-208 Km/h); **SS-4** (209-251 Km/h); **SS-5** (>251 Km/h) (ONEI, 2012, p. 48).
11 Se clasifican según la velocidad del viento en: débiles (< 35 km/h), moderados (entre 36 y 55 km/h) y fuertes (> 55 km/h).

Figura 4-B: CUBA. Relación porcentual de huracanes que han azotado a las regiones entre 2001-2011 (9-10 años -aproximadamente- antes del estudio de percepción de la Ama)



Fuente: elaborado por el autor a partir de datos del AEC (ONEI, 2014)

Tabla 2. Número de veces que cada región ha sido azotada por frentes fríos de diferentes intensidades en período previo al estudio de percepción de peligros desarrollado por la AMA

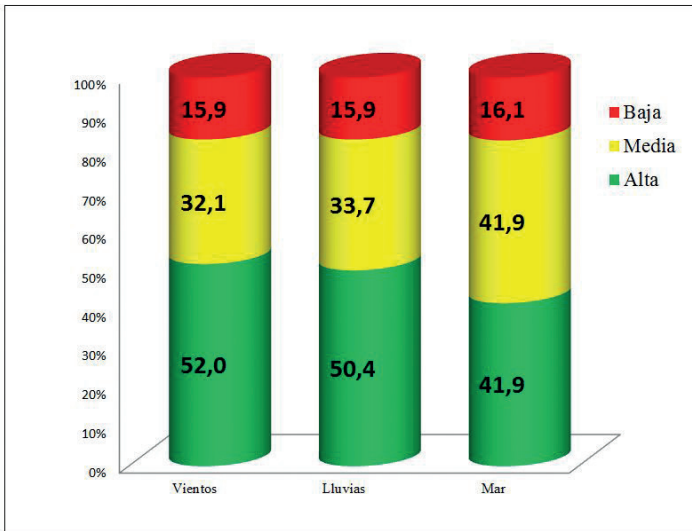
REGIONES	1975/76 a 2014/15			
	TOTAL	Débiles	Moderados	Fuertes
CUBA	2068	1572	466	30
R. Occidental	841	494	327	20
R. Central	675	584	84	7
R. Oriental	552	494	55	3

Fuente: Anuario Estadístico de Cuba 2017, edición 2018 (ONEI, 2018)

A escala nacional, el 47,0 % de los encuestados reconocen al peligro asociado con fuertes vientos, como el de mayor prioridad, le siguen las inundaciones por intensas lluvias con 29,3 %, y por el mar, el 23,6 %, lo que es contrario a los efectos provocados por cada uno de acuerdo con la memoria histórica local inferido por líderes o sujetos de mayor tiempo de residencia en la comunidad.

Son observables los relativamente altos índices de percepción “media” y “baja” en conjunto (cercano o superior al 50 %) para todos los peligros de estudio en el país (Figura 5), que resultan significativo a pesar de los logros obtenidos en los ámbitos de educación general y ambiental, al parecer insuficientes, reflejo de la multicausalidad en el carácter de las percepciones. Por otra parte, llama la atención los resultados globales del estado de la “percepción” de la población por regiones y provincias, con favorables resultados de percepción hacia occidente, coincidente con las áreas de mayor afectación histórica de eventos meteorológicos extremos (Bayón, 2012).

Figura 5. Percepción total de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos (2009-2011): fuertes vientos, inundaciones por intensas lluvias y por penetraciones del mar.



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del estudio nacional de percepción de riesgos por peligros hidrometeorológicos extremos de 2009-2011, Cuba (GER-AMA, 2013).

No obstante, los resultados por provincias son contrastantes aún para una misma región, como es el caso de la provincia de Matanzas con resultados muy inferiores relativamente en la región occidental, aspecto de gran interés para el diseño de acciones de educación y comunicación social. Los menores índices fueron registrados hacia el oriente del país.

En la Tabla 3 se describen los resultados de percepción por regiones y provincias de Cuba, donde resulta llamativo el predominio de territorios con percepción media-baja (que supera el 50 % del total de los encuestados).

Tabla 3. Cuba: descripción de la percepción riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos por regiones¹² y provincias (%)

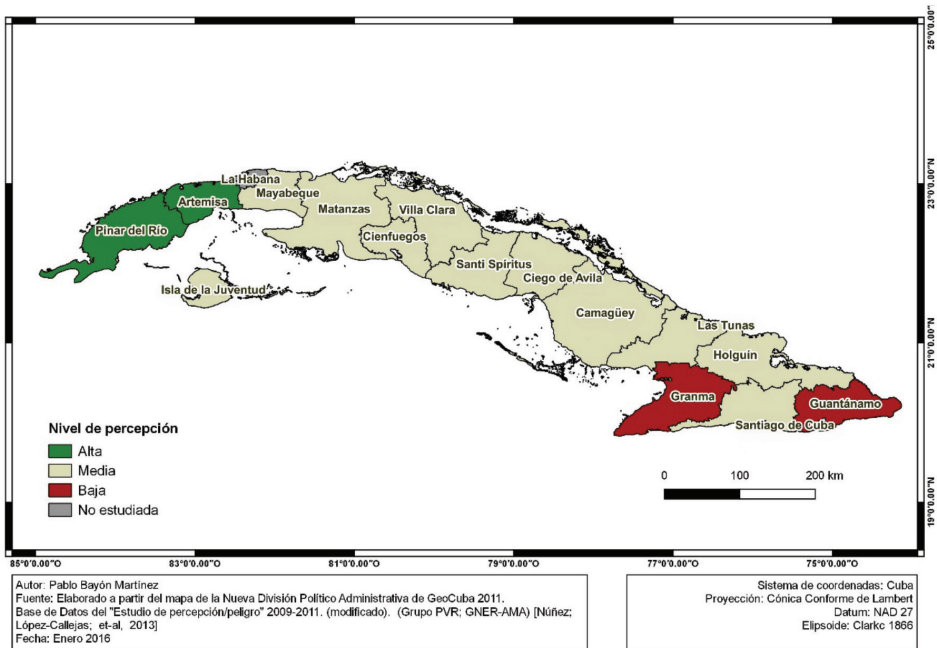
Territorios	Viento			Lluvia			Mar		
	Perc. ALTA (16-26 pts)	Perc. MEDIA (27-37 pts)	Perc. BAJA (38-48 pts)	Perc. ALTA (16-26 pts)	Perc. MEDIA (27-37 pts)	Perc. BAJA (38-48 pts)	Perc. ALTA (16-26 pts)	Perc. MEDIA (27-37 pts)	Perc. BAJA (38-48 pts)
REGIONES									
Occidental	56,1	36,0	7,9	51,3	40,7	8,0	45,8	45,9	8,3
Central	54,3	26,4	19,3	52,3	28,3	19,4	44,9	54,6	58,5
Oriental	49,2	33,2	17,6	49,2	33,3	17,6	38,9	43,3	17,8
PROVINCIAS									
Pinar del Río	84,3	14,6	1,1	79,8	18,7	1,5	75,3	23,2	1,5
Artemisa	74,3	22,9	2,8	67,3	29,9	2,8	61,2	36,0	2,8
Mayabeque	58,0	30,3	11,8	52,5	35,7	11,8	46,2	42,0	11,8
Matanzas	31,9	53,7	14,4	28,6	56,9	14,6	24,2	60,7	15,1
Villa Clara	46,2	34,7	19,1	42,1	38,5	19,4	33,3	47,3	19,4
Cienfuegos	55,2	24,0	20,8	54,8	24,5	20,8	52,7	26,6	20,8
Sancti Spiritus	55,7	28,4	15,9	54,3	29,9	15,9	46,1	37,9	16,0
Ciego de Ávila	65,5	12,2	22,3	64,8	12,9	22,3	55,4	22,3	22,3
Camagüey	55,7	30,0	14,3	55,3	30,5	14,2	44,3	41,3	14,4
Las Tunas	62,5	29,4	8,1	58,7	33,2	8,1	50,5	41,4	8,1
Holguín	46,0	45,7	8,3	44,6	47,0	8,4	39,2	52,3	8,5
Granma	47,2	23,6	29,2	45,7	25,1	29,2	37,2	33,5	29,3
Santiago de Cuba	41,4	43,4	15,2	46,0	38,7	15,3	30,9	53,8	15,3
Guantánamo	45,9	25,9	28,2	47,4	24,9	27,7	34,5	36,3	29,2
Isla de la Juventud	58,0	41,4	0,5	50,8	48,7	0,5	41,2	57,8	1,1

Fuente: Elaboración propia a partir del procesamiento de base de datos de percepción nacional de riesgos por peligros hidrometeorológicos de 2009-2011 (GER-AMA, 2013).

12 Se asume el criterio de regiones –agrupándose por provincias– que establece el Instituto de Meteorología en Cuba: **Región Occidental** (Pinar del Río, Artemisa, La Habana, Mayabeque, Matanzas e Isla de la Juventud); **Región Central:** Villa Clara, Cienfuegos, Sancti Spiritus y Ciego de Ávila; **Región Oriental:** Camagüey, Las Tunas, Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo (N. del A.).

Las provincias de Pinar del Río, Artemisa, Mayabeque e Isla de la Juventud muestran los mayores índices de percepción de riesgos estudiados, aunque difieren en cuanto al tipo (Bayón, 2016b). En la distribución geográfica de los resultados integrales de percepción se observan los menores resultados hacia las regiones orientales (Figura 6), muy relacionado con la menor afectación histórica de eventos extremos en dicha región previo al estudio nacional (ver Figura 4-B), lo que al parecer influyó en las afectaciones sufridas en sus territorios al paso del huracán Sandy -en noviembre de 2012- por Santiago de Cuba, dado por la relativa minimización del impacto de dicho fenómeno, estando en correspondencia con los resultados de percepción obtenidos en el estudio nacional (tabla 3).

Figura 6. Cuba: distribución de la percepción general de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos de 2009-2011 por provincias



Fuente: elaboración propia

Por el carácter insular de Cuba, el 65 % de los municipios acceden directamente al mar, lo que los hace vulnerables a las inundaciones costeras por penetración del mar. En el estudio nacional se registró que la percepción de dichos peligros constituyó el de menor prioridad en la selección de los encuestados a escala nacional (3,0 %), lo que resulta comprensible dado que su efecto se concentra hacia las poblaciones que se asientan en litorales bajos, de menor proporción en el país, pero de alta significación por los más de 230 asentamientos costeros vulnerables por el ascenso previsto del nivel del mar por el cambio climático (Planos, Vega y Guevara, 2013).

En la Tabla 4 se describen la percepción del riesgo de acuerdo con el grado de inundación costera¹³, según municipio de residencia, con marcada significación porcentual de percepción (media a baja), aproximadamente, del 50 % en municipios con moderado-alto y muy alto grado de inundación costera, lo que significa deficiencias perceptivas del peligro en cuestión.

Tabla 4. Percepción de riesgo por inundaciones del mar por municipios según grado de inundación costera

Grado de inundación costera	Nivel de percepción (%)		
	Alta	Media	Baja
Muy alto	50,9	36,4	12,6
Moderado-alto	42,6	42,1	15,3
Bajo	39,1	46,7	14,2
No costero	38,9	42,7	18,4

Fuente: Elaborada a partir del procesamiento y reclasificación de base de datos de percepción nacional (GER-AMA, 2013).

En la Figura 7 se muestra la distribución espacial de percepción de riesgo por peligro de inundación costera por municipios; por el norte, se destacan extensos territorios entre La Habana y Las Tunas, Holguín y Guantánamo, con percepción media y baja, en sectores identificados con grado de inundación moderado-alto, por lo que constituyen áreas

13 Refiere Mitrani et al., 2011, citado por Planos, Vega y Guevara (2013, p.80) que, [...] “salvo el tramo costero aledaño al Golfo de Casilda-Cazones, el sur de las provincias orientales (Cabo Cruz-Punta de Maisí) y el comprendido entre Punta Maternillos y Gibara en todo el perímetro costero cubano, el peligro por inundaciones es de moderado a alto, y es muy alto en el Golfo de Batabanó, en el tramo Cabo Cruz-Punta María Aguilar y en el litoral de la ciudad de La Habana”.

con poblaciones de interés para la gestión educativa. Por otra parte, en la costa sur, son extensos los sectores costeros de muy alto grado de inundación donde la población refiere media a baja percepción al peligro en las provincias de Granma, Camagüey, Ciego de Ávila, Matanzas, Mayabeque e incluso de Pinar del Río, lo que acentúa el interés de formación de conocimientos ante la amenaza respectiva y la vulnerabilidad manifiesta en su percepción.

Son notables las áreas de alta percepción (más del 50 %), en amplios sectores de Pinar del Río, Artemisa, Ciego de Ávila y Las Tunas.

Con relación al relieve, son las llanuras el tipo predominante (80,6 %) de los municipios del país; el 15,0 % de los municipios pueden considerarse “altos” y solo el 4,4 %, constituyen municipios predominantemente de montaña. Los resultados de percepción con relación al impacto de fuertes vientos e inundaciones por intensas lluvias se describen en la Tabla 5.

Figura 7. Cuba: distribución de la percepción general de riesgo por peligro de inundación por penetraciones del mar según grado de inundación costera por municipios

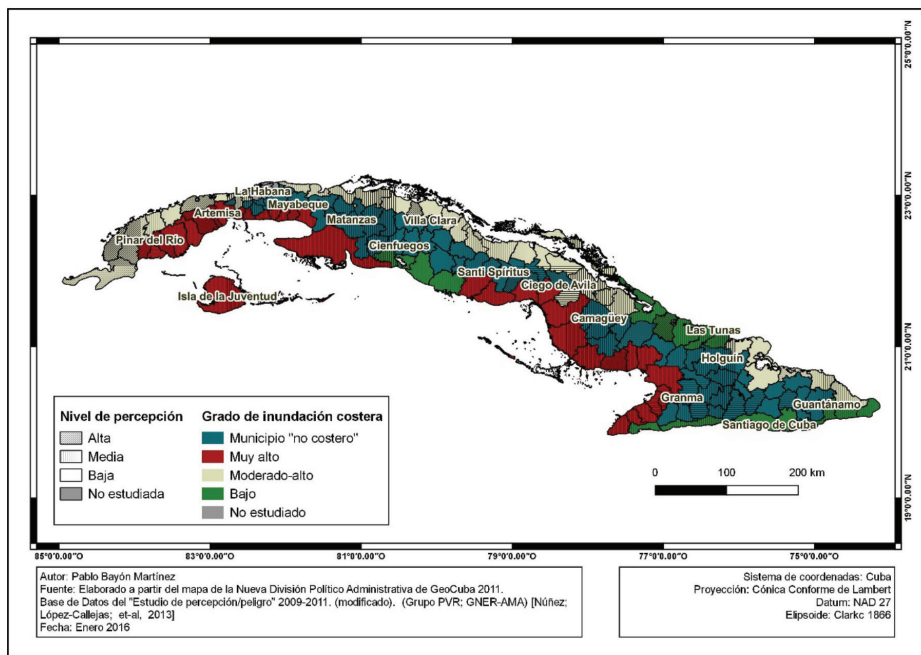


Tabla 5. Percepción de riesgo por peligro por fuertes vientos e inundaciones por intensas lluvias según relieve predominante por municipios

Tipo de relieve	Nivel de percepción (%)					
	Viento			Lluvia		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Llanura (0-200 msnm)	53,6	31,0	15,4	51,3	33,2	15,5
Altura (201-500 msnm)	43,1	38,2	18,7	45,5	35,7	18,8
Montaña (> 500 msnm)	51,6	33,4	15,0	50,6	34,5	14,9

Fuente: Elaboración propia a partir del procesamiento y reclasificación de base de datos de percepción nacional (GER-AMA, 2013), según tipo de relieve predominante por municipios.

Las poblaciones que viven en municipios con predominio de relieve llano y de montaña ofrecen los mayores resultados porcentuales de percepción para ambos peligros, en más de 50 %, mayormente relacionado con las condiciones geográficas del espacio donde transcurre la vida cotidiana del sujeto y con eventos meteorológicos extremos presentes en la memoria histórica local, refrendadas en las entrevistas realizadas (Bayón, 2016a, pp. 118-119), en particular las regiones occidental y central, con mayores acontecimientos ocurridos en los años previos al estudio de percepción nacional (ver Figura 4 A y B). Es de significar los valores medios y bajos de percepción, en municipios *altos* y de *montaña*, de las provincias de Guantánamo, Santiago de Cuba y Granma, así como hacia el centro del país, las provincias de Sancti Spíritus y Cienfuegos¹⁴.

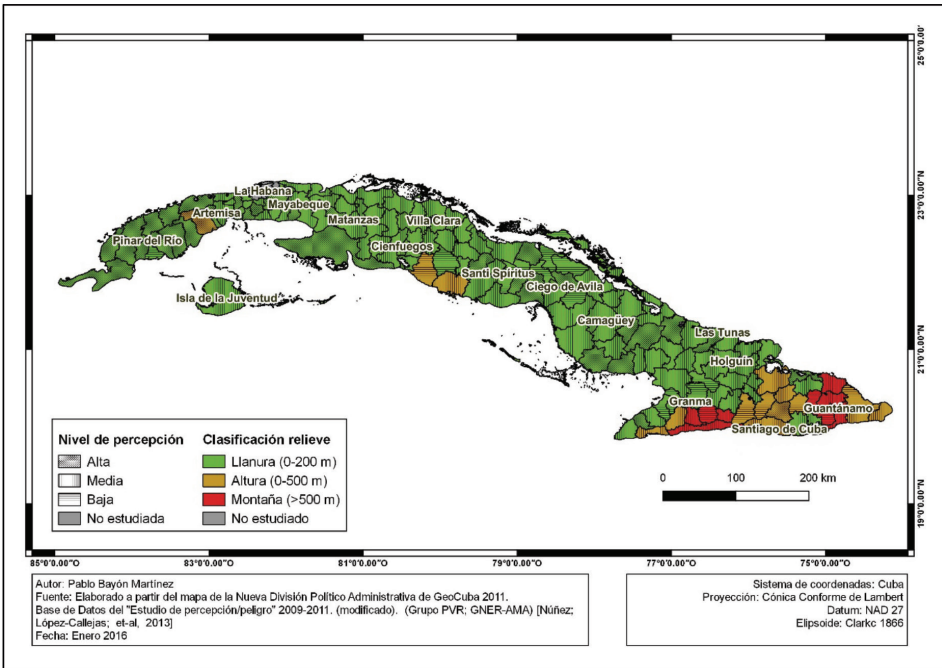
La representación cartográfica del comportamiento espacial de la percepción general¹⁵, según el relieve (Figura 8), contribuyó a la identificación de vacíos de conocimientos en la población por provincias y municipios respectivamente, lo que aportó a la comprensión de las vulnerabilidades asociadas con el espacio donde transcurre la vida cotidiana, con incidencia en la gestión de riesgo de desastre por parte de las autoridades e instituciones gubernamentales y de la defensa civil. Es un resultado de significativo valor práctico, en lo que concierne al diseño de planes y gestión de riesgo

14 Por ejemplos; en la provincia Guantánamo, los municipios: Moa, Yateras, San Antonio del Sur y Manuel Tames; provincia Santiago de Cuba, municipios: San Luis, Palma Soriano y Santiago de Cuba; Granma, municipios: Guisa, Tercer Frente y Buey Arriba; provincia Sancti Spíritus, municipio Trinidad; provincia Cienfuegos, municipio Cumanayagua.

15 Se refiere a la percepción total a los peligros asociados con fuertes vientos e inundaciones por intensas lluvias y/o penetraciones del mar

conforme las particularidades de cada territorio, así como para la implementación de políticas públicas de formación cultural ambiental a escala país, en general, y por municipio concreto, en particular.

Figura 8. Cuba: distribución de la percepción general de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos de 2009-2011, según tipo de relieve predominante por municipios



El paisaje natural¹⁶ constituyó la base teórica-metodológica para la articulación de los resultados de percepción de riesgos estudiados, por constituir el geosistema de primer nivel en la relación sociedad-naturaleza que aporta el conocimiento de la geografía local, de la dinámica de los sistemas naturales y del ámbito espacial de vida del individuo, lo que

16 Concepto básico de la Geografía de los Paisajes consistente en un “espacio físico y un sistema de recursos naturales en los cuales se integran las sociedades en la interacción sociedad-naturaleza [...] se concibe como un geosistema, el cual se define como el espacio terrestre, de todas las dimensiones, donde los componentes naturales se encuentran en una relación sistémica unos con los otros, y como una integridad definida, interactuando con la esfera cósmica y con la sociedad humana [...]” (Mateo, 2011, p. 1)

contribuye al desarrollo de conocimientos, habilidades y capacidades para la gestión de riesgo como parte de la comprensión, atención y superación de su/s vulnerabilidad/es respectivas.

El análisis de percepción de riesgo de peligro por fuertes vientos e inundaciones por intensas lluvias¹⁷, por paisaje geográfico predominante de los municipios, refleja comportamientos perceptivos de interés, descritos en la Tabla 6, entre los que se destacan:

Tabla 6. Niveles de percepción de riesgo de peligro de estudio según paisaje geográfico predominante

Paisaje geográfico	Nivel de percepción (%)					Baja
	Viento			Lluvia		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	
Llanuras secas y medianamente secas	61,1	24,7	14,1	59,8	26,6	13,6
Llanuras medianamente húmedas	54,3	31,1	14,6	51,9	33,5	14,6
Colinas, alturas y montañas secas	36,6	29,9	33,6	35,2	31,9	32,9
Depresiones intermontañosas, colinas, alturas y montañas bajas húmedas	45,3	36,0	18,6	46,3	35,0	18,7

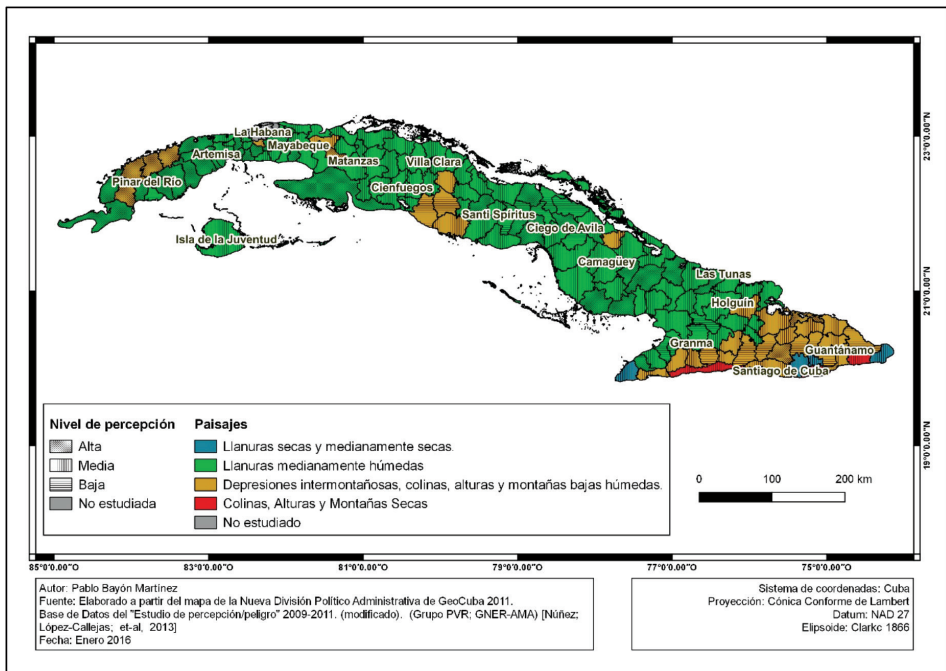
Fuente: Elaboración propia a partir de procesamiento y reclasificación de base de datos de percepción nacional (GER-AMA, 2013), según paisaje geográfico predominante por municipios.

- Los mayores resultados perceptivos (61,1 %), con relación al peligro de fuertes vientos, para los entrevistados que viven en los paisajes de Llanuras secas y medianamente secas y las Llanuras medianamente húmedas (54,3 %).
- En relación con los peligros por intensas lluvias, los mayores índices de percepción alta se concentran en los paisajes de Llanuras secas y medianamente secas, y las Llanuras medianamente húmedas, con 59,8 % y 51,9 %, respectivamente.
- Le siguen los paisajes de Depresiones intermontañosas, colinas, alturas y montañas bajas húmedas (46,3%).

¹⁷ No se incluye al peligro de inundaciones/penetraciones del mar dado que no afecta a todas las comunidades y población del país.

En el mapa (Figura 9) se muestra la distribución de la percepción por municipios según el paisaje predominante. Se observa que, dado por el predominio de los paisajes de llanuras hacia donde se concentra la mayor parte de la población y, la configuración alargada y estrecha del archipiélago cubano, la influencia climática marina afecta a todo el país, lo que homogeniza relativamente el comportamiento de sus variables. En tal sentido la variación de la percepción, especialmente -de acuerdo con la escala nacional-, es más contrastante hacia las áreas altas y de montaña. Con la excepción de los municipios montañosos de la provincia de Pinar del Río (municipios Minas de Matahambre, Viñales y La Palma), los municipios de Songo-La Maya (provincia Santiago de Cuba) y Frank País (provincia Holguín), con valores de alta percepción. En el resto del país el nivel de percepción es media a baja, cuestión de interés educativo para la gestión de riesgos en las comunidades.

Figura 9. Cuba: distribución de la percepción general de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos de 2009-2011, según paisaje geográfico predominante por municipios.



Los resultados obtenidos y representados en la cartografía contribuyen a la comprensión de las vulnerabilidades por territorio, relacionadas según las particularidades geográficas del espacio que rodean al ciudadano, como vía de control de los factores de riesgo como elemento preventivo y de adaptación al medio. Además, resalta el carácter contextual y local de la gestión del riesgo de peligro hidrometeorológicos para cada espacio de vida social conforme la configuración de su naturaleza geográfica.

Conclusiones

El saber geográfico, articulado con la identidad del sujeto como patrimonio de pertenencia al territorio concreto, contribuye a desarrollar la subjetividad y la percepción como base de la actitud ciudadana de responsabilidad social, en el fomento de una cultura de prevención y adaptación al cambio climático, de desarrollo local ambientalmente sostenible. Ello revela la necesidad de sistematizar e incorporar el conocimiento geográfico del espacio en que transcurre la vida cotidiana del individuo, como variable significativamente importante para elevar la percepción de riesgo.

La introducción de la visión geográfica en el análisis de la base de datos del estudio de percepción nacional de riesgos por peligros hidrometeorológicos extremos de 2009-2011 en Cuba permite sistematizar y revelar su comportamiento espacial relacionado con el tipo de relieve, paisaje geográfico predominante y por zona de inundación costera, además, por provincias y municipios, lo que contribuye a la identificación de pautas cognoscitivas y geográficas que deben tenerse en cuenta para la planificación y ejecución de acciones de educación geográfica local. Por otra parte, coadyuvó a la representación cartográfica y comprensión espacial del comportamiento de las percepciones como aproximación útil para la comprensión y análisis espacial de la percepción de estos riesgos en el país.

Los resultados se articulan especialmente con la comprensión de la dinámica hidrológica natural o eventual extrema de cada localidad y la subjetividad del individuo, con relación a la consideración del riesgo al peligro concreto, sin marginar el conocimiento de la geografía local como fundamento para el desarrollo de actividades de educación en torno a la ocurrencia de estos fenómenos diferenciables en su intensidad localmente.

Referencias

- Almaguer, C. (2008). *El riesgo de desastres: una reflexión filosófica*. (Tesis doctoral. Ministerio de Educación Superior). Universidad de La Habana Facultad de Filosofía, Departamento de Filosofía. Cuba.
- Bayón, P. (2012). El pensamiento geográfico y la percepción de riesgo por peligros naturales: contribución a la formación ambiental local. En: *VI Congreso de Geografía Tropical*; 14-18/mayo/2012, ISBN-978-959-282-09-1, La Habana, Cuba, consultado: 18-3-2019. Recuperado de: <http://biblioteca.filosofia.cu/php/export.php?format=htm&id=2690&view=1>
- Bayón, P. (2016a). El pensamiento geográfico en la percepción de riesgos por peligros hidrometeorológicos extremos: estudio de caso Mariel, Cuba. *Revista Geográfica de América Central* 56 (enero-junio), 113-135.
- Bayón, P. (2016b). La percepción de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos en Cuba: mirada desde el entorno geográfico. *Trayectorias* 18 (julio-diciembre), 53-72
- Boisier, S. (2004). Desarrollo territorial y descentralización. El desarrollo en el lugar y en las manos de la gente. *Revista EURE* V XXX, (90), 27-40.
- Calderón, G. (2001). *Construcción y reconstrucción del desastre*. Ed. Plaza y Valdés, S.A de C.V., México. Consultado 17-08-2018, Recuperado de: https://books.google.com/cu/books?id=azvKUF55c9YC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Calero, J. L. & Santana, F. (2001). Percepciones de un grupo de adolescentes sobre iniciación sexual, embarazo y aborto. *Revista Cubana de Salud Pública*, 27(1), 50-57.
- Cardona, O. (2003). *¿Cultura de la prevención de desastres?* En: *Seguridad Sostenible. Gobernanza y Seguridad Sostenible*. Retrieved 15 de junio, 2010, from <http://www.iigov.org/ss/article.drt?edi=181749&art=181756>.
- Engels, F. (2002). *Dialéctica de la Naturaleza*. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba.
- Espina, M; Núñez, L.; Martín, L.; Vega, L. (2002): *Aspectos territoriales de las percepciones ambientales de la sociedad cubana*. Informe integrado de los estudios territoriales CIPS. Citma, La Habana, Cuba.

- Fernández, A. and R. Pérez, Eds. (2009). *GeoCuba Evaluación del medio ambiente cubano*. La Habana.
- Gellert de Pinto, G. I. (2012). El Cambio de paradigma: de la atención de desastres a la gestión del riesgo, *Boletín científico Sapiens Research*, 2(1), 13–17. Consultado: 8-12-2017]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3841348>
- GER-AMA. Grupo de Evaluación de Riesgo de la Agencia de Medio Ambiente, Cuba. (2013): *Base de Datos Nacional, de percepción de riesgo por peligros hidrometeorológicos 2009-2011*. Grupo de PVR-AMA. [Elaborado por: Cristina López-Calleja Hiort-Lorenzen, Lilia Núñez Moreno, Elizabeth Godefoy Núñez.
- González, I. (1996). *Ambiente y Desarrollo. Reflexiones acerca de la relación entre los conceptos: ecosistema, cultura y desarrollo*. 1996.
- Hewitt, K. (1995). Excluded Perspectives in the Social Construction of Disaster. In: *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*. November, 13(3), 317-339.
- Hidalgo, A., Mitrani, I. & Pérez, G. (2017). Nueva clasificación de las inundaciones costeras en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(2), 209-216.
- Kates, R. (1971). Natural Hazard in Human Ecological Perspective: Hypotheses and Models. *Economic Geography*, 438-451.
- López-Callejas, C., Núñez, L. (2011). *Percepción del peligro de la población cubana, para los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos tres provincias occidentales. Novedades en población*, Revista del Centro de Estudios Demográficos de la Universidad de La Habana, Vol. 7, núm. 13 (2011). Consultado: 18 de abril de 2019. Recuperado de: <http://www.novpob.uh.cu/index.php/NovPob/article/view/159>
- López-Callejas, C.; Núñez, L.; Godefoy, E. (2013). Principales resultados de los estudios de Percepción de los peligros: fuertes vientos, fuertes lluvias y penetración del mar, en Cuba. *XXIX CONGRESO LATINO-AMERICANO DE SOCIOLOGIA (ALAS)*. Santiago de Chile.
- Maskrey, A. (1993). *Vulnerabilidad y mitigación de desastres. Los desastres no son naturales*. R. d. E. S. e. P. d. D. e. A. Latina. Panamá.
- Mateo, J. (2011). *Geografía de los paisajes. Primera parte. Paisajes naturales*. Editorial Félix Varela, La Habana, 198 p.; ISBN-978-959-07-1617-1.

- Mateo, J. (2013). *Teoría y Metodología de la Geografía*. Ministerio de Educación Superior, Cuba. La Habana.
- Mateo, J. y E. D. Silva. (2006). Para una interpretación epistemológica de la Geografía a partir de la Dialéctica. *Mercator, Revista de Geografía da UFC* 9(4): 55-68.
- Maya, A. (1996). *El reto de la vida: ecosistema y cultura. Una introducción al estudio del medio ambiente*. Serie Construyendo el Futuro No. 4. Santafé de Bogotá, Distrito Capital de Bogotá: Ecofondo.
- Mitrani, I.; Salas, I.; Ballester, M. y Y. Juantorena. (2011). "Penetraciones del mar en la zona costera del Golfo de Batabanó por afectación de sures, con escenario actual y previstos por posible incremento del nivel medio del mar". *Boletín SOMETCUBA*, Vol. 6, No. 1. Publicación Electrónica; <http://www.met.inf.cu>.
- Núñez, L.; Espina, M. (2001). *Percepciones ambientales y cotidianidad. Estudios de caso: Nuevitas y Ciénaga de Zapata*. Informe de investigación. La Habana, Provincia de La Habana: Centro de Investigaciones Psicológicas y Sociológicas.
- Núñez, L.; Espina, M. Marín, L.; Vega, L.; Rodríguez, A.; Ángel, G. (2008). *Perspectiva metodológica en las percepciones socioambientales. Población cubana y comunidades locales*. La Habana.
- Oficina nacional de estadística e información (ONEI). (2012). *Anuario Estadístico de Cuba*. (ed.2013). Consultado: 20-05-2014. Recuperado de: <http://www.onei.cu/aec2012/datos/00%20ANUARIO%20ESTADISTICO%20DE%20CUBA%202012.pdf> Onei.
- Oficina nacional de estadística e información (ONEI) (2018). *Anuario Estadístico de Cuba 2017.*, (ed. 2018), Medio Ambiente. Consultado: 10-03-2019. Recuperado de: <http://www.onei.cu/aec2017/02%20Medio%20Ambiente.pdf>
- Ojeda, A. & Cuevas, A. (2014). Percepción del riesgo en la zona conurbada Colima-villa de Álvarez, frente al discurso del cambio climático. La construcción del futuro: retos de las Ciencias Sociales n México. . r. y. e. *Memorias del 4to Congreso Nacional de ciencias Sociales; IV Sociedad y ambiente: vulnerabilidades*. Tijuana. México, Publicado por CESMECA-UNICAHC, Tuxtla Gutiérrez y COMECSO.

- Planos, E., Vega, R. y Guevara, A. (eds.) (2013). *Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. La Habana, Provincia de La Habana: Instituto de Meteorología. Agencia de Medio Ambiente. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Plapp, T. (2001). Perception and evaluation of natural risk. *Risk Research and Insurance Management. Working Papper 1*: 11.
- Quiroga, A. (1986). "Psicología Social como crítica de la vida cotidiana". En: A. Quiroga y J. Rueda. *Crítica de la vida cotidiana*. Ediciones Cinco, Buenos Aires, 6ª edición, 2003. Consultado: 14-12-2017. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/130892180/Critica-de-La-Vida-Cotidiana-Ana-Quiroga#>
- Santos, M. (1996). La naturaleza del espacio. Técnica y tiempo. Razón y emoción. Consultado: 8 de septiembre, 2014. Recuperado de: <https://geografiacriticaecuador.files.wordpress.com/2013/01/santos-la-naturaleza-delespacio.pdf>.
- Sjöberg, L. (2003). The Different Dynamics of Personal and General Risk. *Risk Management* 5(3), 19-34.
- Tserej, O. & Febles, M. (2015). La escuela cubana como contexto para el correcto desarrollo de la percepción ambiental. *Revista Complutense de Educación*, 1 (26). Consultado: 21-7-2016). Recuperado de: <https://revistas.ucm.es/index.php/RCED/article/viewFile/42335/44225>
- Wenger, D. (1978). Community Response to Disaster. In: Quarantelli, E.L (ed.) *Disasters: Theory and Research*. California, Sage. Pp 17-47.
- White, F. (1974). *Natural Hazars*. Nueva York.
- Wiedemann, P. M. (1993). Introduction risk perception and risk communication. Forschungszentrum Jülich.



Estudio de caso: Lajas Compartir, un acercamiento al desplazamiento ambiental en Costa Rica

Case study: Lajas Compartir, a rapprochement to environmental displacement in Costa Rica

Jacqueline Centeno-Morales¹

Yendry Vargas-Trejos²

Marianela González-Varela³

Estaban Alfaro-Orozco⁴

Universidad Nacional Costa Rica

Resumen

El presente estudio de caso comprende el trabajo realizado por medio del Proyecto Desplazados Ambientales: nuevos procesos de exclusión en Costa Rica, ejecutado por el Instituto de Estudios Sociales en Población (IDESPO) de la Universidad Nacional. Describe el desplazamiento ambiental experimentado por la Comunidad de Calle Lajas, debido a un deslizamiento ocurrido el 3 de noviembre del 2010 que trajo como consecuencia pérdidas humanas y materiales, además la reubicación de la comunidad en la actual Lajas Compartir. La situación vivida por la comunidad permite realizar un censo a la población reubicada y entrevistas a actores involucrados; evidenciando con ambas técnicas los retos y aprendizajes en la gestión del riesgo y la atención a las poblaciones que viven el desplazamiento ambiental.

Palabras clave: Calle Lajas, desplazamiento ambiental, gestión del riesgo, deslizamiento y avalancha.

1 Máster Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. Instituto de Estudios Sociales en Población, (IDESPO). Universidad Nacional, Costa Rica. Correo Electrónico: jcenteno@una.ac.cr

2 Máster en Población y Salud. Instituto de Estudios Sociales en Población, (IDESPO). Universidad Nacional, Costa Rica. Correo Electrónico: yendryvatre@gmail.com

3 Bachiller en Planificación Económica y Social. Instituto de Estudios Sociales en Población, (IDESPO). Universidad Nacional, Costa Rica. Correo Electrónico: marianela.gonzalez.varela@una.cr

4 Bachiller en Psicología. Instituto de Estudios Sociales en Población, (IDESPO). Universidad Nacional, Costa Rica. Correo Electrónico: estebanalfaroorozco@gmail.com

Abstract

The present case study describes the work carried out under the *Environmentally-Displaced People Project: new processes of exclusion in Costa Rica*, executed by the Institute of Social Studies in Population (IDESPO) of the Universidad Nacional, Costa Rica. It describes the displacement experienced by the community of Calle Lajas due to a landslide that occurred on November 3, 2010, which resulting in human fatalities and material losses including the relocation of the community to the current Lajas Compartir settlement. The situation experienced by the relocated community was assessed by a census and interviewing its population; both surveying techniques evidenced the challenges and lessons learned involved in risk management and attending populations that experience environmental displacements.

Keywords: Calle Lajas; Environmental displacement; Risk management; Landslide.

Introducción

La noche del miércoles 3 de noviembre del año 2010, a las 11:40 p.m., tras 72 horas de continuos aguaceros generados por el impacto directo del huracán Tomás, ocurrió un deslizamiento en el Cerro Pico Blanco que impactó de manera directa la comunidad de Calle Lajas en San Antonio de Escazú. Las frágiles viviendas de esta comunidad, en su gran mayoría construidas con madera, desaparecieron arrasadas por un alud que se desprendió de dicho cerro y se abrió paso por la quebrada Lajas.

Este evento ha sido uno de los desastres naturales más importantes registrados en la historia del país entre el año 2000 y el 2010 (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2011). El deslizamiento afectó a 32 familias, mató a 24 personas y causó importantes pérdidas materiales. Ocho años después de la tragedia, además de la modificación del territorio, son evidentes las secuelas emocionales y psicológicas en las personas, la ruptura del tejido social organizacional y el desplazamiento ambiental de toda una comunidad.

A partir de entonces, la comunidad de Calle Lajas fue declarada inhabitable por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). A pesar de que algunos vecinos aún residen en el lugar, un total de 34 de familias fueron reubicadas en la llamada comunidad de Lajas Compartir. No obstante, la reubicación en otro espacio geográfico cercano a Calle Lajas; pero con características muy distintas ha significado para la población un reaprender a vivir generando lazos organizacionales a pesar de la experiencia vivida que dejó secuelas emocionales en cada una de las personas.

El objetivo del presente artículo es el acercamiento con una comunidad que ha vivido la experiencia del desplazamiento ambiental en Costa Rica, considerando no solamente la reubicación geográfica, sino aspectos asociados a impactos sociales y emocionales que marca a poblaciones que viven eventos como el sucedido en el año 2010.

Esta investigación consiste en un estudio de caso, eligiendo a la comunidad de Lajas Compartir debido a sus características organizativas y a la vivencia de desplazamiento ambiental experimentada por sus habitantes. Para conocer y analizar la percepción de las personas en relación con el evento se ha aplicado una estrategia metodológica con técnicas cuantitativas, como un censo, y cualitativas, como entrevistas semiestructuradas, además de revisión de fuentes periodísticas provenientes de periódicos como *La Nación*, *La Prensa Libre*, *La República*, *La Extra* y *El Periódico Escazú* de los años 2010 al 2015.

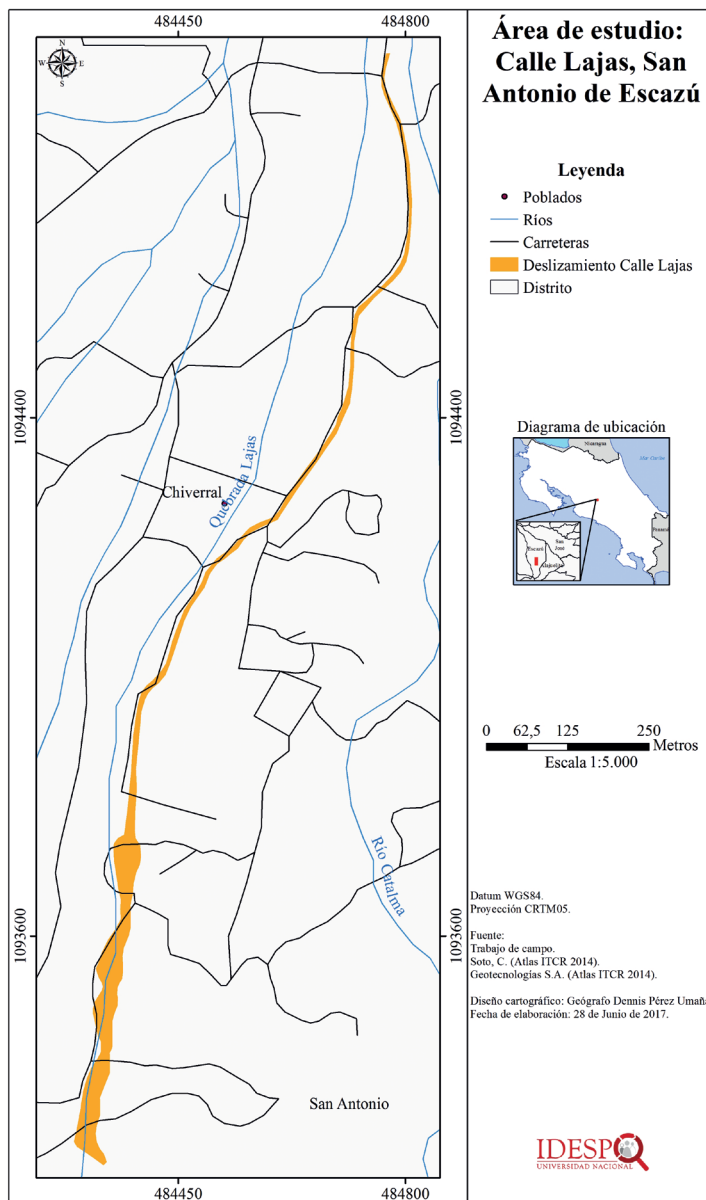
El artículo ha sido organizado en cinco secciones, el primer apartado contempla una descripción del área de estudio, el segundo consiste en el marco teórico con los conceptos asociados a la investigación. El tercero incluye la metodología utilizada, en el cuarto apartado se presentan los principales resultados obtenidos, finalmente en el quinto se describen las reflexiones finales asociadas a la experiencia de desplazamiento ambiental vivida por la comunidad de Lajas Compartir.

Área de Estudio

El cantón de Escazú se localiza al oeste de la provincia de San José, cuenta con una extensión territorial de 34,49 km². Administrativamente, se conforma por tres distritos: San Miguel, San Antonio y San Rafael.

Según la división política administrativa de Costa Rica, en el distrito de San Antonio se ubica la localidad de Calle Lajas; a las faldas del Cerro Pico Blanco, la cuarta montaña más alta de los Cerros de Escazú, por debajo de Cerro de Mico, Cerro Cedral y Cerro Pico Alto, que junto con el Cerro San Miguel conforman una de las cadenas montañosas de Costa Rica, esta se caracteriza por la presencia de suelos y formaciones geológicas en diversas propiedades geotécnicas, procesos de erosión y sedimentación que pueden provocar amenazas naturales, como sismicidad, inundaciones, avalanchas y deslizamientos (Astorga, Mende y Piedra, 2005).

Mapa 1. Área de estudio Calle Lajas, San Antonio de Escazú, San José, Costa Rica



Fuente: Elaborado por Dennis Pérez, 2018., base tomada del INEC. Universidad Nacional, 2015.

Ejemplo de ello es la comunidad de Calle Lajas, la cual residía en la ladera de la quebrada Lajas convirtiéndose de esta forma en una localidad ubicada en zona de amenaza; que fue afectada por el deslizamiento ocurrido en la parte alta del Cerro Pico Blanco el 3 de noviembre, 2010, que provocó una avalancha de material que se trasladó por el cauce de la quebrada Lajas, como se muestra en el mapa 1, afectando a las familias de la localidad y provocando pérdidas materiales, de infraestructura, vidas humanas, rupturas emocionales y psicológicas en los pobladores y grandes modificaciones del espacio-territorio.

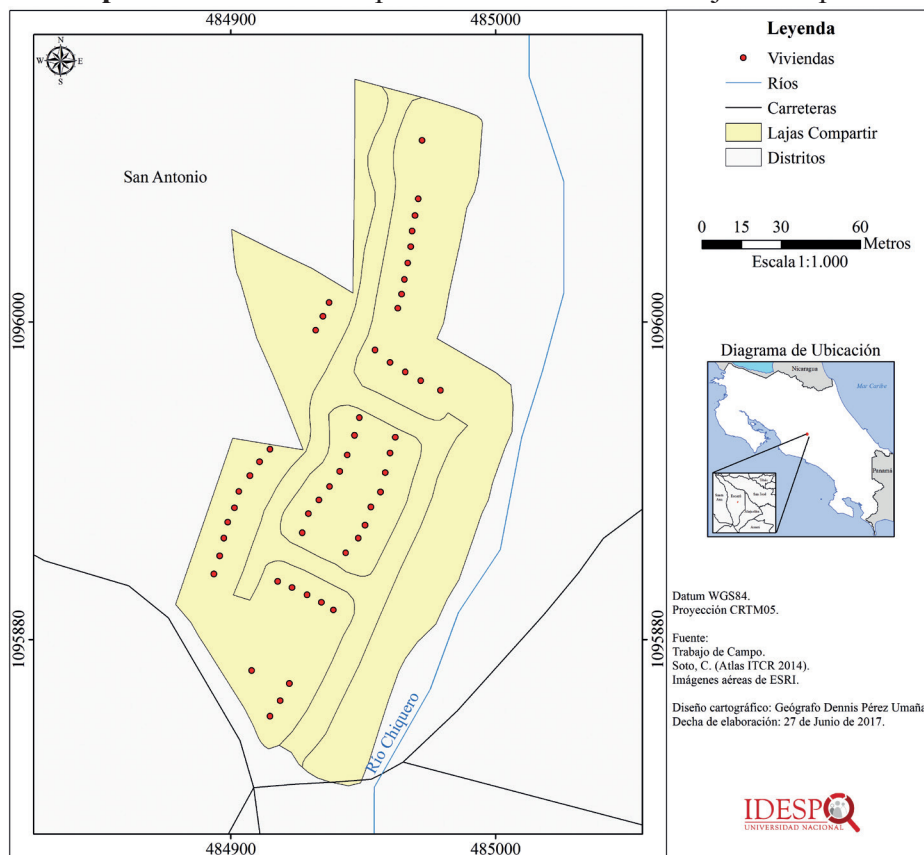
El miércoles 10 de noviembre de 2010 se declara el país en estado de emergencia nacional, según la declaratoria de la Presidencia de la República y el Ministerio de la Presidencia N° 36252-MP publicada en la Gaceta N° 218, esto por las afectaciones sufridas en diversos puntos tanto del Valle Central y el Pacífico como consecuencias indirectas de la Tormenta Tropical Tomás y un sistema de baja presión en el Caribe.

Debido al evento la CNE declara inhabitable Calle Lajas por el riesgo inminente de la comunidad, en tanto solicita a las entidades correspondientes, entre ellas la Municipalidad de Escazú, a desalojar a las familias que habitan la zona de eminente riesgo, esto en coordinación con el Ministerio de Salud, el Instituto Mixto de Ayuda Social y el Banco Hipotecario de la Vivienda.

El Instituto Mixto de Ayuda Social se encarga por medio de ayudas económicas a colaborar de manera temporal con la solución de vivienda de varios damnificados, el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos inicia el proceso de análisis del espacio físico para la reubicación de la comunidad, definiendo como opción de compra un terreno que se ubica a un costado del Estadio Nicolás Masís, aproximadamente a 1,3 kilómetros del centro de San Antonio de Escazú, con financiamiento del Banco Hipotecario de la Vivienda.

Se inicia la construcción del proyecto el 14 de noviembre de 2013, el cual consiste en la construir un residencial Lajas Compartir (ver mapa 2), nombre que se debe a Lajas, para hacer honor a la comunidad en la que vivían y Compartir para permanecer unidos, según la percepción de 11 de las 25 personas censadas.

Mapa 2. Localización espacial de la comunidad Lajas Compartir



Fuente: Elaborado por Dennis Pérez, 2018., base tomada del INEC. Universidad Nacional, 2015.

A pesar de que ambas comunidades se encuentran ubicadas en el mismo distrito, presentan características diferenciadas en diversos aspectos. Calle Lajas era una localidad rural, donde cada familia contaba con su terreno, espacio entre vecinos, tierra para cultivar o para criar animales, zona verde y la construcción de tejidos sociales a través de los años, caso contrario sucede con Lajas Compartir, donde las viviendas se encuentran seguidas y las personas sienten que han perdido intimidad familiar, el cambio brusco de forma de vida que conlleva la reubicación ha generado desarraigo comunitario, acompañado de impacto familiar, económico, psicológico y social que se presentarán en el apartado de resultados.

Marco Conceptual

Relacionado con las vivencias comunales el presente estudio de caso contempla tres conceptos teóricos que se desarrollarán a continuación:

Gestión de riesgo

La gestión del riesgo surge como un enfoque integral para desarrollar planes, estrategias y acciones en dimensiones institucionales, estatales o interestatales para preservar la vida humana y los ecosistemas. El enfoque de la Gestión Integral del Riesgo empieza a desarrollarse en la región Centroamericana con base en concertaciones internacionales dadas desde el 1999, sobre cómo debe de comprenderse el proceso de adopción de políticas, estrategias y prácticas orientadas a reducir los riesgos asociados a peligros o minimizar los efectos de situaciones de desastre en la región, y deviene como un esfuerzo para integrar una mirada social del riesgo, en un campo de estudio e intervención, tradicionalmente, dominado por la visión de la filosofía europea, con un énfasis en los aportes de las ciencias físicas y las ingenierías (Alpízar, 2009; Orozco y Guevara, 2011; CEPREDENAC, 2011).

Para el presente trabajo, se comprende la Gestión Integral del Riesgo según lo propuesto por Orozco y Guevara:

un proceso social y político, sistemático y continuo, a través del cual se busca controlar los procesos de creación o disminución el riesgo existente con el fin de reducir el impacto adverso de las amenazas naturales y la posibilidad de que ocurra un desastre, con la intención de fortalecer los procesos de desarrollo sostenible y la seguridad integral de la población (Orozco y Guevara, 2011, p.16).

Con base en esta conceptualización, es destacable la centralidad que la comprensión del riesgo tiene en este enfoque. El mismo se comprende como la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre. Este, además puede entenderse a través de la dinámica de:

1. La multiplicidad de amenazas que se manifiestan en las dimensiones: económica, geopolítica, medioambiental, societal y tecnológica, y que pueden tener un origen natural, socionatural o antropogénico,

2. Las vulnerabilidades o el conjunto de condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad y exposición, y disminuyen la preparación y capacidad de respuesta de una comunidad al impacto de las amenazas
3. La cultura y su rol en las comunidades, en su capacidad para prevenir y afrontar las amenazas y con ello disminuir la propensión a las vulnerabilidades y fortalecer los valores democráticos en torno a la solidaridad y acceso a información para afrontar los riesgos mundiales (Alpizar, 2009; Orozco y Guevara, 2011).

Este último elemento en la dinámica, a la vez, hace referencia a como el riesgo se comprende asociado con una construcción social, en tanto es vivido en forma distinta por cada persona o cada grupo, por lo que pueden tenerse múltiples interpretaciones y significaciones, tanto de esta dinámica como de las amenazas presentes o desastres acontecidos en el pasado de un contexto social determinado (Ramírez, 2014).

Por lo tanto, esto implica que el riesgo no se autodefine ni se autogenera, sino que es derivado de procesos humanos diversos acontecidos en múltiples prácticas económicas, sociales, políticas y culturales, y que las acciones que se busquen desarrollar para la reducción del riesgo en comunidades afectadas por situaciones de desastre o en situación de riesgo no deben limitarse a la preparación y a la respuesta, sino que necesariamente se deben incluir procesos de educación, rehabilitación y reconstrucción de las comunidades, en la búsqueda de generar experiencias en las que las poblaciones tomen conciencia del riesgo que enfrentan y participen de las acciones orientadas a la transformación de estas condiciones (Ramírez, 2014).

Las personas desplazadas por desastres ambientales

Se puede decir que un desastre ocurre cuando una determinada amenaza, debido a su magnitud, afecta y destruye las bases de vida de una comunidad, su estructura física o la actividad económica que la sustenta, y supera, por lo tanto, sus posibilidades reales para recuperarse de las pérdidas y los daños sufridos a corto o mediano plazo. De esta manera, un desastre es dado con base en un proceso de vulnerabilización socioestructural de una comunidad, así como, puede jugar el papel de factor que

vulnere en mayor medida la capacidad de resiliencia y adaptación de dicha comunidad, una vez que sucede (Ramírez, 2014; Orozco y Guevara, 2011)

Por tanto, la noción de desplazado(a), alude a condiciones extremas y externas a las posibilidades de acción en las personas. Es decir, denota que el movimiento de las personas es forzado multidimensionalmente (por las pérdidas en bienes y capitales, por las pérdidas humanas y de redes de apoyo, por la pérdida de condiciones de salud y seguridad personal y social, o por la pérdida de acceso a un sistema social estatal o internacional que contenga estas anteriores pérdidas), por lo que no media alguna decisión premeditada con el suficiente tiempo para considerar otras opciones dentro del propio plan de vida.

Se entiende por desplazamiento ambiental aquellas personas que deben trasladarse temporalmente o de forma permanente de su lugar de origen, debido a que las condiciones económicas, políticas, medioambientales, culturales, infraestructurales o tecnológicas locales o estatales insatisfacen o coaccionan el disfrute de una vida digna. Estas condiciones a su vez hacen referencia al acontecer de un proceso de detrimento multidimensional de condiciones esenciales de bienestar en el tejido social, que actúa de forma convergente en la vulnerabilización de las comunidades afectadas.

Enfoque psicosocial y comunitario de los desastres

Se integra en este estudio la comprensión del riesgo y su manifestación en las sociedades, el enfoque psicosocial y comunitario, el cual surge en cuestionamiento al asistencialismo y el clientelismo como modelos de gestión ante situaciones de desastre, e impulsa la comprensión de la Gestión Integral del Riesgo como un derecho humano (Ramírez, 2014; Matamoros, Carranza y Sáenz, 2014; Matamoros, 2013).

Parte de la función es la de enmarcar el apoyo y las ayudas que se brindan frente a las necesidades físicas básicas de las comunidades, como gestiones y esfuerzos dirigidos a la restitución de derechos coartados por un proceso de detrimento multidimensional de condiciones esenciales de bienestar en el tejido social de las comunidades afectadas, y resalta, además, el protagonismo que las mismas comunidades afectadas deben de jugar en la satisfacción final de estas necesidades y no en una posición secundaria de dependencia (Ramírez, 2014; Matamoros, Carranza y Sáenz, 2014).

También, integra una comprensión de las situaciones de emergencia y desastre como experiencias sociales, que implican una perturbación psicosocial que excede la capacidad de manejo de las poblaciones afectadas, por lo que conllevan un incremento en la morbilidad de las mismas, pero agencia una evaluación y contención de estas afectaciones, con el fin de restablecer la integridad psicológica de las personas y el equilibrio de las redes sociales afectadas, incorporando así una lectura humanista de las diferentes facetas en los procesos de salud-enfermedad implicados en las situaciones confrontadas por estas poblaciones (Ramírez, 2014; Matamoros, Carranza y Sáenz, 2014; Matamoros, 2013)

Por lo tanto, como plantea Ramírez (2014), el enfoque psicosocial se concreta en un análisis realista de los problemas y de las necesidades de las poblaciones en las cuales se puedan modificar las acciones a implementarse de acuerdo con el contexto local. Cuestiona prácticas como la importación acrítica de protocolos de intervención en emergencias, pues tienen escasa tradición de trabajo en procesos post-catástrofe que superen el enfoque de reconstrucción social. Y también, parte de la necesidad de trabajar con las vulnerabilidades de las poblaciones y no con sus necesidades, centralizando así el fortalecimiento social y organizativo, y el fortalecimiento en las actitudes y habilidades de las personas en las comunidades como elementos básicos que puedan romper la espiral de vulnerabilidad e impulsen espacios para la generación de resiliencia localmente.

Marco Metodológico

El trabajo de investigación y extensión en la comunidad de Lajas Compartir nace del proyecto ejecutado en el Instituto de Estudios Sociales en Población (IDESPO) de la Universidad Nacional, titulado *Desplazados Ambientales: nuevos procesos de Exclusión en Costa Rica*⁵. Esta investigación realizó un análisis del desplazamiento de personas a partir de fenómenos naturales y antrópicos en Costa Rica durante los últimos 30 años (1985-2015).

Uno de los objetivos fue “determinar los factores que potencian el impacto de los elementos socioambientales vinculados con los desplazamientos de población en un territorio” (Universidad Nacional, 2015). Con

5 El proyecto se ejecutó con la participación del Programa Horizontes Ambientales: Innovación y Cambio, y el Programa Migraciones, Cambio Social e Identidades durante un periodo de tres años (2016-2018).

el fin de conocer factores asociados a desplazamiento ambiental en Costa Rica, se consulta la base de datos DesInventar de la Universidad Nacional, identificando eventos ambientales acontecidos en Costa Rica para un periodo de 30 años, el estudio de las estadísticas denota que los eventos con mayor recurrencia son las inundaciones y los deslizamientos.

Partiendo de estos eventos, se selecciona como caso de estudio personas que vivieron el deslizamiento en Calle Lajas en el año 2010 y que fueron reubicadas en el Residencial Lajas Compartir, ya que cumplían con los siguientes criterios de selección: 1. evento ocurrido en el periodo de estudio, 2. representatividad del caso específico dentro del contexto nacional, 3. cantidad de personas afectadas, reubicadas, evacuadas y damnificadas por el evento natural.

Posterior a la selección, se realiza un primer acercamiento con la comunidad, visitando el residencial donde las personas fueron reubicadas, logrando conocer líderes comunales. Este primer contacto permite presentar el proyecto en la comunidad y consultar si la población en estudio se encuentra interesada en forma parte del accionar del proyecto, al obtener una respuesta positiva se planifican una serie de actividades a desarrollar en Lajas Compartir.

La primera de ellas consistió en un censo aplicado en el mes de julio del 2017 a 32 viviendas (ver tabla 1), en las cuales vivía al menos una persona que resultó afectada por el deslizamiento en Calle Lajas en el año 2010, y, que además, residiera en la comunidad de Lajas Compartir.

Tabla 1. Resultados del Censo en la Comunidad Lajas Compartir

Resultados	Cantidad
Entrevistas completas	25
No realizadas	6
Rechazos	1
Total de viviendas visitadas	32

Fuente: IDESPO-UNA. Base de datos del Censo *Estudio de caso, deslizamiento Calle Lajas, Escazú, Costa Rica*. Julio 2017.

Como parte del trabajo, posterior al censo, se realizan entrevista semiestructuradas a funcionarios de la Municipalidad de Escazú para conocer sus opiniones sobre el evento ocurrido.

Paralelamente, a las actividades desarrolladas en conjunto con la comunidad se realiza, además, la revisión de periódicos nacionales como *La Nación*, *Prensa Libre*, *La República*, *La Extra* y *Periódico Escazú* de los años 2010 a 2015 con información asociada al deslizamiento. Las diferentes actividades ejecutadas permitieron conocer las vivencias de las personas participantes asociadas al desplazamiento ambiental ocasionado por el deslizamiento, con una serie de resultados que se presentan en el siguiente apartado.

Resultados

El apartado de discusión de resultados presenta cuatro componentes que describen lo sucedido en la comunidad de Calle Lajas por el deslizamiento, además, de acciones realizadas posteriormente al evento que conllevan al proceso de desplazamiento ambiental.

Descripción del deslizamiento

La temporada ciclónica del año 2010 se encuentra entre las cinco más activas de las cuales se tiene registro. En el periodo que inició el 1 de junio y concluye el 30 de noviembre se formaron en el océano Atlántico 19 tormentas tropicales y 12 huracanes, dos de estos eventos impactaron significativamente el territorio costarricense.

El primero de ellos fue la tormenta tropical Nicole, cuyas afectaciones se dieron entre el 28 y el 30 de septiembre 2010, luego a partir del 2 de noviembre comenzó la influencia del fenómeno meteorológico que, posteriormente, se convirtió en el huracán Tomas, el cual generó muchas precipitaciones en el territorio nacional, especialmente, en todo el Litoral Pacífico y Valle Central.

Con el paso de Nicole y Tomas resultaron afectadas 778 comunidades en seis de las siete provincias. Sin embargo, la tragedia principal del año 2010 ocurrió en la comunidad de Calle Lajas de San Antonio de Escazú, donde el miércoles 3 de noviembre a las 11:40 p.m., ocurrió un deslizamiento en el Cerro Pico Blanco. Esta es una montaña de 2271 metros de altura, dicha elevación, así como otras presentes en Alajuelita, Santa Ana y Río Oro, están asentadas sobre abanicos aluviales, formados por múltiples ríos como el río Agres, Cruz y Chiquero, o quebrada Lajas.

De acuerdo con la CNE, el deslave ocurrido en Calle Lajas fue producto de la gran concentración de lluvia que generó un deslizamiento en la quebrada Lajas que provocó que gran cantidad de piedras y lodo bajara, cubriendo entre 10 y 15 casas. Para geólogos de la Universidad de Costa Rica (UCR), éste fue un deslizamiento pequeño, pero al caer desde una gran altura y con una energía importante se incorporó mucho material suelto. Con la ayuda de la arcilla del suelo, el terreno se desplazó como una masa viscosa a través del cauce del río Lajas, lo que le dio velocidad y fuerza tornándose en una enérgica avalancha con velocidades que oscilaron entre 40 y 80 kilómetros por hora. El flujo de material desde la cima del cerro a la comunidad recorrió al menos 2,5 kilómetros, cubrió más de 30 metros de ancho y alcanzó una altura de más de tres metros (Marchena, s.f.), afectó los hogares que se ubicaban en el cauce de la quebrada Lajas; tal como se mencionó en el apartado del área de estudio y se observa el recorrido de la avalancha en el mapa 1.

Desde el año 2002 mediante estudios realizados por Planificación Regional y Urbana de la Gran Área Metropolitana (PRUGAM), tres científicos de la UCR identificaron las zonas en 31 cantones donde había mayor riesgo de deslizamientos y lo que sucedería en caso de que estos se produjeran. Para este grupo de expertos, la tragedia de Escazú pudo haberse evitado, ya que los estudios alertaron el peligro de un deslizamiento en el cerro Pico Blanco. El cerro presentaba condiciones que propiciarían la caída de enormes bloques de materiales a gran velocidad (120 kilómetros por hora), en tanto la quebrada Lajas tenía condición de riesgo para la movilización de una avalancha. De allí, que se considerara la comunidad de Calle Lajas como zona de muy alta fragilidad ambiental, dada su vulnerabilidad al paso de avalanchas (Semanao Universidad, 10 de noviembre de 2010).

Afectaciones del evento

El deslizamiento provocó una serie de consecuencias en términos humanos, sociales, ambientales, políticos y económicos. Una de las afectaciones a mencionar es el desplazamiento de las familias que vivían en Calle Lajas.

Según datos obtenidos del censo realizado, veintitrés personas afirman haberse desplazado temporalmente con sus familias debido al deslizamiento, principalmente, a un albergue o casas de familiares en un rango

temporal desde menos de un mes hasta más de cinco años, dependiendo de cada caso, este tipo de desplazamiento generó una serie de sentimientos descritos como una situación:

dura, difícil, un cambio que empeoró sus condiciones de vida cotidianas, una fatalidad, una generalizada pérdida de lo propio, una experiencia traumática, un factor de desintegración de los vínculos sociales en la comunidad, una carga económica y algo horrible (IDESPO-UNA. Base de datos del Censo Estudio de caso, deslizamiento Calle Lajas, Escazú, Costa Rica. Julio 2017)

Por medio de los comentarios realizados puede evidenciarse el impacto en términos personales-emocionales que generó la vivencia del deslizamiento y desplazamiento ambiental a la vez; por tanto, es pertinente describir el impacto a nivel psicosocial de la comunidad y el desarraigo y la desintegración producto del evento.

Impacto sobre el bienestar psicosocial de la comunidad

En general, una experiencia de desastre está caracterizada por la violencia y caos consecuentes al suceso, y el caso del conato sufrido por la comunidad de Calle Lajas no fue la excepción, sobre esto nos detalla la persona entrevistada del gobierno local, quien describe el ambiente de atención del desastre de la siguiente forma:

Nosotros estuvimos ahí toda la mañana, incluso cuando salieron la primera cantidad de cuerpos, y era una calle llena de cuerpos ordenados, muchísimos niños, jóvenes y estudiantes, era una cosa muy desoladora, porque la gente gritaba y gritaba, y en ese momento no había nada que decir (Anónimo, comunicación personal, 12 de junio 2018).

El fragmento anterior nos ayuda a comprender el impacto que el evento pudo tener sobre los sobrevivientes e incluso sobre las personas encargadas de atenderles. Se puede constatar, por lo tanto, que el deslizamiento tuvo un impacto sobre la morbilidad psicosocial de las personas sobrevivientes, puesto las personas de Lajas Compartir expresaron en el censo lo siguiente:

1. El sufrimiento de pérdida violenta de varios de sus seres queridos (en algunos casos toda la familia)
2. Sentimientos de culpa y enojo por las pérdidas sufridas (en seres humanos, en bienes, en estilos de vida, de libertad, etc).
3. Vivir con depresión desde el momento del desastre hasta la actualidad.
4. Experimentar traumas y estrés postraumático debido a la violencia del evento, tener constantemente pánico, incertidumbre y las sensaciones vividas de inseguridad extrema (IDESPO-UNA. Base de datos del Censo Estudio de caso, deslizamiento Calle Lajas, Escazú, Costa Rica. Julio 2017)

Partiendo de este contexto, y citando a Ramírez (2014), es necesario recuperar en el estudio del caso, la claridad de comprender las acciones de atención, contención, satisfacción de necesidades básicas y fortalecimiento social-comunitario, como esfuerzos dirigidos a la restitución de derechos fundamentales que fueron lesionados en la vida de las personas sobrevivientes, y ayudarnos a entender los comportamientos y reacciones de la población con el fin de desarrollar planes de acción y prevención para valorar una comprensión global de la acción humanitaria en situaciones de emergencia, teniendo en cuenta las exigencias físicas, psicológicas y sociales de la población, así como, los mecanismos y acciones de apoyo mutuo de la comunidad.

Desarraigo y desintegración del tejido social

Otras lamentables afectaciones sufridas, y que caracterizan los procesos de desplazamiento (Ramírez, 2014; Audefroy, 2010), se refieren al desarraigo y desintegración del tejido social, consecuentes a las experiencias de pérdida y desplazamiento que comunidades como la de Lajas Compartir han vivenciado.

Estas afectaciones devienen de la vulnerabilización propia de la vivencia de ser reasentados como comunidad, lo cual es un proceso que, en este caso, ha estado mediado por el rechazo de las comunidades de acogida, la separación de integrantes de la comunidad quienes se reasentaron las zonas lejanas (por ejemplo, en el cantón de Puriscal), o cerca pero no en Lajas Compartir.

Dado el contexto se les consulta a las personas *¿si considera que en los próximos años las relaciones pueden mejorar?* a lo que se obtiene como respuesta que 17 personas indican que las relaciones pueden empeorar o continuar igual, porque sienten que hay fuertes problemas entre vecinos, hay personas “ajenas” a su localidad anterior y falta de interés por trabajar de forma unida.

Tabla 2. Opinión de las personas entrevistadas en consideración a las relaciones comunales proyectadas n=25

Relaciones comunales en los próximos cinco años	Número de encuestados
Mejorar	8
Empeorar	7
Continuar igual	10
Total	25

Fuente: IDESPO-UNA. Base de datos del Censo *Estudio de caso, deslizamiento Calle Lajas, Escazú, Costa Rica*. Julio 2017.

Aunado a las respuestas obtenidas, debe considerarse también la decepción de las personas sobrevivientes con la baja calidad del accionar del gobierno estatal y local con la satisfacción de las necesidades básicas y el seguimiento del impacto generado sobre las personas de la comunidad, así como la rotación abrupta de agentes del gobierno local responsables de dar seguimiento al proceso de contención y fortalecimiento comunitario, ante el sentimiento de vulnerabilidad generalizado en la comunidad por el evento.

Solucionar las consecuencias de estas afectaciones son identificadas por la comunidad como prioridad, pues no solo hay sufrimiento por la nueva distribución del espacio en que viven y su efecto sobre las relaciones sociales y la vivencia de libertad, sino que actualmente menoscaban los intereses de integrantes organizados que buscan fortalecer los recursos con los que cuenta hoy la comunidad para agenciarse un bienestar y mejor calidad de vida para las personas sobrevivientes y las siguientes generaciones.

Atención durante el evento

La atención al deslizamiento se consideró como uno de los temas abordados en el censo, se consultó por el acercamiento de las instituciones responsables directa o indirectamente de ejecutar acciones de prevención

del riesgo en el territorio costarricense. De acuerdo con los datos del censo comunal, veinticuatro de las veinticinco personas entrevistadas no reconocen haber recibido previo al deslizamiento algún tipo de acercamiento institucional en el tema de prevención del riesgo ante un evento de este tipo.

De igual forma, funcionarios de la Municipalidad de Escazú que forman parte de la Comisión de Gestión de Riesgo, indican desconocimiento ante la probabilidad de que sucediera un evento en la comunidad, expresan:

[...] para todos fue una sorpresa el evento, tanto para la comunidad como para la municipalidad que no se esperaba una avalancha y menos de esa magnitud dentro del cantón (Anónimo, comunicación personal, 12 de junio 2018).

Partiendo de este panorama, desde el gobierno local no se había realizado ningún plan de gestión de riesgo para la población afectada y no era un tema de atención prioritaria dentro de la organización.

En relación con la atención generada por los mismos vecinos de la comunidad, los datos recopilados en el censo dan como resultado que veintiún personas entrevistadas no reconocieron la existencia en Calle Lajas de algún grupo de apoyo que se encargará de planificar acciones para disminuir los impactos de los eventos naturales, tres personas sí reconocieron que existía un comité y una persona que indicó no saber al respecto.

A pesar de que la comunidad no contaba con una organización comunal sólida antes del evento, en el censo se puede destacar que diecinueve personas de las entrevistadas reconocen que, si existió un grupo o comité para atender las necesidades de la comunidad de Calle Lajas durante el deslizamiento, cinco personas indicaron la no existencia de este grupo y una persona no sabía si existió o no un grupo organizado.

Dentro de las actividades realizadas por el grupo o comité para atender las necesidades de la comunidad, generadas por el deslizamiento, un total de doce de las veinte personas entrevistadas reconocen como acción realizada la ejecución de reuniones y actividades en torno a la reubicación de las familias (ver tabla 3).

Tabla 3. Principales acciones que realizó el grupo organizado para atender el deslizamiento de Calle Lajas n= 20

Acciones	Número de encuestados
Reuniones y actividades en torno a la reubicación de las familias	12
Administración de las ayudas recibidas y de las actividades comunales	3
Buscar ayudas en instancias de educación y salud	3
Monitorear la montaña y las vías de acceso a la comunidad	2
Total	20

Fuente: IDESPO-UNA. Base de datos del Censo Estudio de caso, deslizamiento Calle Lajas, Escazú, Costa Rica. Julio 2017.

Si bien es cierto se evidencia que la comunidad se organizó para brindar respuestas inmediatas tras la situación vivida, es pertinente desarrollar acciones en gestión de riesgo y la construcción de bases y redes de apoyo que fortalezcan las dinámicas comunitarias.

Apoyo institucional durante el evento

En relación con el evento, es importante mencionar, que el apoyo institucional como un acompañamiento continuo en procesos de prevención, mitigación y preparación, atención y recuperación ante la emergencia, es relevante para el desarrollo comunitario en la gestión de riesgos.

Considerando el tejido institucional en atención de emergencias asociadas a eventos naturales, se consultó en el censo sobre el apoyo de Cruz Roja, la Policía, la Municipalidad, la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, el Instituto Mixto de Ayuda Social, la Defensoría de los Habitantes, entre otras, con el fin de identificar el accionar de cada una de ellas ante la emergencia producida por el evento.

Se puede observar en la tabla 3, que las instituciones de atención primaria son aquellas de las cuales la comunidad reconoce una fuerte presencia de apoyo en: el rescate, la disponibilidad de maquinaria y la atención de necesidades sociales, económicas y psicológicas de las familias afectadas.

Tabla 4. Percepción de la población encuestada con respecto al apoyo recibido por parte de instituciones en la comunidad de Calle Lajas n= 25

Instituciones	Comunidad Calle Lajas		
	SÍ	NO	NS
Cruz Roja	21	4	0
La Policía	21	2	2
La municipalidad	17	3	5
La Comisión Nacional de Emergencias	25	0	0
El Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS)	24	1	0
La Defensoría de los Habitantes	1	17	7
El gobierno central	7	13	5
Empresa privada	7	13	5
Bomberos	1	24	0
Club de Leones	1	24	0
Ministerio de vivienda, BAHNVI	1	24	0
Obras del Espíritu Santo	1	24	0

Fuente: IDESPO-UNA. Base de datos del Censo *Estudio de caso, deslizamiento Calle Lajas, Escazú, Costa Rica*. Julio 2017.

Ahora bien, posterior a la emergencia se les consultó por el papel de las instituciones mencionadas en el cuadro anterior, obteniendo como respuesta que veintiún personas entrevistadas reconocieron el apoyo de la Fuerza Pública, seguida de instituciones como la Municipalidad de Escazú y el Instituto Mixto de Ayuda Social, en actividades específicas, respectivamente en apoyo de vigilancia y monitoreo, préstamo de menaje para actividades y ayudas económicas.

Desde la Municipalidad de Escazú se coordinó con los diferentes departamentos para realizar las valoraciones del evento y la atención a las familias afectadas, el traslado a los alberges y el contacto con otras instituciones, y durante las dos semanas siguientes al evento se abocó a la atención del deslizamiento en la comunidad de Calle Lajas, según lo mencionaron los funcionarios municipales entrevistados.

Además, se coordinó con la CNE, quienes asumen la logística de las donaciones recibidas y brindan apoyo inmediato en la entrega de agua, alimentos y colchonetas a los albergues establecidos. La Cruz Roja participó activamente en la atención de la salud de las personas en la comunidad

y los albergues, además del trabajo conjunto que llevaron a cabo con los bomberos en las acciones ligadas al rescate de los cuerpos otras instituciones que ingresaron de manera inmediata, por ejemplo, la Compañía de Fuerza y Luz y Acueductos y Alcantarillados, con el fin de establecer los servicios de electricidad y agua potable.

Por su parte, el Instituto Mixto de Ayuda Social se encargó de realizar una valoración socioeconómica de las familias afectadas para solucionar la necesidad de vivienda de manera temporal con ayudas económicas, además, coordinó con la Caja Costarricense de Seguro Social, las brigadas de riesgo de la Universidad de Costa Rica y con una gran cantidad de empresas privadas y ONG que se acercaron a colaborar.

Toda esta coordinación y trabajo interinstitucional se desarrolló en el momento de la emergencia y fue lo que permitió la articulación entre diferentes instituciones con el fin de buscar las mejores opciones de atención a la población que sufrió el deslizamiento en el Cantón de Escazú.

Reflexiones finales

El estudio de caso de la Comunidad de Lajas Compartir presenta un acercamiento a una experiencia de desplazamiento ambiental costarricense, entendiéndolo como un proceso de movimiento forzado, ya sea temporal o permanentemente de su sitio de origen como consecuencia de un evento natural.

Al hacer referencia al desplazamiento ambiental no se debe minimizar la situación haciendo alusión únicamente al espacio geográfico para reubicación, por el contrario, es relevante y pertinentes considerar aspectos ambientales, sociales, emocionales, psicológicos, entre otros, que tienen impacto directo en el diario vivir de la población afectada.

La involuntariedad, violencia y caos que enfrentan las personas desplazadas, implican, también, que su bienestar está coartado por el incremento en la morbilidad psicosocial subsecuente al proceso de detrimento de su tejido social, algunas consecuencias identificadas son el estrés post traumático y otros traumas, el desarraigo, el duelo consecuente a la pérdida de los seres queridos, las dificultades de integración en las comunidades donde se instalan, y diversos sentimientos de impotencia, incertidumbre, tristeza, ansiedad y depresión, así como trastornos sociales relacionados a las pérdidas sufridas y al abandono de la tierra o incluso la región donde se

vive (Ramírez, 2014; Martínez, Bravo, Rubio-Stipeć y Canino, 1993; Matamoros, 2013; Audefroy, 2010; Neuburger, 1992; Matamoros, Carranza y Sáenz, 2014).

Bajo este contexto, Lajas Compartir no escapa de la caracterización de comunidades que han vivido el desplazamiento ambiental; puesto que, además de las pérdidas materiales y humanas (en total 24 fallecidos, 205 personas damnificadas y 25 viviendas destruidas), las personas viven con secuelas emocionales y psicológicas, ruptura del tejido social, modificación del espacio-territorio y un gran deterioro organizacional y desarraigo.

Por otra parte, a nivel institucional se evidencia que diversas entidades brindaron apoyo de primera respuesta a las personas que vivieron el evento de forma coordinada entre sí, dirigidas por la CNE, sin embargo, a pesar del trabajo en equipo debe mencionarse que de parte de funcionarios del gobierno local no se contaba con personal capacitado para atender una situación como la sucedida; y no se había tomado en consideración la temática de gestión de riesgos dentro del accionar de la misma.

Partiendo de lo vivido en esta comunidad, es necesario desarrollar a nivel nacional planes de gestión de riesgo en comunidades que involucren el tejido institucional y a las localidades con el fin de no solamente atender la emergencia, sino generar conocimientos y capacidades antes, durante y después de un evento.

En la etapa específica posterior al desastre natural las personas que han vivido el proceso de reubicación necesitan apoyo y seguimiento en el restablecimiento de lazos comunales. Las personas que habitan Lajas Compartir han demostrado su anuencia a fortalecer lazos organizativos por medio de la consolidación de un Comité Comunal.

A su vez, se aboga en tomar el caso del desastre y la vivencia de recuperación de las familias de Calle Lajas, como una oportunidad histórica de aprendizaje para la organización estatal a nivel local y nacional en materia de Gestión del Riesgo y eficaz mitigación de desastres, pues las implicancias de la carencia de un plan preventivo a nivel local y un proceso de atención a las víctimas, que fue caracterizado por los mismos representantes institucionales como largo, conflictivo y burocrático, son identificados como parte de los determinantes que intensificaron el sufrimiento vivido y el desarraigo denotados por la población afectada en diferentes momentos del estudio.

Referencias

- Alpízar, M. (2009). *Educación y reducción de riesgos y desastres en Centroamérica: gestión del riesgo*. San José, Costa Rica: Coordinación Educativa y Cultural Centroamericana (CECC/SICA).
- Anónima. (2018, 12 junio). Entrevista funcionarios de gestión del riesgo de la Municipalidad de Escazú. Universidad Nacional.
- Araya, J. (2010, 10 noviembre). Estudios advirtieron desde hace varios años de riesgos por cerros de Escazú, Aserrí y Santa Ana. *Semanario Universidad*, pp. 2.
- Astorga, A., Mende, A. & Piedra, M. (2005). *Aplicación del Índice de Fragilidad Ambiental (IFA) en el Plan Regulador del cantón de Escazú y su área rural, según la metodología de la SETENA*. San José, Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Audefroy, J. (2010). Post-disaster emergency and reconstruction experiences in Asia and Latin America: an assessment. *Development in Practice*, (20) 6, pp. 664-677. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/20750166>
- Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC). (2011). *Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgo de Desastres*. Recuperado de http://www.ceprenec.org/application/files/4314/6160/6808/Politica_Centroamericana_de_Gestion_Integral_de_Riesgo_a_Desastres_PCGIR.pdf
- Instituto de Estudios Sociales en Población, Universidad Nacional. (2017). *Base de datos Censo Estudio de caso, deslizamiento Calle Lajas, Escazú*. Heredia, Costa Rica.
- Marchena, S. (s.f.). *La cobertura mediática del desastre en Calle Lajas, 2010. San Antonio de Escazú, Costa Rica*. Avance de investigación en curso GT 15- Medio ambiente, sociedad y desarrollo sustentable.
- Matamoras, M. C. (2013). Entre la Gestión del Riesgo y el abordaje Psicosocial. *Entorno a la prevención*, 10, pp. 9-14.
- Matamoras, M., Carranza, M. y Sáenz, A. (2014). *Elaboración de una Estrategia Modular para la Capacitación de Brigadas de Atención Psicosocial en Emergencias y Desastres*. Heredia, Costa Rica.

- Martínez, R., Bravo, M., Rubio-Stipec, M. y Canino, G. (1993). Pérdidas y peligro durante un desastre: su relación con sintomatología psicológica. *Revista Interamericana de Psicología*, (27) 1, pp. 93-106.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (2011). *Evaluación del impacto económico provocado por los fenómenos ciclónicos Nicole y Tomas en Costa Rica en el año 2010*. San José, Costa Rica: MIDEPLAN.
- Neuburger, A. (1992). Prevención e Intervención psicosocial en situaciones de desastre. *Praxis*, 43-44, pp. 247-252.
- Orozco, R. y Guevara, O. (2011). *Gestión Integrada del Riesgo de Desastres: Pautas metodológicas para la formación y administración de proyectos en Gestión del Riesgo*. Medellín, Colombia: Escuela Latinoamericana de Cooperación y Desarrollo.
- Ramírez, C. (2014). *Vulnerabilidades emergentes en poblaciones desplazadas por desastres en dos comunidades: Nueva Cinchona en Costa Rica y Villa el Bosque en Futaleufú, Chile*. Recuperado en <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/135068/Tesis%20Catalina%20Ram%C3%ADrez.pdf?sequence=1>
- Universidad Nacional. (2015). *Desplazados ambientales: nuevos procesos de exclusión y desigualdad en Costa Rica*. Heredia, Costa Rica.



Procesos de pérdida y recuperación del contenido de carbono en biomasa aérea en las zonas forestales del área de protección de flora y fauna Nevado de Toluca en el periodo 2000-2013

Carbon content loss and recovery processes in aerial biomass in the forested areas of the Nevado de Toluca Flora and Fauna Protected Natural Area during the period 2000-2013

Héctor Hugo Regil-García¹

Universidad de Guanajuato, México

Sergio Franco-Maass²

Angel Rolando Endara-Agramont³

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Alejandro Fidel Flamenco-Sandoval⁴

Alejandra Espinoza-Maya⁵

Universidad de Guanajuato, México

- 1 Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Avda. Juárez, 77. 36000 Guanajuato (Guanajuato, México). <https://orcid.org/0000-0002-6960-2718>. E-Mail: regil_hh@yahoo.com.mx
- 2 Doctor en Geografía, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Campus El Cerrillo Piedras Blancas. 50090 Toluca (Estado de México, México). <https://orcid.org/0000-0002-3512-130X>. E-mail: sfrancom@uaemex.mx
- 3 Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Campus El Cerrillo Piedras Blancas. 50090 Toluca (Estado de México, México). <https://orcid.org/0000-0001-8413-6551>. E-mail: arendaraa@uaemex.mx
- 4 Doctor en Geografía, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Avda. Juárez, 77. 36000 Guanajuato (Guanajuato, México). <https://orcid.org/0000-0002-7700-8591>. E-Mail: flamenco@ugto.mx
- 5 Doctor en Geografía, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Avda. Juárez, 77. 36000 Guanajuato (Guanajuato, México). <https://orcid.org/0000-0003-2329-3179>. E-Mail: ale_maat@hotmail.com

Rafael Calderón-Contreras⁶
Universidad Autónoma Metropolitana, México
Blanca Azucena Pérez-Vega⁷
Universidad de Guanajuato, México

Resumen

Los bosques templados de México están bajo fuertes presiones tanto por procesos biológicos como de explotación antrópica, aun si pertenecen a Áreas Naturales Protegidas (ANP's). Para la evaluación de estos ecosistemas y sus procesos de deterioro no se cuenta con mecanismos de control que garanticen una mejora en su dinámica interna, por tanto, los estudios de ocupación de suelo son imprescindibles para entender dichos procesos, particularmente en el estrato arbóreo, y las funciones de captura y reservorio de carbono (C). Se calculó la biomasa y el contenido de C por hectárea de especies forestales predominantes (*Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, *Quercus laurina* y *Alnus jorullensis*) con datos representativos de 30 parcelas. Con los datos de densidad de arbolado por hectárea, dominancia de especies, densidad básica de la madera y factor de expansión de biomasa, se estimó el stock de Carbono de cada zona forestal. Se superpusieron los mapas de stock de C (2000 y 2013) y se obtuvieron las áreas en donde se presentan procesos de cambio en el stock de C. Los bosques con mayor pérdida de C son: *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*.

Palabras clave: ocupación de suelo, biomasa aérea, contenido de carbono, deterioro

Abstract

The temperate forests of México are under strong pressure both by biological processes and by anthropic exploitation, even if they belong to Protected Natural Areas (PNA). For the evaluation of these ecosystems and their deterioration processes, there are no control mechanisms that guarantee an improvement in their internal dynamics; therefore, land occupation studies are essential to understand these processes, particularly in the arboreal stratum, and their role in carbon capture and storage (C). The biomass and the C content per hectare of predominant forest species (*Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, *Quercus laurina* and *Alnus jorullensis*) were calculated from representative data from 30 land plots. The carbon stock assessment of each forest area was estimated from data of tree density per hectare, species dominance, basic wood density and biomass expansion factors. Carbon stock maps were superimposed (2000 and 2013) to obtain the areas presenting carbon stock variation processes. The forests with the highest loss of carbon (C) are those were *Pinus hartwegii* and *Abies religiosa* are the predominant species.

Keywords: Land occupation; Aerial biomass; Carbon content; Deterioration.

- 6 Doctor en Desarrollo Internacional, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Campus Cuajimalpa, Universidad Autónoma Metropolitana. Avda. Vasco de Quiroga 4871. 05348 Santa Fe Cuajimalpa (Cuajimalpa de Morelos, Ciudad de México). <https://orcid.org/0000-0001-8709-4502>. E-Mail: rcalderoncontreras@yahoo.com
- 7 Doctor en Geografía, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Avda. Juárez, 77. 36000 Guanajuato (Guanajuato, México). <https://orcid.org/0000-0002-9683-4207>. E-Mail: azu-pv@ugto.mx

Introducción

El cambio climático global es uno de los problemas ecológicos más severos, que se acentúan por el incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (Bolin y Sukumar, 2000). Este fenómeno tendría repercusiones particularmente graves para los ecosistemas naturales, coadyuvando al incremento de problemáticas, tales como el ascenso de la temperatura del aire, el ascenso del nivel medio del mar, el incremento en la evaporación potencial en suelo y cuerpos de agua, deterioro de hábitats, cambios en la distribución geográfica de biomas, sobreexplotación de especies, reducción de áreas boscosas, contaminación de mantos acuíferos, entre otros (Raynal-Villaseñor, 2011; González *et al.*, 2003; Ordóñez, 2008).

Se ha determinado que el dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico, el cual se origina con la producción y uso de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo, factores que se consideran como los de mayor importancia para que dicho GEI se libere a la atmósfera (Echeverri, 2006; Alcántara y Padilla, 2010). De acuerdo con las estimaciones realizadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015), desde 1990 a nivel mundial se han perdido cerca de 129 millones de hectáreas de bosques, al respecto la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés, 2010) reporta que entre 1990 y 2005 el ritmo de deforestación era de 13 millones de hectáreas de bosques por año, tan sólo en la década de 1990 la deforestación contribuyó con cerca de 5,8 Gigatoneladas (Gt) de CO₂ al año a las emisiones de GEI globales. Si bien la FAO (2015) estima que las emisiones mundiales de CO₂ por deforestación disminuyeron de 3.9 a 2.9 Gt al año en el periodo de 2001 a 2015, reporta que las emisiones por degradación de bosques se acrecentaron de 0.4 a 1.0 Gt de CO₂ al año entre 1990 y 2015, dichos reportes indican una posible mejora en la gestión de los bosques y una reducción en la deforestación, pero también una persistente disminución de biomasa de árboles originada ya sea por causas antropogénicas como la tala o los incendios, o bien por causas naturales como la caída de árboles por fuertes vientos, entre otros.

Particularmente México es uno de los primeros 20 países en la generación de GEI del mundo, no obstante dicha contribución no supera el 1.5 % de las emisiones globales; para 2012 se reporta una contribución del

1.4 % de las emisiones mundiales. Al respecto, la quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, indica el aumento general en las emisiones de GEI del 33.4 % con respecto a las cifras de 1990, en promedio el crecimiento anual en el periodo de 1990 a 2010 es de 2.3 % (Rueda *et al.*, 2015; Orozco-Hernández *et al.*, 2013; Cruz *et al.*, 2015).

A pesar de ser actualmente fuentes netas de emisión de GEI, los bosques tienen la posibilidad de mitigar GEI a través de la captura de dióxido de carbono (CO₂) en diferentes ecosistemas vegetales (sumideros) (González *et al.*, 2016; Ordóñez, 2008; Ordóñez y Masera, 2001). Estos ecosistemas forestales son parte importante en el ciclo global del carbono, ya que en ellos se fija y almacena dicho gas a partir de procesos fotosintéticos; el carbono se almacena principalmente a través del suelo, la vegetación y el matillo, en cuanto al fuste de un solo árbol se almacena el 84 % de biomasa, donde el 46 % es carbono. Con respecto a lo anterior, se sabe que los bosques del mundo absorben hasta un 30 % de las emisiones globales anuales de CO₂ de origen antropogénico, (Razo-Zárata *et al.*, 2013; Bellassen y Luysaert, 2014), y que los bosques tropicales contienen cerca del 40 % del carbón contenido en la tierra (Beer *et al.*, 2010; Grace, 2004; Pan *et al.*, 2011), no obstante, son los ecosistemas sometidos cada vez a más presión por actividades antropogénicas (Thomlinson *et al.*, 1996; Wright, 2005).

En este tenor, estimar con precisión la dinámica de la pérdida y recuperación de carbono en los ecosistemas forestales es uno de los problemas abiertos más importantes en la discusión sobre cambio climático (Santibañez, 2014; IPCC, 2005; Franklin *et al.*, 2014).

De modo que, de acuerdo con Ordoñez y Masera (2001), el proceso de pérdida-recuperación de carbono en los ecosistemas forestales es parte de un sistema con cuatro tipos principales de reservorio de carbono: vegetación -aérea y radicular- materia en descomposición, suelos, productos forestales, cada uno de los cuales presenta distintos tiempos de residencia y flujos asociados, siendo los de vegetación aérea los más factibles de estimar. En cuanto a los bosques tropicales, existe una problemática, ya que no se tiene información del todo adecuada de los contenidos de carbono en vegetación y suelo.

En este orden de ideas, además de la deforestación, los cambios de uso del suelo contribuyen también de manera importante en la emisión de

GEI (Mas y Flamenco-Sandoval, 2011), en este sentido el Grupo Consultivo de Expertos en Comunicaciones Nacionales (CGE, 2005), indica que las actividades de cambio de uso de suelo y la silvicultura emiten aproximadamente 1.6 Gt de carbono al año.

No obstante lo anterior, existe una problemática en cuanto a la estimación de la cantidad y la forma en la que se pierden los bosques a través del tiempo en la dinámica de cambio de uso de suelo, dicha estimación depende de factores naturales relacionados con los procesos de regeneración y sucesión, como antropogénicos y socioeconómicos. En este sentido, en los factores de origen físico y biológico se consideran: el relieve, la estructura y composición del suelo, la disponibilidad del recurso agua y la vegetación en cuanto a su estado y constitución. Por su parte los factores de origen antropogénico se vinculan principalmente con la transformación y por consecuencia el impacto en las áreas naturales, lo que provoca alteraciones en los procesos naturales del ecosistema (Ordóñez y Masera, 2001).

Actualmente, si bien existen diversos estudios, con técnicas también diversas, que tratan sobre la estimación de biomasa y carbono en ecosistemas forestales (Latifi *et al.*, 2015; Chávez, *et al.*, 2017; Rodríguez-Larramendi, 2016; Castellanos *et al.*, 2010; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2009; Gayoso y Guerra, 2005; Ruíz-Díaz *et al.*, 2014), la consideración de los procesos de cambio de uso de suelo es uno de los factores clave para las estimaciones en la dinámica de pérdida-recuperación de carbono.

Dentro de este panorama, una de las tareas prioritarias es llevar a cabo estudios de emisión-captura de carbono a nivel regional, en ecosistemas forestales que presenten procesos dinámicos de cambio de uso del suelo. Estos estudios deberán permitir, por un lado, estimar más precisamente la densidad de carbono asociada a las distintas clases de vegetación y, por el otro, desarrollar métodos de cuantificación y detección de tendencias sobre el comportamiento de los procesos de pérdida-recuperación de carbono bajo diferentes dinámicas de cambio de uso del suelo (Ordóñez *et al.*, 2008).

Bajo este orden de ideas, se planteó como objetivo principal el cálculo de la biomasa y el contenido de carbono por hectárea de 4 especies forestales predominantes en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) (*Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, *Quercus laurina* y *Alnus jorullensis*), los objetivos particulares fueron: determinar los patrones temporales y espaciales de cambio en la ocupación del suelo en la región de

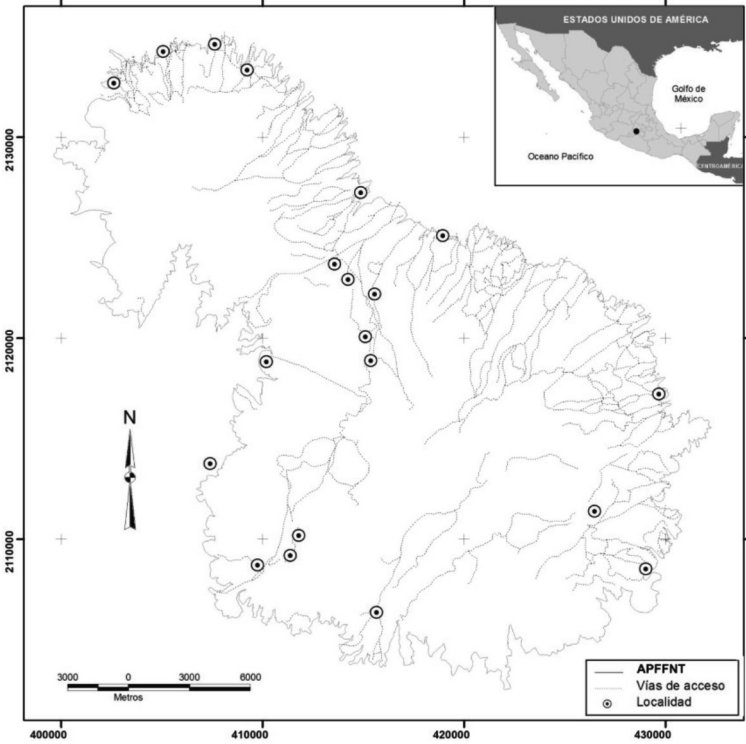
estudio para dos fechas importantes: periodo 2000, fecha del cual se tiene la más reciente actualización detallada de ocupación del suelo del Área Natural Protegida, y 2013, fecha en la cual el área de estudio cambia de estatus de Parque Nacional a Área de Protección de Flora; la estimación de las densidades de carbono total asociadas a los principales clases de vegetación y uso del suelo; y, finalmente, identificar los procesos de pérdida-recuperación de carbono en la zona forestal del área de estudio para el periodo estudiado, lo cual evidenciaría los procesos de deterioro en el ANP.

Para dar alcance a los objetivos de la investigación, se siguieron tres procedimientos principales: la determinación de la ocupación del suelo y cambio de ocupación del suelo; la estimación del contenido de carbono en las principales coberturas forestales; y la estimación de los procesos de pérdida y recuperación en el contenido de carbono en las zonas forestales.

Área de estudio

El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) (Figura 1), así declarada en el año 2013, y cuya categoría previa como Parque Nacional data del año 1936 es una de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de alta montaña más significativas de México, siendo un importante reservorio de recursos ecológicos que ha sido foco de atención de estudios de diversa índole. La explotación de recursos forestales por parte de la población local, la constante dinámica de extracción ilegal de recursos maderables y la proliferación y expansión de plagas y enfermedades han afectado severamente las condiciones del arbolado, observándose una pérdida total o en ¿densidad? de los bosques. De acuerdo con Rodríguez y Franco (2003), pese a la importancia del parque nacional como proveedor de servicios ambientales, aún no existen trabajos que permitan dimensionar las implicaciones inherentes a la pérdida de recursos forestales de la región y su consecuente disminución en la capacidad de retención de carbono.

Figura 1. Localización del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca



Fuente: Elaboración propia

Metodología

Determinación del cambio en ocupación del suelo

Para la elaboración del mapa de ocupación del suelo para 2013, se actualizó el mapa de ocupación de suelo del Parque Nacional Nevado de Toluca del año 2000 en formato vectorial (Franco *et al.*, 2006), que cuenta con 125 categorías de uso de suelo y vegetación, cuya área mínima cartografiable es de 800 metros cuadrados. Como complemento de éste material, se utilizó el mosaico de ortofotos 1:20,000 del Instituto de Investigación e Información Geográfica Estadística y Catastral del Estado de México (IIIGCEM) que dio origen al mapa 2000. Para el año 2013, al no tener ortofotos actualizadas para la fecha, se optó por utilizar imágenes

Spot 5, cuyas características de resolución espacial y claridad fueron compatibles para ser comparadas con las ortofotos del IIIGCEM.

Sobreposición de materiales y edición

Se cargaron en el software Arc Gis tanto el mosaico de ortofotos para el año 2000 como el corte SPOT para el año 2013, así como el mapa vectorial de ocupación del suelo 2000 como referencia de categorización. Después de ello, se habilitó en los dos insumos de imagen, una visualización en transparencia, para evidenciar así las zonas en las cuales hubo una modificación en su ocupación de una fecha con respecto a otra, delimitando a 400 metros cuadrados el área mínima cartografiable.

Así, se verificó en las imágenes cada uno de los 3986 polígonos que componen el mapa vectorial para el año 2000, y en el momento en el cual se observaba un cambio de una imagen con respecto a otra, se seccionaba el polígono en el área en que se reportó la transición, creándose así un nuevo polígono. Terminada la detección de las zonas con algún tipo de cambio, mediante un proceso de reclasificación, se crearon tanto el mapa de ocupación de suelo 2013 como el mapa de cambio de ocupación de suelo para el periodo 2000-2013, este último, el insumo principal del trabajo de investigación.

Validación de cartografía

Usualmente, para los trabajos de cambio de ocupación del suelo es necesario realizar dos validaciones, una por cada fecha de estudio, para después pasar a un proceso de sobreposición, sin embargo, para este estudio el mapa creado fue el de transiciones entre dos fechas, con lo cual la validación no sería dirigida hacia las ocupaciones, sino hacia cambios de ocupación, adecuando lo utilizado por Franco *et al.* (2006) en el estudio precedente.

Así, para la corroboración del mapa de cambio de ocupación de suelo para el periodo 2000-2013, el tamaño de muestra fue determinado según lo que señala Chuvieco (2002): $n = (z^2 s^2) / ((L^2 + (s^2 z^2 / N))$

Donde n es el tamaño de la muestra, L es el intervalo de error tolerable, z la abscisa de la curva normal para un valor determinado de probabilidad, s^2 la varianza muestral y N el tamaño de la población. Para muestras grandes ($n > 30$) puede prescindirse del último término $((N - n) / N)$ que se conoce como corrección para poblaciones finitas.

Para calcular el tamaño de la muestra es necesario fijar un margen de error permitido (L), un rango de probabilidad (que fija el valor z) y estimar, de alguna manera, la varianza muestral (s^2). Así, considerando que se quiere estimar, con el 95 % de probabilidad, el error del mapa, suponiendo que los aciertos son del 85 %, y el máximo de error permitido es de ± 5 %, el número mínimo de muestras debía ser de 196.

Determinado el tamaño de muestra, había que precisar que lo que se estaría muestreando en campo no serían ocupaciones, sino que se buscarían las evidencias de transición que validaran la interpretación interactiva entre las dos fechas trabajadas. Así, se muestrearon 198 polígonos de transición, de los cuales 189 fueron coincidentes y 9 no correspondieron a la transición reportada por percepción remota, para obtener una confiabilidad del 95.4 %, lo cual excede el nivel mínimo de validación cartográfica que es del 80 %.

Selección de parcelas

Para su selección, se identificaron preliminarmente las superficies de bosques densos más representativos (*Pinus*, *Abies*, *Quercus* y *Alnus*) de cada especie dentro del Área Natural Protegida con ayuda de la cartografía de ocupación de suelo generada.

Siguiendo los criterios de Ávila y López (2001) y Villavicencio y Valdez (2003), se instalaron unidades de muestreo de 1000 metros cuadrados (20 x 50 metros) de manera aleatoria: 10 para *Pinus hartwegii*, 10 para *Abies religiosa*, 5 para *Quercus laurina* y 5 para *Alnus jorullensis* (para *Quercus laurina* y *Alnus jorullensis* se limitó el número de parcelas a 5 debido a la menor extensión dentro del área de estudio en comparación con la cubierta por *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*), obteniendo el diámetro del tronco a 1.3 m sobre el nivel del suelo y altura total para individuos mayores a 10 cm (individuos identificables por métodos de fotointerpretación).

Estimación del stock de carbono en los diferentes tipos de cubierta

Cálculo del stock de carbono

Para cada sitio de muestreo se levantaron datos de diámetro y altura de cada árbol, calculándose el volumen, la biomasa y el carbono con las siguientes fórmulas (Lojan, 1966; Román y Ramírez, 2010):

$$V = AB \cdot AT \cdot 0.7$$

Dónde: V es el volumen de madera (m³/ha), AB (m²/ha) es el área basal, AT (m) es la altura total y 0.7 es el factor de corrección.

$$B = V \cdot DB \cdot FEB$$

Dónde: B es la biomasa (Ton), DB es la densidad básica de la madera (kg/m³) y FEB es el factor de expansión de biomasa

$$C = B \cdot 0.45$$

Dónde: C es la cantidad de carbono por árbol (Ton C), B es la biomasa (Ton) y 0.45 es la fracción de carbono en la biomasa.

Para el cálculo de biomasa, se obtuvieron los datos de densidad básica de la madera y factor de expansión de biomasa por especie (Tabla 1):

Tabla 1. Densidad básica de la madera y factor de expansión de biomasa por especie

Especie	Densidad básica (gr/cm ³)	Factor de expansión de biomasa
<i>Pinus hartwegii</i>	0.49 (Rojas y Villers, 2008)	1.3 (FAO, 1998)
<i>Abies religiosa</i>	0.38 (Sotomayor, 2002)	1.3 (FAO, 1998)
<i>Alnus jorullensis</i>	0.43 (Sotomayor, 2002)	1.74 (FAO, 1998)
<i>Quercus laurina</i>	0.66 (Sotomayor, 2002)	1.74 (FAO, 1998)

Fuente: Elaboración propia

De esa manera, para el caso de *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*, la sumatoria del valor de carbono por individuo expresa el valor por hectárea (Mg C/ha), dados los 10 sitios de 1000 m². Para el caso de *Quercus laurina* y *Alnus jorullensis*, esta sumatoria tendrá que multiplicarse por 2, dado que solo fueron levantados 5 sitios.

Reservorio de carbono y reclasificación del mapa de cambio de ocupación del suelo

Después de haber calculado el stock de carbono y de posteriormente haber realizado el proceso de asignación de zonas de transición, se procedió a reclasificar el mapa generado de cambio de uso de suelo según lo recomendado por Ordóñez y Martínez (2003), con el fin de delimitar los grupos de cambios que involucran alguna dinámica relacionada con la cobertura forestal. Para ello, se tomó como base de la reclasificación el índice de abundancia-dominancia de Braun-Blanquet (CETENAL, 1976), que indica el porcentaje complementario de presencia de las especies que conforman una categoría de cobertura de suelo en un polígono definido. Así, de manera general, para los polígonos etiquetados con presencia de cubierta forestal, la lógica fue la siguiente:

- *Bosque monoespecífico denso*: Aquellas superficies en las cuales el arbolado ocupa entre un 80 y un 100 % de cobertura de copa de un polígono definido con una sola especie forestal, por ejemplo, un polígono clasificado como Bosque de *Abies religiosa* se reclasifica como un Bosque Monoespecífico Denso de *Abies Religiosa*.
- *Bosque asociado denso*: Aquellas superficies en las cuales el arbolado ocupa entre un 80 y un 100 %, de cobertura de copa de un polígono definido con al menos dos especies forestales. De éste 80 a 100 % de polígono con una cobertura forestal, la proporción de las especies identificadas es la siguiente: 75 % por parte de la especie dominante contra un 25 % de la secundaria, por ejemplo, un polígono clasificado como Bosque de *Abies religiosa-Pinus hartwegii* se reclasifica como un Bosque Asociado Denso con dominancia de *Abies Religiosa*.
- *Bosque monoespecífico semidenso*: Aquellas superficies en las cuales el arbolado ocupa entre un 50 y un 80 % de cobertura de copa de un polígono definido con una sola especie forestal, y el resto de la proporción tiene una ocupación no forestal (pastizal, agrícola, matorrales, suelo desnudo), por ejemplo, un polígono clasificado como Bosque de *Abies religiosa-Matorral Inerme* se reclasifica como un Bosque Monoespecífico Semidenso de *Abies Religiosa*.

- *Bosque asociado semidenso*: Aquellas superficies en las cuales el arbolado ocupa entre un 50 y un 80 %, de cobertura de copa de un polígono definido con al menos dos especies forestales. De éste 50 a 80 % de polígono con una cobertura forestal, la proporción de las especies identificadas es la siguiente: 75 % por parte de la especie dominante contra un 25 % de la secundaria, por ejemplo, un polígono clasificado como Bosque de *Abies religiosa*-*Pinus hartwegii*-Matorral Inerme se reclasifica como un Bosque Asociado Semidenso con dominancia de *Abies Religiosa*.
- *Bosque monoespecífico fragmentado*: Aquellas superficies en las cuales el arbolado ocupa entre un 20 y un 50 % de cobertura de copa de un polígono definido con una sola especie forestal, y el resto de la proporción tiene una ocupación no forestal (pastizal, agrícola, matorrales, suelo desnudo), por ejemplo, un polígono clasificado como Matorral Inerme-Bosque de *Abies religiosa* se reclasifica como un Bosque Monoespecífico Fragmentado de *Abies Religiosa*.
- *Bosque asociado fragmentado*: Aquellas superficies en las cuales el arbolado ocupa entre un 20 y un 50 %, de cobertura de copa de un polígono definido con al menos dos especies forestales. De este 20 a 50 % de polígono con una cobertura forestal, la proporción de las especies identificadas es la siguiente: 75 % por parte de la especie dominante contra un 25 % de la secundaria, por ejemplo, un polígono clasificado como Matorral Inerme-Bosque de *Abies religiosa*-*Pinus hartwegii* se reclasifica como un Bosque Asociado Fragmentado con dominancia de *Abies Religiosa*.

Estimación del reservorio de carbono por clasificación forestal

Así, para el cálculo del carbono en cada una de las categorías reclasificadas, se tomó en cuenta el carbono calculado para bosques densos de cada especie para estimar los valores en bosques no densos y/o no monoespecíficos según su proporcionalidad en cobertura por especie y cobertura de copa.

La tabla 2 ejemplifica el procedimiento para la estimación de las 48 categorías de ocupación de suelo que implicaban una presencia forestal. De ella se puede decir que, a partir de los principios de clasificación CE-TENAL (1976), se manejaron tres grupos de valores para estimar el reservorio de carbono por cobertura: el primer grupo es el stock de carbono por

hectárea de cada especie, obtenido del cálculo en las parcelas muestreadas, siendo los valores los siguientes (columnas 2, 3, 4 y 5): Bosque denso de *Pinus hartwegii* : 94.12 Mg C; Bosque denso de *Abies religiosa*: 287.49 Mg C, Bosque denso de *Alnus jorullensis*: 65.98 Mg C; y, Bosque denso de *Quercus laurina*: 106.74. El segundo grupo se trata del porcentaje de cobertura forestal por polígono (columnas 6, 7 y 8), siendo que, para bosques densos, se cubre el 100 %, para bosques semidensos, la media es de 65 %, y para bosques fragmentados la media es el 35 %. Finalmente, el tercer grupo (columnas 9, 10 y 11) señala la proporcionalidad de las especies en presencia de un bosque asociado (con dos o más especies), por ejemplo, en presencia de un bosque con dos especies, la especie predominante representa el 75 %, contra el 25 % de la especie secundaria. En caso de un bosque con tres especies, la predominante representa el 75 %, contra el 12.5 % para cada una de las especies complementarias.

Tabla 2. Parámetros para estimar el reservorio de carbono en ocupaciones forestales

CATEGORÍA BOSQUE	PRIMER GRUPO				SEGUNDO GRUPO			TERCER GRUPO			TOTAL Mg C/ha
	CARBONO Mg C/ha				COBERTURA FORESTAL %			IMPORTANCIA EN BOSQUE ASOCIADO			
	Pino 94.12	Oya. 287.49	Aile 65.98	Enc. 106.74	Denso 100	Semi. 65	Frag. 35	Prim 0.75	Sec. 0.25	Ter. 0.125	
Denso de <i>Abies religiosa</i> ,	-	<i>Abies</i> 287.49	-	-	100	-	-	-	-	-	287.49
Denso de <i>Abies religiosa</i> - <i>Pinus hartwegii</i>	<i>Pinus</i> 94.12	<i>Abies</i> 287.49	-	-	100	-	-	<i>Abies</i> 0.75	<i>Pinus</i> 0.25	-	239.15
Semidenso de <i>Pinus hartwegii</i> - <i>Abies religiosa</i>	<i>Pinus</i> 94.12	<i>Abies</i> 287.49	-	-	-	65	-	<i>Pinus</i> 0.75	<i>Abies</i> 0.25	-	92.60
Fragmentado de <i>Alnus Jorullensis</i> - <i>Pinus hartwegii</i>	<i>Pinus</i> 94.12	-	<i>Alnus</i> 65.98	-	-	-	35	<i>Alnus</i> 0.75	<i>Pinus</i> 0.25	-	25.56

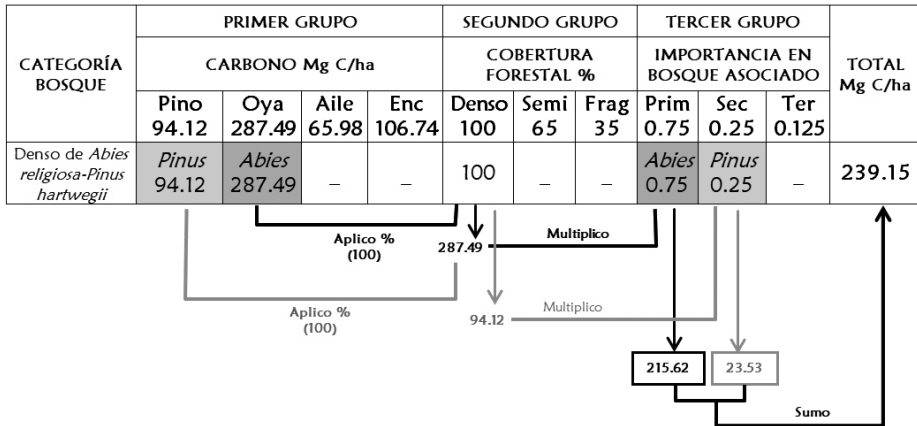
Oyamel (Oya.), Encino (Enc.)/Semidenso (Semi.)/Fragmentado (Frag.)/ Primario (Prim.), Secundario (Sec.), Terciario (Ter.).

Fuente: Elaboración propia

Explicando el ejemplo (Cuadro 2), para el Bosque Denso de *Abies religiosa* en la primera fila, se tomó el valor calculado en campo de 287.48 Mg C de la columna 2 del primer grupo de valores, correspondiente al Carbono por hectárea calculado en el muestreo y se bajó el valor a la celda; posteriormente, del segundo grupo de valores, al tratarse de un bosque denso, se bajó el valor de la primera columna cuyo valor es el 100 %; finalmente, para éste caso, no se utilizaron los valores del grupo 3, ya que éstos valores solo son utilizados para bosques asociados, por lo que del primer grupo del cual se obtuvo el valor de 287.49, se aplicó el 100 % del valor al ser un bosque denso, por lo que para dicha categoría la asignación de contenido de carbono es de 287.48 Mg C/ha.

Como un segundo ejemplo (Figura3), para el bosque denso de *Abies religiosa-Pinus hartwegii*, se tomó del primer grupo 287.48 Mg C de la segunda columna para la ocupación de *Abies religiosa*, del segundo grupo, el 100%, puesto que se trata de un bosque denso, y del tercer grupo, el 75 %, ya que es la especie principal de un bosque asociado; de la misma forma, como valor secundario, del primer grupo se tomaron 94.12 Mg C para la ocupación de *Pinus hartwegii*, del segundo grupo, el 100 %, puesto que se trata de un bosque denso, y del tercer grupo, el 25 % como la especie de menor importancia. Como resultado del cálculo de ambas especies para la categoría seleccionada, se obtuvo un contenido de 239.15 Mg C.

Figura 2. Ejemplo de estimación de carbono en ocupaciones forestales



Fuente: Elaboración propia

Bajo la misma lógica, para el Bosque semidenso de *Pinus hartwegii*-*Abies religiosa* (Tabla 2) se tomó como valor principal en el primer grupo 94.12 Mg C/ha para la ocupación de *Pinus hartwegii*, del segundo grupo, el 65 %, puesto que se trata de un bosque semidenso, y del tercer grupo, el 75 %, ya que es la especie principal de un bosque asociado; como valor secundario, en el primer grupo se tomaron 287.48 Mg C/ha para la ocupación de *Abies religiosa*, del segundo grupo, el 65 %, puesto que se trata de un bosque semidenso, y del tercer grupo, el 25 % como la especie de menor importancia. Como resultado del cálculo de ambas especies para la categoría seleccionada, se obtuvo un contenido de 92.6 Mg C/ha.

Completando el ejemplo, el bosque fragmentado de *Alnus jorullensis*-*Pinus hartwegii* se tomó como valor principal en el primer grupo 65.98 Mg C/ha para la ocupación de *Alnus jorullensis*, del segundo grupo, el 35 %, puesto que se trata de un bosque fragmentado y del tercer grupo, el 75 %, ya que es la especie principal de un bosque asociado; como valor secundario, en el primer grupo se tomaron 94.12 Mg C/ha para la ocupación de *Pinus hartwegii*, del segundo grupo, el 35 %, puesto que se trata de un bosque semidenso, y del tercer grupo, el 25 % como la especie de menor importancia. Como resultado del cálculo de ambas especies para la categoría seleccionada, se obtuvo un contenido de 25.56 Mg C/ha. Bajo ésta lógica, se asignó un valor a cada una de las 45 categorías en las que aparecía arbolado.

Cálculo de los procesos de pérdida y recuperación de carbono

Habiendo estimado el contenido de carbono por hectárea para cada categoría en la cual estuviera involucrada una cubierta forestal, se vincularon éstos valores a las tablas asociadas de la cartografía de ocupación de suelo 2000 y 2013, obteniendo así los mapas de contenido de carbono por hectárea para las dos fechas

Después de obtener los mapas de contenido de carbono por hectárea para 2000 y 2013, se realizó una sobreposición sustractiva de ambos, según lo recomendado por Regil y Franco (2009), bajo la lógica de procesamiento de cambio de usos y cubiertas de suelo utilizado para medir los efectos de vulnerabilidad en las comarcas de montaña en Cataluña (Badia, *et al*, 2014) para así obtener el balance de emisiones-almacenes de

carbono, expresado en Mg C /ha, utilizando el software Arc GIS Versión 10.1. De éste mapa se derivó el análisis final.

Resultados

El contenido de carbono en biomasa aérea para bosques densos

Como anteriormente se mencionó, el cálculo directo de carbono en biomasa aérea en áreas forestales se llevó a cabo en 30 parcelas de muestreo, realizándose exclusivamente para los bosques densos de *Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, *Alnus jorullensis* y *Quercus laurina*, siendo los resultados de estos cálculos los primordiales para estimar el contenido de carbono para las 48 categorías seleccionadas que incluían densidad del arbolado y asociación de especies.

Así, para las diez parcelas de bosque denso de *Pinus hartwegii*, se encontraron un total de 186 individuos, para las diez de bosque denso de *Abies religiosa*, 426 individuos, para las 5 de *Alnus jorullensis*, 187 individuos, y para las 5 de *Quercus laurina*, 270 individuos. Los resultados en biomasa fueron contrastados con los reportados por Rojas y Villers (2008) para el Parque Nacional La Malinche, dadas las similitudes entre ambas Áreas Naturales Protegidas (Tabla 3).

Tabla 3. Contenido de Carbono en biomasa aérea para bosques densos

Especie	Rojas y Villers, 2008		Estudio Presente		
	Biomasa (Mg ha-1)	Desviación Estándar	Biomasa (t ha -1)	Desviación Estándar	Stock de carbono (Mg ha-1)
<i>Pinus hartwegii</i>	224.3	13.2	209.15	11.02	94.12
<i>Abies religiosa</i>	265.6	185.2	638.86	167.38	287.49
<i>Alnus jorullensis</i>	289.6	15	73.31 (1/2 ha) 146.62	5.51	65.98
<i>Quercus laurina</i>	4.9	Solo una muestra	118.60 (1/2 ha) 237.2	5.56	106.74

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, existe una marcada variación entre los resultados reportados por Rojas y Villers (2008) y el presente estudio en tres de las especies forestales: *Abies religiosa*, *Alnus jorullensis* y *Quercus laurina*.

Para la primera, este comportamiento es atribuible al dinamismo de la especie de manera particular en cada una de las poblaciones establecidas, dada su capacidad de regeneración, las sensibles diferencias en relieve, el grado de perturbación antrópica y las marcadas diferencias en las dinámicas de los ecosistemas de las dos áreas de estudio, aunque de igual modo, la accesibilidad y relieve tan diferenciado pudieron incrementar el margen de error. En los casos de *Alnus jorullensis* y *Quercus laurina*, el sesgo era previsible, dada la escasa superficie representada en el Parque Nacional Nevado de Toluca y al alto nivel de intervención antrópica en estas ocupaciones forestales que han provocado una modificación sensible en las dinámicas biológicas de la región. Para el caso particular del *Pinus Hartwegii*, se encontró un comportamiento más homogéneo, atribuible a las similares condiciones (altitud, relieve, accesibilidad) en las que esta especie se encuentra para ambas áreas de estudio.

Así, para el Parque Nacional Nevado de Toluca, la mayor concentración de carbono en biomasa aérea se encuentra en los bosques densos de *Abies religiosa*, con 287 Mg C /ha, seguido por los bosques de *Quercus laurina* (106.74 Mg C /ha), los de *Pinus hartwegii* (94.12 Mg C /ha) y finalmente, los de *Alnus jorullensis* (65.98 Mg C /ha). Estos contenidos de carbono fueron la base para estimar cada una de las 48 categorías en las que estaba involucrada una ocupación forestal.

Estimación del stock de carbono en ocupaciones forestales

Basados en el procedimiento explicado en la Tabla 2, se estimó el mismo stock de carbono para cada una de las 44 categorías restantes tomando en cuenta la densidad del arbolado y la existencia o no de asociación de dos o más especies. Así, el stock de carbono calculado para todas las categorías, fue la siguiente (Tabla 4):

Tabla 4. Stock de carbono en biomasa aérea para ocupaciones forestales en el APFFNT

Ocupación Forestal	Mg C/ha	Ocupación Forestal	Mg C/ha	Ocupación Forestal	Mg C/ha	Ocupación Forestal	Mg C/ha
Oyamel Denso	287.49	Oyamel-Pino Denso	239.15	Oyamel-Pino-Aile Denso	235.63	Aile-Pino Denso	73.02
Oyamel Semidenso	186.87	Oyamel-sPino Semidenso	155.45	Oyamel-Pino-Aile Semidenso	153.16	Aile-Pino Semidenso	47.46
Oyamel Fragmentado	100.62	Oyamel-Pino Fragmentado	83.70	Oyamel-Pino-Aile Fragmentado	82.47	Aile-Pino Fragmentado	25.56
Pino Denso	94.12	Pino-Oyamel Denso	142.46	Oyamel-Aile Denso	232.11	Aile-Oyamel-Pino Denso	97.19
Pino Semidenso	61.18	Pino-Oyamel Semidenso	92.60	Oyamel-Aile Semidenso	150.87	Aile-Oyamel-Pino Semidenso	63.17
Pino Fragmentado	32.94	Pino-Oyamel Fragmentado	49.86	Oyamel-Aile Fragmentado	81.24	Aile-Oyamel-Pino Fragmentado	34.02
Aile Denso	65.98	Aile-Encino Denso	76.17	Pino-Oyamel-Aile Denso	114.77	Aile-Oyamel Denso	121.36
Aile Semidenso	42.89	Aile-Encino Semidenso	49.51	Pino-Oyamel-Aile Semidenso	74.60	Aile-Oyamel Semidenso	78.88
Aile Fragmentado	23.09	Aile-Encino Fragmentado	26.66	Pino-Oyamel-Aile Fragmentado	40.17	Aile-Oyamel Fragmentado	42.48
Encino Denso	106.74	Encino-Aile Denso	96.55	Pino-Aile Denso	87.09	Encino-Pino Denso	103.59
Encino Semidenso	69.38	Encino-Aile Semidenso	62.76	Pino-Aile Semidenso	56.61	Encino-Pino Semidenso	67.33
Encino Fragmentado	37.36	Encino-Aile Fragmentado	33.79	Pino-Aile Fragmentado	30.48	Encino-Pino Fragmentado	36.25

Fuente: Elaboración propia

Así, el valor máximo reportado en contenido de carbono, pertenece a los bosques densos de *Abies religiosa* con 287 Mg C/ha y, en contraste, los bosques fragmentados de *Alnus jorullensis* son los que menor contenido de carbono tienen (23 Mg C/ha). Los resultados obtenidos fueron la base para la representación espacial de stock de carbono en el APFFNT.

Ocupación de suelo y stock de carbono

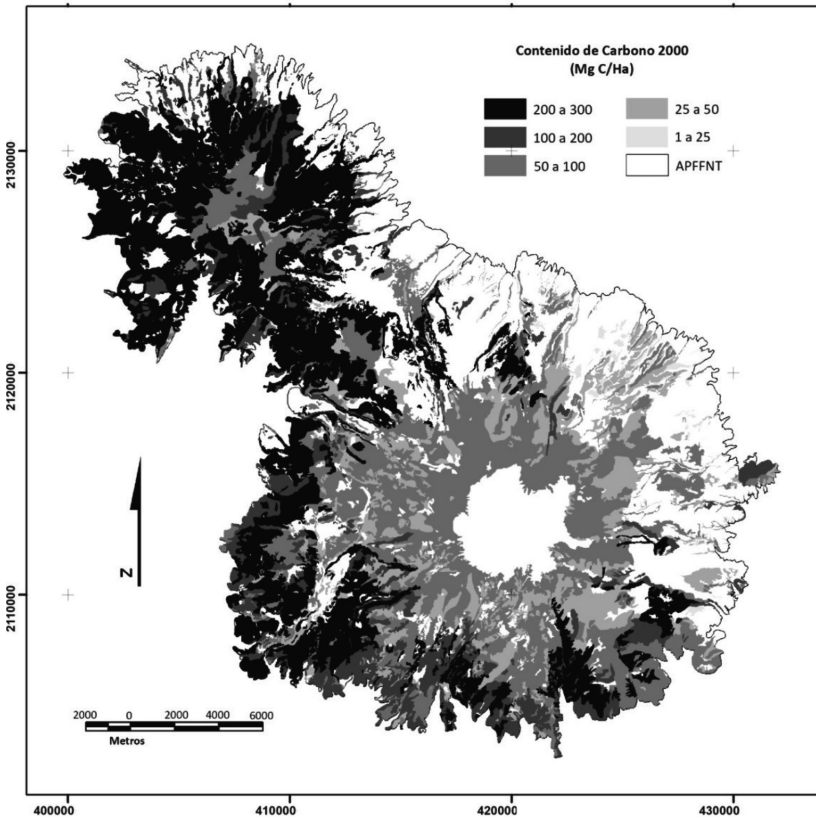
Derivado del proceso de interpretación interactiva, se obtuvieron los mapas de ocupación de suelo para los años 2000 y 2013, con 125 categorías cada uno. Antes del cálculo de contenido, pérdida y recuperación de carbono, se identificaron las áreas de transición entre las dos fechas de

estudio, resultando que, en 864 ha del área de estudio, han sucedido procesos de cambio (1.64 % del área de estudio, incluyendo las presentadas en áreas no forestales),

Posteriormente, ya identificadas las dinámicas de transición para el periodo de estudio, se reclasificaron dichos mapas para obtener categorías que marcaran la aparición de ocupaciones forestales y que, a su vez reflejaran la densidad del arbolado y la incidencia o no de áreas con asociación de dos o más especies arbóreas, resultando un mapa con 48 categorías, que coincidirían con los contenidos de carbono calculados.

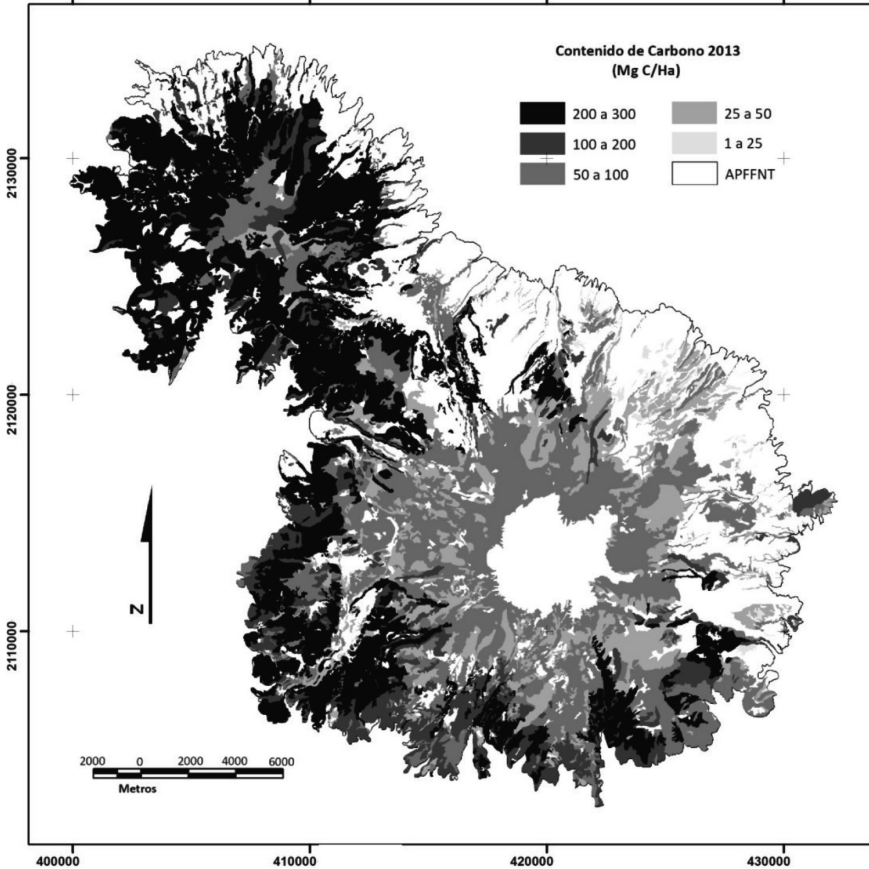
Así, calculado el contenido de carbono, se asignaron dichos valores a su categoría en mapa para ambas fechas, con lo cual se obtuvieron los mapas de contenido de carbono para los años 2000 y 2013 (Figuras 3 y 4).

Figura 3. Contenido de carbono 2000



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Contenido de carbono 2013



Fuente: Elaboración propia

Como es posible observar, las mayores concentraciones de carbono corresponden a la zona noroeste del ANP, en el área denominada “Peña Ahumada”, y sobre todo el borde poniente, cercano a la cota de los 3000 m.s.n.m, ambas zonas con coberturas forestales de *Abies religiosa*. Se evidencian, por otra parte, áreas de bosque de *Pinus hartwegii* con fuerte intervención antrópica con los niveles más bajo de contenido de carbono, hacia el borde del cono volcánico; de la misma manera se presenta un bajo nivel en bosques de latifoliadas, en la zona oriental del Parque Nacional. La Tabla 5 refleja el comportamiento de los contenidos de carbono de 2000 a 2013

Tabla 5. Contenido de carbono 2000-2013

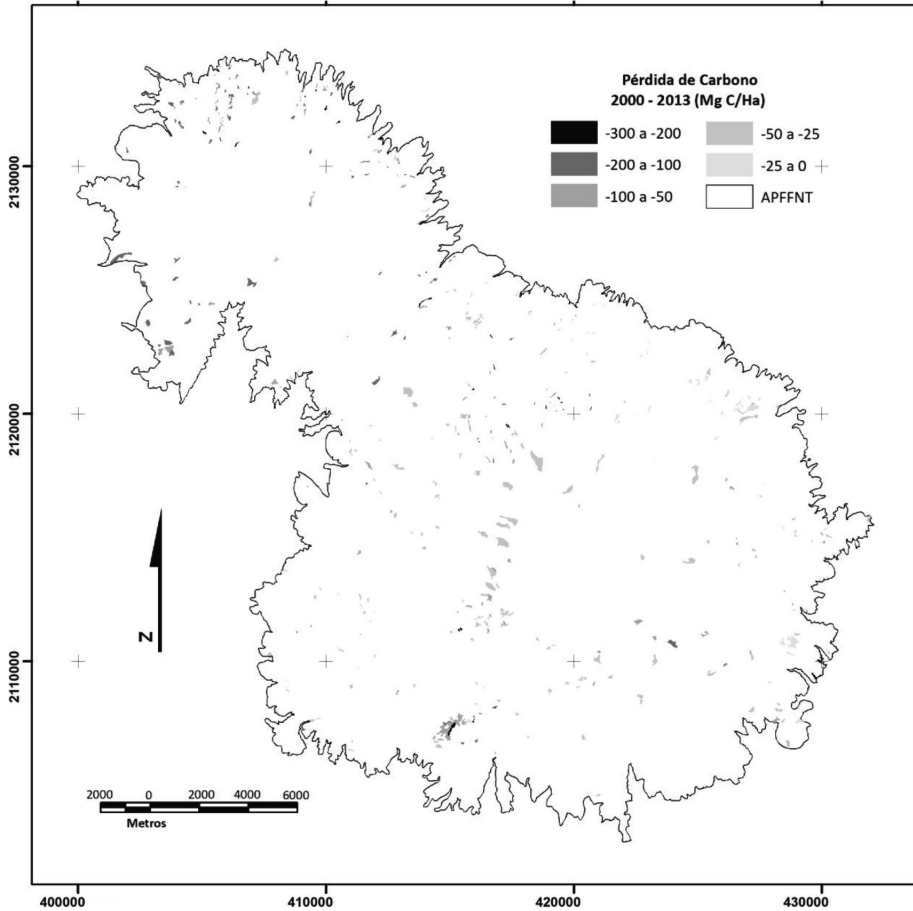
Categoría (Mg C/ha)	Superficie 2000 (ha)	Superficie 2009 (ha)	Balance (ha)
0.1 - 25	27.5	28.5	1
25 - 50	532.1	536.2	4.1
50 - 100	1122.6	1101.9	-20.7
100 - 200	458.3	455.7	-2.6
200-300	1382.3	1374.6	-7.7

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que resultan pocas las áreas en las cuales ha ocurrido un cambio de ocupación de suelo, puede observarse una dinámica más marcada en las zonas con concentraciones de carbono de entre 50 y 100 Mg C/ha, con casi 21 ha. En cuanto a contenidos totales de carbono, puesto que en el 2000 la zona boscosa del PNNT contenía 552,699.69 Mg C y para 2013, el contenido fue de 548,531.43 Mg C, la disminución de 4068.26 Mg C entre una fecha y otra supone un evidente proceso de deterioro forestal.

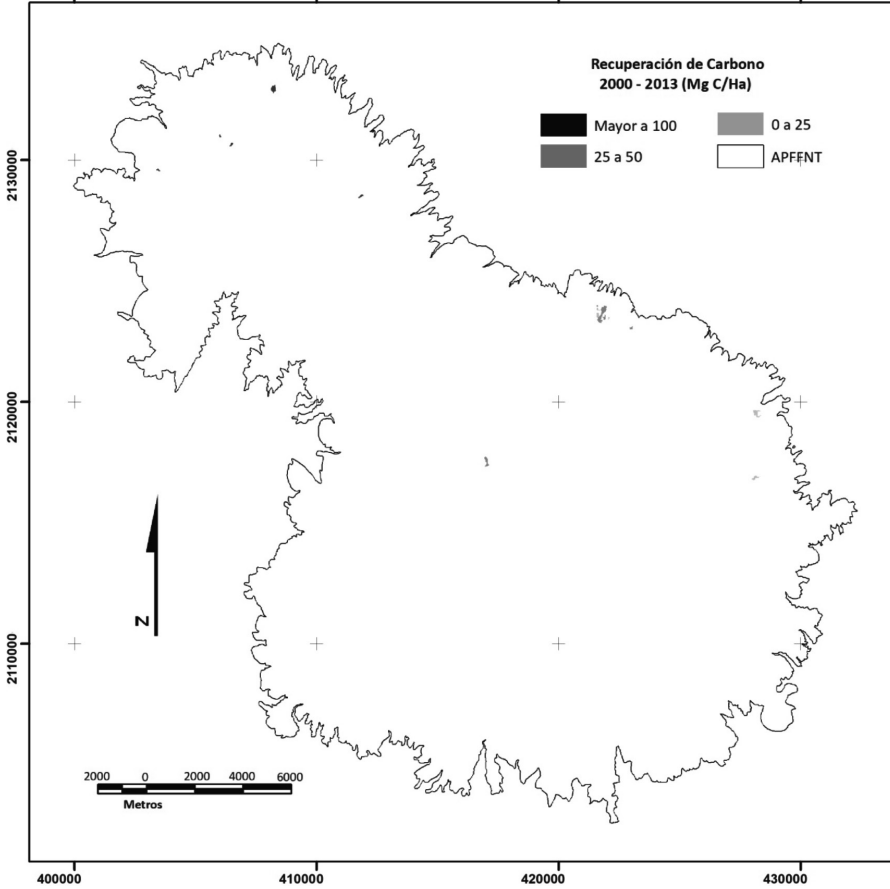
Posterior a éste proceso, se realizó la sobreposición sustractiva de los mapas de contenido de carbono 2000 y 2013, lo cual permitió observar las zonas en las cuales existe una mayor afectación en el arbolado, implicando un proceso de merma en el contenido de carbono, e igualmente, se identificaron las zonas en las cuales hay procesos de recuperación, aumentando el contenido de carbono en áreas específicas (Figuras 5 y 6).

Figura 5. Pérdida del contenido de carbono en zonas forestales



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Recuperación del contenido de carbono en zonas forestales



Fuente: Elaboración propia

Como es posible observar, la tendencia en contenido de carbono apunta hacia su pérdida, principalmente hacia la parte circundante del cono volcánico dentro de los bosques de *Pinus hartwegii*, con decrementos de -50 a -25 Mg C/ha, lo cual implica procesos de pérdida de densidad en la cobertura forestal, debido a la facilidad de acceso que permite la tala selectiva. Los procesos de pérdida total del arbolado (zonas con decrementos de -300 a -200 y -200 a -100 Mg C/ha) se encuentran principalmente en la zona de Peña Ahumada, en bosques de *Abies religiosa*, aunque con extensiones menores a las reportadas para disminución de densidad en *Pinus*

hartwegii. Por otro lado, se observan pequeñas áreas en las que se reportan procesos de recuperación, principalmente, al norte del cono volcánico. La Tabla 6 desglosa la dinámica de pérdida-recuperación de contenido de carbono en biomasa aérea:

Tabla 6. Pérdida-recuperación del contenido de carbono en zonas forestales

Categoría (Mg C /ha)	Superficie (ha)	Balance (Mg C)
50 a 110	0.85	85.23
25 a 50	1.57	64.00
0 a 25	1.01	21.82
-25 a 0	5.24	-111.62
-50 a -25	31.17	-1071.03
-100 a -50	11.97	-937.30
-200 a -100	11.92	-1530.22
-300 a -200	2.16	-589.14

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, los procesos de recuperación representan solo unas cuantas hectáreas, producto de las reforestaciones que anualmente se realizan, y que en términos generales tienen una muy baja tasa de prendimiento, aunque en el caso de los bosques de *Abies religiosa*, es de notar que, a pesar de no estar exento de intervención antrópica, su capacidad de regeneración es muy dinámica, con lo que puede decirse que existe estabilidad en sus poblaciones. En cuanto al incremento de *Alnus Jorullensis*, su dinámica es muy particular, dado que su expansión ha sido producto de una sucesión de coberturas a costa de áreas anteriormente cubiertas de bosque de *Pinus Hartwegii*, especie de mayor valor comercial, lo cual provocará paulatinamente cambios en las dinámicas biológicas del Área Natural Protegida.

En cuanto a los procesos de pérdida, es posible observar que las zonas en las cuales se disminuyó el contenido de carbono de entre 25 y 50 Mg C/ha, fueron las que reportaron mayor superficie de deterioro, con 31 ha, las cuales representaron una pérdida de 1071 Mg C para el periodo estudiado, reflejando una dinámica de reducción de abundancia del arbolado en forma de tala selectiva, ya sea por razones comerciales o por

saneamiento forestal. Por otro lado, las zonas en las cuales disminuyó el contenido de carbono de entre 100 y 200 Mg C/ha, sumando casi 12 ha, fueron las áreas en las que mayor pérdida de contenido se reportaron con 1530 Mg C, fueron éstas zonas en las que en su dinámica se marcó un grave proceso de disminución de densidad del arbolado, o en su defecto, un proceso de deforestación. En términos generales, la pérdida de carbono en el periodo 2000-2013 fue de 4239 Mg C, cifra mucho mayor a la de recuperación, calculada en 171 Mg C.

Conclusiones y recomendaciones

Después de analizar los contenidos de carbono para 2000 en comparación con 2013, se observó un balance negativo de 4068 Mg C, lo cual indica que el área de estudio va perdiendo paulatinamente su capacidad de retención de carbono, tanto por las actividades de extracción de recursos maderables como por la presencia de plagas y enfermedades en el arbolado, en concordancia con lo manifestado por Endara y Herrera (2016).

Derivado del mapa de almacenes-emisiones, se puede observar que en términos exclusivos de extracción, reforestación y dinámicas de regeneración más evidentes, el Parque Nacional Nevado de Toluca deja de captar 471 Mg C, mientras que solo se almacenan 19 Mg C derivado de nuevas superficies forestales, lo cual manifiesta un franco proceso de deterioro en la cobertura forestal y por consecuencia, una pérdida en la capacidad de almacenaje de carbono en las zonas forestales del ANP.

En el balance entre los contenidos de carbono 2000 y 2013, el rango entre 50 y 100 Mg C/ha, fue la categoría con mayor déficit en superficie de una fecha a la otra con -20.7 ha, coincidiendo el rango con las zonas en las cuales se encuentran los bosques de *Pinus hartwegii*, lo cual indica que, como históricamente se ha observado en el área de estudio, es ésta la especie en la que mayor dinámica de cambio de ocupación de suelo se presenta, y por lo tanto, en la que mayor susceptibilidad a dar continuidad a procesos de deterioro existe (Franco, *et al.*, 2006).

Metodológicamente, se puede decir que el uso de una clasificación de ocupación de suelo con un alto nivel de detalle, olvidando los tradicionales procesos de agrupamiento de categorías no solo en el proceso de determinación del cambio de ocupación, sino en la estimación del contenido de carbono de las diversas categorías forestales, derivó en productos con

resultados más consistentes que de los modos tradicionales, con importantes beneficios en precisión y extensión estudiada.

Es de remarcar la importancia en estudios de estimación de contenidos de carbono, utilizar un sistema de clasificación de ocupación de suelo en los que se privilegien criterios de abundancia-dominancia. En éste sentido, el sistema utilizado para la cartografía de uso de suelo y vegetación CETENAL (1976) cumplió los criterios mencionados.

La presente metodología resultó tener un balance positivo, puesto que, si bien, la inversión en tiempos de generación de productos aumenta, los productos obtenidos son notablemente más consistentes que los elaborados por métodos tradicionales. Igualmente, bajo éste tipo de procedimientos, destaca la capacidad de replicabilidad del estudio en periodos de tiempo relativamente cortos, lo cual permitirá tener un cuidadoso monitoreo de la dinámica sucedida en los bosques del área de estudio, y así llegar a un nivel de toma de decisiones de una manera aún más fundamentada.

Derivado del presente estudio, quedan aún líneas de investigación, de las cuales es imperativo su estudio como el análisis de transiciones en ocupaciones no forestales, la relación de las zonas de disturbio con la distancia a localidades y vías de acceso, la generación de los escenarios futuros basados en las tendencias actuales de transición y la determinación del impacto generado en cada delimitación socioeconómica (ejidal, comunal o privada) y la influencia de políticas públicas.

Referencias

- Alcántara, E. V. y Padilla, R. E. (2010). Determinantes del crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990-2007). En: *Revista Galega de Economía*, 19, (1), 1-15
- Ávila, B.C.H. y López, M.L. (2001) Distribución y análisis estructural de *Abies hickelii* (Flous and Gausson) en México. En: *Interciencia* 26, (6), 244-251. Recuperado: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33905704> ISSN 0378-1844
- Badia, A., Pélach, A., Vera, A., Tulla, A.F. & J.M. Soriano. (2014). Cambios en los usos u cubiertas del suelo y los efectos en la vulnerabilidad en las comarcas de montaña de Cataluña. El rol del fuego como herramienta de gestión a los incendios como amenaza. En: *Revista Pirineos*, 169 e001. <http://dx.doi.org/10.3989/Pirineos.2014.169001>

- Beer, C., Reichstein, M., Tomelleri, E., Ciais, P., Jung, M., Carvalhais, N., Rodenbeck, C., Altaf, Arain, M., Baldocchi, D., Bonan, G.B., Bondeau, A., Cescatti, A., Lasslop, G., Lindroth, A., Lomas, M., Luysaert, S., Margolis, H., Oleson, K.W., Rouspard, O., Veenendaal, E., Viovy, N., Williams, C., Woodward, F.I. & Papale, D. (2010). Terrestrial gross carbon dioxide uptake: global distribution and covariation with climate. En: *Science* 329,834–838
- Bellassen, V. & Luysaert, S. (2014). Carbon sequestration: Managing forests in uncertain times. En: *Revista Nature*, 506, 153–155. doi: 10.1038/506153a
- Bolin, B. & Sukumar, R. (2000). Global Perspective. En: *Watson, R. ed. IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change And Forestry*. IPCC. New York. (pp. 23-51)
- Castellanos, E. J., Quilo, A. & Mato, A. R. (2010). *Metodología para la Estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala*. Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala y CARE-Guatemala. (pp. 29).
- CETENAL. (1976). *Instructivo para la elaboración de la carta de uso de suelo*. Comisión de Estudios del Territorio Nacional, México. (52 pp)
- CGE (2005). Handbook on Land-Use Change and Forestry Sector (600 pp.). *Consultative Group of Experts on National Communications from Parties not included in Annex I to the Convention*. United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Cruz, N. X., Bernabé, C. R. & Hill, C. M. (2015). Directrices y tendencias de mitigación. *Reporte Mexicano de Cambio Climático. Grupo III Emisiones y mitigación de Gases de Efecto Invernadero*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. (pp. 324). ISBN 978-607-02-7369-8
- Chávez, C. E., Paz, P. F. & Bolaños, G. M. A. (2017). Estimación de biomasa y cobertura aérea usando radiometría e imágenes digitales a nivel de campo en pastizales y matorrales. En: *Revista Terra Latinoamericana*, 35,247-257.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel, España.

- Endara, A.R. & Herrera, F. (2016). Deterioro y conservación de los bosques del Nevado de Toluca y el rol de los actores locales. En: *Revista Ciencia ergo-sum*, 23, (3). 247-254. Recuperado: <https://cienciaer-gosum.uaemex.mx/article/view/7367/5901>
- Echeverri, L. C. A. (2006). Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería, (Córdoba, Colombia). En: *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5, (9), 85-96.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2015). *FAO assessment of forests and carbon stocks, 1990–2015*. Reduced overall emissions, but increased degradation. Rome FAO. Recuperado: <http://www.fao.org/3/a-i4470e.pdf>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1998). Terms and Definitions. *Forest Resources Assessment Programme, Working Paper 1*. Roma, Italia.
- Franco, S., Regil H.H., & Ordóñez, J.A.B. (2006). Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. En: *Revista Madera y Bosques*, 12, (1). 17-28. Recuperado de: <https://doi.org/10.21829/myb.2006.1211247>
- Franklin, E. C.; Rodríguez, M. V., Recalde, C. G. & Vinueza, L. M. (2014). Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. En: *Revista Información Tecnológica*, 25, (3), 83-92. doi: 10.4067/S0718-07642014000300011
- Gayoso, A. J. & Guerra, C. J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. En: *Revista Bosque*, 26, (2), 33-38. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002005000200005>
- González-Casares, M., Yerena-Yamallel, J. I. & Pompa-García, G. M. (2016). Measuring temporal wood density variation improves carbon capture estimates in Mexican forests. En: *Revista Acta Universitaria*, 26,(6), 11-14. doi: <http://dx.doi.org/10.15174/au.2016.1206>.
- González, M.; Jurado, E.; González, E.; Agruirre, C. O.; Juménez, P. J. y Navar, J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. En: *Revista Ciencia UANL*, 6, (3), 377-385.
- Grace, J. (2004) Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology*, 92,189–202.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2005). Informe especial del IPCC. *La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono*. Metz, B.; Davidson, O., de Coninck, H., Loos, M. & Meyer, L. (Editores). (pp. 66). ISBN 92-9169-319-7
- Latifi, H., Fassnacht, F.E., Hartig, F., Berger, C., Hernández, J., Corvalán, P., & Koch, B. (2015). Stratified aboveground forest biomass estimation by remote sensing data. In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38, 229-241. (¿?) 10.1016/j.jag.2015.01.016
- Lojan, L. (1966). *Apuntes del curso de dasometría*. IICA. Turrialba. Costa Rica. C.A. (pp. 189)
- Mas, J. F., & Flamenco-Sandoval, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. En: *Revista GeoTrópico*, 5, (1), 1-24.
- Ordóñez, C. y Martínez, A. (2003). *Sistemas de información geográfica: aplicaciones prácticas con Idrisi32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales*. Alfaomega-Ra-Ma, España. (pp. 248)
- Ordoñez, J., De Jong B., García, F., Aviña, F., Pérez, J., Guerrero, G., Martínez R. & Masera, O. (2008). Carbon content in vegetation, litter and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. In: *Journal Forest Ecology and Management*. 255, (7), 2074-2084. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.024>
- Ordóñez, J. B. y Masera, O. (2001). Captura de Carbono ante el cambio climático. En: *Revista Madera y Bosques*, 7, (1). 3-12. Recueprado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61770102>
- Ordóñez, J. B. (2008). Cómo entender el manejo forestal, la captura del carbono y el pago de servicios ambientales. *Ciencias* (90), 36-42. <https://www.redalyc.org/pdf/644/64411395006.pdf>
- Orozco-Hernández, M. E., Míreles-Lezama, P., Valdez-Pérez, M. G. & Valdés-Carrera, A. C. (2013). Cubiertas forestales y escenarios de Carbono en el Estado de México, 2002-2010. *Revista Geográfica de América Central*, 51. 169-188.

- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S.W., McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. En: *Science* 333, 988–993.
- Raynal-Villaseñor, J. A. (2011). Cambio climático global: una realidad inequívoca. En: *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*, 12, (4), 421-427.
- Razo-Zárate, R., Gordillo-Martínez, A. J., Rodríguez-Laguna, R., Maycotte-Morales, C. C. & Acevedo-Sandoval, O. A. (2013). Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo, México. En: *Revista Madera y Bosques*, 19,(2). 73-86.
- Regil, H.H. y Franco, S. (2009). Nivel de adecuación del territorio para el desarrollo de especies agrícolas y forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Economía, sociedad y territorio*. IX (31): 803-830. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.22136/est002009168>
- Rodríguez, B. y Franco, S. (2003). La identificación de servicios ambientales entre zonas urbanas y rurales: captura de carbono en el Parque Nacional Nevado de Toluca. En: *Carreño, F. ed. Planeación del Territorio y Ambiente en América Latina*. Tomo II. UAEM, Toluca, México. (pp. 243-260)
- Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J. & Razo-Zárate, R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biósfera El Cielo, Tamaulipas. En: *Revista Ra Ximhai*, 5, (3), 317-327.
- Rodríguez-Larramendi, L. A., Guevara-Hernández, F., Reyes-Muro, L., Ovando-Cruz, J., Nahed-Toral, J., Prado-López, M. & Campos Saldaña, R. A. (2016). Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. En: *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7, (37). 77-94.
- Rueda, A. J. C., Gay, C. & López, M. L. (2015). Introducción en Gay, G. C. y Clemente, R. A. (Coord.). (2015). *Reporte Mexicano de Cambio Climático. Grupo III Emisiones y mitigación de Gases de Efecto Invernadero*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. (pp. 324) ISBN 978-607-02-7369-8

- Rojas, F. & Villers, L. (2008). Estimación de la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala y Puebla. En: *Revista Ciencia forestal en México*, 33,(104). 59-86. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/259953717_ESTIMACION_DE_LA_BIOMASA_FORESTAL_DEL_PARQUE_NACIONAL_MALINCHE_TLAXCALA-PUEBLA
- Román, F y H. Ramírez. (2010). *Dendrometría*. División de ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Ruiz-Díaz, C., Rodríguez-Ortiz, G., Leyva-Lopez, J. C. & Enríquez-del Valle, J. R. (2014). Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México. En: *Naturaleza y desarrollo*, 12.. 28-45.
- Santibañez, G. E. (2014). Captura y almacenamiento de carbono para mitigar el cambio climático: modelo de optimización aplicado a Brasil. En: *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, 30, (3), 235-245.
- Sotomayor, J. (2002). Características mecánicas de la madera y su aplicación en la industria de la construcción. En: *Revista Ciencia Nicolaita*, 33,127-138. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3268.1124>
- Thomlinson, J.R., Serrano, M.I., del M. Lopez, T., Aide, T.M. & Zimmerman, J.K. (1996) Land-use dynamics in a post-agricultural Puerto Rican landscape (1936–1988). En: *Biotropica* 28,(4),525-536.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2010). *Ficha informativa: Reducción de las emisiones derivadas de la deforestación en países en desarrollo: planteamientos para estimular la adopción de medidas*. Recuperado: https://unfccc.int/files/portal_espanol/press/application/pdf/fact_sheet_sp_deforestation.pdf
- Villavicencio, E. & Valdez, J. (2003). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. En: *Revista Agrociencia* 37, (4).. 413-423. Recuperado de <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2003/jul-ago/art-10.pdf>
- Wright, S.J. (2005). Tropical forests in a changing environment. *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 553–560.



Efeitos da precipitação pluviométrica sobre a produção agrícola nos municípios de Belmonte e Ipiaú, estado da Bahia, Brasil

Effects of pluviometric precipitation on agricultural production in the municipalities of Belmonte and Ipiaú, Bahia states, Brazil

Efectos de la precipitación pluviométrica sobre la producción agrícola en los municipios de Belmonte y Ipiaú, Estado de Bahia, Brasil

Paulo César Bahia de Aguiar¹

Nelma Lima Bruno²

Mônica de Moura Pires³

Christiana Cabicieri Profice⁴

Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, Ilhéus, Bahia

Josiclêda Domiciano Galvêncio⁵

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco

- 1 Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz -- UESC, Ilhéus, Bahia, Brasil. Bolsista da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB. E-mail: prof.pauloaguiar@bol.com.br
- 2 Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela UESC, Ilhéus, Bahia, Brasil. Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES. E-mail: nelmalima06@hotmail.com.
- 3 Doutora em Economia Rural. Professora Plena do Departamento de Ciências Econômicas da UESC. E-mail: mpires@uesc.br
- 4 Doutora em Psicologia Social pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Professora Titular do Departamento de Filosofia e Ciências Humanas da UESC. E-mail: ccprofice@uesc.br
- 5 Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba. Professora Associada I da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. E-mail: josicleda@gmail.com

Resumo

Este artigo tem como objetivo comparar e analisar as influências dos padrões de precipitação pluviométrica, em dois períodos distintos de normais climatológicas (médias do acumulado mensal), sobre a produção agrícola dos municípios de Belmonte e Ipiaú, Bahia. Para isso, fez-se levantamento de dados secundários de natureza socioeconômica para caracterização socioeconômica dos municípios; séries históricas de dados pluviométricos, relativas aos períodos de 1956 a 1987, e 1996 a 2017 (Belmonte) e 1950 a 1979 e 1980 a 2008 (Ipiaú). Com isso, fez-se comparação e análise dos dois períodos e a evolução dos principais produtos agrícolas dos municípios, a fim de identificar as influências dos padrões de chuva na produção agrícola. Verificou-se que em Belmonte, na maior parte do período entre os anos de 2004 a 2015, houve diminuição no perfil total de chuva, e os principais produtos agrícolas apresentaram produção crescente ou estável. Em Ipiaú, observou-se que os picos de chuva dentro do total pluviométrico foram maiores no primeiro período analisado (1950 a 1979); e que excessos de chuva influenciaram negativamente alguns cultivos, sobretudo a produção de olerícolas cultivadas por pequenos e médios agricultores. Pode-se inferir que para os períodos analisados o padrão de pluviosidade pouco se alterou, e as mudanças observadas não afetaram a distribuição de chuvas ao longo do ano, mantendo-se relativamente bem distribuída.

Palavras-chave: dinâmica climatológica; Agricultura; Normais climatológicas.

Abstract

The objective of this article is to compare and analyze the influence of rainfall patterns, in two distinct climatological normal periods (average monthly accumulation), on the agricultural production of the municipalities of Belmonte and Ipiaú, Bahia. For this, secondary socioeconomic data were collected for the socioeconomic characterization of the municipalities; historical series of rainfall data for the periods 1956 to 1987 and 1996 to 2017 (Belmonte) and 1950 to 1979 and 1980 to 2008 (Ipiaú). This led to the comparison and analysis of the two periods and the evolution of the main agricultural products of the municipalities, in order to identify the influence of rainfall patterns on agricultural production. It was verified that in Belmonte, during the majority of the period between the years 2004 to 2015, there was a decrease in the total rainfall profile, and the main agricultural products presented increasing or stable production. In Ipiaú, it was observed that rainfall peaks within the rainfall total were higher in the first period analyzed (1950 to 1979); and that excessive rainfall has negatively influenced some crops, especially the production of small and medium-sized farms. It can be inferred that for the periods analyzed, the rainfall pattern did not change much, and the changes observed did not affect the rainfall distribution throughout the year, remaining relatively well distributed.

Keywords: Climatological dynamics; Agriculture; Climatic norms.

Resumen

Este artículo tiene como objetivo comparar y analizar la influencia de los patrones de precipitación pluviométrica, en dos períodos distintos de normales climatológicas (medias del acumulado mensual), sobre la producción agrícola de los municipios de Belmonte e Ipiaú, Bahía. Para ello, se hizo el levantamiento de datos secundarios de naturaleza socioeconómica para la caracterización socioeconómica de los municipios; las series históricas de datos pluviométricos, relativas a los períodos de 1956 a 1987, y 1996 a 2017 (Belmonte) y 1950 a 1979 y 1980 a 2008 (Ipiaú). Con ello, se hizo una comparación y análisis de los dos períodos y la evolución de los principales productos agrícolas de los municipios, a fin de identificar las influencias de los patrones de lluvia en la producción agrícola. Se constató que en Belmonte, en la mayor parte del período entre los años 2004 a 2015,

hubo disminución en el perfil total de lluvia, y los principales productos agrícolas presentaron una producción creciente o estable. En Ipiáú, se observó que los picos de lluvia dentro del total pluviométrico fueron mayores en el primer periodo analizado (1950 a 1979); y que excesos de lluvia, influenciaron negativamente algunos cultivos, sobre todo la producción de olerícolas cultivadas por pequeños y medianos agricultores. Se puede inferir, que para los periodos analizados, el patrón de pluviosidad poco se alteró, y los cambios observados no afectaron la distribución de lluvias a lo largo del año, manteniéndose relativamente bien distribuida.

Palabras clave: Dinámica climatológica; Agricultura; Normas climatológicas.

Introdução

O clima se constitui em um elemento de fundamental importância para a sociedade humana, dentro da dinâmica da natureza, pois influencia diretamente o modo de vida humano e propicia condições fundamentais à sobrevivência das espécies.

Segundo Calazans, Levy e Moreau (2005), diferente do tempo meteorológico, que é uma experiência diária, ou seja, o estado instantâneo da atmosfera [numa dada porção de tempo e em determinado lugar], o clima é uma generalização ou integração das condições do tempo para certo período [normalmente um espaço de tempo mínimo de 30 anos], em uma determinada área. Esses autores pontuam que conceitos como elementos climáticos e fatores climáticos são fundamentais no entendimento sobre o clima. Por elementos climáticos entende-se um conjunto de grandezas que quantificam o clima, tais como a insolação, irradiância, temperatura e umidade do ar, nebulosidade, altura pluviométrica, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica, evaporação e precipitações; já por fatores climáticos entendem-se os agentes que condicionam o clima, nas diferentes escalas espaciais.

Os estudos de climatologia há décadas vêm ganhando importância tanto no contexto internacional quanto nacional. Essa importância se deve, sobretudo, às transformações que vem ocorrendo na dinâmica climática global, havendo alteração na dinâmica climatológica nos diferentes lugares, em muitos casos de forma acentuada, refletindo diretamente na vida das pessoas.

Algumas linhas de estudo apontam que o principal fator que tem levado a essas profundas modificações na dinâmica climática global tem sido as ações antrópicas, fruto do estilo de vida explorador da natureza e consumista da sociedade capitalista hodierna, que vem provocando degradação da natureza em escala e ritmo alarmantes. Por outro lado, há linhas

de estudo que apontam que as transformações que vem se sucedendo na dinâmica climática global é fruto da dinâmica da própria natureza, sem que as ações antrópicas tenham significância nesse processo.

Independente dos pontos de vista, nas últimas décadas os diferentes problemas associados às mudanças climáticas se intensificaram. Segundo Angelocci e Sentelhas (2010, p. 1), mudanças climáticas “designa uma tendência de alteração estatística significativa da média de um elemento climatológico ou de sua variabilidade em períodos de tempo mais extensos, como décadas ou séculos”, e, conforme apontam Souza e Azevedo (2012), após a publicação do 4º Relatório do IPCC (2007), passou a ser considerado, mais enfaticamente, resultado do aquecimento global.

Dentre os problemas associados ao aquecimento global e às mudanças climáticas, ou mesmo associado e potencializado por outros fatores de ordem natural, podem se mencionar os desastres naturais associados a enchentes, deslizamentos de encostas por excesso de chuva e retirada da cobertura vegetal, excessos de chuva em alguns lugares e períodos, e sua escassez em outros, terremotos, maremotos e furacões, dentre outros problemas que podem levar à perda de vidas humanas, a migrações forçadas, à ocorrência de refugiados ambientais, a perdas de lavouras e de efetivos na pecuária, e elevação no número de algumas doenças (Gouveia *et al*, 2017). Diversos estudos têm sido desenvolvidos voltados à compreensão das consequências das mudanças climáticas para os diferentes lugares, seu monitoramento e projeção de futuros impactos e meios de adaptação, servindo de subsídios à compreensão desse processo (Conti, 2005; Moraes *et al.*, 2005; Santos, 2018; Piao *et al.*, 2010; Barbieri, 2011; Souza e Azevedo, 2012; Kirsch e Schneider, 2016; Salamanca *et al.*, 2017).

Segundo Souza e Azevedo (2012), em escala local ou regional, observações de registros climáticos de longo prazo são de importância substancial para a identificação das tendências climáticas e as suas potenciais causas, pois os impactos das oscilações climáticas na sociedade normalmente estão associados aos eventos extremos de precipitação ou secas, se refletindo na agricultura, nos recursos hídricos, na saúde e sobre o meio ambiente.

Desenvolver estudos voltados à compreensão da dinâmica climática local, a partir de séries históricas “normais climatológicas” é fundamental para a identificação da tendência climática desses lugares e a possível predição de determinadas condições. Tais observações de uma série

padronizada, por exemplo, para um período de 30 anos, são de grande valia, e quando dentro desse período se trabalha com uma média, tem-se uma normal climatológica, que se constituiu em um indicador das condições susceptíveis de ocorrerem em dada região (Oliveira e Veccia, 2011). Portanto, estudar a dinâmica climatológica na escala local por meio de séries históricas padronizadas, como, por exemplo, na escala de um município, é salutar tanto para compreender a tendência climatológica local e sua influência em outras variáveis de importância para os grupos humanos ali localizados, a exemplo da produção agrícola, como para contribuir com a compreensão da dinâmica mais ampla do clima.

Nesse contexto, o presente estudo se propõe contribuir para ampliar as discussões a respeito da dinâmica climática e a sua relação com a produção agrícola, em escala local, a partir do estudo de dois municípios sul baiano, especialmente frente a atual conjuntura de transformações do clima, as quais geram necessidades de adaptações do ser humano e da natureza.

Sendo assim, a problemática de pesquisa levada em consideração neste artigo está relacionada às seguintes questões: Qual foi o perfil de evolução das normais climatológicas do município de Belmonte, Bahia, nos períodos compreendidos entre os anos de 1956 a 1987, e 1996 a 2016, e das normais climatológicas do município de Ipiaú, Bahia, nos períodos compreendidos entre os anos de 1950 a 1979, e 1980 a 2008?; Quais as possíveis influências dos padrões de precipitação pluviométrica recente na produção agrícola desses municípios? Portanto, este artigo tem como objetivo comparar e analisar dois períodos de normais climatológicas (médias do acumulado mensal) do município de Belmonte, e do município de Ipiaú, Bahia, e as possíveis influências dos padrões de precipitação pluviométrica recente na produção agrícola desses municípios.

A escolha desses dois municípios para serem estudados se deve às suas localizações geográficas: o município de Ipiaú está mais ao norte na microrregião Ilhéus-Itabuna, em uma posição interiorizada no continente; enquanto o município de Belmonte se encontra no limite sul da citada microrregião e em uma posição litorânea. Essas localizações distintas de cada município, associado às suas características fisiográficas específicas, permitirá ter certa noção se esses fatores têm influenciado para grandes variações nas normais climatológicas entre os municípios, ou se há semelhanças entre esses municípios no aspecto climatológico mesmo a despeito de suas localizações geográficas em pontos distintos do território.

Material e Métodos

Áreas de Estudo

O município de Belmonte possui uma extensão territorial de 1.970,14 km², está localizado na microrregião Ilhéus-Itabuna (composta de 41 municípios), conforme regionalização do IBGE (Figura 1), e é abrangido pelo Bioma Mata Atlântica. Na atual divisão regional do Brasil, estabelecida pelo IBGE em 2017, Belmonte está incluso na Região Geográfica Intermediária Ilhéus-Itabuna, a qual tem sob sua influência 51 municípios, e é composta pelas Regiões Geográficas Diretas (Imediatas) de Ilhéus-Itabuna, Teixeira de Freitas, Eunápolis-Porto Seguro e de Camacan. No âmbito do Governo do Estado da Bahia, o qual a partir de 2007 estabeleceu uma regionalização para o estado em 26 Territórios de Identidade, esse município está incluso no Território de Identidade Costa do Descobrimento, abrangendo áreas pioneiras da colonização nacional.

Por sua vez, o município de Ipiaú possui uma extensão territorial de 287,5 km², equivalendo a 0,05% da área total do estado; também está localizado na microrregião Ilhéus-Itabuna, e é abrangido pelo Bioma Mata Atlântica. Na divisão regional do IBGE de 2017, Ipiaú se encontra na Região Geográfica Intermediária Ilhéus-Itabuna. E, na regionalização promovida pelo estado da Bahia, encontra-se situado no Território de Identidade Médio Rio das Contas.

O indicador Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de Belmonte, do ano de 2010, colocou esse município na condição de Médio Desenvolvimento Humano, mesma condição do estado da Bahia; já o Brasil se encontrava na condição de Alto Desenvolvimento Humano. No referido município a variável que se sobressaía era a Longevidade (condição alta); na sequência vinha a Renda (condição média); e, por fim, a Educação, que ainda se encontrava em uma condição de baixo desenvolvimento (Tabela 1). Interessante se faz mencionar que tanto na escala do município de Belmonte, quanto na do Estado da Bahia ou mesmo a do Brasil, a variável Longevidade apresentava um Alto Desenvolvimento; já a Renda apresentava Médio Desenvolvimento, tanto no município quanto no estado, e Alto Desenvolvimento em nível de Brasil; e a variável Educação apresentava Baixo Desenvolvimento no município, mas Médio Desenvolvimento tanto em nível estadual quanto nacional – sendo essa a variável mais baixa nas três esferas, implicando dizer que mesmo tendo ocorrido relativas

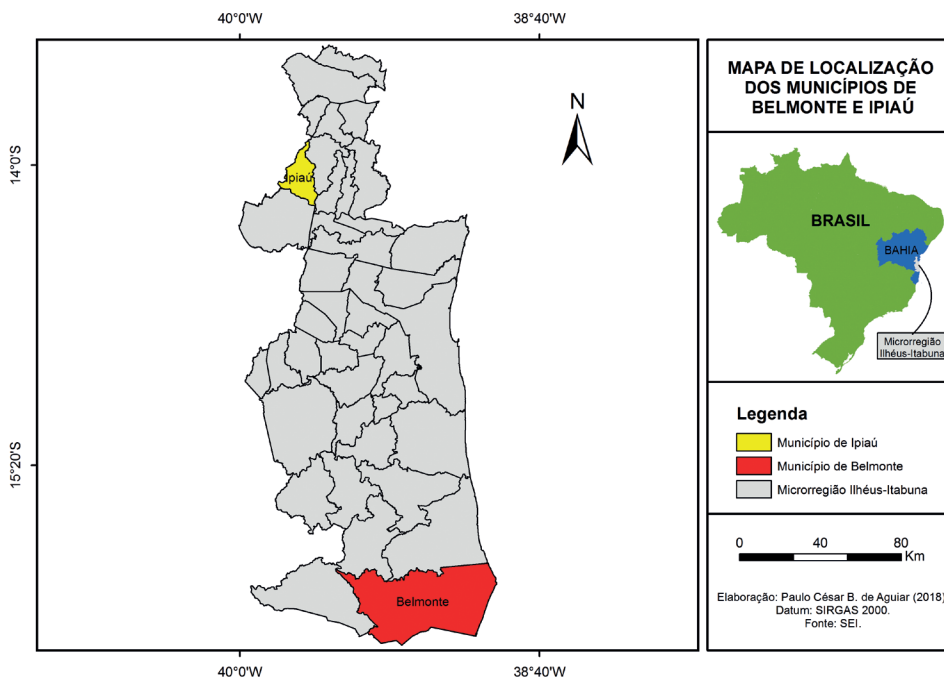


Figura 1. Localização de Belmonte e Ipiaú na microrregião Ilhéus-Itabuna, da microrregião Ilhéus-Itabuna no estado da Bahia, e da Bahia no Brasil.

Elaboração própria: Aguiar, Paulo César B. de., a partir de base cartográfica da SEI.

melhoras no âmbito da gestão e da efetivação do processo educativo, e, por conseguinte, nos seus resultados, ainda a educação nacional é uma problemática que requer a adoção de medidas eficazes de aprimoramento.

No aspecto sanitário, 88,68% dos domicílios do município considerado possuíam água encanada; 92,89% dos domicílios eram atendidos pelo sistema de coleta de lixo público; e 91,77% das residências possuíam energia elétrica (PNUD, 2013) – o que dá subsídio à população ao acesso a um conjunto de eletrodomésticos, considerados bens essenciais.

O município de Ipiaú, no ano de 2010, também apresentou um médio IDH-M, sendo que também para esse município a variável que se sobressaiu foi a Longevidade, que apresentou um Alto Desenvolvimento Humano, e a Educação foi a variável com menor desempenho, embora representando um Médio Desenvolvimento Humano.

Nos aspectos sanitários, 93,49% dos domicílios do município de Ipiaú possuíam água encanada; 99,05% das residências possuíam energia elétrica; e 97,28% dos domicílios eram atendidos pelo sistema de coleta de lixo público (PNUD, 2013).

Tabela 1. Índice de Desenvolvimento Humano do município de Belmonte e de Ipiaú, do Estado da Bahia e do Brasil, em 2010.

Ano	Indicador	Município de Belmonte	Município de Ipiaú	Estado da bahia	Brasil
2010	IDH	0,598	0,670	0,660	0,727
	Educação	0,480	0,551	0,555	0,637
	Longevidade	0,771	0,796	0,783	0,816
	Renda	0,577	0,687	0,663	0,739

Fonte: PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil, 2013.

Elaboração própria: Aguiar, Paulo César B. de.

Metodologia

Como metodologia, fez-se levantamento de dados secundários de natureza socioeconômica do município de Belmonte, de Ipiaú e da microrregião Ilhéus-Itabuna junto a instituições governamentais de planejamento, os quais foram tratados e representados por meio de tabelas sobre os municípios (tabelas de população, IDEB, IDH-M e PIB-M). Ainda foi construído mapa de localização dos municípios, no software ArcGis10.1. As tabelas e mapa possibilitaram com que fosse feita breve caracterização socioeconômica dos municípios em estudo.

Fez-se ainda levantamento de dados pluviométricos na página do Hidroweb, de série histórica relativa aos períodos de 1956 a 1987, e 1996 a 2016 para o município de Belmonte; e de 1950 a 1979, e 1980 a 2008 para o município de Ipiaú - (com ausência de alguns anos para ambos os municípios, em razão dos dados disponíveis). Esses dados foram tratados e representados na forma de gráficos e tabelas. Os gráficos se referem às normas climatológicas dos dois períodos considerados para cada município, ou seja, média mensal acumulada, em milímetros, e aos desvios relativos. A fórmula para cálculo da média do acumulado mensal (normas climatológicas) foi: somatório de todos os janeiros do período e a sua respectiva

média; e o mesmo procedimento para os outros meses, até dezembro. Para cálculo do desvio relativo, primeiramente teve-se que calcular o desvio absoluto. A fórmula para calcular o desvio absoluto foi: total mensal de determinado mês menos a média do acumulado mensal representativa do mesmo mês; isso para todos os meses. Já a fórmula para cálculo do desvio relativo foi: o desvio absoluto de determinado mês dividido pela média do acumulado mensal representativa do mesmo mês multiplicado por cem. Foi ainda construído gráfico de total anual de chuvas dos dois períodos, e construído um mapa de identificação da zona climática em que os municípios se encontram e das zonas de umidade, no ArcGis 10.1. Os gráficos, mapa e tabelas possibilitaram com que se fizesse a análise e comparação dos dois períodos de normais climatológicas (médias do acumulado mensal). As séries históricas dos períodos de dados diários de chuva têm sido um instrumento em potencial para levantar informações pretéritas e atuais para realizar correlações com eventos climáticos naturais ou antrópicos, e também divulgar projeções futuras. Nos últimos anos tem crescido o número de trabalhos envolvendo análise de séries históricas de elementos meteorológicos, devido ao aumento no interesse em responder a perguntas debatidas no meio científico, como, por exemplo, se o clima terrestre está mudando e de que forma essa mudança tem influenciado a agricultura.

Por fim, construiu-se uma tabela com a evolução da produção dos principais produtos agrícolas do município de Belmonte em anos recentes, e uma para o município de Ipiaú, a partir da Pesquisa Agrícola Municipal, associados aos dados de precipitação pluviométrica anual, os quais possibilitaram com que se identificassem as possíveis influências dos padrões de precipitação pluviométrica recente na produção agrícola.

Dinâmica Climatológica em Belmonte e Ipiaú

O município de Belmonte, segundo divisão do território nacional em Zonas Climáticas, pelo IBGE, ou unidades climáticas brasileiras, encontra-se situado na Zona Tropical Nordeste Oriental (Figura 2). No que se refere à distribuição de umidade, o território desse município se encontra predominantemente nas faixas sem seca e subseca. Sua temperatura média é de 24°C (Nascimento; Dominguez, 2010).

Conforme classificação de Thornthwaite & Matther (1955, *apud* SEI, 1998), o clima onde se encontra o referido município é o úmido, e úmido a

subúmido; e, segundo a classificação de Koppen, o clima que abrange esse município é o de característica geral quente e úmido, com particularidades de regime de chuva sempre úmido (Af).

Em relação ao município de Ipiaú, segundo a classificação do IBGE em Zonas Climáticas ou unidades climáticas brasileiras, esse município encontra-se situado na Zona Tropical Brasil Central, que abrange quase todo o território do estado da Bahia (Figura 2).

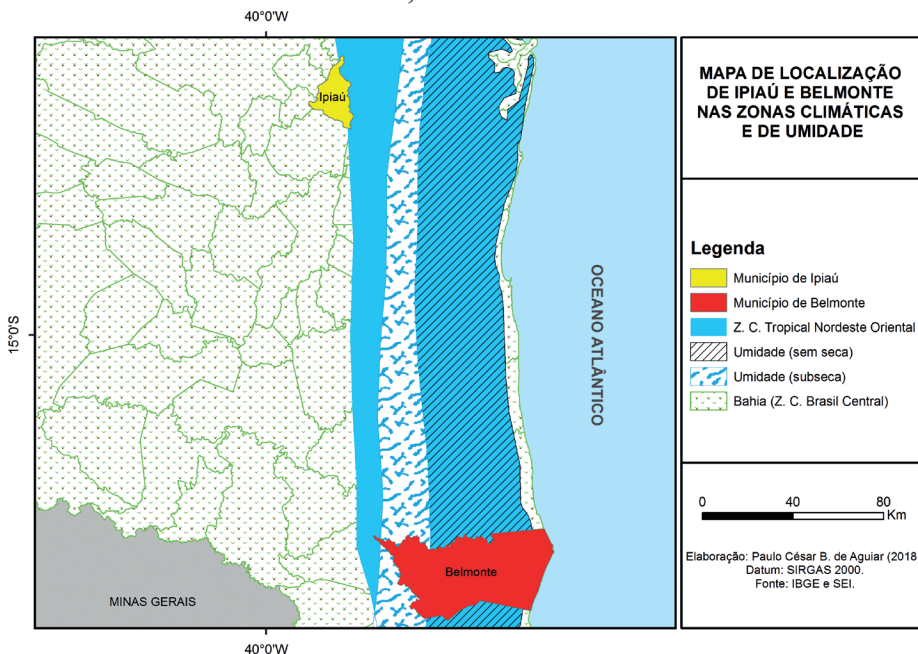
Segundo a classificação de Koppen, o clima predominante nesse município é o do tipo Tropical de Monção (Am), o qual é um clima de transição entre o tropical chuvoso de floresta/quente e úmido durante o ano todo (Af), o quente e temperado (As) e o tropical típico, com uma estação úmida no verão e outra seca no inverno (Aw) - o primeiro com estação de chuvas concentradas no outono/inverno, e o segundo, com período de chuvas concentrado na primavera/verão. Koppen ainda considera que a faixa de transição climática em estudo (Am) apresenta estação seca pouco pronunciada, compensada pelos totais anuais elevados.

As normais climatológicas do município de Belmonte para a série histórica de 1956 a 1987 (média do acumulado mensal de precipitação pluviométrica em milímetros - mm) permitem observar um regime de chuvas bem distribuído ao longo dos meses, com as maiores ocorrências em março (fim do verão), abril e maio (início e meado do outono), julho (meado do inverno) e novembro (meado da primavera). As maiores frequências de elevadas médias do acumulado de chuva se deram em meses do outono, com maior média no mês de maio (177,22mm). Já as menores médias acumuladas se deram em meses de fim de inverno e início de primavera, com a menor média no mês de setembro, com 84,47mm.

Para o período de 1996 a 2017, a série histórica permite observar, por meio da média do acumulado mensal, que o regime de chuvas do município considerado continuou bem distribuído ao longo dos meses, sendo que no fim do verão, no outono inteiro, e em meados da primavera estiveram os meses com maiores frequências elevadas de chuva. O mês que apresentou a maior média acumulada de precipitação foi novembro, com 201,095 mm; já o mês com a menor média acumulada foi setembro, com 77,54 mm.

No primeiro período, as normais climatológicas do município de Belmonte foram: janeiro 114,88mm, fevereiro 113,24mm, março 154,91mm, abril 166,06mm, maio 177,22mm, junho 143,88mm, julho 156,94mm,

Figura 2. Localização do município de Belmonte e de Ipiaú no que se refere às Zonas Climáticas do IBGE, e às faixas de regime de distribuição de umidade, no estado da Bahia.



Elaboração própria: Aguiar, Paulo César B. de. a partir de bases cartográficas do IBGE e da SEI.

agosto 112,94mm, setembro 84,47mm, outubro 102,49mm, novembro 154,88mm, dezembro 109,12mm. Já para o segundo período, as normais climatológicas foram: janeiro 104,41mm, fevereiro 103,375mm, março 156,43mm, abril 172,98mm, maio 179,505mm, junho 181,64mm, julho 140,87mm, agosto 91,945mm, setembro 77,54mm, outubro 114,07mm, novembro 201,095mm, dezembro 143,055mm.

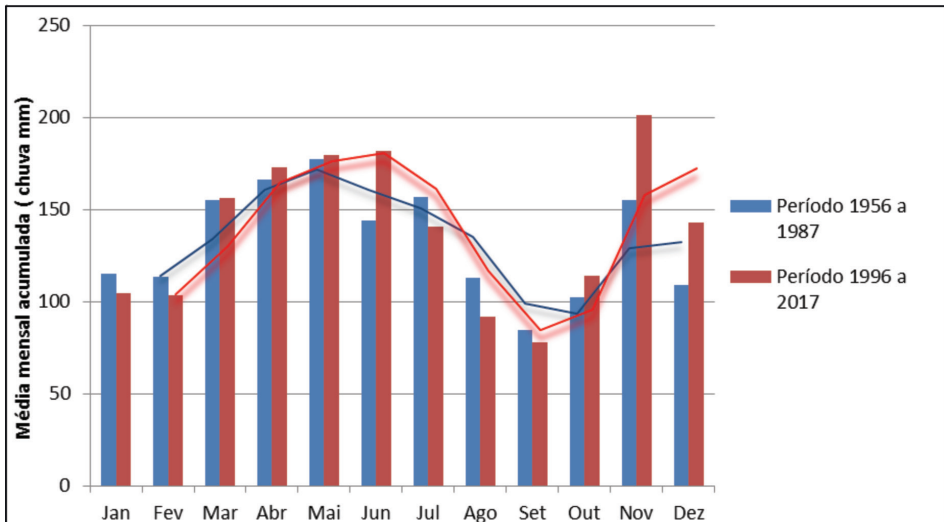
O comparativo entre as normais climatológicas do período 1956 a 1987 com o período 1996 a 2017 permite observar que, embora as médias de chuva nos dois períodos se apresentem bem distribuídas ao longo dos meses, no segundo período ocorre um aumento na média de chuva nos meses de março, abril, maio, junho, outubro, novembro e dezembro, se comparado aos mesmos meses do período anterior – o maior aumento na média acumulada se deu no mês de novembro, com 46,215mm a mais que o acumulado do mesmo mês do período anterior. Portanto, percebe-se que

o aumento na média acumulada de chuva se deu nos meses que compreendem o fim do verão, todo o outono e quase toda a primavera (Figura 3).

Por outro lado, os meses de janeiro e fevereiro, julho, agosto e setembro apresentaram redução na média acumulada mensal de precipitação atmosférica (chuva) no segundo período se comparado com o primeiro, ou seja, em meados do verão e praticamente em quase todo o inverno – sendo que a menor média acumulada se deu no mês de setembro, com 77,54mm (Figura 3).

De forma geral, o segundo período apresentou um acréscimo de 75,885mm na média acumulada de chuva no somatório dos meses, se comparado ao primeiro período. Possivelmente esse aumento geral na média total de precipitação no município podem estar ligados a fatores externos ao município, como aquecimento global, el niño, mudança climática, que são fatores que espriam suas consequências para diferentes lugares e impactam o local em maior ou menor intensidade em função da localização e de aspectos fisiográficos; ou mesmo pode estar associado conjuntamente a fatores internos ao município.

Figura 3. Comparativo entre as normais climatológicas do município de Belmonte, do período 1956 a 1987, com a normal climatológica do período 1996 a 2017.



Fonte: Hidroweb (2018).

Elaboração própria: Aguiar, Paulo César B. de.

Segundo Calasans, Levy e Moreau (2005), as precipitações podem variar tanto do ponto de vista geográfico quanto do aspecto sazonal, sendo que dentre os fatores que influenciam a precipitação estão a latitude (quanto mais próximo das baixas latitudes/próximo à linha do equador, maior é a incidência da radiação solar, de vegetação, de umidade, e, por consequência, de chuva); a distância do mar ou de outras fontes de água (quanto mais próximo de fontes de água maiores são as tendências de incidência de chuva por conta da forte evaporação, condensação e precipitação); altitude e orientação das encostas, que podem alterar a direção dos ventos ou podem antecipar a precipitação pluviométrica, por ser uma barreira à passagem de nuvens carregadas de chuva.

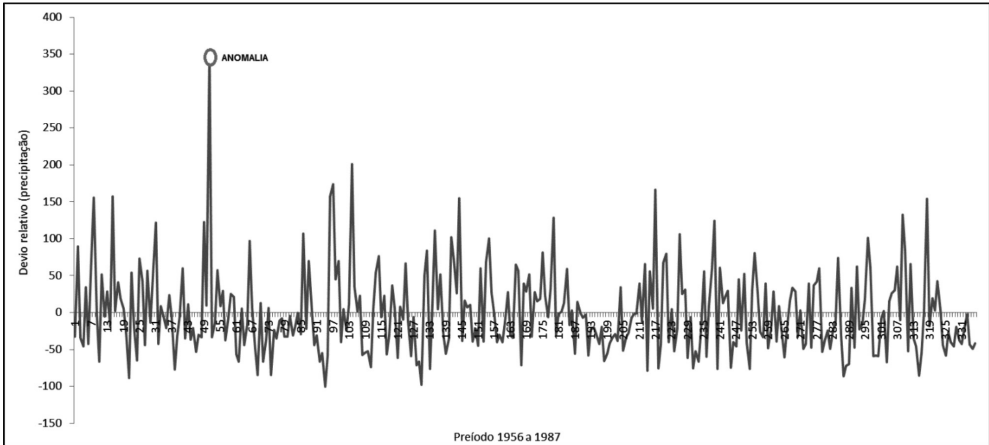
Estimativa de Nascimento e Dominguez (2010) aponta que originalmente o município de Belmonte teria sido coberto 100% por vegetação florestal típica da Mata Atlântica. Esse fato, associado à presença de extenso rio passando por seu território (Rio Jequitinhonha) e à localização geográfica desse município na faixa litorânea – fatores que estão entre os apontados por Calasans, Lévy e Moreau (2010) como favoráveis à boa incidência de precipitação - certamente contribuíram para a boa distribuição de chuva nesse município, sobretudo no primeiro período analisado.

Contudo, segundo Nascimento e Dominguez (2010), em anos recentes tem havido significativos desmatamentos no município de Belmonte, principalmente em áreas de tabuleiros costeiros, se concentrando ao lado da estrada BA-275 até a localidade de Cepá, e na parte central do município em direção oeste até a BR-101. Esse fato, pelos dados observados para o segundo período, não influenciou para um processo geral de redução de chuvas no município.

O desvio relativo para o total mensal de precipitação pluviométrica para o período de 1956 a 1987 aponta que, de forma geral, o período apresentou certa constância na tendência de precipitação, com alguns desvios nessa tendência ao apresentar certos picos mensais de chuva. O município de Belmonte, no referido período, apresentou uma anomalia de precipitação mensal no ano de 1960, dentro da concepção de anomalia apresentada por Angelocci e Sentellhas (2010), que seria uma flutuação grande de um elemento em uma série climatológica, ou seja, um desvio acentuado do padrão observado de variabilidade. No mês de março de 1960, os dados disponíveis apontam que o referido município apresentou um total mensal

de chuva de 690,2mm, levando a um desvio relativo de 345,557 – destoando completamente da tendência observada (Figura 4).

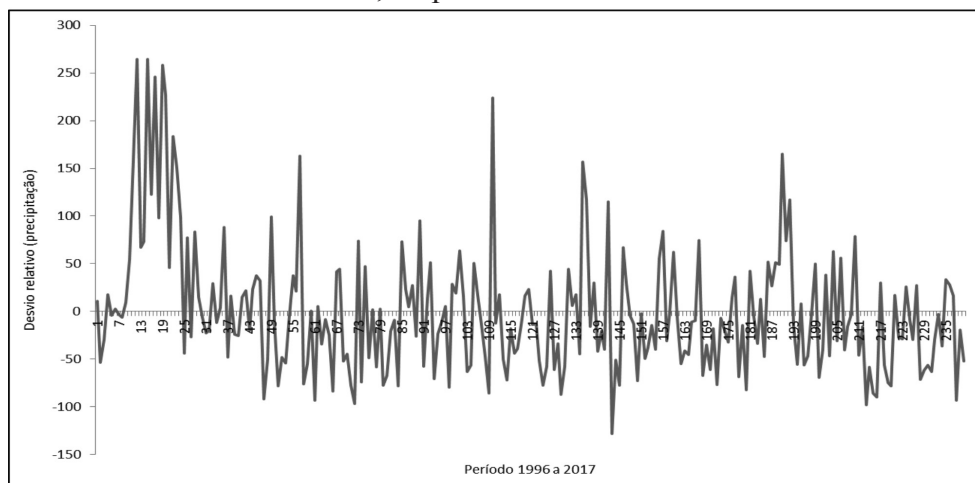
Figura 4. Desvio relativo (total mensal) de chuva no município de Belmonte, no período de 1956 a 1987.



Fonte: Hidroweb (2018). Elaboração própria: Aguiar, Paulo César B. de.

Já no período de 1996 a 2017, o município de Belmonte apresentou cinco anomalias de precipitação pluviométrica. Essas anomalias se deram no ano de 1996, quando no mês de novembro choveu 518,8mm, dando um desvio relativo de 157,988, e no mês de dezembro, quando choveu 521,3mm, dando um desvio relativo de 264,405; e no ano de 1998, quando no mês de março choveu 570,5mm, dando um desvio relativo de 264,670, no mês de maio, quando choveu 620,5mm, dando um desvio relativo de 245,673, e no mês de julho, quando choveu 504,6mm, dando um desvio relativo de 258,203 (Figura 5). Portanto, os dados relativos a esse segundo período apontam que no mesmo aconteceram meses com maiores extremos de picos de chuva, sobretudo nos primeiros anos.

Figura 5. Desvio relativo (total mensal) de chuva no município de Belmonte, no período de 1996 a 2017.



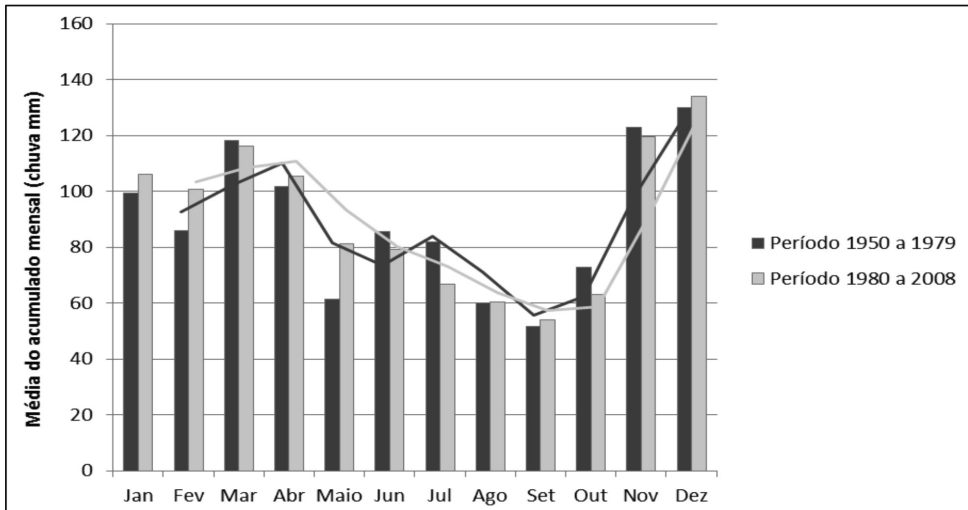
Fonte: Hidroweb (2018). Elaboração própria: Aguiar, Paulo César B. de.

Por sua vez, no que se refere ao município de Ipiaú, no período compreendido entre os anos de 1950 a 1979 (primeiro período analisado), as maiores médias do acumulado mensal de chuva apontam que as maiores incidências de precipitações pluviométricas se deram nos meses de novembro, dezembro, janeiro, março e abril; sendo que a maior média do acumulado mensal foi a do mês de dezembro, com 129,9mm. Os meses de fevereiro, junho, julho e outubro também apresentaram médias significativas, embora menores que as dos meses citados. As menores médias foram as dos meses de maio, agosto e setembro (sendo setembro a menor de todas, com 51,5mm).

Para o período de 1980 a 2008 (segundo período), os meses de dezembro, novembro e abril foram os meses que apresentaram as maiores médias mensais do acumulado de chuva, sendo o mês de dezembro aquele que apresentou a maior média, com 134,2mm; a partir do mês de maio a tendência foi de declínio das médias entre os meses subsequentes. O mês que apresentou a menor média do acumulado mensal foi setembro, com 54,1mm. Por estação do ano, as maiores médias de chuva foram as de fins de primavera, todo o verão e início do outono; já as menores médias foram as de inverno, início de primavera e fim do outono.

O comparativo entre os dois períodos considerados (Figura 6), para Ipiaú, permite perceber que o primeiro período apresentou uma maior quantidade de meses com elevada média de chuva se comparado com o segundo período. No que se refere à média anual de chuva, o primeiro período apresentou uma média anual de 1.071,3mm; já o segundo período, uma média anual de 1.087,5mm. Portanto, a média anual do segundo período superou a do primeiro em 16,2mm.

Figura 6. Comparativo entre as normais climatológicas do município de Ipiaú do período 1950 a 1979, com a normal climatológica do período 1980 a 2008.



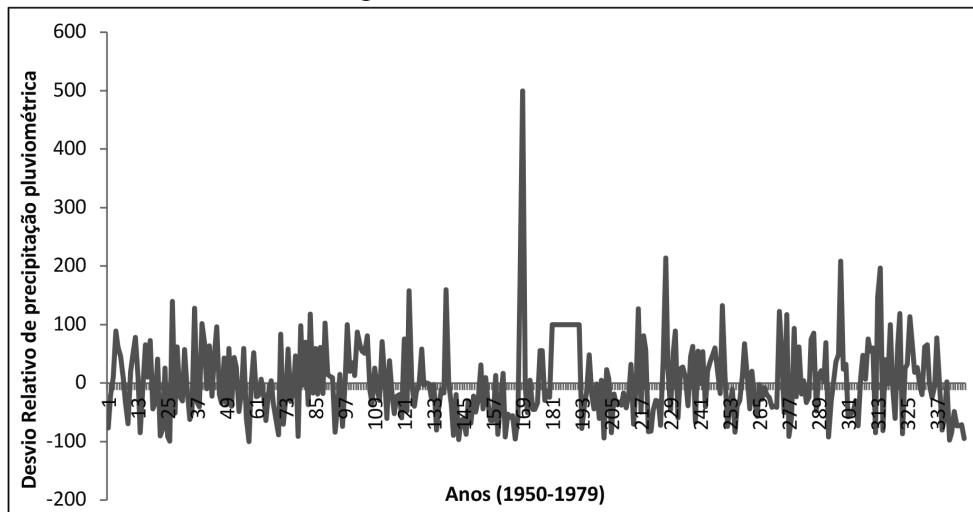
Fonte: Hidroweb (2018).

Elaboração própria: Aguiar, Paulo César B. de.

O desvio relativo para o total mensal de chuva em Ipiaú, relativo ao primeiro período, apontou que o perfil da tendência de distribuição de chuvas no período não apresentou significativas variações. Apenas um caso específico foge a essa regra, quando no mês de janeiro de 1964 choveu um total de 595,3mm, sendo que em apenas quatro dias do referido mês chegou a chover 300mm, ou seja, um elevado índice de chuva, bem superior à tendência (Figura 7). Nos demais meses ao longo de todo o período não se observou um total mensal de chuva que tenha ultrapassado os 300mm (a

exceção do mês de novembro de 1968, quando choveu um total de 386mm). O nível de chuva de 595,3mm observado em janeiro de 1964 se assemelha ao que Angelocci e Sentelhas (2010) chamam de anomalia climatológica, representando um desvio acentuado do padrão observado de variabilidade.

Figura 7. Desvio relativo da precipitação pluviométrica no município de Ipiaú, de 1950 a 1979.

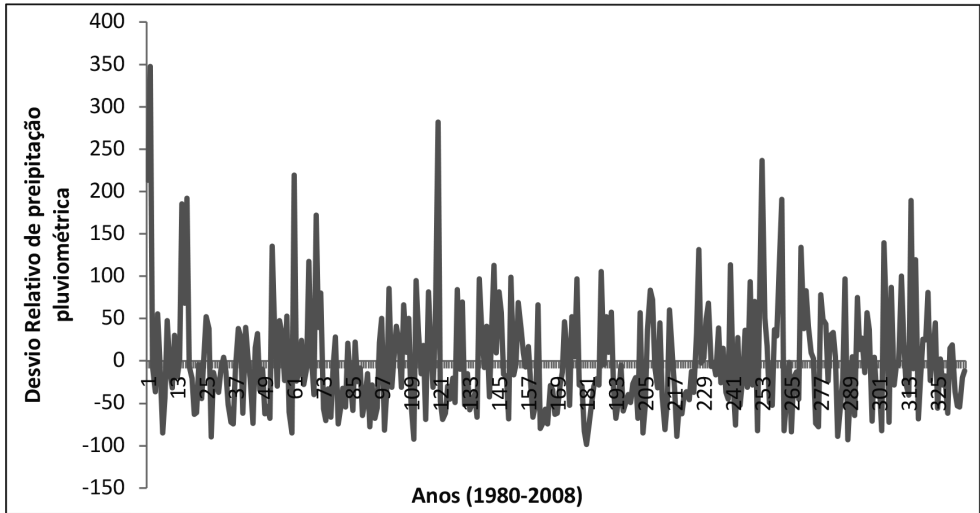


Fonte: Hidroweb (2018).
Elaboração própria: Bruno, Nelma Lima

Para o segundo período, o desvio relativo permite observar que ocorreram maiores picos de chuva, deixando evidente uma maior frequência na ocorrência de desvios da tendência de precipitação pluviométrica mensal (Figura 8). No mês de fevereiro do ano de 1980 o total mensal de chuva correspondeu a 451mm, sendo que as precipitações ocorreram em 21 dias, no entanto, houve picos de chuva em três dias, perfazendo 300,6mm, sendo que o maior pico de chuva registrado em um único dia do referido mês foi de 123,8mm. Em janeiro do ano de 1985, o total mensal de chuva foi de 339,1mm, os quais se deram em 21 dias, sendo que os maiores picos se deram em três dias do referido mês perfazendo um total de 186,2mm, ou seja, mais da metade da chuva do mês, tendo o maior pico de um dia do referido mês 84mm. O maior pico de chuva em um mês se deu em dezembro

de 1989, com uma precipitação total de 511,8mm, embora com um perfil de chuva bem distribuído no mês. Já em janeiro de 2002 o total mensal registrado foi de 357,6mm, os quais se deram em 21 dias do mês, porém as maiores chuvas nesse mês se deram em quatro dias, perfazendo 214mm, ou seja, mais da metade do que choveu no mês inteiro.

Figura 8. Desvio relativo da precipitação pluviométrica no município de Ipiaú, de 1980 a 2008.



Fonte: Hidroweb (2018).

Elaboração própria: Bruno, Nelma Lima.

Relação entre Precipitação Pluviométrica e Produção Agrícola nos Municípios

O município de Belmonte, segundo o censo do IBGE de 2010, possuía uma população total de 21.798 habitantes (Tabela 2), com densidade demográfica de 11 hab./km², representando 2% da população da microrregião Ilhéus-Itabuna, que segundo o mesmo censo era de 1.020.642 habitantes. Da população total do município de Belmonte, 51,19% eram pessoas do sexo masculino e 48,81% eram do sexo feminino, divergindo da realidade apontada pelo mesmo censo para o Estado da Bahia e para o Brasil, que possuíam, ambas as esferas, 51% da população sendo do sexo feminino contra 49% que era do sexo masculino.

A maior parcela da população do referido município já se concentrava no espaço urbano (52,39%), embora o percentual da população que se encontrava no espaço rural ainda fosse elevado (47,61%) se comparado com a tendência dos principais municípios da microrregião Ilhéus-Itabuna, ou mesmo com a do estado da Bahia e a do Brasil, cuja taxa de urbanização era bem mais elevada.

Por sua vez, o município de Ipiaú, segundo o censo de 2010, possuía uma população total de 44.390 habitantes (Tabela 2), representando 4,4% da população da microrregião Ilhéus-Itabuna, constituindo-se na terceira maior população dessa microrregião, com densidade demográfica de 154,54 hab./km². Da população total do município de Ipiaú, 49,18%% eram pessoas do sexo masculino e 50,82% eram do sexo feminino, seguindo a mesma tendência apontada pelo mesmo censo para o estado da Bahia e para o Brasil.

O município de Ipiaú caracteriza-se por ser altamente urbanizado, sendo que, segundo o mencionado censo, 91% da população municipal se concentravam no espaço urbano, com apenas 9% da população vivendo em áreas rurais.

Portanto, enquanto para o município de Belmonte os dados percentuais apontam para uma grande parcela da população municipal vivendo no espaço rural, evidenciando que as atividades desenvolvidas no espaço rural são significativas para subsistência de boa parcela da população; por outro lado, o município de Ipiaú apresenta um percentual esmagador de sua população habitando o espaço urbano, evidenciando a predominância do setor de serviços na manutenção das famílias.

Tabela 2. População masculina e feminina residente, urbana, rural e total do município de Belmonte (Bahia), em 2010.

SITUAÇÃO	POPULAÇÃO DO MUNICÍPIO DE BELMONTE EM 2010		POPULAÇÃO DO MUNICÍPIO DE IPIAÚ EM 2010	
	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA PERCENTUAL	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA PERCENTUAL
MASCULINA	11.159 hab.	51,19%	21.831 hab.	49,18%
FEMININA	10.639 hab.	48,81%	22.559 hab.	50,82%
URBANA	11.420 hab.	52,39%	40.395 hab.	91%
RURAL	10.378 hab.	47,61%	3.995 hab.	9%
TOTAL	21.798 hab.	100%	44.390 hab.	100%

Fonte: PNUD – Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, 2013.
Elaboração própria: aguiar, Paulo César B. de.

O indicador Produto Interno Bruto Municipal (PIB-M), ao se constituir em um instrumento de mensuração, permite identificar a participação econômica municipal em três macrossetores de atividade (agropecuária, indústria e serviços), possibilitando ter-se certa noção da produção de riqueza e a distribuição da população economicamente ativa pelos setores de atividade.

No período compreendido entre os anos de 1999 a 2012, a maior representação percentual do PIB-M de Belmonte no PIB da microrregião Ilhéus-Itabuna foi no ano de 2012, com representação de 2,3%, e a menor representação foi em 1999, com 1,2%. Já em relação ao PIB da Bahia, a maior representação do PIB de Belmonte foi em 2012, com 0,14%, e as menores representações foram nos anos 1999 e 2000, com 0,07% nos dois anos (Tabela 3). Entre os anos de 1999 a 2012, o principal setor de atividade econômica no município de Belmonte foi o setor de serviços. A despeito disso, observa-se que no ano de 2012 o setor agropecuário representou 40,90% do PIB municipal - um percentual bem expressivo. Tal crescimento na participação do setor agropecuário coincide com o crescimento vertiginoso na produção de toras em madeira para papel e celulose no município, e do valor dessa atividade obtida - em 2011 a produção foi de 260.200 metros cúbicos e o valor obtido foi de R\$ 12.268.000,00, e em 2012 a produção foi de 1.174.585m³ e o valor obtido foi de R\$ 87.554.000,00 (IBGE, 2015) – sendo que esse município é um dos grandes cultivadores desse produto, desenvolvido por empresa situada no Extremo Sul da Bahia. Além disso, o contingente de população rural desse município era significativo (conferir a tabela 2), o que implica em importância do setor agrícola para essa esfera da população.

Tabela 3. Produto Interno Bruto Municipal (PIB-M) de Belmonte por setores de atividades econômicas e sua participação percentual no PIB da microrregião Ilhéu-Itabuna e do estado da Bahia, de 1999 a 2012.

Ano	Belmonte/ PIB-M (R\$)	Participação das atividades econômicas no PIB-M de Belmonte				Participação do PIB-M de Belmonte no total do PIB da microrregião Ilhéus-Itabuna e no PIB da Bahia	
		Agropecuária	Impostos	Indústria	Serviços	Participação no PIB da Microrregião	Participação no PIB estadual
1999	30.265.000,00	24,30%	3,50%	9,95%	62,25%	1,2%	0,07%
2000	34.148.000,00	28,70%	3,10%	10,30%	57,90%	1,3%	0,07%
2001	44.022.000,00	29,30%	3,80%	11,40%	55,50%	1,5%	0,09%
2002	58.754.000,00	37,50%	4,60%	9,50%	48,40%	1,6%	0,10%
2003	54.521.000,00	27,90%	5,60%	9,90%	56,60%	1,3%	0,08%
2004	71.349.000,00	27,60%	8,00%	16,40%	48,00%	1,5%	0,09%
2005	83.235.000,00	21,40%	8,40%	20,90%	49,30%	1,6%	0,09%
2006	91.479.000,00	25,00%	7,50%	16,20%	51,30%	1,7%	0,09%
2007	90.509.000,00	27,00%	5,10%	12,80%	55,10%	1,5%	0,08%
2008	99.516.000,00	27,30%	5,20%	9,00%	58,50%	1,6%	0,08%
2009	137.442.000,00	37,20%	4,80%	8,00%	50,00%	1,8%	0,10%
2010	164.516.000,00	33,80%	4,50%	8,80%	52,90%	1,9%	0,11%
2011	166.729.000,00	28,60%	4,30%	9,00%	58,10%	1,8%	0,10%
2012	228.077.000,00	40,90%	3,40%	6,70%	49,00%	2,3%	0,14%

Fonte: Elaborado a partir de dados do IBGE (2015).

Elaboração própria: Aguiar, Paulo César B. de.

No período compreendido entre os anos de 1999 a 2012, o principal setor produtor de capital no município de Ipiaú foi o setor terciário (serviços), que de forma disparada correspondeu ao maior percentual da produção de receita no município e na concentração da maior parcela da população economicamente ativa que se encontrava ocupada em alguma atividade. O setor da indústria ocupou em todo o período (a exceção do ano de 2004) o segundo lugar na produção de recursos financeiros, atrás do setor de serviços, o que reforça a afirmativa do elevado nível de urbanização em que esse município já se encontrava e a posição de destaque do mesmo na microrregião, ocupando a terceira posição no âmbito socioeconômico, atrás apenas dos municípios de Itabuna e de Ilhéus - que são os centros polarizadores da microrregião (Aguiar, 2018; 2019). No mencionado período, percentualmente o PIB de Ipiaú teve pouca representação no PIB do estado da Bahia, variando entre a representação mínima de 0,16% (anos de 2005 a 2007) e a representação máxima de 0,22% (ano de 2002).

Embora importante para o município, a agropecuária de Ipiaú representou em todo o período considerado (a exceção do ano de 2004) o menor percentual dentre os setores de atividade (Tabela 4). Na agricultura municipal, os produtos agrícolas que se destacaram em produção e valores da produção foram: abacaxi, amendoim em casca, banana, cacau (em amêndoa), cana-de-açúcar, coco-da-baía, goiaba, mandioca e maracujá; sendo que, de forma geral, o cacau foi aquele que mais se destacou na geração de divisas para o município.

Tabela 4. Produto Interno Bruto Municipal (PIB-M) de Ipiáú por setores de atividades econômicas e sua participação percentual no PIB do estado da Bahia, de 1999 a 2012.

ANO	Participação das atividades econômicas no PIB de Ipiáú					Participação do PIB-M de Ipiáú no PIB da Bahia
	Ipiáú/ PIB-M (R\$)	Agropecuária	Indústria	Serviços	Impostos	
1999	80.159.000,00	5,70%	11,2%	75,6%	7,50%	0,19%
2000	80.445.000,00	5,80%	12,4%	73,5%	8,30%	0,17%
2001	96.843.000,00	4,70%	10,3%	74,3%	10,80%	0,19%
2002	131.512.000,00	6,40%	10,1%	73,4%	10,20%	0,22%
2003	138.229.000,00	5,90%	8,5%	75,1%	10,40%	0,20%
2004	144.056.000,00	10,10%	8,8%	71,9%	9,20%	0,18%
2005	145.910.000,00	5,10%	12,7%	73,7%	8,50%	0,16%
2006	157.303.000,00	5,50%	12,5%	73,9%	8,20%	0,16%
2007	174.850.000,00	5,50%	14,3%	73,4%	6,90%	0,16%
2008	223.915.000,00	4,00%	19,6%	69,3%	7,20%	0,18%
2009	272.602.000,00	4,60%	21,8%	66,4%	7,20%	0,20%
2010	298.542.000,00	4,80%	20,7%	67,5%	7,00%	0,19%
2011	307.896.000,00	4,30%	15,4%	73,4%	7,00%	0,19%
2012	308.537.000,00	4,50%	13,4%	74,6%	7,50%	0,18%

Fonte: Elaborado a partir de dados do IBGE (2015).

Elaboração própria: AGUIAR, Paulo César B. de.

A ausência ou o excesso de chuva se constitui em um dos fatores limitantes ao dinamismo e à estabilização da produção agrícola, isso revela a importância de estudos em climatologia como instrumento de realizar planejamento das atividades agrícolas. No período chuvoso, as precipitações se caracterizam pela forte intensidade, e no período menos chuvoso, são frequentes as estiagens de duração variável, elevando o risco para as áreas agricultáveis (Moraes *et al.*, 2005).

De acordo com Barbieri (2011), os choques climáticos afetam a disponibilidade de terras para cultivo e pecuária, o que afeta a capacidade produtiva e compromete a geração de renda e emprego. Dado o cenário climático A2 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)⁶, estudos da EMBRAPA indicam reduções significativas da oferta de terras aptas para a agricultura nos estados nordestinos. Espera-se, por exemplo, drástica redução de terras agricultáveis no Ceará (-79,6%), no Piauí (-70,1%), na Paraíba (-66,6%) e em Pernambuco (-64,9%). Ademais, estudos têm revelado que em ambientes rurais os pequenos e médios produtores familiares são os mais vulneráveis às oscilações climáticas extremas, especialmente as do gênero feminino. Além disso, tal problemática tem contribuído para a migração desses grupos para áreas periféricas das cidades, gerando mais pressões ambientais, as quais as políticas mitigadoras têm se mostrado insuficientes para minorar tais problemas (Kirsch; Schneider, 2016).

Para os grupos humanos que se encontram em condições socioeconômicas e ambientais mais susceptíveis de sofrer de forma mais profunda os impactos das mudanças climáticas, mesmo pequenas mudanças no clima podem ter impactos significativos sobre suas vidas e seus meios de subsistência. Pesquisas têm apontado que os danos provenientes da excessiva variação climatológica serão dificilmente suportados pelos agricultores de pequena escala, particularmente para os agricultores de países subdesenvolvidos e em vias de desenvolvimento (Machado Filho *et al.*, 2016).

O município de Belmonte, conquanto tenha no setor de serviços o principal setor de atividades econômicas, também apresenta na agropecuária um forte setor de atividades, com significativa representação na composição do PIB (conferir tabela 3). Essa importância do setor agropecuário

6 O IPCC projetou cenários distintos para diferentes regiões da terra conforme os possíveis impactos/ consequências futuras advindas das mudanças climáticas em curso.

pode estar diretamente influenciada por alguns fatores, como, por exemplo, o significativo percentual da população que ainda habita o espaço rural (conferir tabela 2), tendo nesse tipo de atividade a sua base de subsistência; os elevados e bem distribuídos índices de chuva no município, facilitado por sua localização geográfica em área litorânea em associação a relativa presença de vegetação de floresta típica da Mata Atlântica e a presença de um grande rio passando por seu território; e a ação de grande empresa explorando certo tipo de atividade típica desse setor; dentre outros fatores.

Por volta do ano de 1995 a cacauicultura ainda era a principal atividade agrícola do município de Belmonte, ocupando extensas áreas do seu território (Santos, 2008). Havia também extensas áreas do território municipal ocupadas por pastagens, significando supressão de áreas de floresta nativa por essa classe de uso do solo (*Ib.*). Segundo Santos (2008), desde 1973 as pastagens passaram a se constituir em elemento dominante na paisagem rural às margens da BR-101 e povoado de Santa Maria Eterna, e entre este e o povoado de Boca do Córrego (embora o município ainda apresentasse significativas áreas ocupadas por Floresta Ombrófila Densa), e ao longo da rodovia entre Santa Maria Eterna e o município de Canavieiras. A partir da década de 1980 esse processo de desmatamento tomou maior impulso no sentido norte do território de Belmonte, facilitado pela BR 101, a qual viabilizava o escoamento da madeira retirada dessas áreas. Santos (2008) acrescenta ainda que, as plantações de eucalipto iniciadas na década de 1990, vinham substituindo as áreas de pastagem, ocupando áreas planas dos tabuleiros, sem "ameaçar" as áreas com cacau. Porém, já no ano de 2005 havia um aumento significativo nas áreas ocupadas com o plantio de eucalipto, substituindo, em grande parte, áreas ocupadas com pastagens.

Segundo Nascimento; Dominguez e Silva (2009), gradativamente os tabuleiros costeiros dos municípios mais ao norte do Extremo Sul do Estado, como Belmonte, Eunápolis, Itabela, Itamaraju, Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália, passaram a ser ocupados com cultivo de eucalipto. Esses autores mencionam que de 1990 para 2005, as áreas com eucalipto aumentaram nesse período 6,44 vezes (passando de 2.500 hectares para 18.600 hectares), favorecido pela implantação da unidade industrial da Veracel Celulose em uma área de 1.200.000 m², localizada entre os municípios de Eunápolis e Belmonte. Embora os plantios de eucalipto continuassem a crescer, as áreas destinadas ao plantio de cacau em Belmonte não se

alteraram. Em 2005 é introduzido o plantio de mamão no município, o qual se avoluma, tornando-o presente no mosaico da paisagem do uso do solo desse território.

A partir de 2012 o setor agropecuário do município toma novo impulso, em função da produção de madeira em toras para fabricação de papel e celulose, o que contribuiu para aumentar a participação do setor agropecuário no PIB municipal (IBGE, 2015). Embora a microrregião Ilhéus-Itabuna, denominada de Região Cacaueira da Bahia, tenha se caracterizado historicamente como produtora de cacau, e a principal em nível de Brasil, na atualidade, o cacau já não representa o principal produto agrícola de muitos dos municípios que compõem essa região, embora ainda seja um dos três produtos agrícolas de relevância do município de Belmonte (Tabela 5).

Ao compararmos o perfil da produção de mamão, cacau, coco-da-baía e madeira em tora para produção de papel e celulose, com o perfil anual de chuva no município de Belmonte, para o período de 2004 a 2015 (Tabela 5), percebem-se poucos efeitos da alteração no perfil total de chuva no município sobre a produção. Isso pode ocorrer, porque, dentre outros fatores, mesmo nos anos de retração em sua pluviosidade total, percebe-se que a pluviosidade foi bem distribuída ao longo do ano, não gerando significativos prejuízos à dinâmica agrícola municipal.

Por sua vez, no município de Ipiaú, a agropecuária representa baixo percentual de participação na composição do PIB municipal, entre os setores da economia, ocupando a terceira posição entre os três setores da economia (serviços, indústria e agropecuária). Dentre os produtos da lavoura permanente, no período entre 2004 a 2014, os três principais produtos em produção e valor da produção foram: cacau, banana e maracujá (Tabela 6). O cacau, no período analisado, foi o produto agrícola que mais gerou divisas para o município, e em segunda e terceira posições destacaram-se a produção de banana e de maracujá.

Comparando-se o perfil da produção desses três principais produtos agrícolas com o perfil de precipitação pluviométrica no município de Ipiaú, no período de 2004 a 2014, pode-se observar que as variações entre os totais anuais de chuva, não influenciaram na produção (Tabela 6), dos mencionados produtos.

Tabela 5. Quantidade produzida e valor da produção dos três principais produtos da lavoura permanente, de madeira em tora para produção de papel e celulose, e pluviosidade anual do município de Belmonte, de 2004 a 2015.

ANO	Mamão		Cacau		Coco-da-baía		Madeira em Tora		Total anual de chuva
	Produção toneladas (T)	Valor da produção (R\$)	Produção toneladas (T)	Valor da produção (R\$)	Produção frutos em toneladas (T)	Valor da produção (R\$)	Quantidade produzida metros cúbicos (m³)	Valor da produção (R\$)	Precipitação em milímetros (mm)
	BELMONTE: PRODUÇÃO DE MAMÃO, CACAU, CÓCO-DA-BAÍA E MADEIRA EM TORA PARA PAPEL E CELULOSE, E PLUVIOSIDADE ANUAL								
2004	7.700	2.695.000,00	2.375	10.450.000,00	6.895	3.448.000,00	4.970	410.000,00	1.282,5mm
2005	9.975	3.491.000,00	2.375	8.075.000,00	7.105	3.126.000,00	110.510	9.116.000,00	1.774,0mm
2006	28.830	11.532.000,00	3.291	12.789.000,00	7.276	2.910.000,00	135.707	7.600.000,00	1.631,9mm
2007	29.636	11.854.000,00	2.520	9.793.000,00	7.327	2.931.000,00	595.385	31.633.000,00	1.553,5mm
2008	29.760	13.392.000,00	2.688	11.948.000,00	7.374	3.687.000,00	486.474	13.500.000,00	1.244,6mm
2009	56.440	50.796.000,00	2.734	14.217.000,00	7.749	3.875.000,00	849.287	32.443.000,00	1.710,7mm
2010	56.440	53.618.000,00	3.001	16.205.000,00	9.000	4.860.000,00	253.948	11.974.000,00	1.446,1mm
2011	64.464	52.860.000,00	3.335	18.009.000,00	9.085	4.996.000,00	260.200	12.268.000,00	1.652,6mm
2012	38.692	34.383.000,00	3.334	15.296.000,00	9.075	5.953.000,00	1.174.585	87.554.000,00	1.132,0mm
2013	38.692	40.627.000,00	2.843	10.803.000,00	9.075	5.445.000,00	952.584	104.784.000,00	2.311,5mm
2014	38.692	35.210.000,00	2.844	13.651.000,00	9.075	4.538.000,00	539.781	60.385.000,00	1.438,3mm
2015	38.692	29.019.000,00	2.847	24.772.000,00	9.075	4.538.000,00	945.330	115.614.000,00	1.217,3mm

Elaboração própria: AGUIAR, Paulo César B. de., a partir de dados do IBGE – Produção Agrícola Municipal (2004-2015); e Hidroweb (2018).

Bruno *et al.* (2016) e Bruno (2016), apontaram, que em anos de chuvas em excesso, sobretudo com picos concentrados em poucos meses, como o no ano de 2014 (novembro e dezembro), geram grandes perdas, especialmente nos cultivos de olerícolas, as quais são plantadas em áreas de brejo das zonas rurais do município de Ipiaú. Tal situação levou ao desabastecimento dos produtos no mercado local, e muitas vezes para atender aos clientes esses produtores adquiriam esses produtos em outras localidades.

Tabela 6. Quantidade produzida e valor da produção dos três principais produtos da lavoura permanente, e pluviosidade anual em milímetros (mm) do município de Ipiaú, Bahia, 2004 a 2014

ANO	IPIAÚ: PRODUÇÃO DE CACAU, BANANA E MARACUJÁ, E PLUVIOSIDADE ANUAL						
	Cacau		Banana		Maracujá		Chuva anual
	Produção toneladas (T)	Valor da produção (R\$)	Produção cacho em toneladas (T)	Valor da produção (R\$)	Produção em toneladas (T)	Valor da produção (R\$)	Em milim. (mm)
2004	4.187	22.903.000,00	9.000	2.250.000,00	36	18.000,00	1.195
2005	2.200	7.333.000,00	9.000	2.250.000,00	120	60.000,00	1.036
2006	2.200	7.810.000,00	10.500	3.255.000,00	84	42.000,00	1.216
2007	2.298	8.999.000,00	6.600	3.696.000,00	120	62.000,00	1.417
2008	2.185	8.085.000,00	7.250	4.459.000,00	84	51.000,00	828,8
2009	2.190	10.757.000,00	7.975	5.981.000,00	150	135.000,00	725,2
2010	2.190	10.757.000,00	7.975	5.981.000,00	150	135.000,00	1.161
2011	2.295	12.393.000,00	8.625	8.193.000,00	216	211.000,00	1.227
2012	2.508	12.841.000,00	9.000	7.470.000,00	180	183.000,00	788
2013	2.215	11.341.000,00	9.000	7.308.000,00	180	183.000,00	880
2014	3.980	23.482.000,00	160	128.000,00	18	18.000,00	911

Elaboração: AGUIAR, Paulo César B. de., a partir de dados do IBGE – Produção Agrícola Municipal (2004-2014); INMET (2015); Hidroweb (2018).

Considerações Finais

A análise dos resultados obtidos com a pesquisa permite perceber um conjunto de situações distintas entre os dois municípios considerados (Belmonte e Ipiaú), evidenciado nas variações do padrão de precipitação nos períodos estudados, explicitando a realidade dessas precipitações e auxiliando na previsão da tendência futura das mesmas e os principais fatores que poderão influenciar esse processo.

Os dois municípios, conquanto situem-se em uma mesma microrregião, sofrem efeitos distintos dos padrões de chuva por diferentes fatores, dentre os quais estão a localização geográfica específica de cada um, tipos

de solos característicos, maior ou menor extensão de remanescentes florestais no território, topografia, maior ou menor sensibilidade dos tipos de cultivos aos padrões de chuva, dentre outros fatores. Por exemplo, em Ipiaú há uma maior significância de cultivos temporários e mais sensíveis à intensidade de chuva (que nos últimos anos sofreu maiores desvios no padrão de precipitação se comparado a Belmonte), enquanto em Belmonte os cultivos tem maior significância entre os permanentes, o que pode resultar em maior intensidade para absorver os efeitos de chuvas muito severas.

Os resultados da pesquisa sinalizaram, por meio do comparativo entre as normais climatológicas do período 1956 a 1987 com o período 1996 a 2017, que os níveis de chuva no município de Belmonte foram bons e bem distribuídos nos dois períodos, sendo que o segundo período apresentou um acréscimo de 75,885mm na média do acumulado de chuva no somatório dos meses, se comparado ao primeiro período. O primeiro período apresentou certa constância na tendência de precipitação, com alguns desvios nessa tendência ao apresentar certos picos mensais de chuva. Houve no segundo período a ocorrência de meses com maiores extremos de picos de precipitação pluviométricas. No entanto, nos últimos anos analisados, tanto os grandes níveis de chuva quanto a sua retração não levaram a uma redução na produção dos principais produtos agrícolas do município, sobretudo porque os bons índices de chuva e a sua boa distribuição foi o que ocorreu.

Por sua vez, para o município de Ipiaú, a partir do discutido ao longo do trabalho, pode-se concluir que, por meio da comparação entre as médias mensais acumuladas dos meses nos diferentes anos analisados, no primeiro período (1950-1979), houve uma melhor distribuição de chuva ao longo dos anos, e que o gráfico de desvio relativo apontou dentro do período que houve um mês dentro de um ano específico que apresentou uma excessiva precipitação pluviométrica, podendo ser associada a uma anomalia climatológica, dentro de definição presente na literatura arrolada no trabalho. Já no segundo período, os resultados indicaram que os índices de chuva foram significativos nos diferentes meses, porém concentrados sazonalmente; tais resultados foram observados no gráfico de desvio relativo, onde ocorreram mais picos de chuva em mais de um mês dos diferentes anos considerados.

As tendências sinalizaram que em decorrência de algumas variabilidades climáticas possivelmente esta tenha contribuído para influenciar na agricultura do município e que tal variabilidade possivelmente possa estar associada a dinâmica natural ou consequências provenientes de ações antrópicas.

Referências

- Aguiar, P. C. B. de. (2018). “Breve panorama econômico e socioterritorial recente da região Cacaueira do Sul do Estado da Bahia, Brasil.” *Investigaciones Geográficas*, Chile, (55), 127-146. doi: 10.5354/0719-5370.2018.45195.
- Aguiar, P. C. B. de. y Pires, M. M. (2019). “A região cacaueira do sul do estado da Bahia, Brasil: crise e transformacao.” *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28 (1): 192-208. doi: 10.15446/rcdg.v28n1.67437.
- Angelocci, L. R. y Sentelhas, P. C. (2010). *Variabilidade, Tendência, Anomalia e Mudança Climática*. Material didático para uso exclusivo na disciplina LCE 306 – Meteorologia Agrícola Departamento de Engenharia de Biosistemas - setor de Agrometeorologia - ESALQ/USP.
- Barbieri, A. F. (2011). “Mudanças Climáticas, Mobilidade Populacional e Cenários de Vulnerabilidade para o Brasil”. *Revista Internacional de Mobilidade Humana*, XIX (36), Brasília, 95-112.
- Bruno, N. L. (2016). *Nível de Sustentabilidade Ambiental da Comunidade Rural Fazenda do Povo no Município de Ipiaú - Estado da Bahia, Brasil*. 179 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus (BA): UESC.
- Bruno, N. L., Aguiar, P. C. B. de., Costa, L. C. B. y Sampaio, L. A. G. (2016). “Estratégia para o Desenvolvimento Rural Sustentável no Assentamento Coroa Verde, Barra do Rocha, Bahia (Brasil), através de uma Unidade Demonstrativo-Educativa”. *Revista Científica Monfragüe: Desarrollo Resiliente*, VI (2), Espanha, 21-52. ISSN: 2340-5457.
- Calasans, N. A. R., Levy, M. C. T. y Moreau, M. (2005). “Interrelações Entre Clima e Vazão”. In: Schiavetti, A.; Camargo, A. F. M. (Org.). *CONCEITOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: Teorias e Aplicações*. Ilhéus, Ba: Editus, pp. 67-90.

- Conti, J. B. (2005). “Considerações sobre as Mudanças Climáticas Globais”. *Revista do Departamento de Geografia*, 16, 70-75.
- Gouveia, R. L., Paz, Y. M., Galvêncio, J. D. y Souza, W. M. (2017). “Mudanças Climáticas e os Refugiados Ambientais”. In: Galvêncio, J. D., Oliveira, V. S. y Souza, W. M. (Org.). *Mudança Climática, Sociedade e Meio Ambiente*. Recife: Editora da UFPE, pp. 41-77.
- HIDROWEB – Sistema de Informações Hidrológicas. (2018). Medições históricas de precipitações pluviométricas do município de Belmonte, de 1956 a 1987, e de 1996 a 2017. <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf>.
- HIDROWEB – Sistema de Informações Hidrológicas. (2018). Medições históricas de precipitações pluviométricas do município de Ipiaú, de 1950 a 1979, e de 1980 a 2008. <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Censo 2010. População do município de Belmonte*. Rio de Janeiro: IBGE.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Censo 2010. População do município de Ipiaú*. Rio de Janeiro: IBGE.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. (2010). *População brasileira. Censo 2010*. Rio de Janeiro: IBGE.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). *Produto Interno Bruto do Município de Belmonte, de 1999 a 2012*. Rio de Janeiro: IBGE. <<http://www.deepask.com/goes?page=belmonte/BA-Confira-o-PIB---Produto-Interno-Bruto---no-seu-municipio>>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). *Produto Interno Bruto do Município de Ipiaú, de 1999 a 2012*. Rio de Janeiro: IBGE. <<http://www.deepask.com/goes?page=ipiau/BA-Confira-o-PIB---Produto-Interno-Bruto---no-seu-municipio>>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2014). *Produção Agrícola Municipal de Ipiaú, de 2004 a 2014*. Rio de Janeiro: IBGE. <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/belmonte/pesquisa/15/11863?ano=2014>>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). *Produção Agrícola Municipal de Belmonte, de 2004 a 2015*. Rio de Janeiro: IBGE. <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/belmonte/pesquisa/15/11863?ano=2015>>.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. (2017). *Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias*. Rio de Janeiro: IBGE.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (2015). *Índice Pluviométrico do município de Ipiaú, de 2009 a 2014*. <www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home&page=rede_estacoes_auto_graf>.
- IPCC - Intergovernmental Panel in Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Summary for Policymakers. <<http://www.ipcc.ch/SPM2dez07.pdf>>.
- Kirsch, H. M. y Schneider, S. (2016). “Vulnerabilidade Social às Mudanças Climáticas em Contextos Rurais”. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, 31 (91), 1-15.
- Machado Filho, H. (2016). “Mudança do clima e os impactos na agricultura familiar no Norte e Nordeste do Brasil”. Centro Internacional de Políticas para o Crescimento Inclusivo. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. SBS, Quadra 1, Bloco J, Ed. BNDES, 13º andar, 70076-900 Brasília, DF – Brasil.
- Moraes, B. C., Costa, J. M. N., Costa, A. C. L. y Costa, M. H. (2005). “Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará”. *Acta Amazônica*, 35(2), 207 – 214.
- Nascimento, D. M. C., Dominguez, J. M. L. y Silva, S. B. de M. e. (2009). “Mudanças na Ocupação Econômica do Litoral Sul da Bahia: Os exemplos de Belmonte e Canavieiras”. *Revista Desenhahia*, nº 10. <http://www.desenhahia.ba.gov.br/recursos/news/video/%7BC7562424-BA-33-49D4-9F6C-809EB0E48507%7D_Rev10_Cap1.pdf>.
- Nascimento, D. M. C. y Dominguez, J. M. L. (2010). “Remanescentes da cobertura Vegetal: Uma contribuição cartográfica à gestão ambiental na zona costeira dos municípios de Belmonte e Canavieiras na Bahia, Brasil”. *Cadernos de Geociências*, 7 (2).
- Oliveira, M. J. de. y Vecchia, F. (2011). “Normais climatológicas no contexto das mudanças climáticas: Análise dos casos de São Paulo/SP e Franca/SP”. *Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo*.

- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, Shushi P., Li, J., Zhou, L., Liu, H., Ma, Y., Ding, Y., Friedlingstein, P., Liu, C., Tan, K., Yu, Y., Zhang, T. y Fang, J. (2010). “The impacts of climate change on water resources and agriculture in China”. *Nature*, 467, 43-51. doi: 10.1038/nature09364.
- PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. (2013). *Indicador Habitação. Variáveis “percentual da população em domicílios com água encanada, com coleta de lixo, e com energia elétrica”, nos municípios de Belmonte e de Ipiaú, em 2010.* <<http://atlasbrasil.org.br/2013/>>.
- PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. (2013). *Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios de Belmonte e de Ipiaú, em 2010.* <<http://atlasbrasil.org.br/2013/>>.
- PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. (2013). *População feminina e masculina, e rural, urbana e total, dos municípios de Belmonte e de Ipiaú, em 2010.* <<http://atlasbrasil.org.br/2013/>>.
- Salamanca, A. E., Sierra, R. D., Aranda, R. M. M, y Santos, M. J. (2017). “Environmental impacts of climate change adaptation”. *Environmental Impact Assessment Review*, 64, 87–96.
- Santos, A. P. (2008). *Apropriação da Natureza e Produção do Espaço no Município de Belmonte – Bahia*. 146f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências. Salvador: UFBA.
- Santos, A. S. (2018). *Vulnerabilidades socioambientais diante das mudanças climáticas projetadas para o semiárido da Bahia*. Dissertação – Mestrado em Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília: Centro de Desenvolvimento Sustentável. 153f.
- SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. (1998). *Análise dos atributos climáticos do Estado da Bahia*. Salvador. B. 85 p. (Série Estudos e Pesquisas, 38).
- Souza, W. M.; Azevedo, P. V. (2012). “Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 01, 143-159.



Ciclo hidrosocial y acceso al agua en la periferia de la ciudad de Morelia, México: Estudio de caso en La Aldea

Hydrosocial cycle and access to water in the periphery of the city of Morelia, Mexico: Case study in La Aldea settlement

Lorena García-Estrada¹

Juan Hernández-Guerrero²

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Resumen

El agua es indispensable en el metabolismo de las ciudades, pero la acelerada expansión acentúa, hacia las periferias, problemas de acceso, distribución y calidad, los cuales suelen ser utilizados por actores con poder socio-político que debilitan el ciclo hidrosocial. El presente trabajo analizó el acceso al agua a través del ciclo hidrosocial en la periferia norte de la ciudad de Morelia, México, específicamente, en el asentamiento La Aldea. El objetivo se contestó con recorridos de campo, observaciones, entrevistas y encuestas. Los resultados indican estrés en el ciclo hidrosocial, donde el flujo es disímil y supeditado por movimientos políticos y desarrolladoras. Además, disminuyó la participación de la población e incrementó la compra de agua embotellada y camiones cisterna, mientras que la intervención de las autoridades es limitada y permisible.

Palabras clave: ciclo hidrosocial, acceso al agua, periferia urbana, actores de poder.

Abstract

Water is indispensable in the metabolism of cities, but the accelerated peripheral expansion of cities accentuates problems of water access, distribution and quality, which, in turn, are often used by actors with socio-political power that weaken the hydrosocial cycle. The present study analyzed access to water through the hydrosocial cycle in the northern periphery of the city of Morelia, Mexico, specifically in the settlement of La Aldea. The study's objective was met with field trips,

1 Maestra en Geografía. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Campus Aeropuerto. Carretera a Chichimequillas s/n, Ejido Bolaños. C.P. 76140. Correo electrónico: mariana.lorena.ge@gmail.com

2 Doctor en Geografía. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Campus Aeropuerto. Carretera a Chichimequillas s/n, Ejido Bolaños. C.P. 76140. Correo electrónico: juan.hernandez@uaq.mx

observations, interviews and surveys. Results indicate stress in the hydrosocial cycle wherein there is a dissimilar flow subordinated by political movements and infrastructure development groups. Additionally, population involvement decreased, bottled water and water trucks purchases increased, all while the intervention of the authorities was limited and permissible.

Keywords: Hydrosocial cycle; Water access; Urban periphery; Power actors.

Introducción

La accesibilidad al agua forma parte de los derechos humanos desde el año 2010 y uno de los principales temas y retos por atender en la agenda del siglo XXI (Naciones Unidas, 2010). En la Meta 7.C de los Objetivos de Desarrollo del Milenio se menciona el avance en la reducción del porcentaje de personas sin acceso al agua, pasó de 76 % en 1990 a 91 % en 2015, ello equivale a 1900 millones de personas con acceso seguro al agua, pero todavía 663 millones no lo tienen (Naciones Unidas, 2015). El compromiso continúa en el sexto objetivo de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, donde la meta 6.1 señala el acceso universal y equitativo al agua potable (Gobierno de México, 2018).

Lo anterior es un reto importante en ciudades de acelerado crecimiento, las cuales al tratar de ser competitivas experimentan fenómenos de atracción y concentración (poblacionales y económicos) con cada vez más necesidades, entre ellas el agua, problema que se acentúa conforme su expansión, donde la rápida ocupación y consolidación de las periferias urbanas promueve una intensa transformación territorial que dificulta el acceso a servicios e infraestructura (Castro y Rodrigues, 2017; Kaushal *et al.*, 2015; Narain, 2016). Además, el acceso al agua en las periferias urbanas suele involucrar tensiones asociadas con actores de poder que acompañan la propia dinámica de esos sectores; escasa vigilancia, fragmentación, susceptibles al cambio, difícil acceso, limitación de servicios y empoderamiento particular de fuentes hídricas de abastecimiento (Aguilar, 2008; Karpouzoglou *et al.*, 2018; Metha *et al.*, 2014; Díaz-Caravantes y Wilder, 2014).

Ante las diferentes aristas del acceso al agua en las periferias urbanas, los análisis deben de ir más allá de un enfoque hidrológico (eje estratégico y articulador), pues se debe incluir el contexto político, económico y cultural, ya que la manipulación y control del agua contiene actores sociales e instituciones (Budds, 2008). Por lo mismo, definir o re-definir estrategias y esfuerzos para acceder al agua por diferentes actores, incluye tensiones y

conflictos con grupos de poder en complacencia con autoridades (permisibles, corruptas o desinteresadas), ello abre la brecha de procesos negativos híbridos socio-naturales para acceder al agua; fuentes de abastecimiento, distancia, tiempo, confiabilidad y costos (Meerganz von Medeazza, 2006; Linton y Budds, 2014; Delgado-Ramos, 2015).

El estudio de esos problemas se ha tratado desde el enfoque del ciclo hidrosocial, el cual hibridiza lo socio-natural, y suele apoyarse de dos posturas. La primera desde la filosofía política, donde el acceso al agua es resultado de la interacción entre gestión del agua, normas sociales y legales, el estado y el ambiente (Budds, 2012; Schmidt, 2014; Arahuetes *et al.*, 2016). La segunda es desde la ecología política urbana, donde se enfatiza el flujo de agua y las relaciones de poder para demostrar la naturaleza politizada de su gestión (Swyngedouw, 2009; Budds *et al.*, 2014; Linton y Budds, 2014). Ambos enfoques permiten entender las problemáticas de su acceso, pero el segundo al tener el carácter urbano posibilita mejores argumentos para el tema aquí planteado, ya que se requiere de la comprensión de las relaciones de poder y sus interacciones políticas, socioeconómicas y ecológicas en esos espacios a multiescala y en diferente tiempo y espacio (Swyngedouw *et al.*, 2002; Schmidt, 2014; Arahuetes *et al.*, 2016; Olvera-Molina, 2016).

Algunos estudios con enfoque hidrosocial realizados en ciudades de Ecuador, Chile, España y Grecia explicaron que los problemas de inequidad en el acceso al agua están supeditados por relaciones de poder que, junto con el inadecuado uso, manejo y gestión del agua, forman subsistemas de control con mecanismos de beneficio individual, y que en algunos casos tienen que realizar nuevos y costosos procesos para su obtención y distribución, o bien, involucrarse con grupos de poder (Swyngedouw, 1997; Kallis, 2010; Budds, 2012; Arahuetes *et al.*, 2016). Por lo mismo, en periferias urbanas el tema debe abordarse con mayor detalle, debido que los conflictos se observan en pequeños mosaicos o fragmentos con problemas diferenciados entre sí en complacencia con las autoridades.

El caso de las ciudades mexicanas y sus periferias no es ajeno a lo señalado, si bien, los estudios bajo el enfoque hidrosocial no son tan bastos, los existentes han permitido comprender la complejidad de los flujos hídricos y la manipulación de su naturaleza con fines desarrollistas y oportunistas, así como de dominación y opresión (Olvera-Molina, 2016). Se distinguen estudios que han visibilizado el problema en algunas ciudades y sus periferias.

López-Mares *et al.* (2019) analizaron las transformaciones sociales y paisajísticas en ríos de la ciudad de San Luis Potosí y concluyeron con una fragmentación física y simbólica. Vilchis-Mata *et al.* (2018) evaluaron las relaciones entre disponibilidad, demanda, adaptación y gestión de agua en la ciudad de Toluca, y determinaron que la sostenibilidad y disponibilidad del agua está en riesgo por malos manejos del Estado. Rodríguez (2018) estudió la apropiación del agua y relaciones de poder en Los Altos de Jalisco y concluye que los problemas se deben al deficiente manejo hídrico nacional y privilegios regionales. Aunado a esos trabajos, existen estudios que sin ser denominados hidrosociales también hibridizan los flujos de agua, y en todos los casos resalta el deficiente acceso al agua como proceso paralelo a situaciones de especulación de suelo, sobreexplotación de agua superficial y subterránea, corrupción, venta clandestina, irregularidades con desarrollos inmobiliarios y desperdicio de agua (Domínguez, 2006; Ávila, 2007; Delgado-Ramos, 2015; Tetreault y McCulligh, 2018).

Problemas similares se acentúan o recién se forman en ciudades del centro del país, especialmente aquellas mayores a 500 mil habitantes (Ciudad de México, Guadalajara, Puebla, Toluca, León, Querétaro, San Luis Potosí, Aguascalientes, Cuernavaca, Morelia, Celaya, Pachuca, Tlaxcala), las cuales presentan altas tasas de crecimiento (2 % superiores al 1.8 % del país), suman 40 millones de personas, presentan 22 acuíferos sobreexplotados, uso consuntivo hasta 500 hm³, cobertura de agua potable del 70 %, construcción de grandes obras de ingeniería en sitios distantes (ej. Acueducto II) y constantes conflictos socio-políticos (Ávila, 2007; Vieyra *et al.*, 2018; López, 2013; SEMARNAT y CONAGUA, 2015; Olvera-Molina, 2016; SEDATU y CONAPO, 2018; López-Mares *et al.*, 2019).

De los casos antes citados, el presente trabajo aborda la ciudad de Morelia, la cual históricamente, y a pesar de contar con fuentes de agua que cubren la demanda, presenta problemáticas de acceso al agua de índole social, económico y político; contaminación, acceso diferenciado, transitoriedad del servicio, manipulación, deficiente infraestructura, intereses dominantes y fuerzas de poder sobre el agua (Morales, 2015; Ávila, 2007).

Los problemas trascendieron a diferentes sectores de la ciudad, siendo la periferia norte una de las más afectadas, específicamente la zona conocida como La Aldea. En ella se localizan pozos antiguos y sobreexplotados, donde se extrae agua del flujo intermedio a la profundidad del

manto freático, entre 150m y 160m (Garduño *et al.*, 2014). Además, ese sector está involucrado en deficientes procesos de gestión y manejo del suelo, lo que ha generado que el principal sistema operador de agua potable y alcantarillado no tenga todos los argumentos legales para brindar el servicio de agua, aunque sí se conoce de su participación en algunos implementos de infraestructura, apoyo con información y calidad de agua (Ávila, 2007; Morales, 2015). Al respecto, el deficiente acceso y la transitoriedad de la cantidad de agua han generado enfrentamientos entre habitantes, autoridades y actores con privilegios en el acceso y posesión de fuentes de agua. A pesar del problema, se identifican insuficientes datos, diagnósticos y análisis, aun cuando es un polo de desarrollo urbano y el agua es un detonante de fragmentación y reconfiguración territorial.

Con los argumentos señalados surgen las siguientes interrogantes ¿cuáles son las interacciones sociales y políticas que están involucradas en el acceso al agua?, ¿qué implicaciones socioeconómicas se presentan para acceder al agua?, y ¿cuáles son los indicadores (entradas, dirección, consumo y salidas) que condicionan el ciclo hidrosocial? Así, el presente trabajo tiene como objetivo analizar el acceso al agua en la periferia norte de la ciudad de Morelia mediante el ciclo hidrosocial para casos de estudio de La Aldea.

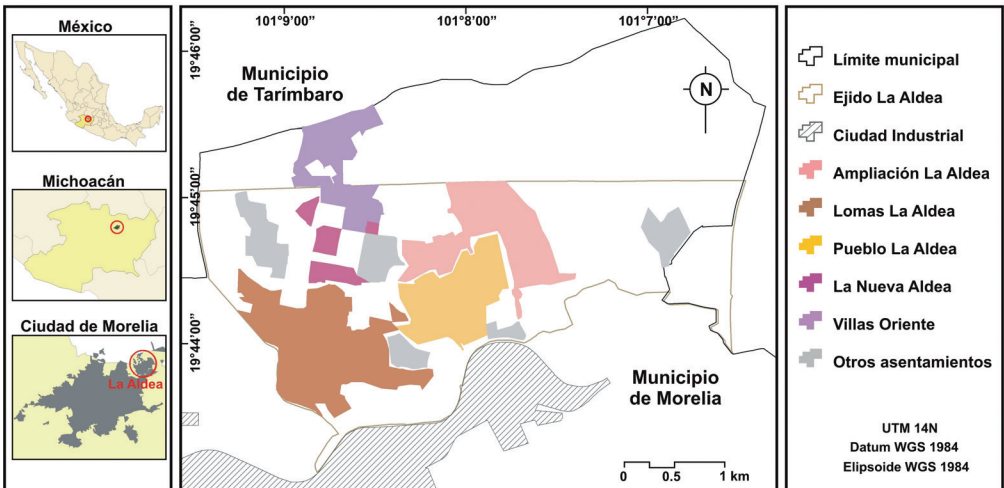
El artículo presenta una estructura de la siguiente forma. Posterior a la introducción, el segundo apartado describe los métodos y herramientas que se utilizaron para coleccionar y analizar los datos. El tercer apartado contextualiza el proceso socio-político de gestión y administración del agua. En el cuarto apartado se examina el acceso, costo y aprovechamiento del agua por parte de los habitantes de La Aldea. En el quinto apartado se evalúan las variables del ciclo hidrosocial (2012-2018). Finalmente, el documento concluye con un ciclo hidrosocial donde las entradas se relacionan con la manipulación de agua subterránea, compra de agua embotellada y la captación de agua de lluvia, todo asociado a la escasa participación gubernamental, la importante manipulación por grupos de poder y la displicente participación colectiva de la población.

Área de estudio

La Aldea se ubica al noreste de la ciudad de Morelia, México (a 7 kilómetros del centro urbano) y delimita con el municipio de Tarímbaro (Figura 1). Al año 2010, contaba con 6189 habitantes (INEGI, 2010)

distribuidos en diez asentamientos, los cuales presentan un grado de marginación alto a muy alto (IMPLAN, 2017). La Aldea surge como un ejido en el año 1936, establecido sobre la zona baja de la subcuenca fluvio-lacustre de la cuenca del Lago de Cuitzeo, esa cuenca corresponde al Valle de Morelia-Queréndaro, donde se encuentran los acuíferos de Valle de Morelia, Lago de Cuitzeo y Planicie Álvaro Obregón-Queréndaro, siendo este último donde se localiza La Aldea y es considerado el de mayor extensión y espesor de todo el valle (Bravo *et al.*, 2012; Garduño *et al.*, 2014). El clima es templado subhúmedo con temperatura media anual que oscila entre 14° C a 18° C y con una precipitación anual de 700 mm. Actualmente el uso de suelo y vegetación en casi 50 % del lugar es habitacional (420 ha de las 859 ha totales), seguido de 20 % de pastizal y 30 % de parcelas de agricultura de temporal (INEGI, 2010).

Figura 1. Localización de La Aldea



Fuente: Elaboración con base en la información del INEGI (2010) e IMPLAN (2017).

Métodos y herramientas

Con el fin de responder al objetivo del presente trabajo se emplearon métodos integrados con información de fuentes cualitativas y cuantitativas, así como datos primarios y datos secundarios a través de un proceso constituido por recorridos exploratorios, análisis documental, entrevistas,

encuestas y observaciones directas. El trabajo de campo se llevó a cabo en los años 2016, 2017 y 2018, específicamente, comprende tres meses de 2016, siete meses de 2017 y dos meses de 2018.

El análisis documental se llevó a cabo mediante publicaciones oficiales disponibles, sean el programa de Desarrollo Urbano de la Zona Oriente de Morelia (Ayuntamiento de Morelia, 2012), Decreto de expropiación de tierras (DOF, 1931) y la Escritura Pública 27992 (IVEM, 2011). También se utilizó información geográfica y estadística digital del INEGI (2010) e IMPLAN (2017) para ser utilizada en un sistema de información geográfica y representar espacialmente los fenómenos en la zona de estudio.

Al mismo tiempo que se realizaba el análisis documental se llevaron a cabo recorridos exploratorios y recorridos guiados por la zona de estudio para lograr un primer acercamiento al lugar y contacto con los habitantes a través de pláticas informales, así como análisis de observación directa y se construyó cartografía participativa con apoyo del guía. En total se realizaron seis recorridos, dos exploratorios y cuatro con un guía, en este segundo caso se recabó información de la cobertura y distribución del servicio de agua, ubicación de las fuentes de abastecimiento, y la geomorfología de la zona, asimismo, se levantaron reportes fotográficos para fundamentar y evidenciar el problema.

Posterior a los recorridos exploratorios y pláticas informales se diseñó y aplicó una encuesta estructurada compuesta de preguntas sobre la continuidad del servicio, cantidad de agua a la vivienda, costo económico en la administración del servicio, uso del agua, fuente de abastecimiento y consumo de agua. Se aplicaron diez encuestas por asentamiento, cantidad establecida por Domènech *et al.* (2011) debido a la distribución dispersa de los asentamientos. La técnica de aplicación fue uno a uno, es decir, encuestador-encuestado. Se eligieron hombres y mujeres mayores de edad (18 años) que tuvieran conocimiento sobre el servicio y uso del agua. La aplicación se llevó a cabo en fines de semana entre 10:00h y 15:00h, esto por seguridad y facilidad de encontrar a los encuestados.

Finalmente, se diseñó y aplicó una entrevista a informantes clave. Las características de los entrevistados fueron, primordialmente, que tuvieran un cargo importante o estuvieran involucrados dentro de la gestión del agua a nivel municipal y local (en cada uno de los asentamientos). Los entrevistados fueron nueve, mismos que se definieron con la técnica de

bola de nieve; 1) Encargado de Distritos Hidrométricos y Detención de Fugaz del OOAPAS; 2) Encargado de control de Calidad del Agua; 3) Jefa de Estudios y Proyectos del IVEM; 4) Presidente del Comisariado Ejidal de La Aldea; 5) Presidente del Comité de Pozo Uno de La Aldea; 6) Presidente del Comité de Pozo Dos de Ampliación la Aldea; 7) Encargado del Orden Lomas la Aldea; 8) Informante Uno Villas Oriente, y 9) Informante Dos Villas Oriente. La entrevista estuvo compuesta por 15 preguntas divididas en cinco secciones: datos generales, organización, infraestructura, gastos económicos y servicio.

Acceso al agua y conflictos sociales en La Aldea

Desde su origen (1936) y hasta la década de los setenta, La Aldea presentó cambios significativos de reconfiguración territorial, en gran medida cuando se expropió la tierra y se llevó a cabo el establecimiento de ciudad industrial en 1975, al respecto el Comisariado Ejidal de La Aldea señaló que la oferta de empleos en las fábricas repercutió en la atracción poblacional y transformación de vida de los habitantes originarios. En el año de 1984 se divide el ejido en Cotzio y La Aldea, pero los cambios radicales se presentaron en la década de los noventa, cuando La Aldea fue alcanzada por la expansión de la ciudad de Morelia, proceso que fue acompañado de las iniciativas del Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (PROCEDE), derivado de la reforma al Artículo 27 de la Constitución Mexicana en 1992, ya que brindó la oportunidad a los ejidatarios de vender las tierras que desde hacía tiempo resultaban difíciles de trabajar (Ávila, 2007).

Derivado de lo anterior, algunos ejidatarios decidieron lotificar sus tierras y venderlas a particulares y al gobierno, ambos casos las utilizaron preferentemente para reventa en la construcción de viviendas. Esa situación fomentó la edificación de asentamientos como Lomas La Aldea en 1996, Mariel en 2005, La Nueva Aldea en 2006 y Villas Oriente en 2012. No obstante, los asentamientos se desarrollaron con inadecuada e insuficiente infraestructura, equipamiento y servicios, siendo el agua uno de los principales, y de manera adicional, en el año 2012 los acuíferos fueron declarados sobreexplotados y se comenzaron a perforar nuevos pozos y abastecer la zona (Ayuntamiento de Morelia, 2012).

Con los argumentos anteriores, se identifican problemas hidrosociales particulares sobre el acceso al agua, todos ellos con procesos y actores diferentes. En el Pueblo de La Aldea y Ampliación La Aldea, por sus condiciones rurales, la máxima autoridad es el Comisariado Ejidal, y en el servicio de agua su papel es realizar los acuerdos ante la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para obtener los derechos sobre pozos (extracción de agua), así obtuvieron dos que denominaron I y II. Ambos pozos tienen un comité de agua donde se realiza la gestión, administración y mantenimiento del agua, además, en el Pozo I existen vocales que ayudan a recoger cuotas y fungen como auxiliares.

En casi 50 años desde que surgió el comité de agua del Pozo I, las principales problemáticas son por la asignación clandestina de conexiones de agua por parte del Comisariado Ejidal, donde dicha acción cuenta con poca atención de la opinión de los comités de agua, ello ha propiciado limitada disponibilidad y un servicio deficiente, a la vez que ha causado conflictos sociales, entre los usuarios y los representantes de los comités:

[...]se han presentado inconformidades por parte de algunos habitantes debido que el ejidatario que fraccionó y vendió los terrenos otorgó dinero al comisariado ejidal para que les dieran su toma de agua para poder acceder al servicio, pero nunca se habló con el comité del Pozo I para ver si existían las posibilidades de brindarles el servicio. Presidente del Comité del Pozo I.

Otro problema se presenta en Lomas La Aldea, asentamiento irregular que se formó en 1996 cuando los ejidatarios de esas tierras lotificaron y vendieron, pero al no contar con una tenencia segura del suelo, los servicios públicos se han dispuesto por los pobladores. Así, para resolver la falta de agua se decidió en el 2002 comprar a los ejidatarios un pozo dentro de la zona e iniciaron su administración. En esa actividad se designó a un encargado del orden, quien cobra y administra las cuotas, mientras que otra persona conocida como “bombero” se encarga de la limpieza del pozo y la pila (cisterna de captación de agua) y diariamente suministraba agua a las viviendas. Aun cuando la población ignoraba las implicaciones de la administración de un pozo, se logró una actividad óptima.

Contiguo a Lomas La Aldea se instaló, en el 2005, el asentamiento denominado Mariel (fundado por el movimiento conocido como Antorcha

Campesina³) e iniciaron negociaciones para venderles agua, pero una semana después fue evidente la irregularidad del servicio en Lomas La Aldea. En el 2016 el Encargado del Orden de Lomas La Aldea anunció que el agua del pozo se había terminado y lo tuvo que cerrar. Al mismo tiempo se presentan inconformidades e incertidumbre, pues el cierre del pozo se llevó de forma espontánea, pues un día anterior todavía se tenía agua con buena presión en las viviendas. Dos meses después del cierre el OOAPAS perforó un pozo en Mariel y construyó una pila para abastecer de agua a ambos asentamientos, pero solo se suministra en Mariel.

[...]El Encargado del Orden y un grupo de vecinos se unieron a Antorcha Campesina, entonces la población se dividió y el Encargado del Orden dejó de lado su responsabilidad. Cuando se presentaban averías, decía que no había dinero, aun cuando se daba cuota por el servicio. Los antorchistas solo le da agua a aquellos que los apoyan, van a sus marchas y juntas, pero además les cobran por el agua, y nosotros ni si quiera podemos acercarnos al pozo. Habitante de Lomas la Aldea.

Posterior al problema, los pobladores de Lomas La Aldea realizaron contratos con el OOAPAS para las conexiones domiciliarias, pero al año 2019 continúan sin servicio. En la entrevista con el encargado de distritos hidrométricos y detención de fugas del OOAPAS, mencionó que el pozo fue entregado en diciembre del 2017, y está siendo operado por el organismo, aunque la distribución del agua está a cargo de los propios representantes de Mariel y Lomas La Aldea; el OOAPAS se limita a encender el equipo hidráulico y realizar acciones de mantenimiento y registrar el consumo de energía eléctrica.

Ante las dificultades por acceder al agua en Lomas La Aldea se llevó a cabo la perforación de otro pozo. El Encargado del Orden argumentó que Antorcha Campesina fue quien solicitó el recurso a CONAGUA, mismo que asciende a tres millones de pesos, mientras que al municipio de Morelia le correspondió un millón y medio de pesos, ambos fueron otorgados para el equipamiento de ese pozo. Si bien los habitantes de Lomas La

3 Organización política fundada en 1974 con el objetivo de organizar a los sectores más marginados y pobres de la sociedad para lograr mejorar el estado de sus comunidades, luchar por una mejor distribución del ingreso y eliminar las profundas diferencias sociales (Somuano, 2007:41). Por otro lado, esa organización ha destacado como promotora de procesos de extorsión, control y poder que al estar coludida con autoridades y partidos políticos acentúa diferencias, presiones y miedo sobre la sociedad, pero también logra obtener simpatizantes en pro de crecimiento y expansión (Nieto, 2014; Gómez-Valdés y Palerm-Viqueira, 2016).

Aldea señalan que las malas decisiones del Encargado del Orden, aconsejado por líderes antorchitas, agudizaron el problema, el propio Encargado del Orden se justificó:

Yo junto con otros vecinos nos unimos al movimiento porque por medio de ellos, es más fácil prosperar. Varias veces fui al ayuntamiento a solicitar apoyos y equipamiento, y nunca me hicieron caso; además la gente tampoco me acompañaba. Gracias a Antorcha se pudo conseguir la construcción de un tanque elevado y hacer un cárcamo para tener agua segura en toda la zona. La gente no quiere ir a marcha y asistir a juntas, pero es la única manera de que a uno lo escuchen las autoridades. Encargado del Orden Lomas la Aldea.

Por último, están los casos de La Nueva Aldea (2006) y Villas Oriente (2012), los cuales son conjuntos habitacionales derivados de desarrollos inmobiliarios y apoyos de gobierno. Esos asentamientos, al contrario de los antes mencionados deben cumplir con la normativa legal vigente que asegura el equipamiento y servicios necesarios, pero de igual forma que los anteriores, el servicio de agua es deficientes y limitado.

En el caso de La Nueva Aldea, su construcción inició a principios del 2006 a través de la compra de tierras que realizó el gobierno con ejidatarios, las cuales años después fueron ofrecidas a inmobiliarias. El asentamiento está compuesto por cuatro secciones (I, II, III y IV), la zona I fue designada para uso exclusivo de personas con capacidades diferentes (débiles visuales, discapacidad motriz, entre otras), en la construcción de viviendas también participó el Instituto Municipal de Vivienda (IMUVI), pero aunque cuentan con conexiones de agua en la vivienda el servicio es transitorio. Las secciones II y III quedaron inconclusas, pues la inmobiliaria desapareció de forma espontánea, por lo que está incierto su proceso de regularización, mismo que le otorgaría las bases para acceder a los servicios. Finalmente, la sección IV pertenece al partido político acción nacional. En todas las secciones la falta de agua es un problema, por ello en el año 2007 se llevó a cabo la perforación de un pozo en La Nueva Aldea para abastecer las secciones descritas.

Por otro lado, el asentamiento Villas Oriente, producto de la Inmobiliaria y Constructora Solórzano S.A. de C.V. (desde ahora HERSO, por su nombre comercial) es el mejor equipado y cuyo proceso de urbanización

se ha llevado conforme a la normativa legal, aunque existen varias inconsistencias en el acceso al agua, especialmente, en cómo se obtuvieron los derechos del pozo del que se abastecen, pues es el mismo pozo que se perforó en La Nueva Aldea, ante esa situación ¿por qué la inmobiliaria brinda un servicio de agua a dos asentamientos que provienen de procesos de urbanización independientes y con circunstancias legales diferentes?

En respuesta, a partir del año 2011 HERSO comenzó a brindar el servicio de agua para ambos asentamientos sin ningún tipo de explicación de carácter legal, pero eso tiene respuesta por un fideicomiso entre la inmobiliaria de La Nueva Aldea, el Instituto de Vivienda del Estado de Michoacán y la Impulsora de Vivienda de Michoacán S.A de C.V, todos cedieron a HERSO el terreno donde se construyó La Nueva Aldea y de forma paralela obtuvo la posesión de ambos asentamientos y también la administración y acceso al agua. Aunque cabe señalar que en el Registro Público de Derechos de Agua aparece como titular la Impulsora de Vivienda de Michoacán S.A de C.V.

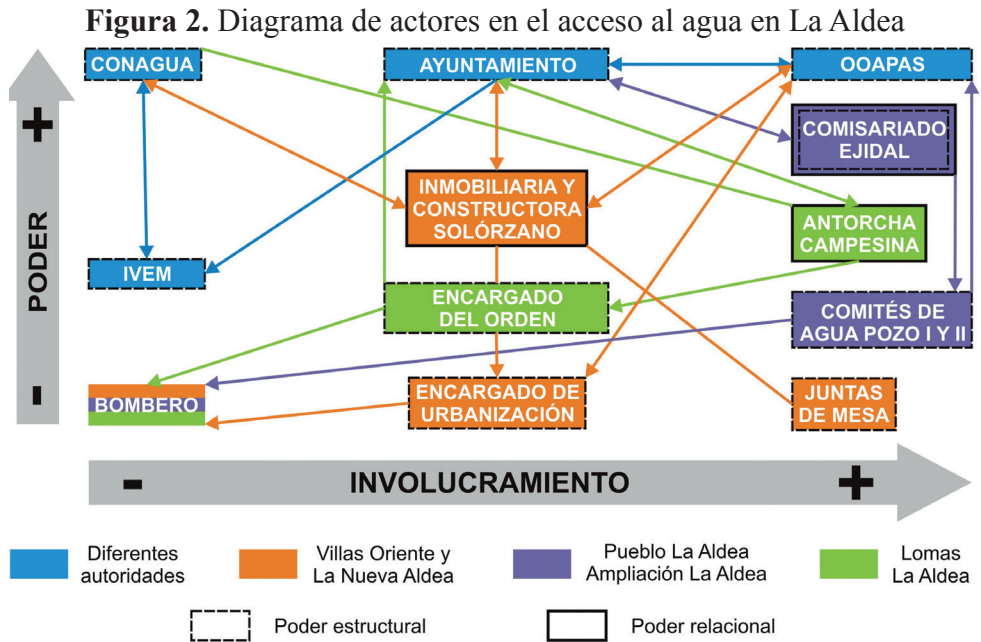
En el servicio de agua por parte de HERSO existe un encargado de urbanización quien es el responsable de inspeccionar y brindar adecuadamente el servicio y desarrollar los proyectos requeridos por OOAPAS para la autorización del conjunto habitacional. OOAPAS por su parte es la autoridad encargada de vigilar e inspeccionar que los proyectos relativos al servicio de agua y drenaje se lleven adecuadamente por la inmobiliaria para posteriormente otorgar su aprobación. Asimismo, se cuenta con las juntas de mesa conformadas por representantes de los asentamientos, los cuales apoyan con la vigilancia para que el resto de los habitantes hagan un uso adecuado del agua y también comuniquen las demandas e inconformidades hacia la inmobiliaria. Por último está el “bombero”, es el técnico que se encarga de distribuir el agua del pozo hacia las viviendas, así como vigilar que el sistema de distribución se encuentre en óptimas condiciones.

Es evidente que el OOAPAS no brinda el servicio de agua en ninguna de los asentamientos de La Aldea. A esa situación se suman dos argumentos, el primero es porque ha sido incapaz de realizar una adecuada gestión y la población no confía en su servicio, tal como sucede en el Pueblo de la Aldea y Ampliación la Aldea donde los ejidatarios junto con los comités de agua decidieron mantenerse al margen de dicho organismo y ser ellos los responsables del servicio, como lo hacían desde que eran considerados un

ejido, y esto a su vez tiene el respaldo de la población. La segunda es por la situación legal en la que se encuentran los asentamientos, pues Lomas La Aldea, Villas Oriente y La Nueva Aldea no han concluido su construcción, por ende, aún no se entregan al municipio para realizar la regularización de la tenencia del suelo y que se puedan suministrar los servicios.

También es notoria la diferencia de acceso y disponibilidad de agua en los asentamientos, esto se debe a las diferentes decisiones que se han tomado, aunque a mayor poder e involucramiento el acceso y disponibilidad es mejor, esto se observa en unos cuantos, mientras que el resto de los pobladores tienen menores relaciones de poder e involucramiento, lo que equivale a tener menos acceso y disponibilidad de agua.

Con lo señalado hasta el momento y en relación al trabajo de Arahuetes *et al.* (2016), se comprobó que el poder estructural juega un papel fundamental a través del papel de las instituciones, sea la CONAGUA y el Ayuntamiento de Morelia, los cuales son importantes en procesos administrativos y legales, pero en la zona de estudio son menos significativos debido a su escaso involucramiento (Figura 2). Otros actores como OOAPAS y los Comités de Agua son partícipes, pero solo se limitan a cuestiones técnicas, sin injerencia en aspectos sociales. Por otro lado, y adicional al poder relacional socio-político que señala Schmidt (2014), se identificó que el mayor peso en el ciclo hidrosocial de La Aldea es a través de actores como Antorcha Campesina y HERSO. Esos actores han tenido repercusiones significativas asociadas a las relaciones que establecen con el municipio, las cuales suelen ser con la finalidad de un beneficio propio y de ventaja respecto a otros actores con poder estructural. Así, las relaciones de poder se orientan sobre la injerencia social y económica, más que la institucional (es permisible), a pesar de que el Estado es quien, ante el marco legal, debería atender el acceso al agua y las formas de ocupación del territorio.



Fuente: Elaborado a partir de las entrevistas realizadas.

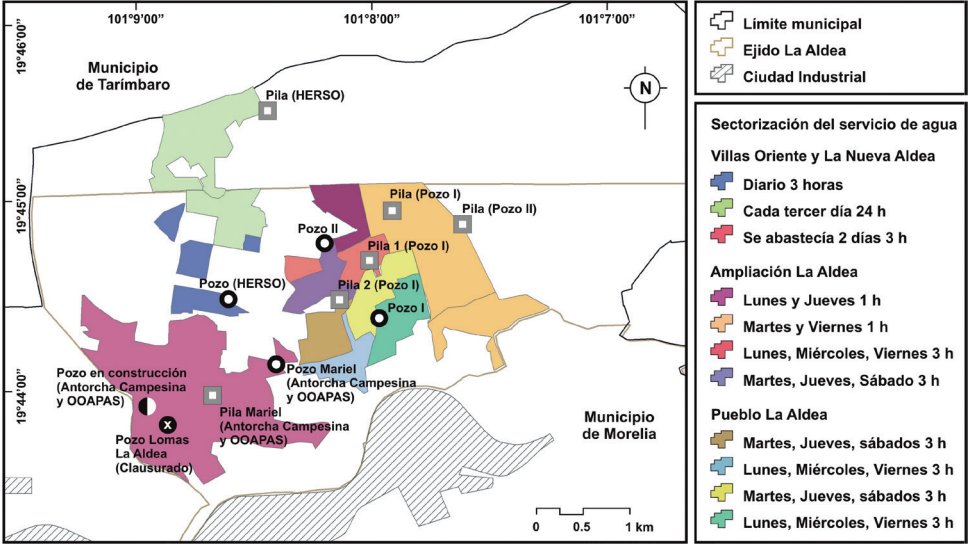
Agua de acceso limitado, distribución deficiente y servicio costoso

El acceso al agua en La Aldea es limitado, principalmente, proviene de cuatro pozos en función, ya que dos fueron cerrados, y uno se encuentra en construcción. En cada pozo se extrae el agua mediante bombas eléctricas, por gravedad es direccionada a pilas (cisternas), y después se instalan ductos para distribuir el agua hacia las viviendas. Con el fin de lograr un acceso equitativo, el servicio fue sectorizado tanto espacial como temporalmente, por lo mismo no se dispone de agua todos los días a excepción de HERSO, siendo que su pila es la más distante (Figura 3). Lo anterior ha derivado en malas interpretaciones y algunos pobladores creen que la transitoriedad del servicio se debe a favoritismos.

Si bien la distribución del agua es por gravedad, el terreno accidentado donde se asientan algunas viviendas representa un problema, especialmente las más alejadas a las pilas, ya que inciden en diferencias de presión y disminución de la cantidad de agua (Figura 4-A); los asentamientos están sobre una pendiente promedio de 8 % excepto Lomas La Aldea y Ampliación La Aldea que se encuentran sobre una pendiente >15 %, (Figura 4-B).

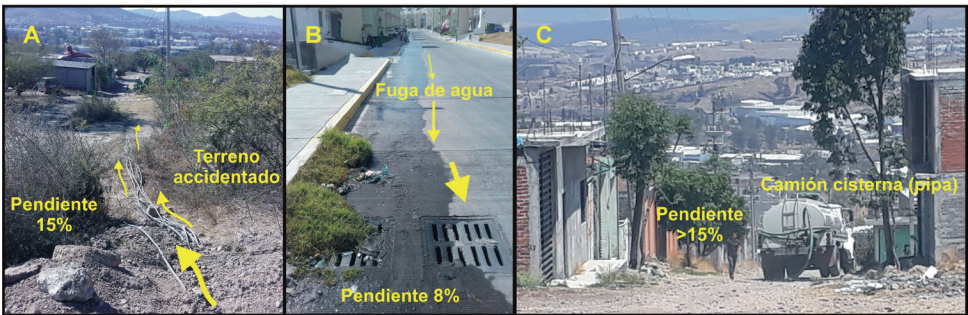
En ocasiones y ante el desabasto de agua, los habitantes de las zonas más alejadas y pendientes inclinadas suelen optar por la compra de agua a través de pipas (Figura 4-C).

Figura 3. Fuentes de abastecimiento y sectorización del servicio del agua



Fuente: Elaboración con datos del INEGI (2010), IMPLAN (2017) y entrevistas.

Figura 4. Condiciones del relieve en la distribución por gravedad del agua en La Aldea



Fuente: Fotografías tomadas por los autores en noviembre 2018.

Los comités de agua han explicado, que además de las condiciones del terreno, la infraestructura y la llegada de nuevos pobladores son determinantes para que el agua no llegue a la vivienda de forma homogénea. En la figura 5 se muestra la instalación provisional de ductos con materiales frágiles (plástico) (Figura 5-A), conexiones excesivas (cada conexión afecta al resto) (Figura 5-B), válvulas para regular la presión del agua y reparaciones deficientes (Figura 5-C), todo ello forma parte de las estrategias que optan los representantes para solucionar los problemas, pero al utilizar materiales frágiles, provisionales y mal puestos se requiere de reparaciones continuas o reemplazos. Lo anterior propicia que el mantenimiento sea costoso y como respuesta se procura utilizar recursos económicos de la caja de ahorro del comité y/o la cooperación monetaria de la población, pero suele ser insuficiente. En general, la transitoriedad del servicio en suma con las deficiencias de infraestructura provoca que cada vez más personas no cuenten con agua en la vivienda, aunque se destaca que continúa la venta y disposición de conexiones en viviendas de reciente creación y distantes de las pilas.

Figura 5. Infraestructura utilizada en la distribución del agua.



Fuente: Fotografías tomadas por los autores en noviembre 2018.

A pesar de las dificultades, los responsables de brindar la continuidad del servicio de agua tratan de que la población tenga los litros mínimos requeridos para cubrir sus necesidades, pero el discurso que se emplea señala que el agua de los pozos es limitada y la respuesta ha sido sortear temporalmente el suministro de agua. Aun con esa acción, el porcentaje de continuidad es muy bajo en todos los asentamientos, inclusive Villas Oriente que es la más alta con poco más del 50 % del tiempo (Tabla 1). La limitada continuidad no solo incluye el detrimento de la cantidad adecuada de agua a los pobladores, sino que también reduce la vida útil de las instalaciones a través del deterioro de las tuberías.

Tabla 1. Continuidad del servicio de agua en La Aldea

Asentamiento	Servicio	Horas a la semana	Continuidad (%)
Pueblo La Aldea	Cada 3er día 3 horas	10.71	6.38
Ampliación la Aldea	2 y 3 días a la semana 1 o 3 horas	5	2.98
Lomas la Aldea	2 días a la semana 2 hora	4	2.38
La Nueva Aldea	7 días 3 horas	21	12.50
Villas Oriente	Cada 3er día 24 horas	85.71	51.02

Fuente: Elaborado con las entrevistas realizadas a los representantes de brindar el agua a los asentamientos.

En lo que respecta a la cantidad de agua, la mayoría de los asentamientos se encuentran por debajo de 150 litros al día por persona (Tabla 2), mientras que la CONAGUA (2015) señala que el consumo promedio de agua por persona en México es de 380 litros al día. Al carecer de información oficial se indagó en la encuesta el consumo de agua aproximado al día (ejemplificado por recipientes de 20 litros), el resultado arrojó un promedio de 140 litros por día (cuando se tiene); equivale a 1 ½ recipientes en la ducha (30 litros), 2 en el WC (40 litros), ½ en el aseo de manos (10 litros), 2 en el lavado de utensilios para alimento (40 litros) y 1 en el lavado de prendas de vestir (20 litros). Al respecto, la Organización Mundial de la Salud menciona una cantidad aproximada de 20 litros al día por habitante solo para alimentos y aseo personal (CONAGUA, 2015). Ante la insuficiente cantidad de agua para cubrir las necesidades, la respuesta de algunas personas ha sido recurrir a la compra de agua mediante camiones cisterna (conocidas como pipas) o agua embotellada, lo que significa un costo económico extra.

Tabla 2. Cantidad de agua al día por persona en La Aldea

Asentamiento	Número de habitantes	Número de habitantes estimados	Litros en un día	Litros al día por persona	Litros al día por persona
Pueblo la Aldea	2522	4800	1296000	513.88	270
Ampliación La Aldea	753	1600	228571	303.55	142.85
Lomas la Aldea	421	2000	432000	410.45	86.4
La Nueva Aldea	578	2240	172800	298.96	77.14
Villas Oriente	8288	8288	1209600	145.95	145.95

Fuente: INEGI (2010) y entrevistas a los representantes de brindar agua a los asentamientos.

En el Pueblo La Aldea y Ampliación La Aldea el costo por el servicio de agua es anual que, junto a la adecuada administración, la mayoría de los habitantes está conforme con el pago por el servicio; Pozo I de \$700 pesos (US\$36.30) y Pozo II de \$800 pesos (US\$41.48). Sin embargo, el presidente del comité del Pozo II manifiesta que a pesar del costo, existen vecinos que no realizan el pago, inclusive tienen años con la deuda, situación que limita el presupuesto. Ante dicho problema se intentó retirar el servicio o imponer sanciones, pero los pobladores han sido violentos, de ahí que señalaron como riesgoso el trabajo que desempeña el presidente del comité.

En Lomas La Aldea el costo mensual, hasta el año 2016, ese encontraba entre \$80 pesos (US\$4.15) y \$120 pesos (US\$6.22), eso cuando se abastecían del agua del pozo y hasta su cierre (septiembre de ese mismo año). Posterior a ello, se recurre a la compra de agua mediante camiones cisterna con un costo entre \$600 pesos (US\$31.11) y \$1,200 pesos (US\$62.22), mientras que aquellos habitantes que se unieron a Antorcha Campesina aseguraron el acceso al agua a través del control de un pozo.

En el caso de La Nueva Aldea y Villas Oriente son los únicos de La Aldea que están exentos del pago por el servicio, eso se debe porque HERSO es la encargada del abastecimiento y en solventar los gastos de servicio hasta que se concluya y entregue el asentamiento al municipio de Morelia (equivale a la legalización del asentamiento), en ese momento será el OOAPAS el responsable de definir precios y cobrar por el servicio.

También es importante considerar el gasto económico para la limpieza de las pilas, reparación de fugas, instalación de válvulas, nuevas conexiones domiciliarias y el pago al bombero. Cada responsable de brindar el servicio recibe un recurso anual con el que realizar el mantenimiento de pozos y pilas, así como reparaciones de fugas, válvulas o nuevas conexiones, aunque el pago mayor se lleva en la energía eléctrica, misma que asciende al año a \$1'374,000 pesos (US\$71,245) (Tabla 3). Al respecto, Lomas La Aldea y Ampliación La Aldea son los asentamientos que presentan mayores complicaciones debido al recurso económico limitado que presentan los habitantes y la deficiente administración.

Tabla 3. Gasto anual en la administración del acceso al agua

Asentamiento	Energía eléctrica Peso / Dólar	Mantenimiento Peso / Dólar	Servicio de bombero Peso /Dólar
Pueblo de la Aldea	\$390 000 / US\$20 222	\$80 000 / US\$4148	\$60 000 / US\$3111
Ampliación la Aldea	\$540 000 / US\$28 000	\$100 000 / US\$5185	\$42 000 / US\$2177
Lomas la Aldea	\$420 000 / US\$21 778	\$70 000 / US\$3630	\$72 000 / US\$3733
La Nueva Aldea	\$510 000 / US\$26 444	-	-
Villas Oriente			

Fuente: Elaborado con las entrevistas a los representantes de brindar el agua a los asentamientos.

Por otro lado, los principales usos que la población realiza con el agua que recibe es la limpieza de la casa, lavar ropa y utensilios de comida y aseo personal. En el caso de los alimentos, se compra agua embotellada de 20 litros (desde ahora garrafón), ya que no se confía en la calidad del agua que se suministra en la vivienda. Lo anterior implica un gasto adicional, se estima que a la semana el 66 % de la población compra entre 1 y 3 garrafones, un 20 % entre 4 y 6 y un 14 % más de 6 garrafones. Para economizar el gasto se suele acudir a puntos donde se rellenan los garrafones por un precio \pm \$15 pesos (US\$0.80), eso quiere decir que el gasto puede alcanzar hasta \$90 pesos (US\$4.7) por 6 garrafones a la semana.

Ahora bien, el 67 % del total de los habitantes del Pueblo La Aldea, Lomas La Aldea y Ampliación La Aldea utilizan el agua pluvial, misma que se capta en cisternas y se utiliza para aseo doméstico y prendas de vestir, pero en el resto de los asentamientos no se considera esa práctica alterna. Aunque cabe decir que el 70 % de los encuestados de todos los asentamientos sí reutilizan agua, especialmente de la ducha o del lavado de prendas de vestir, misma que se usa en el WC o para regar plantas. Cabe decir que ambos casos no son prácticas usuales, pero de implementarse ayudaría en la cantidad de agua y reducir costos.

El desperdicio de agua fue evidente en los recorridos de campo, entre las principales causas destacaron las fugas por los ductos de distribución e infraestructura domiciliaria, el caso más delicado fue Villas Oriente, pues cuatro de los siete días de la semana presentó flujo abundante de agua en las calles e incluso se observaron sitios con humedad.

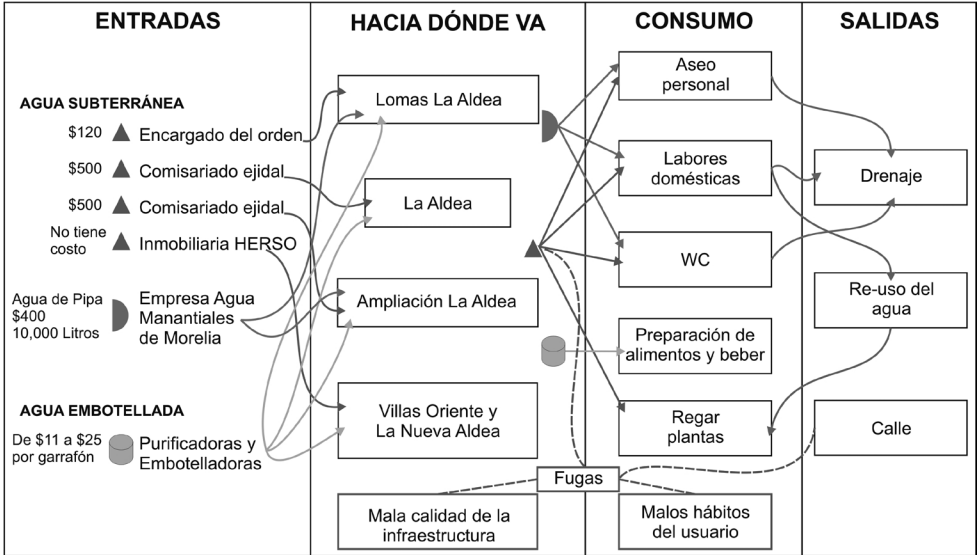
Con los argumentos anteriores sobresalen dos situaciones. La primera es que el Ayuntamiento de Morelia (2012) reporta que las personas

de la zona de estudio cuentan con agua independiente de la cantidad, transitoriedad y sectorización del servicio, pero al ser información oficial se integra a los Objetivos de Desarrollo del Milenio y aparece que sí tienen acceso al agua, entonces ¿cuántos lugares presentan y envían reportes bajo estas condiciones? La otra situación es la cantidad de agua embotellada que se compra, sea por la calidad o por su carencia, el fenómeno coincide con cifras a nivel país, ya que el 76.3 % de los hogares en México consume agua embotellada (INEGI, 2018), cifra que se inserta en el rol de poder, economía, necesidad y debilita el ciclo hidrosocial.

Ciclo hidrosocial, cambios en los flujos de agua y las repercusiones en la accesibilidad

Las entradas de agua en La Aldea al año 2012 estaban definidas, en su mayoría, por pozos, seguida de agua embotellada (garrafón de 20 litros) y finalmente, por la obtención de agua a través de camiones cisterna (pipas) (Figura 6). En ese sentido, y aun con los conflictos socio-políticos, el agua de los pozos era suministrada por un servicio eficiente con un costo relativamente bajo, por lo que el agua embotellada se usaba exclusivamente para los alimentos, mientras que la compra de agua por pipas era cuando no se disponía de agua a causa del mantenimiento de pozos y pilas; el promedio mensual por el costo del agua en la vivienda era de \$350 pesos (US\$18). De lo anterior, la salida del flujo tenía como destino la calle o el drenaje, y era mínimo el re-uso del agua. Adicional, se acentuaron factores que influyeron en el descontrol del acceso al agua, las relaciones sociales comenzaron a debilitarse y los grupos de poder comenzaron a posicionarse en el manejo y gestión del agua.

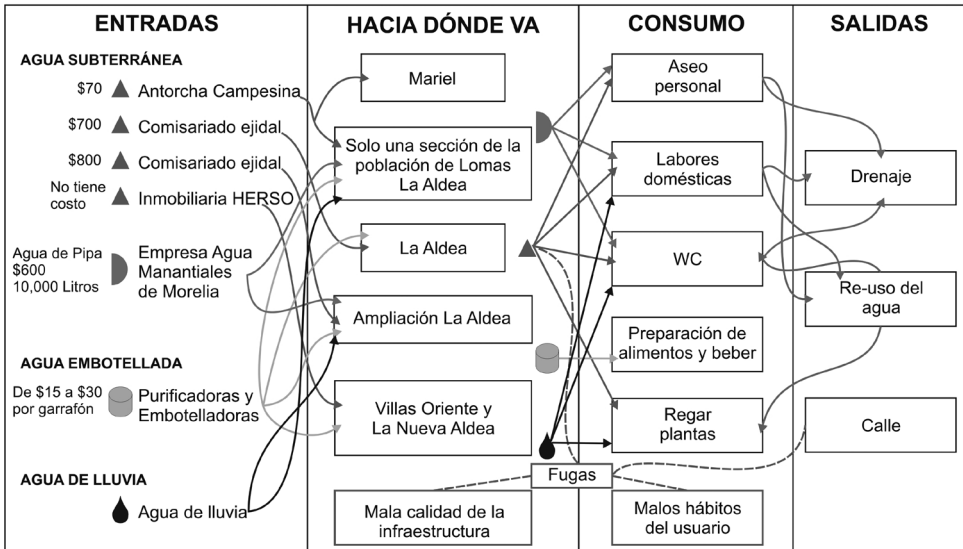
Figura 6. Diagrama de flujo del ciclo hidrosocial en La Aldea, 2012.



Fuente: Elaboración propia con base en recorridos a campo, encuestas y entrevistas.

Al año 2018, el ciclo hidrosocial evidenció mayores aristas negativas, pues con el crecimiento de los asentamientos el acceso fue menor y el servicio se redujo de horas a días (hasta siete días), aumentaron las inconformidades de la población residente, mientras que los actores con relaciones políticas generaron aún más divisiones, tensiones y fragmentaron el territorio provocando estrés en el ciclo hidrosocial. Así, en la figura 7 se muestra que al año 2018 el ciclo hidrosocial se modificó de forma importante, pues la entrada del flujo de los pozos disminuyó y aumentaron otras formas de acceso al agua (camiones cisterna y agua embotellada) que, hacia el año 2012, eran opcionales, además, el gasto promedio mensual incrementó a \$600 pesos (US\$31), casi el doble respecto al año 2012, ello propició otras alternativas como el re-uso del agua y la captación de agua de lluvia.

Figura 7. Diagrama de flujo del ciclo hidrosocial en La Aldea, 2018.



Fuente: Elaboración propia con base en recorridos a campo, encuestas y entrevistas.

Es claro que existe un problema derivado de la insuficiencia de agua subterránea en La Aldea, pero este trabajo deja en evidencia que la mayoría de los problemas son de tipo social y político, entre ellos, el abuso de poder de actores y la escasa atención de las autoridades. Con base en los argumentos de la ecología política que plantea Swyngedouw (2009) y Budds (2012), el presente trabajo ejemplifica el complejo metabolismo entre naturaleza y sociedad, donde se sobresalen las relaciones de poder sobre el control del agua para garantizar intereses individuales y mantener o acrecentar control y dominio. Por otra parte, y en complemento a lo señalado sobre la transformación territorial a partir del agua de Arahuetes *et al.* (2016), aquí se adiciona la sectorización del propio territorio, tanto física como social, pues todos los asentamientos están conformados en superficies relativamente pequeñas [Villa Oriente (53.9 ha), La Nueva Aldea (19.7 ha), Pueblo La Aldea (70 ha), Lomas La Aldea (125 ha) y Ampliación La Aldea (84.5 ha)] y próximos entre sí, donde la distancia entre tener o no tener agua es de unos cuantos centímetros a metros; todo lo anterior forma un mosaico que influyen en el estrés del ciclo hidrosocial.

Conclusiones

Se observó que la periferia urbana de Morelia es un sector poco explorado en temas híbridos del agua y con mínima atención de las autoridades. El enfoque integral del ciclo hidrosocial permitió identificar que el acceso al agua es diferenciado, principalmente por acciones y estrategias de actores con poder social, político y económico. También se pudo distinguir estrés en el ciclo hidrosocial, asociado con indicadores de entradas y salidas de flujo de agua, ya que las entradas son modificadas por intereses socio-políticos, mientras que las salidas se fundamentan en intereses económicos de los afectados. Así, la ciclicidad en el acceso al agua es supeitada por actores con relaciones de poder que gestionan a través de un discurso colectivo, pero con intensiones individualistas, y por otro lado, se encuentra la indiferencia y complacencia de las autoridades por dejar ocupar sitios fuera del reglamento y después no contemplarlos en la dotación de servicios básicos. En suma, se genera una reconfiguración territorial arbitraria producto de las necesidades y posibilidades de los habitantes e intereses de los grupos de poder.

Asimismo, existe poca participación de la población en el tema del agua, provocado por la desmotivación de no ser tomados en cuenta en las decisiones colectivas, por lo que la única respuesta que existe es la de adaptarse y responder de forma espontánea. La respuesta generalizada es la espontaneidad, donde los materiales y estrategias para acceder y distribuir el agua se realizan de forma frágil y rudimentaria. Claramente, es una respuesta ante la necesidad y ausencia del Estado, pero las modificaciones al medio y la cada vez mayor infraestructura deficiente con escasa planeación y proyección, traerá consigo altos costos y conflictos hidrosociales que dificultarán la posterior intervención de la autoridad y la planeación urbana. Por el momento, el OOAPAS sigue realizando de forma esporádica estudios técnicos que se limitan a evaluar la cantidad y calidad del agua en los pozos.

Por otro lado, los procesos de gestión y administración se complejizan conforme la dinámica de los grupos de poder. Todos los asentamientos presentan un grupo de poder, pero entre Antorcha Campesina y el encargado del orden propiciaron la ruptura del tejido social y fomentaron enfrentamientos. Por su parte, el Estado al relegar su labor, nuevamente fortalece a los grupos de poder y quedan desprotegidos el resto de los habitantes, por lo mismo tienen la necesidad de adaptarse o responder con sus recursos para acceder al agua.

Los hallazgos del trabajo brindan la posibilidad para justificar y establecer bases para políticas públicas enfocadas en generar un verdadero involucramiento de las autoridades a multiescala (federal, estatal y municipal). También, que los pobladores conozcan con mayores argumentos la situación y puedan ser partícipes en la toma de decisiones. Además, ofrece una opción para debilitar a los grupos de poder y trabajar sobre procesos de gestión y manejo del agua de forma colectiva e integral.

Finalmente, ante los problemas derivados en el acceso y distribución de agua, se identificaron iniciativas como el re-uso y captación de agua de lluvia, mismas que pueden contribuir de forma importante en la sostenibilidad hídrica del lugar. Esas actividades han cobrado fuerza en La Aldea, pues su aplicación es acompañada, aunque todavía incipiente, en el aprovechamiento en la diversificación de usos (especialmente en actividades cotidianas) y en la disminución del gasto económico. Es claro que actualmente esas alternativas se llevan a cabo con métodos rudimentarios, pero al eficientizar la infraestructura se esperaría beneficios a una mayor escala. Al mismo tiempo que esas alternativas se consoliden se puede promover, fomentar y sensibilizar el uso adecuado del agua, así como contrarrestar ejercicios de poder e incluir mayor involucramiento de las personas, y por ende, se beneficie y colabore en pro del estrés del ciclo hidrosocial.

Referencias

- Aguilar, G. (2008). Peri-urban, illegal settlements and environmental impact in Mexico City. En: *Cities*, 25, 133-145. doi.org/10.1016/j.cities.2008.02.003
- Arahuetes, A., Villar, R. y Hernández, M. (2016). El ciclo hidrosocial en la ciudad de Torre Vieja: retos y nuevas tendencias. En: *Revista de Geografía Norte Grande*, 65, 109-128. doi.org/10.4067/S0718-34022016000300006
- Ávila, P. (2007). *Agua, ciudad y medio ambiente. Una visión histórica de Morelia*. Michoacán, México: UNAM/SEDESOL/Ayuntamiento de Morelia
- Ayuntamiento de Morelia (2012). *Programa Parcial de Desarrollo Urbano de la Zona Oriente de Morelia*. Recuperado de: http://conurbamx.com/home/wp-content/uploads/2015/02/Carta-Urbana-de-Morelia-Zona-Oriente_comp.pdf.

- Bravo, M., Barrera, G., Mendoza, M., Sáenz, J., Bahena, F., y Sánchez, R. (Eds.). (2012). *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*. Michoacán, México: CIGA-UNAM/INIFAP
- Budds, J. (2008). "Whose scarcity? The hydrosocial cycle and the changing waterscape of La Ligua river basin, Chile". *Contentious geographies: Environment, meaning, scale*. Aldershot, UK: Ashgate. (pp. 59-68).
- Budds, J. (2012). La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: un análisis del ciclo hidrosocial del valle del río La Ligua, Chile. En: *Revista de Geografía Norte Grande*, 52, 167-184. doi.org/10.4067/S0718-34022012000200010
- Budds, J., Linton, J., y McDonnell, R. (2014). The hydrosocial cycle. En: *Geoforum*, 57, 167-169. doi.org/10.1016/j.geoforum.2014.08.003
- Castro, P. y Rodrigues, F. (2017). Cities and water security in the anthropocene: Research challenges and opportunities for international relations. En: *Contexto Internacional*, 39(3), 521-544. doi.org/10.1590/S0102-8529.2017390300004
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México*. Ciudad de México: CONAGUA/SEMARNAT.
- Delgado-Ramos, G. (2015). Water and the political ecology of urban metabolism: the case of Mexico City. En: *Journal of Political Ecology*, 22, 98-114. doi.org/10.2458/v22i1.21080
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1931). Decreto por el que se expropien superficies de terrenos pertenecientes a los ejidos Cotzio, Santiaguito, Salitrillo, Isaac Arriaga y Colonia Consuelo Alfaro de Vázquez, Tarímbaro y Morelia. México.
- Díaz-Caravantes, R. y Wilder, M. (2014). Water, cities and peri-urban communities: Geographies of power in the context of drought in northwest Mexico. En: *Water Alternatives*, 7(3), 499-417. Recuperado de: <http://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol7/v8issue3/261-a7-3-4/file>
- Domènech, L., March, H., y Saurí, D. (2011). Degrowth initiatives in the urban water sector? A social multi-criteria evaluation of non-conventional water alternatives in Metropolitan Barcelona. En: *Journal of Cleaner Production*, 38, 1-12. doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.09.020

- Domínguez, J. (2006). La gobernanza del agua en México y el reto de la adaptación en zonas urbanas: el caso de la ciudad de México. En: *Anuario de espacios urbanos, historia, cultura y diseño*, 13, 273-296. Recuperado de: <http://espaciosurbanos.azc.uam.mx/index.php/principal/article/view/139/136>
- Garduño, V., Giordano, N., Ávila, J., Hernández, V., Sámano, A. y Díaz, J. (2014). Estudio hidrogeológico del sistema acuífero de Morelia, Michoacán, para una correcta planificación del territorio. *Urbanización, Sociedad y Ambiente. Experiencias en ciudades medias*. Morelia, Michoacán: CIGA-UNAM (pp. 197-222).
- Gobierno de México (2018). *Estrategia Nacional para la puesta en marcha de la Agenda 2030. Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado: <https://www.gob.mx/agenda2030/documentos/estrategia-nacional-para-la-puesta-en-marcha-de-la-agenda-2030>
- Gómez-Valdez, M. y Palerm-Viqueira, J. (2016). El abasto de agua por pipa en el valle de Texcoco, México. En: *Tecnología y ciencias del agua*, 7(2), 133-148. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n2/2007-2422-tca-7-02-00133.pdf>
- Impulsora de Vivienda de Michoacán S.A. de C.V. (IVEM). (2011). Escritura Pública Número 27992. Morelia, Michoacán.
- Instituto Municipal de Planeación de Morelia (IMPLAN). (2017). *Sistema de información Geográfica y Estadística de Morelia*. Recuperado de: <https://implanmorelia.org/virtual/sigem/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Censo de población y vivienda 2010. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/default.html>
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). (2018). Módulo de Hogares y Medio Ambiente, *comunicado de prensa núm. 262/18, 15 de junio de 2018*. Recuperado: <http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/>
- Kallis, G. (2010). Coevolution in water resource development the vicious cycle of water supply and demand in Athens, Greece. En: *Ecological Economics*, 69, 796-809. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.025
- Karpouzoglou, T., Marshall, F., y Mehta, L. (2018). Towards a peri-urban political ecology of water quality decline. En: *Land Use Policy*, 70, 485-493. doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.004

- Kaushal, S., McDowell, W., Wollheim, W., Newcomer, T., Mayer, P., Belt, K., y Pennino, M. (2015). Urban evolution: The role of water. En: *Water*, 7, 4063-4087. doi.org/10.3390/w7084063
- Linton, J. y Budds, J. (2014). The hydrosocial cycle: Defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water. En: *Geoforum*, 57, 170-180. doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.10.008
- López, R. (2013). *Sujetos sociales, conflictos y gestión de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en el espacio social-natural de la ciudad de Puebla 1984-2010*. (Tesis doctoral. Facultad de Economía. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla). México.
- López-Mares, L., Lozano de Poo, J., Torre-Silva, F., Rodríguez-Santiago, J. y López-Fraga, J. (2019). El ciclo hidro-social de los ríos urbanos: Transformaciones del paisaje hídrico en San Luis Potosí, México. En: *Revista de Ciencias Ambientales. Tropical Journal of Environmental Sciences*, 53(1), 45-69. doi.org/10.15359/rca.53-1.3
- Meerganz von Medeazza, G. (2006). Flujos de agua, flujos de poder. La aportación de Erik Swyngedouw al debate sobre los recursos hídricos en Latinoamérica y en el Estado español. En: *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 47, 129-139. Recuperado de: <https://ddd.uab.cat/pub/dag/02121573n47/02121573n47p129.pdf>
- Metha, L., Allouche, J., Nicol, A., y Walnycki, A. (2014). Global environmental justice and the right to water: The case of peri-urban Cochabamba and Delhi. En: *Geoforum*, 54, 158-166. doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.05.014
- Morales, M. (2015). *Flujos de agua y poder. La gestión del agua urbanizada en la ciudad de Morelia, Michoacán*. (Tesis doctoral. Centro de Estudios Antropológicos, El Colegio de Michoacán, A.C.) México. (pp.311).
- Naciones Unidas (2010). *El derecho humano al agua y saneamiento. Asamblea General del 28 de julio de 2010*. Recuperado: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S.
- Naciones Unidas (2015). *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. [Informe 2015]. Recuperado: <http://www.un.org/es/millenniumgoals/>
- Narain, V. (2016). Peri-urbanization, land use change and water security: A new trigger for water conflicts? En: *II Kozhikode Society Management Review*, 5(1), 5-7 doi.org/10.1177/227797521561726

- Nieto, C. (2014). La construcción simbólica del miedo en la ciudad de México. En: *Nueva Antropología*, 27(81), 33-53. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-06362014000200003
- Olvera-Molina, M. (2016). Desnaturalizando la cuenca en México: notas sobre el espacio hidropolítico. En: *Agua y Territorio*, 7, 11-21. doi. [org/10.17561/at.v0i7.2959](https://doi.org/10.17561/at.v0i7.2959)
- Rodríguez, A. (2018). Apropiación del agua y configuración hidrosocial en los Altos de Jalisco (1935-2017). En: *Secuencia*, 101, 167-199. doi. [org/10.18234/secuencia.v0i101.1492](https://doi.org/10.18234/secuencia.v0i101.1492)
- Schmidt, S. (2014). Historicising the hydrosocial cycle. En: *Water Alternatives*, 7 (1), 220-234. Recuperado de: <http://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol7/v7issue1/242-a7-1-13/file>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) y Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2018). *Sistema Urbano Nacional 2018*. Ciudad de México: SEGOB/SEDATU/CONAPO.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Atlas del agua en México*. Ciudad de México: SEMARNAT y CONAGUA.
- Somuano, M. (2007). Movimientos sociales y partidos políticos en América Latina: una relación cambiante y compleja. En: *Política y Cultura*, 27, 31-53. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-77422007000100003
- Swyngedouw, E. (1997). Power, nature, and the city. The conquest of water and the political ecology of urbanization in Guayaquil, Ecuador: 1880-1990. En: *Environment and Planning A*, 29, 311-332. doi. [org/10.1068/a290311](https://doi.org/10.1068/a290311)
- Swyngedouw, E. (2009). The political economy and political ecology of the hydro-social cycle. En: *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 142, 56-60. doi.1111/j.1936-704X.2009.00054.x
- Swyngedouw, E., Kaika, M., y Castro, E. (2002). Urban water: a political-ecology perspective. En: *Built Environment*, 28(2), 124-137.
- Tetreault, D. y McCulligh, C. (2018). Water grabbing via institutionalized corruption in Zacatecas, Mexico. En: *Water Alternatives*, 11(3), 572-591.

- Vieyra, A., Méndez-Lemus, Y., y Hernández-Guerrero, J. (Coords.). (2018). *Procesos periurbanos: desequilibrios territoriales, desigualdades sociales, ambientales y pobreza*. Morelia, Michoacán: CIGA-UNAM.
- Vilchis-Mata, I., Garrocho-Rangel, C. y Díaz-Delgado, C. (2018). Modelo dinámico adaptativo para la toma de decisiones sostenibles en el ciclo hidrosocial urbano en México. En: *Revista de Geografía Norte Grande*, 71, 59-90. doi.org/10.4067/S0718-34022018000300059.



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 2019 en el Programa de Publicaciones e Impresiones de la Universidad Nacional; consta de un tiraje de 150 ejemplares, en papel bond y cartulina barnizable.

1051-19-PUNA