



ISSN 1011-484X

REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL

61

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



CONTENIDO CONTENTS

Pág.

Presentación

Presentation

Lilliam Quirós-Arias

Consuelo Alfaro-Chavarría 9

TEORÍA, EPISTEMOLOGIA Y METODOLOGIA

THEORY, EPISTEMOLOGY AND METHODOLOGY

Comparación de la Metodología Mora-Vahrson y el Método Morfométrico para Determinar Áreas Susceptibles a Deslizamientos en la Microcuenca del Río Macho, Costa Rica

A Comparison of the Mora-Vahrson Methodology and the Morphometric Method to Determine Areas Susceptible to Landslides in the Macho River Microbasin, Costa Rica

Adolfo Quesada-Román

Sergio Feoli-Boraschi 17

Contribuição de Milton Santos para o Debate Epistemológico na Geografia

Milton Santos' Contribution to the Epistemological Debate in Geography
Contribución de Milton Santos para el Debate Epistemológico en Geografía

Thiago Oliveira Neto 47

**Herramientas GNSS en la Enseñanza de Geografía y Cartografía:
Aspectos Metodológicos**

GNSS Tools Used in Teaching Geography and Cartography:
Methodological Aspects

Bepsy Cedeño-Montoya

Consuelo Alfaro-Chavarría71

**Transformações Geopolíticas Recentes no Mundo Islâmico: A
Primavera Árabe**

Transformaciones Geopolíticas Recientes en el Mundo Islámico: La
Primavera Árabe

Recent Geopolitical Transformations in the Islamic World: The Arab Spring

Nizete Maria Bomfim

Dante Severo-Giudice 103

ESTUDIOS DE CASO

CASE STUDIES

**Competitividad y Sustentabilidad de las Ciudades Petroleras de
México: Diagnóstico y Retos**

Competitiveness and Sustainability of Oil Cities in Mexico: Diagnosis
and Challenges

Jaime Torres-Fragoso 135

**Indicadores de Proximidad a Servicios Urbanos en la Ciudad de
Heredia**

Indicators of Proximity to Urban Services in Heredia City, Costa Rica

Marvin Alfaro-Sánchez

Marilyn Romero-Vargas

Tania Bermúdez-Rojas 171

**El Efecto de la Cobertura del Suelo en la Variación de las
Temperaturas Locales; Naranjo, Alajuela, Costa Rica, 2016**

The Effect of Soil Cover on Local Temperature Variations; Naranjo,
Alajuela, Costa Rica, 2016

Enzo Barrientos-Ávila

Michael Moya-Calderón 205

**Caracterización Geomorfológica como Propuesta para la
Planificación Ambiental y Territorial. Un Ejemplo de Aplicación en
Brasil con Perspectiva de Aplicación en Costa Rica**

A Geomorphological Characterization as a Proposal for Environmental
and Territorial Planning. An Example of Application in Brazil Intended
to Be Replicated in Costa Rica

Max Furrier221

**Interpretación de la Actividad Sísmica Reciente de la Zona de
Interior de Placas en la Península Ibérica, Guadalajara**

Interpretation of the Recent Seismic Activity of the Intraplate Zone in the
Iberian Peninsula, Guadalajara, Spain

Mario Octavio Cotilla-Rodríguez

Diego Córdoba-Barba247

**Corralito un Humedal en Vía de Extinción en el Corregimiento de
Severá, Municipio de Cereté, Colombia**

Corralito: A Wetland in Danger of Extinction in the Village of Severá,
Municipality of Cereté, Colombia

Jorge Villadiego-Lorduy

Hernan Tapia-Contreras

Yhonattan Mendez-Nobles

Sergio Florez-Causil263

**Propuesta para una Delimitación Geográfica Integral del
Manglar de Nosara, Guanacaste, Costa Rica**

A Proposal for a Comprehensive Geographical Delimitation of the
Mangrove of Nosara, Guanacaste, Costa Rica

Iván Sanabria-Coto

Milagro Carvajal-Oses

Rooel Campos-Rodríguez

Paola Solera-Steller285

**Dados Espaciais LIDAR (Light Detection and Ranging) na
Caracterização Geomorfológica do Campo de Dunas Costeiras de
Rio de Fogo, Rio Grande do Norte - Brasil**

Light Detection and Ranging in the Geomorphological Characterization
of the Coast Dunes Field of Rio Do Fogo, Rio Grande Do Norte, Brazil
Datos Espaciales LIDAR en la Caracterización Geomorfológica del
Campo de Dunas Costeras del Río de Fogo, Río Grande do Norte - Brasil

Márcia Cristina de Souza Matos-Carneiro

Bruno-Ferreira

Maria das Neves-Gregorio

Gilberto Pessanha-Ribeiro

Dyêgo Lins da-Silva

Saulo Roberto de Oliveira-Vital.....315

**Caracterización Espectral y Detección de Flecha Seca en Palma
Africana en Puntarenas, Costa Rica**

Spectral Characterization and Detection of Bud Rot on Oil Palm in
Puntarenas, Costa Rica

Rubén Martínez-Barbáchano

Gustavo Adolfo Solís-Miranda349

NOTAS Y DOCUMENTOS

NOTES AND DOCUMENTS

Normas de Publicación

Publication Guidelines381

Sistema de Arbitraje

Peer Review Process391

PRESENTACIÓN PRESENTATION

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

La revista está destinada 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. 61 de la Revista Geográfica de América Central del II semestre de 2018 (julio a diciembre). Incluye 13 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, se analizan las metodologías Mora-Vahrson (1994) y el método morfométrico para estudiar sus fortalezas y debilidades en la determinación de zonas susceptibles a deslizamientos. Con un

estudio de caso en la microcuenca del río Macho al NE de San José se comparan los resultados de ambos métodos. Se concluye que ambas metodologías son útiles para la determinación de línea base para zonificar áreas susceptibles a deslizamientos, dependiendo de la disponibilidad de los insumos de entrada.; útiles además para la gestión del riesgo de desastres por procesos de ladera y el ordenamiento territorial.

El segundo artículo, es una contribución teórica sobre la obra de Milton Santos dentro del campo de la Geografía; a través de cinco obras publicadas: *Por uma geografia nova*; *Espaço dividido*; *Espaço, técnica e tempo*; *Natureza do espaço*; *Por uma outra globalização*. Se resaltan algunos conceptos que fueron abordados por el autor; espacio, território y técnica.

El artículo tercero; retoma el trabajo realizado en el proyecto: “Aplicación de la herramienta GPS en la enseñanza de Cartografía”. Se describe la metodología, las fases técnicas, indicando los programas y herramientas utilizadas, y las limitaciones enfrentadas en el proceso. Como productos se tienen el banco de datos espaciales puntuales de alta precisión, el mosaico de fotografías aéreas georreferenciadas y el mosaico de imágenes ortorectificadas. Se concluye que la herramienta de GPS, es de gran utilidad en la enseñanza de la Cartografía.

El cuarto artículo, efectúa un análisis sobre las transformaciones geopolíticas recientes en el mundo islámico, causadas por la denominada Primavera Árabe, iniciada en el año 2011. Se desencadenó una protesta de los países islámicos contra los regímenes totalitarios, disfrazados de democracias teocráticas. La represión era tónica, disfrazada y respaldada por la religión. Esto refuerza la tesis de que la masa popular puede ser manipulada por los poderosos por medio de la religión.

En el quinto artículo, se realiza un análisis de los indicadores de competitividad y sustentabilidad de las ciudades petroleras de Coatzacoalcos, Minatitlán, Salamanca, Tehuantepec-Salina Cruz y Tula. Este trabajo se justifica, primeramente, por el significativo aporte que históricamente han tenido estas urbes en la economía local, regional y en general de México, y, por otra parte, por la severa crisis que experimentan desde 2015 a raíz del desplome de los precios internacionales del petróleo. Asimismo, se exploran algunas de las variables que permiten explicar los niveles de competitividad registrados en estas ciudades y algunas de las posibilidades

que, en materia de política pública, disponen para atender los importantes retos que enfrentan en estos momentos.

En el artículo sexto, se cuantifica el acceso que tienen los residentes de la ciudad de Heredia a algunos servicios básicos en la ciudad, a partir de la distancia a la que viven, calculando que porcentaje de la población residen a 100, 250, 500, 750, 1000 y más de 1000 metros de distancia, de la ubicación de los servicios. Los resultados obtenidos muestran un acceso heterogéneo a los servicios por parte de los residentes de la ciudad, lo cual es lo esperado en un área urbana que ha crecido y evolucionado en función de interés económicos y comerciales sin la intervención de un ente que planifique y regule las actividades en función del bienestar de la población residente.

El séptimo artículo, relaciona las variaciones en las temperaturas locales en el distrito central del cantón de Naranjo, Alajuela, mediante el uso de imágenes Landsat 8 y Sistemas de Información Geográfica. Se realizó una vectorización de la cobertura del suelo y se compararon las áreas de las diferentes coberturas con las áreas de los rangos de temperatura obtenidos, mostrando una relación entre las temperaturas altas y las zonas urbanas y las temperaturas bajas y las zonas con vegetación. Lo que permitió establecer medidas de mitigación y adaptación efectivas ante los cambios climáticos, y así, evitar efectos que van asociadas a las zonas urbanas como lo son las islas de calor.

El octavo artículo, realiza una caracterización geomorfológica como base para la planificación ambiental y territorial en una región costera de Brasil. Desde el punto de vista geomorfológico, el área de estudio se encuentra ubicada sobre las mesetas y tierras bajas costeras, donde predomina la Formación Barreiras y sedimentos del Cuaternario. La integración de los datos obtenidos, generados, analizados y discutidos, fueron sintetizados en la plancha de fragilidad de los ambientes naturales y antrópicos que permite visualizar cómo los componentes del medio físico se integran y pueden influenciar en las dinámicas socio-económicas.

El noveno artículo, presenta un estudio de caso de la ocurrencia de 130 terremotos (2007-2017) en la zona de interior de placas, de la Península Ibérica, valida la regionalización morfotectónica entorno a la provincia de Guadalajara del año 2004. Estos terremotos están localizados en tres bloques (BG6, BG7, y BG8) del mesobloque más oriental (6.3) dentro del macrobloque intermedio.

El décimo artículo, analiza las condiciones ambientales presentes en el humedal de Corralito, el cual se soportó en el análisis y características de las esferas social, económica y natural, a fin de entender las causas de los eventos físicos, económicos, sociales que expliquen los daños ambientales que ha sufrido en los últimos años. La problemática ambiental existente es el resultado de las presiones de tipo antrópico, la ausencia de una cultura ambiental y los intereses de los dueños de predios colindantes al espejo de agua ha llevado a sus habitantes a desequilibrar tal ecosistema estratégico. Como resultado del diagnóstico territorial se identificaron dos problemas ambientales fundamentales: La desecación del humedal y la pérdida de la biodiversidad.

El décimo primer artículo, estudia las características del contexto fisiográfico de una región; apoyado con sistemas de información geográfica, insumos de percepción remota, y modelos de elevación digital; lo cual permitió analizar la distribución horizontal de especies vegetales de un manglar, coadyuvando con su delimitación geográfica. Se demuestra que existen potenciales condiciones fisiográficas para la expansión del manglar en Nosara; por lo que su actual delimitación, por medio de mojones, podría ser superada debido a la adaptabilidad vegetal resultado del futuro incremento del nivel del mar y por ende se recomienda un área geográfica adicional que ejerza una función dentro de los planes maestros costeros como una zona de amortiguamiento, que no solo facilite la migración adaptativa (resiliencia) de las especies vegetales del manglar, sino que permita a su vez crear planes de manejo a futuro.

El décimo segundo artículo, tuvo como objetivo comprender la dinámica de evolución geomorfológica del campo de dunas de Rio do Fogo, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Fue elaborado un mapa geomorfológico, para lo cual, la base cartográfica (imagen de nube de puntos y el Modelo Digital del Terreno - MDT) fue originado del mapeamiento a laser aerotransportado del sistema LIDAR (*Light Detection and Ranging Air-born*). Las imágenes generadas posibilitaron caracterizar la geomorfología del campo dunar. Fueron identificados dos conjuntos morfológicos distintos: (a) Planicie de Acumulación Eólica Dunar (PAED) y (b) una Planicie de Acumulación **Eólica Retrabalhada** (PAER). Esos dos conjuntos morfoesculturales eólicos fueron elaborados a lo largo del Pleistoceno tardío, con una actividad deposicional hasta la transición para el Holoceno.

En **el décimo tercer y último artículo**, se muestra como la geomática, los sensores ópticos terrestres han permitido profundizar y ampliar el conocimiento del comportamiento espectral de los cultivos en estudio, con beneficios cada vez mayores en aplicación de tratamientos y prevención de enfermedades y/o plagas. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la palma africana (*Elaeis guineensis* jacq.), por medio de espectro-radiometría de campo, en plantas sanas y afectadas por la flecha seca. Se utilizó un sensor terrestre hiperespectral con un rango de longitud de onda abarcado de 325 a 1075 nanómetros (espectro visible e infrarrojo cercano). Se confirma la posibilidad de detectar la patología de flecha seca mediante espectroscopía de reflectancia en condiciones de trabajo de campo.

De esta forma, se aprovecha para invitarlos a visitar el sitio electrónico de la revista (<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica>), donde encontrarán en formato PDF todos los números desde su creación.

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

Saludos cordiales,

MSc. Lilliam Quirós Arias
Mag. Consuelo Alfaro Chavarría



TEORÍA, EPISTEMOLOGÍA Y METODOLOGÍA

THEORY, EPISTEMOLOGY
AND METHODOLOGY

Comparación de la Metodología Mora-Vahrson y el Método Morfométrico para Determinar Áreas Susceptibles a Deslizamientos en la Microcuenca del Río Macho, Costa Rica

A Comparison of the Mora-Vahrson Methodology and the Morphometric Method to Determine Areas Susceptible to Landslides in the Macho River Microbasin, Costa Rica

Adolfo Quesada Román¹
Universidad de Ginebra, Suiza
Sergio Feoli Boraschi²
Compañía Nacional de Fuerza y Luz, Costa Rica

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.1>

RESUMEN

Se analizan las metodologías Mora-Vahrson (1994) y el método morfométrico para estudiar sus fortalezas y debilidades en la determinación de zonas susceptibles a deslizamientos. Se explican las metodologías, y posteriormente, se hace un estudio de caso en la microcuenca del río Macho al NE de San José para comparar los resultados de ambos métodos. Dicho análisis establece que ambas metodologías son útiles para la determinación de línea base para zonificar áreas susceptibles a deslizamientos, dependiendo de la disponibilidad de los insumos de entrada. Por último, estas herramientas pueden ser usadas para la gestión del riesgo de desastres por procesos de ladera y el ordenamiento territorial.

Palabras clave: Metodología Mora-Vahrson, morfometría, susceptibilidad, deslizamientos, movimientos en masa

-
- 1 Geógrafo y Geomorfólogo. Instituto de Ciencias Ambientales, Universidad de Ginebra, *Suiza*. Correo electrónico: adolfo.quesada@gmail.com
 - 2 Ingeniero Forestal y Gestor de áreas silvestres protegidas. Compañía Nacional de Fuerza y Luz. Correo electrónico: sfeoli@cnfl.go.cr

Fecha de recepción: 23 mayo de 2017
Fecha de aceptación: 26 de octubre de 2017

ABSTRACT

The Mora-Vahrson methodologies (1994) and the morphometric method are analyzed to study their strengths and weaknesses in the identification of areas susceptible to landslides. First, these methodologies are explained; later, a case study is conducted in the Rio Macho microbasin, northeast San Jose, to compare the results of both methods. This analysis establishes that both methodologies are useful for the determination of baseline for zoning areas susceptible to landslides, depending on the availability of inputs. Finally, these tools can be used for disaster risk management by slope processes and territorial planning.

Keywords: Methodology Mora-Vahrson, morphometry, susceptibility, landslides, mass movements.

Introducción

Un movimiento en masa o proceso de ladera es el movimiento hacia afuera y debajo de una ladera bajo la influencia de la gravedad, que resulta del fallo de cizallamiento de una sección de la ladera a lo largo de un plano de fractura (Dikau, 2004). Entre los factores que favorecen su desarrollo están el cambio del ángulo de inclinación de una superficie, morfología del terreno, exceso o reducción de carga por obras humanas, deforestación, sismos, agua subterránea, alternancia de humectación-sequedad y congelamiento-deshielo, movimientos tectónicos, actividad volcánica, entre otros (Lugo, 2011).

Los términos para nombrar a los procesos que se dan en las laderas y están regidos por la gravedad derivan del inglés, francés u otros idiomas, la traducción al español a veces genera confusión, por lo que se reconocen varias formas de agrupar estos procesos: procesos de ladera (*slope processes*), procesos gravitacionales (*gravitational processes*), procesos de remoción en masa (*mass movement processes*) o deslizamientos (*landslides*); todos ellos correctos (Alcántara-Ayala, 2000). Los diferentes procesos de ladera se clasifican, según la clase (WP/WLI 1990; Cruden y Varnes 1996; Alcántara-Ayala 2000; Huggett 2007) en: Deslizamientos, Caídas o Desprendimientos, Volteos, Flujos, Expansión lateral y Movimientos complejos. Los materiales que componen los tipos de procesos de remoción en masa se dividen según el tipo de material en: Roca, Detritos (partículas mayores a 2 mm) y Suelos (partículas menores a 2 mm).

El conocimiento de los procesos de ladera y su dinámica es importante en la ingeniería, gestión de riesgos, y el ordenamiento territorial; su estudio puede asociarse con movimientos en masa del pasado que podrían reactivarse, la generación de inestabilidad de los taludes por la

modificación antrópica del uso de la tierra, así como los cambios en los patrones hidrológicos y sísmicos de los terrenos inestables que pueden ser estudiados a partir de las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica de mediana y alta precisión como el LiDAR (Bierman y Montgomery, 2014). En el caso de este trabajo, se van a explicar, implementar y comparar dos metodologías para la determinación de zonas susceptibles a deslizamientos: la Mora-Vahrson (1994) y la morfometría (Lugo, 1988; Quesada-Román, 2016; Quesada-Román y Barrantes, 2017).

La metodología Mora-Vahrson (MV) es un procedimiento relativamente sencillo y bastante efectivo a la hora de zonificar regiones susceptibles a deslizamientos. Ha sido utilizada en países como Guatemala (Barillas, 2008), El Salvador (SNET, 2004) y Nicaragua (INETER et al., 2004), con buenos resultados, según se desprende de los estudios publicados. En Costa Rica, esta metodología se ha implementado exitosamente en el análisis de la susceptibilidad a deslizamientos en diversas localidades, entre ellas la Península de Papagayo (Mora et al., 2002), El Cacao de Atenas (Mora, 2004a), el cantón de San José (Mora, 2004b), Valle de Orosi (Salazar, 2007) y en el corredor del poliducto entre Siquirres y Turrialba (Segura et al., 2011), por mencionar algunos casos.

La efectividad de la metodología ha sido confirmada en diferentes países, especialmente de América Latina, ejemplo de ello es el trabajo de Barrantes et al. (2011) en un estudio realizado en la microcuenca del río Sarapiquí, en el que se corroboró la coincidencia entre las zonas identificadas como de alta susceptibilidad y los deslizamientos ocurridos el 8 de enero de 2008 a raíz del terremoto de Cinchona. Los resultados fueron suficientemente precisos, en las zonas identificadas como de muy alta y alta susceptibilidad ocurrieron deslizamientos de magnitud considerable. Así mismo, los autores recomiendan que esta metodología se aplique a una escala no mayor que 1:50000, debido a la dificultad de conseguir información detallada de litología, altitud y meteorología.

La morfometría o geomorfometría es el análisis cuantitativo de la superficie terrestre, entre sus variables fundamentales están la altimetría o hipsometría, la pendiente del terreno y la densidad del drenaje; no obstante, se pueden conformar de muchas más, dependiendo de la morfo-dinámica y morfogénesis (Pedraza, 1996). La geomorfometría puede ser general para estudiar el campo como un continuo, o ser específica para el

análisis de las características geométricas y topológicas de las formas del relieve (Evans, 2012). Los análisis morfométricos se pueden dividir en dos partes: uno que estudia las características cuantitativas de las formas (p.e. superficie, altura, pendiente y volumen) y el otro, que se encarga de la investigación de los elementos del relieve a partir de índices numéricos: medios, máximos y mínimos (Lugo, 2011). Los productos de este tipo de análisis son mapas morfométricos, los cuales son útiles en estudios de evolución de laderas, evaluación de erosión y susceptibilidad a peligros (Peña-Monné, 1997).

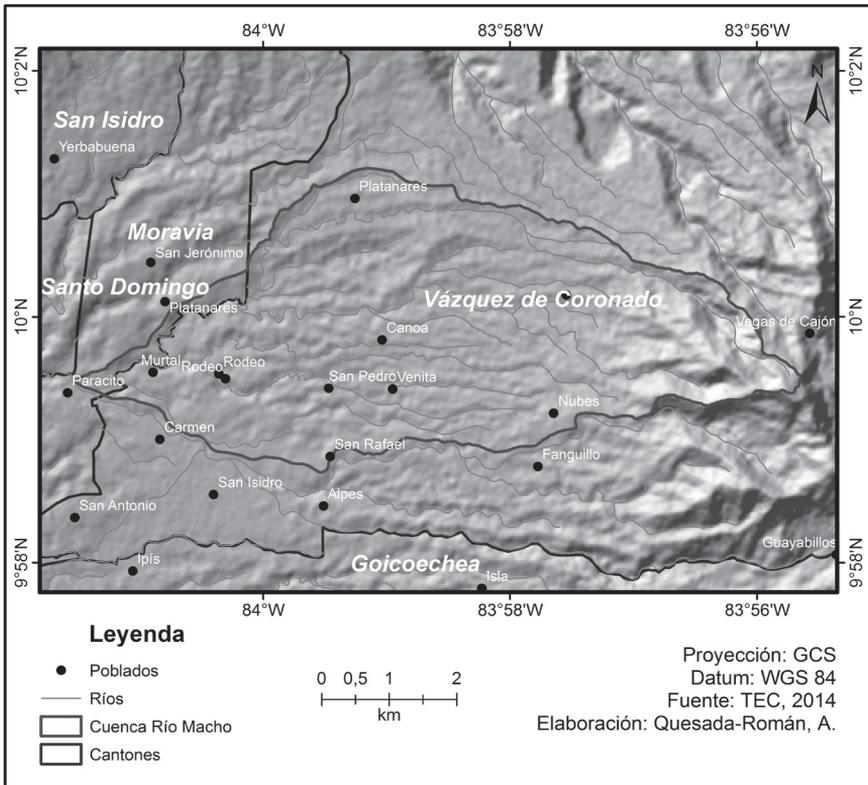
En el contexto latinoamericano existen muchos ejemplos de la aplicación de métodos morfométricos para la zonificación de procesos de ladera. México es el país donde la geomorfometría ha sido más aplicada en las últimas décadas con una importante producción de tesis de grado, proyectos de investigación y un valioso número de metodologías para determinar áreas susceptibles a procesos de remoción en masa, expuestas en múltiples artículos científicos (Flores y Alcántara, 2002; Borja y Alcántara, 2004; Lugo et al., 2005; Aceves et al., 2006; Borja y Alcántara, 2010; Flores y Alcántara, 2012; Muñiz-Jaúregui y Hernández-Madrigal, 2012; Valerio et al., 2012; Aceves et al., 2014; Galindo y Alcántara, 2014; Legorreta y Lugo, 2014). Otros estudios similares se han realizado en Argentina (Carignano et al., 2014), en Brasil (Marques et al., 2008; Dos Santos et al., 2009), en Costa Rica (Suárez et al., 2009; Quesada-Román, 2016; Quesada-Román y Barrantes, 2017), en Perú (Villacorta et al., 2007), así como en Venezuela (Marcano y Cartaya, 2013; Mujica y Pacheco, 2013), no obstante, generalmente se limitan a la caracterización de la geología y su asociación con la incidencia de estos fenómenos en áreas específicas, sin resultar en una cartografía de áreas susceptibles a procesos de ladera como insumo para la planificación territorial.

Área de estudio

La cuenca del río Macho es una microcuenca del río Virilla localizada en las coordenadas geográficas -83,927944 a -84,025583 Longitud Oeste y 9,978094 a 10,019968 Latitud Norte en una extensión de 28.39 km². Se ubica en la ladera suroeste del volcán Irazú en su mayoría en el cantón de Vázquez de Coronado, y en una pequeña proporción en Moravia (Mapa 1). Su origen está determinado por la tectónica regional de Costa Rica,

que supone un proceso de subducción entre la placa de Cocos y Caribe, así como la deformación intraplaca por distintas estructuras disyuntivas locales o regionales que modelan esta cuenca. Los procesos geológicos alteran lentamente la configuración del espacio geográfico, comparado con las acciones humanas que modifican el medio físico de una manera más acelerada en la escala del tiempo. Los procesos geodinámicos como las erupciones volcánicas y actividad sísmica intervienen en la composición y estabilidad del suelo, además moldean y transforman el relieve. La geología de la microcuenca del río Macho se caracteriza por ser principalmente de origen volcánico, se identifican 4 unidades litológicas: Cenizas sub- recientes, Formación Sapper y Grupo volcánico del Irazú, Miembro de Lavas Viejas y Terrazas Fluviales (Aluviones) (Arias y Denyer 1992).

Mapa 1. Localización de la cuenca del río Macho en su contexto regional.



Las cenizas sub- recientes del Cuaternario conforman la mayor parte del área de la microcuenca, ceniza depositada por la actividad volcánica proveniente de los macizos volcánicos Irazú, Poas y Barva. Las cenizas cubren un 70% de la totalidad de la microcuenca excepto en aquellos sectores, donde la erosión fluvial permite el afloramiento de otros materiales. Es común observar las capas de ceniza en los cortes de caminos, el color de la ceniza meteorizada es gris y para la ceniza sana es azulado, estos materiales proceden de las erupciones periódicas de piroclastos del volcán Irazú, lográndose diferenciar 4 capas de ceniza de diferentes erupciones (Vargas, 2001). En los sectores cubiertos por ceniza se encuentran suelos fértiles atractivos para las actividades económicas de pastizales y cultivos.

La Formación Sapper y el Grupo volcánico del Irazú, del Pleistoceno, son una secuencia de 15 o más flujos de lava, lahares intertratificados y capas de ceniza que sobreyacen, discordantemente, muy semejantes a la formación Reventado, en el área de la microcuenca, los que se encuentran entre la quebrada Cascajal y el río Durazno son pobres debido a la falta de suficiente profundización de los ríos y por la cobertura de ceniza. La subunidad está compuesta por rocas volcánicas, tales como brechas, lavas, tobas, aglomerados, ignimbritas, ceniza y también muchas corrientes de lodo y lahares.

Por otro lado, el Miembro de Lavas Viejas del Cuaternario a la altura de San Rafael y San Isidro de Coronado se caracteriza por bloques redondeados a semiredondeados de rocas volcánicas, entre ellas, lavas escoriáceas de color rojo, donde los coluvios son menos frecuentes y se caracterizan por bloques de lava que significan un área importante para establecer asentamientos humanos. Por último, las terrazas Fluviales, del Terciario, que se encuentran en la parte baja de la microcuenca en la confluencia del río Macho con el río Virilla, se caracterizan por la importancia de los procesos de erosión sobre los de sedimentación, de forma que el río socava todos sus aluviones, llega al sustrato rocoso y deja sólo algunos de los restos de los aluviones en los bordes del valle. Los aluviones son explotados comercialmente por medio de tajos, en forma de bloques con diámetros mayores de 20 cm, al extraer estos materiales (Denyer y Arias, 1991).

La microcuenca de río Macho, forma parte de una unidad geomorfológica de origen volcánico, la cual se divide en dos subunidades, denominadas Volcán Irazú y Volcán Barva (Denyer y Arias, 1991). Dentro de la

microcuenca se encuentran definidas seis formas geomorfológicas, entre ellas: barrancas, morfologías con un grado alto de disección, formas de relieve con un moderado grado de disección, relieve alto, áreas de influencia directa con el cauce y planicies aluviales. La unidad geomorfológica de barrancas se encuentra localizada en la parte media alta de la microcuenca del río Macho. Se trata de áreas estrechas a lo largo de las quebradas Honda, Cascajal y Guaba, que han sido formadas por la erosión fluvial o lateral que ejerce sus aguas. Es notable la presencia de fuertes pendientes, por lo que se forman estrechos y profundos encajonamientos o cañones, donde se exponen las rocas de origen volcánico. La presencia de ceniza volcánica en el área de estudio es relevante, porque son materiales poco consolidados y se erosionan con mayor facilidad. Las morfologías con un grado alto de disección son montañas y colinas que son muy irregulares y se pueden encontrar en toda la parte media y alta de la microcuenca, esta sección en la parte alta de la cuenca se caracteriza por tener fuertes pendientes y por estar cubierta de bosque.

Por otro lado, las formas de relieve con un moderado grado de disección se presentan áreas de relieves colinosos y de relieve moderado en cuanto a pendiente. El grado de disección es moderado y los valles fluviales de laderas rectas, tienen entalle profundo con valles en uve simétricos. Los espacios interfluviales son moderados, y las cimas de los cerros son redondeadas. Por su parte, las áreas de influencia directa con el cauce se asocian con la quebrada Piedras y en la desembocadura del río Macho, en la parte baja de la microcuenca, presentan pendiente fuerte en un cauce encañonado y algunas terrazas cercanas al *talweg* de esta quebrada. La planicie aluvial del río Macho se localiza en la parte baja de la microcuenca, próximo a la desembocadura con el río Virilla y corresponde con una unidad plana, la pendiente generalmente es inferior a los 3 grados, siendo las áreas cercanas a las colinas donde se presenta la mayor pendiente, como resultado de la acumulación de aluvión (Bergoeing y Malavassi, 1982).

Para la variable tipo de suelo en la microcuenca se presentan dos categorías de suelos: andisoles e inceptisoles ándicos, dependiendo de la pendiente; es importante asociar su evolución a partir del grado de meteorización y la predominancia de sus arcillas, pasando de perfiles vítricos cercanos al cráter-origen de los piroclastos, hacia perfiles alofánicos, alofánico (plácido), halloysítico, caolínítico y hasta esmectítico (Alvarado et

al., 2014; Mata et al., 2013). En la microcuenca se encuentran dos grupos climáticos: húmedo caliente con estación seca bien establecida, húmedo templado con estación seca moderada, con temperaturas entre 15 y 21 °C, así como precipitaciones entre 2000 y 2800 mm anuales (Herrera, 1986).

En la microcuenca se encontraron 13 usos diferentes de la tierra: bosque, bosque ripario, pastos arbolados, pastos, tacotales, plantaciones forestales, áreas verdes, distribuidos estos usos principalmente en la zona alta y media de la cuenca. El uso urbano se concentra en la parte baja y está disperso en toda la cuenca como pequeñas manchas de crecimiento, especialmente desarrollos inmobiliarios tipo condominio. Los pastos y pastos arbolados son utilizados para ganadería de leche, que es de uso extensivo e intensivo. Los cultivos se presentan en la parte alta y están representados por cultivos de papa y fresa. Los bosques se encuentran en áreas de riberas de río y en la parte alta de la cuenca, y algunos presentan cierto grado de protección, ya que pertenecen a la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central (Feoli, 2015).

Metodología

Método Mora-Vahrson

Mora y Vahrson (1994) describen este modelo como un sistema diseñado para permitir la clasificación de los riesgos de deslizamientos en zonas tropicales sísmicamente activas.

El modelo recibe como entrada cinco factores, los cuales se dividen en dos grupos: susceptibilidad por elementos pasivos (pendiente, litología, humedad del suelo) y susceptibilidad por elementos activos (intensidad sísmica e intensidad de lluvias). Para cada factor, se define un índice de influencia para un determinado sitio y con él, al combinarse de acuerdo a un peso específico ponderado, se obtiene un nivel relativo de amenaza (H), a través de la multiplicación y sumas de los índices por medio de las siguientes ecuaciones.

$$H = (Sr * SI * Sh) * (Ts + Tp) \text{ Ecuación 1}$$

En donde:

Pendiente (Sr): representa la topografía del área en estudio.

El método de Mora y Vahrson (1994), originalmente utilizó datos de relieve relativo, sin embargo, Salazar (2007), posteriormente realizó una variación y cambia esta variable por pendientes y utiliza los rangos propuestos por Van Zuidam (1986), actualmente, con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es más fácil la obtención de estos datos. El Cuadro 1 muestra la clasificación general de la pendiente.

Cuadro 1. Clasificación del factor pendiente según los rangos obtenidos

Rangos de pendientes (grados)	Peso asignado (Sr)	Procesos y condiciones característicos del terreno	Colores sugeridos
0 – 2	1	Plano o casi completamente	Medio verde oscuro
2 – 4	2	Inclinación suave	Verde ligero
4 – 8	3	Pendientes inclinadas	Amarillo ligero
8 – 16	4	Modelo escarpado	Amarillo anaranjado
16 – 35	5	Escarpado	Rojo claro
35 – 55	6	Muy escarpado	Rojo oscuro a medio
> 55	7	Extremadamente escarpado	Púrpura oscura

Fuente: Van Zuidam (1986)

Litología (SI): este factor representa la influencia de los tipos de materiales, sedimentos y rocas en la activación de los deslizamientos. El Cuadro 2 muestra una clasificación general de diferentes litologías y el peso asignado.

Cuadro 2. Clasificación del factor litológico valorando la susceptibilidad a la inestabilidad de las laderas

Litología	Clasificación	Factor (SI)
Aluviones: gruesos, permeable, compacto, con nivel freático bajo. Calizas: duras, permeables. Intrusivos: poco fisurados, bajo nivel freático. Basaltos, andesita, ignimbritas y similares: sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo.	Bajo	1
Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza (decamétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: medianamente fisuradas o alteradas, nivel freático o profundidades intermedias.	Moderado	2
Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas: medianamente alteradas. Coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.	Medio	3
Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente, con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.	Alto	4
Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica: con estado de alteración avanzado, drenaje pobre, se incluyen las categorías 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos muy elevados.	Muy alto	5

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

Humedad del suelo (Sh): cuantifica la influencia de la humedad acumulada durante todo el año y puede ser considerada como un punto de partida, ya que las fuertes lluvias pueden actuar como un elemento desestabilizador. Se aplica una metodología simple de un balance hídrico del suelo, la cual requiere solo los valores promedios mensuales. En el paso número uno se utiliza un valor límite de 125 mm, que es representativo de la evapotranspiración potencial media mensual en Centroamérica. Además, se demostró que la infiltración significativa requiere al menos 40 mm de lluvia acumulada en diez días, lo que corresponde a aproximadamente 125 mm/mes (Mora y Vahrson, 1994). Se deben seguir los siguientes pasos:

Cada valor de la precipitación media mensual se le asigna un valor de índice, como se muestra en el Cuadro 3. Una vez que se evalúa cada

mes, el total de los 12 valores mensuales asignados tienen que ser calculados para cada estación pluviométrica analizada. Estos valores totales van de 0 a 24. El total se clasifica en cinco grupos, como se muestra en el Cuadro 4. Luego se realizan interpolaciones de este valor.

Cuadro 3. Clasificación de los valores medios mensuales de las precipitaciones

Precipitación media mensual (mm/mes)	Valor asignado
< 125	0
125 – 250	1
> 250	2

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

Cuadro 4. Factor de humedad resultante de la clasificación de los valores acumulados de los índices promedio de precipitación mensual

Valor acumulado de los índices de precipitación	Calificación	Factor Sh
0 – 4	Muy bajo	1
5 – 9	Bajo	2
10 – 14	Medio	3
15 – 19	Alto	4
20 – 24	Muy alto	5

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

Intensidad sísmica (Ts): este factor se determina mediante el análisis de los deslizamientos de tierra provocados por terremotos para establecer la influencia de intensidades sísmicas. En el Cuadro 5, se muestran los datos de las categorías de influencia utilizando los valores de períodos de retorno de 100 años en relación con los registros históricos.

Cuadro 5. Determinación del factor de intensidad sísmica como desencadenante en la generación de deslizamientos de tierra, utilizando valores de intensidad de cien años (Escala Mercalli Modificada), basados en observaciones en Costa Rica y América Central

Intensidades (MM) Tr = 100 años	Calificación	Factor Ts
II	Leve	1
IV	Muy bajo	2
V	Bajo	3
VI	Moderado	4
VII	Medio	5
VIII	Considerable	6
IX	Importante	7
X	Fuerte	8
XI	Muy fuerte	9
XII	Extremadamente fuerte	10

Fuente: Mora y Vahrson (1994).

Intensidad de lluvias (Tp): este factor calcula la influencia de la lluvia en el tiempo, y es otro de los factores desencadenantes que influyen en el disparo de los deslizamientos. En el Cuadro 6, se muestra la clasificación de las precipitaciones máximas diarias para un período de retorno de 100 años.

Cuadro 6. Factor de intensidad de precipitación Tp resultante de la clasificación de las precipitaciones máximas diarias durante un período de retorno de 100 años

Precipitación máxima n>10 años, Tr = 100 años	Precipitación media n<10 años	Clasificación	Factor Tp
< 100 mm	< 50 mm	Muy bajo	1
101 – 200 mm	51 – 90 mm	Bajo	2
201 – 300 mm	91 – 130 mm	Medio	3
301 – 400 mm	131 – 175 mm	Alto	4
> 400 mm	> 175 mm	Muy alto	5

Fuente: Mora y Vahrson (1994)

En el Cuadro 6, la columna dos representa una clasificación auxiliar que se basa en los valores medios anuales máximos (aplicable sólo en casos de pluviómetros con registros cortos. De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la combinación de todos los parámetros antes mencionados a través de la ecuación 1, el valor del indicador de la amenaza del deslizamiento (HI) puede ser clasificado y evaluado para cada sitio en particular como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Clasificación de los valores de los parámetros del peligro de deslizamiento HI, derivado de la ecuación 1

Valor de la ecuación (HI)	Clase	Clasificación del peligro de deslizamiento
< 6	I	Muy bajo
7 – 32	II	Bajo
33 – 162	III	Moderado
163 – 512	IV	Medio
513 – 1250	V	Alto
> 1250	VI	Muy alto

Fuente: Mora y Vahrson (1994)

Para determinar el índice de susceptibilidad se parte de la ecuación:

$$H = (S_r \times S_l \times S_h) \times (T_s + T_p)$$

Se aplicó la propiedad distributiva de la multiplicación, para tener dos mapas de susceptibilidad: uno asociado al factor detonante sismos (T_s) y otro al factor detonante precipitaciones máximas (T_p).

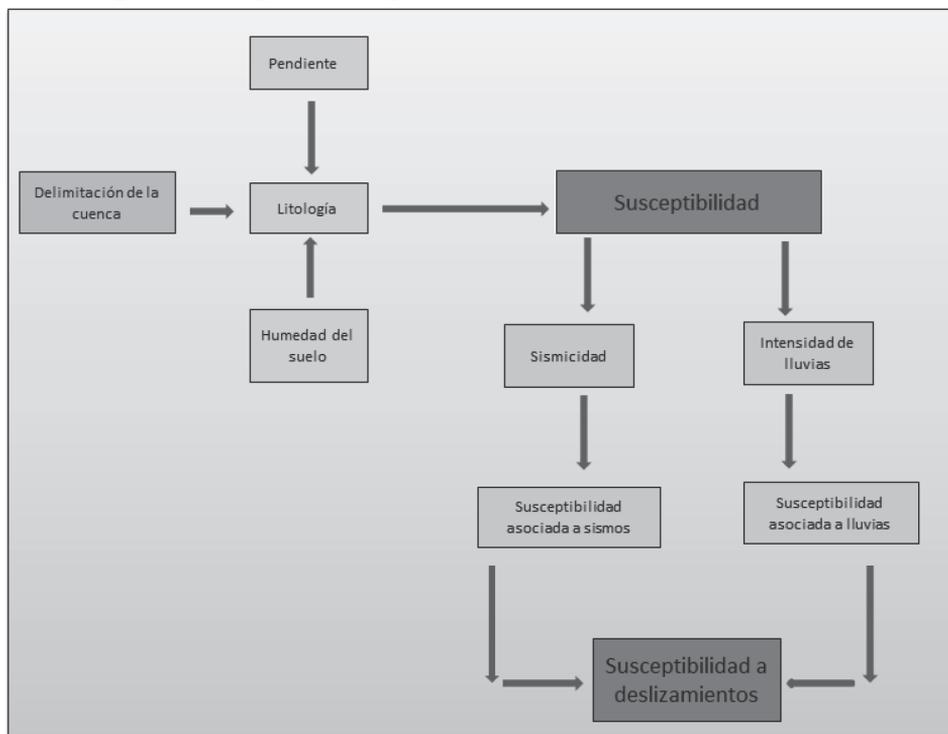
$$H = (S_r \times S_l \times S_h \times T_s) + (S_r \times S_l \times S_h \times T_p)$$

El índice de susceptibilidad para la cuenca en cuestión se calculó sumado los dos mapas (Fig. 1). El análisis parte de la ecuación $H = H_s + H_p$, se plantea el siguiente diagrama para iniciar el posterior desarrollo del modelo cartográfico.

$$H = (S_r \times S_l \times S_h \times T_s) + (S_r \times S_l \times S_h \times T_p)$$

H = Grado de susceptibilidad a deslizamientos
 Sr = Factor pendiente o relieve relativo
 Sl = Factor litológico
 Sh = Factor de humedad del suelo
 Ts = Sismicidad
 Tp = Intensidad de precipitaciones

Figura 1. Esquema del procedimiento del método Mora-Vahrson



Método morfométrico

Los métodos morfométricos utilizados se basan en los planteamientos de Simonov (1985), Lugo (1988). Se parte de la utilización de curvas de nivel a escalas superiores a 1:50.000, para este caso a escala 1:25.000 con coordenadas métricas CRTM05. Se seleccionaron cuatro parámetros que representan la dinámica de laderas, derivados del modelo de elevación

del terreno (MDT) y de la red fluvial, una descripción amplia y completa del modelo puede ser consultada en Quesada y Barrantes (2017).

Las variables utilizadas son la densidad de la disección (D), la profundidad de la disección (P), la energía del relieve (E) y la erosión total (ET). La densidad de la disección (D) calcula la concentración de cauces fluviales en un área específica, tiene como objetivo establecer zonas de mayor o menor concentración de cursos fluviales y por ende con mayor erosión fluvial. Entre las variables que condicionan este parámetro morfométrico resaltan la competencia del sustrato, las estructuras disyuntivas (fracturas o fallas), la inclinación del terreno, la cobertura, así como la intensidad y tipo de precipitación. Se determina trazando todos los cauces fluviales que hay en las cuencas dentro el área de estudio, incluyendo los drenes o torrentes de montaña que no aparecen en la cartografía. Posteriormente, se calcula la concentración de los ríos por unidad de área (unidad mínima de análisis).

La profundidad de la disección (P) tiene como objetivo medir la capacidad o actividad erosiva de los ríos en la vertical, ya que analiza las superficies donde la erosión fluvial ha sido más (o menos) intensa a través del tiempo, y proporciona una relación indirecta de los parámetros que permiten que la disección aumente como la litología, la inclinación del terreno, la precipitación y los planos de debilidad del sustrato. Se explica como la altura entre el talweg y la ruptura de pendiente más representativa y próxima a la ladera inferior del valle (por unidad espacial mínima de análisis) expresada en metros. La energía del relieve (E) determina la diferencia máxima de la altura relativa en metros en un área específica y representa la energía potencial que se desprende del relieve. Para su medición se ubicaron los valores de mayor y menor altitud, en este caso por unidad espacial mínima de análisis, se obtiene la diferencia entre éstos. La erosión total (ET) determina zonas con mayor o menor erosión del relieve registrado por medio de la densidad de las curvas de nivel en un área determinada (por unidad espacial mínima de análisis).

El método morfométrico de susceptibilidad a procesos de ladera se expresa de la siguiente forma:

$$SPL = D + P + E + ET / 4 \text{ [E1]}$$

Dónde:

SPL= Susceptibilidad a ocurrencia de procesos de ladera (deslizamientos en su acepción más amplia)

D = Densidad de la disección

P = Profundidad de la disección

E = Energía del relieve

ET= Erosión total

El modelo ha sido automatizado por medio del uso de Sistemas de Información Geográfica, a través de un modelo que automatiza el cálculo de cada una de las variables morfométricas mediante la herramienta Model Builder de ArcGIS 10 o versiones superiores. Las variables de densidad de la disección, profundidad de la disección, energía del relieve y erosión total fueron calculadas mediante cuadrículas de 200 x 200 m a partir de curvas de nivel escala 1:25.000 del Catastro Nacional de Costa Rica y los cauces fluviales digitalizados a partir de la cartografía base a escala 1:25.000, así como los cauces que no aparecen y fueron inferidos a partir de las curvas. La rejilla diseñada excede en una celda alrededor de toda el área de estudio, para evitar el efecto de borde en el análisis de interpolación. Todo el procesamiento se realizó por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG), en este caso ArcGIS 10. Al cálculo de cada variable morfométrica realizado para cada celda se le asignó a un punto central de la celda y, posteriormente, se interpoló mediante el método Kriging a partir del modelo de semivariograma ordinario esférico. Todas las variables morfométricas son estandarizadas por medio del método estadístico de Cuartiles, lo que facilita el análisis y distribución de los resultados para la explicación de la dinámica del relieve. Para poder combinar las variables se requiere de una previa estandarización de las mismas, esto se logra con la estandarización omega (\bar{O}) (Velázquez y Celemín, 2011; Buzai, 2013), de esta forma todas las variables se expresan en valores entre 0 y 1, sin perder información de los valores extremos.

Luego de aplicar la fórmula propuesta [E1], se requiere para establecer clases que representan grados de susceptibilidad a procesos de ladera, se proponen tres clases correspondientes con baja, moderada y alta, dado

que la metodología propuesta se orienta a su aplicación en el proceso de Gestión del Riesgo, se facilitará su interpretación por parte de los gestores del riesgo y de los tomadores de decisiones (Barrantes-Castillo y Quesada Román, 2016). Adicionalmente, se aclara que la selección del método de clasificación puede ser utilizada para calibrar el modelo, al confrontar el resultado espacial de la clasificación con la distribución del inventario previo de deslizamientos.

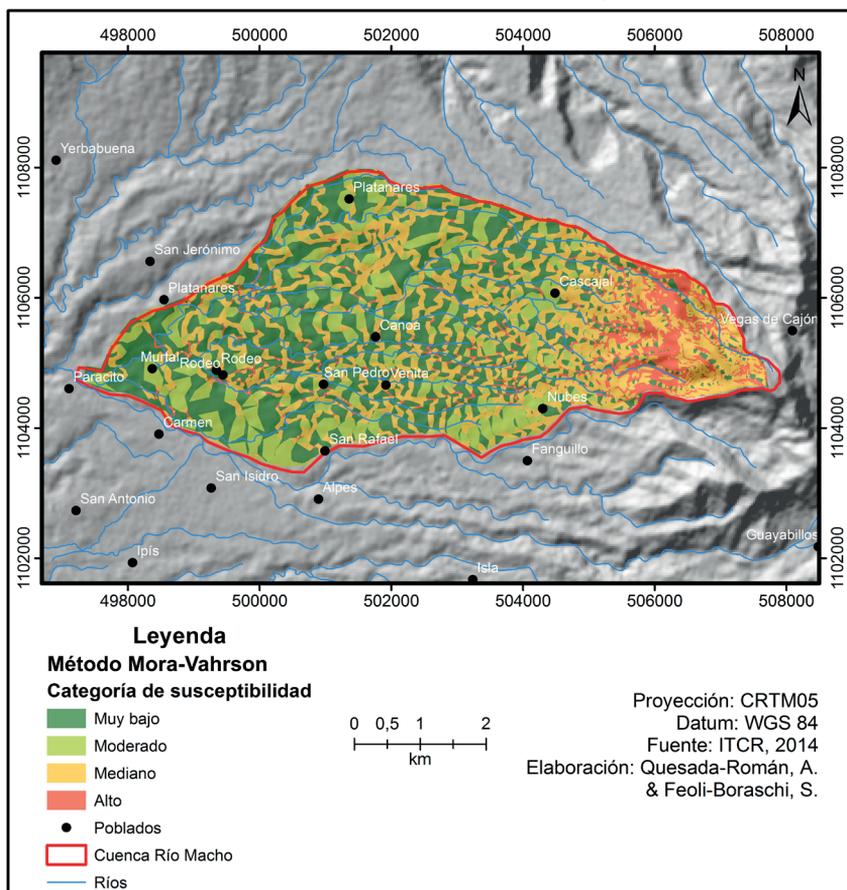
Resultados

Aplicación del método Mora-Vahrson

La aplicación de la metodología Mora-Vahrson (Mapa 2), muestra que el 35,4% del área de estudio presenta una susceptibilidad a deslizamientos “Mediana”; mientras que el 8% del área de la microcuenca tiene una susceptibilidad a deslizamientos “Alta”; la metodología Mora-Vahrson permite realizar zonificaciones de susceptibilidad a deslizamientos, de una forma sencilla por medio del uso de sistemas de información geográfica. La susceptibilidad a deslizamientos “Mediana” está asociada a zonas de alta precipitación y pendientes moderadas (entre 8% a 30%) y geología de origen volcánico y aluvial. La susceptibilidad a deslizamientos “Alta” se presentan en zonas de alta pendiente (más del 30%), geología de origen volcánica y altas precipitaciones.

Es importante indicar, que se identificaron áreas urbanas (San Rafael, San Pedro, Barrio El Carmen, Paracito) asentadas en zonas de medio y alto grado de susceptibilidad a deslizamientos. Las regiones más susceptibles a deslizamientos se encuentran ubicadas en las partes altas de la microcuenca y se identificaron sitios muy puntuales, principalmente, en los cañones fluviales, donde la susceptibilidad es alta. Estas regiones y las de susceptibilidad moderada pueden ser integradas dentro de la propuesta para el Corredor Biológico Urbano que maneja la Compañía Nacional de Fuerza y Luz. Por otra parte, los factores de humedad en el suelo (Sh), sismos (Ts) e intensidad de precipitaciones (Tp) son valores constantes para toda el área de estudio; por lo que la interacción de los factores pendiente y litología, son los que predominan a la hora de zonificar la susceptibilidad a deslizamientos en esta cuenca.

Mapa 2. Microcuenca Río Macho, susceptibilidad a deslizamientos de acuerdo al método Mora-Vahrson, 2017.



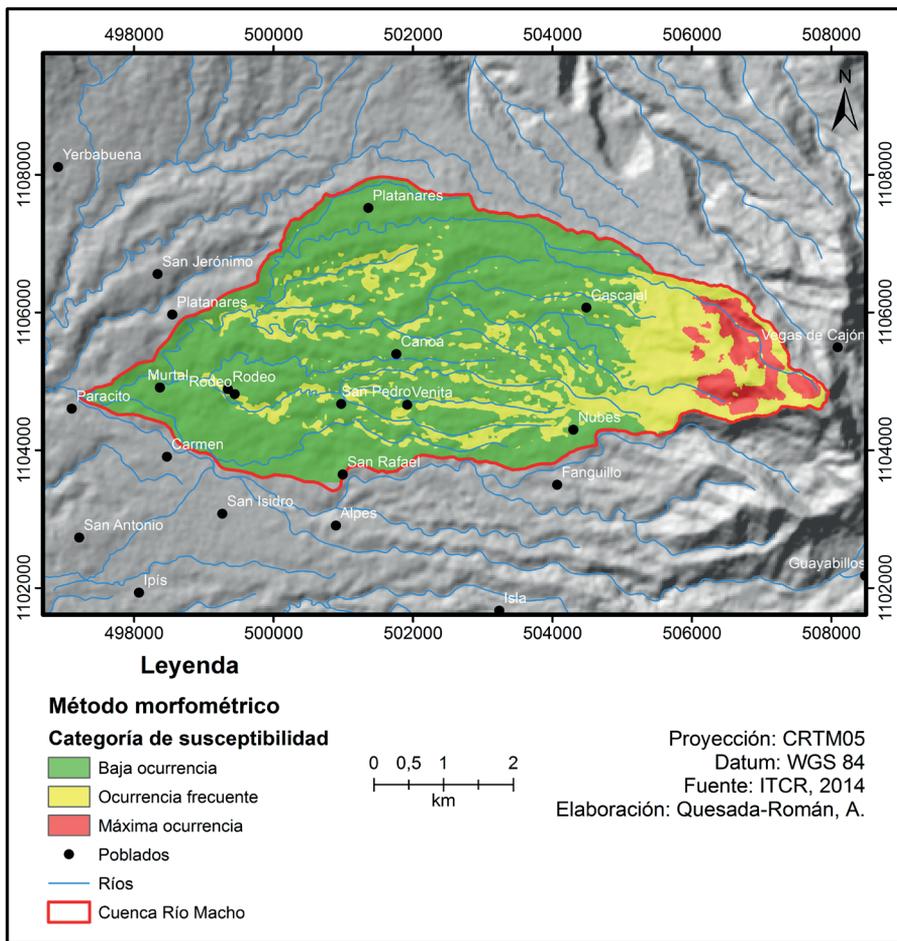
Aplicación del modelo morfométrico

A partir del análisis de las variables morfométricas utilizadas (densidad de la disección, profundidad de la disección, energía del relieve y erosión total), fue posible determinar tres rangos de susceptibilidad a deslizamientos en la cuenca del río Macho (Mapa 3). Dicha zonificación de estas susceptibilidades a amenazas gravitacionales se asocia directamente a las distintas regiones de la cuenca hidrográfica, como lo son la zona de producción, transición y sedimentación. En las zonas de baja ocurrencia son comunes las pendientes menores a 10° , lo que explica su poca

incidencia a pesar de localizarse en suelos volcánicos con una alta friabilidad; dichas regiones se podrían asociar más bien a procesos de inundación dada la impermeabilización de los suelos por el desarrollo urbano y las ligeras inclinaciones del terreno.

Las zonas de ocurrencia frecuente se desarrollan en los cañones de los afluentes y el río Macho como lo son las Quebradas Honda, Vuelco, Cascajal, Derrumbe y Palma, las cuales presentan pendientes que se mantienen entre los 10 y 25°. Esta inclinación del terreno favorece la inestabilidad de sus laderas volcánicas aunado a disparadores sísmicos, la influencia climática de la vertiente Caribe, así como la pluviosidad anual por encima de los 2500 mm y los cambios en el uso de la tierra. Este rango de susceptibilidad también abarca sectores con pendientes mayores a 25° en las partes altas de la cuenca, donde los materiales volcánicos son aún más friables dada su cercanía con el cráter de emisión del volcán Irazú. Por último, las zonas donde la máxima ocurrencia está presente se localizan de manera aislada en las cabeceras fluviales, con pendientes superiores a los 25° y además, predominan cauces fluviales no mayores al orden 3 de acuerdo a la clasificación de órdenes de Strahler, con una amplia presencia de suelos andisoles vítricos y alofánicos muy inestables.

Mapa 3. Microcuenca Río Macho, susceptibilidad a deslizamientos de acuerdo al método morfométrico, 2017.



Discusión de resultados

Los resultados del método Mora-Vahrson responden a las escalas de las variables utilizadas, porque varían de escalas desde 1:50.000, 1:25.000 y 1:10.000, lo que genera uno de los principales problemas a la hora de desarrollar el método y obtener resultados que no reflejan la realidad de los procesos de ladera que ocurren, mayoritariamente, en la parte alta y los valles fluviales. Dado que a veces la información no siempre se encuentra con facilidad o que su adquisición es más complicada, dado el número de

variables utilizadas, o que se debe digitalizar, representa un aumento de los costos de realización.

Además, realizar mapas de humedad de suelo requiere mucho tiempo, dada la metodología utilizada, según Mora y Vahrson (1994), donde hay que hacer mapas de precipitación por mes y generar el mapa de humedad de suelo para la cuenca, lo que es representativo para cuencas de varias decenas de kilómetros cuadrados, pero no para cuencas pequeñas. Por otro lado, obtener los datos sismológicos es una tarea que conlleva tiempo y dada la tramitología, así como el tratamiento de los datos, donde en países como Costa Rica, existen dos sistemas de monitoreo sísmico, lo que vuelve complejo este análisis, o en el caso de otros países, que esta información pertenece al ejército. Otras de las limitantes es que la obtención de datos geológicos a escalas a detalle es prácticamente nula, ya que se circunscriben a estudios particulares y escalas mayores a 1:50.000, cuando existe. La ventaja de este método recae en que ha sido ampliamente utilizado y es regionalmente conocido por sus resultados rápidos y al mismo tiempo ser importante línea base para posteriores estudios ingenieriles o de planificación del territorio.

La morfometría tiene como ventaja su bajo costo, fácil acceso a la información de base y la rápida obtención de productos cartográficos de calidad y escala. Por medio de este procedimiento, se pueden hacer diagnósticos de base para el ordenamiento territorial de cuencas hidrográficas y unidades político-administrativas de Costa Rica, así como de otros países a escalas locales y regionales. La geomorfometría es una herramienta práctica para la mitigación del riesgo a desastres mediante la determinación de áreas susceptibles a procesos de ladera en general. Este método puede ser replicado con facilidad dado que solamente se utilizan las curvas de nivel y ríos, las mediciones son sencillas y pueden ser realizadas a partir de un Sistema de Información Geográfica en su totalidad. Esta condición agiliza los tiempos de digitalización de cauces fluviales, el procesamiento de la información, la sistematización del procedimiento y la practicidad tanto para hacer distintas mediciones como para la toma de datos puntuales de las isohipsas y fluvios.

Conclusiones

Ambos métodos tuvieron similares resultados en la determinación de las áreas de mayor susceptibilidad a deslizamientos tanto el método Mora-Vahrson en sus zonas de alta y mediana susceptibilidad como en el método morfométrico en sus zonas de ocurrencia frecuente y máxima ocurrencia. No obstante, el método morfométrico se valió únicamente de las curvas de nivel y los cauces de los ríos para determinar las cuatro variables que constituyen su análisis, mientras que el método Mora-Vahrson requiere de cinco factores (pendiente, litología, humedad del suelo, intensidad sísmica e intensidad de lluvias), para desarrollar tanto la susceptibilidad por elementos pasivos como de sus elementos activos.

Para el caso del método Mora-Vahrson, la escala la definiría dos puntos esenciales: el tamaño del área de estudio y la escala de mayor tamaño en los insumos (variables) utilizados en el análisis, además, que las variables deben ser ajustadas a partir de las condiciones geológicas, geomorfológicas y climatológicas de cada región a estudiar. Por su parte la morfometría sirve en todas las escalas dados los datos que utiliza, no obstante, está sujeta a la escala de las curvas de nivel utilizadas, porque de allí derivan los cauces fluviales inferidos ya sea manual o automáticamente. La aplicación futura de uno u otro método en Costa Rica u otras zonas tanto tropicales como templadas puede desarrollarse donde la precipitación y los sustratos meteorizados estén presentes. Los autores de este trabajo consideran que ambas metodologías son útiles para la determinación de línea base para zonificar áreas susceptibles a deslizamientos, lo que a su vez puede ser usado para la gestión del riesgo por movimientos en masa, el ordenamiento, así como la planificación territorial, y su utilización va depender de la disponibilidad de los insumos de entrada de dichos métodos.

Referencias

- Aceves-Quesada, F., López-Blanco, J. y Martín del Pozo, A.L. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(2), 113-124.
- Aceves-Quesada, F., Legorreta-Paulín, G. y Álvarez-Ruiz, Y. (2014). Cartografía geomorfológica para el inventario de procesos gravitacionales en la cuenca endorreica del arroyo La Ciénega, flanco oriental del

- volcán Nevado de Toluca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 329-342.
- Alcántara-Ayala, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimiento del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Boletín de Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía-UNAM*, 41, 7-25.
- Alvarado, A., Mata, R. y Chinchilla, M. (2014). Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014: i. historia, metodología de análisis y mineralogía de arcillas en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 75-106.
- Arias, O. y Denyer, P. (1992). *Mapa geológico de la hoja Carrillo Norte (1:50 000)*. - San José: Instituto Geográfico Nacional.
- Barillas, E. (2008). *Guía metodológica para la evaluación de zonas susceptibles a deslizamientos disparados por lluvias*. Ciudad de Guatemala, Guatemala. Recuperado de: <http://www.geociencias.com.gt/foto/propuesta.pdf>
- Barrantes, G., Barrantes, O. y Núñez, O. (2011). Efectividad de la metodología Mora – Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47), 141-162.
- Barrantes-Castillo, G. y Quesada-Román, A. (2016). *Método morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera en Costa Rica*. Póster. II Congreso Centroamericano y del Caribe en Movimientos de Ladera. Tegucigalpa, Honduras. 18 al 20 de julio de 2016.
- Bergoing, J. P. y Malavassi, E. (1981). *Carta geomorfológica del Valle Central. Escala 1:50.000*. (9 hojas más texto). Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica.
- Bierman, P.R. y Montgomery, D.R. (2014). *Key concepts in geomorphology*. W.H. Freeman and Company Publishers.
- Borja, R. y Alcántara, I. (2004). Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 53, 7-26.
- Borja, R. y Alcántara, I. (2010). Susceptibility to mass movement processes in the municipality of Tlatlauquitepec, Sierra Norte de Puebla. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 73, 7-21.

- Buzai, G. (2013). El mapa social de la ciudad de Luján, 2010. Modelo socioespacial basado en cluster analysis. *Tiempo y Espacio*, 31, 9-34.
- Carignano, C.A., Cioccale, M.A. y Martino, R.D. (2014). El megadeslizamiento del Cerro Uritorco, ladera occidental de la Sierra Chica de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(1), 21-32.
- Cruden, D. M. y Varnes, D. J. (1996). Chapter 3: Landslides Investigation and Mitigation. *Landslides types and processes*. Transportation Research Board. National Research Council, Special Report, 47.
- Dikau, R. (2004). Mass movements. En: *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge, (A. Goudie, ed.). Taylor & Francis Group. England. 1156 pp.
- Denyer, P. y Arias, O. (1991). Estratigrafía de la región central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 12,1-59
- Dos Santos, C., Florenzano, T. y Dalla, E. (2009). *Estudo geológico-geomorfológico da sub-bacia leste do Araripe com aplicação de variáveis morfométricas derivadas a partir de dados SRTM*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE. 3355-3362.
- Evans, I. (2012), Geomorphometry and landform mapping: What is a landform?. *Geomorphology*, 137, 94-106.
- Feoli, S. (2015). *Mapa de uso del suelo de las cuencas de la parte alta de la Gran Área Metropolitana*. Informe interno para el Departamento Ambiental de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. 76 pp. (inédito).
- Flores, P. y Alcántara, I. (2002). Cartografía morfogenética e identificación de procesos de ladera en Teziutlán, Puebla. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 49, 7-26.
- Flores, P. y Alcántara, I. (2012). Susceptibility to shallow landslides of soil in the municipality of Temoaya, Mexico: multicriterial analysis. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 77, 31-47.
- Galindo, J.A. y Alcántara, I. (2014). Inestabilidad de laderas e infraestructura vial: análisis de susceptibilidad en la Sierra Nororiental de Puebla, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 88, 122-145.
- Herrera, W. (1986). Clima de Costa Rica. Editorial Museo Nacional de Costa Rica 10 mapas, escala 1: 200.000.

- Highland, L. M. y Bobrowsky, P. (2008). The landslide handbook—A guide to understanding landslides. Reston, Virginia, U.S. *Geological Survey Circular* 1325. 129 pp.
- Hervás, J., Barredo, J. y Lomoschitz, A. (2001). *Evaluación de la susceptibilidad de deslizamiento mediante el uso conjunto de SIG, Teledetección y métodos de evaluación multicriterio*. Aplicación de Tirajana (Gran Canaria). (En línea). Recuperado de: http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/LandSlides/Documents/Hervas_Barredo_2001_Madrid.pdf
- Huggett, R. (2007). *Fundamentals of Geomorphology*. Routledge. New York, Estados Unidos.
- Instituto Meteorológico Nacional (2014). Atlas Climatológico de Costa Rica (CD-ROM). San José Costa Rica. 1 CD-ROM.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales), SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales) y BGR (Bundesanstalt fuer Geowissenschaften und Rohstoffe). (2004). Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos de Nicaragua: el Método Mora-Vahrson. (En línea). Recuperado de http://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/desliza/estudios/Mora_Vahrson.pdf
- Instituto Tecnológico de Costa Rica, (ITCR). (2014). Atlas digital de Costa Rica. (CD-ROM) Cartago, Costa Rica. 1 CD ROM.
- Lal Rajbhandari, P., Monwar, A. y Shakil M. (2002). Application of GIS (Geographic Information System) for landslide hazard zonation and mapping disaster prone area: A study of Kulekhani watershed, Nepal. *Plan Plus* 1(1), 117-123. Recuperado de <http://www.bdresearch.org/home/attachments/article/519/ooo.pdf>
- Legorreta, G., y Lugo, J.I. (2014). Zonación de peligros por procesos gravitacionales en el flanco suroccidental del volcán Pico de Orizaba, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 84, 20-31.
- Lugo, J. (1988). *Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos cartográficos)*. Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad de México, México.
- Lugo, J. I., Zamorano, J.J., Capra, L., Inbar, M. y Alcántara, I. (2005). Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: causa y efectos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(2), 212-228.

- Lugo, J. (2011). *Diccionario Geomorfológico*. Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad de México, México.
- Marcano, A. y Cartaya, S. (2013), Zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa originados por las precipitaciones entre Camurí Chico y Punta Tigrillo, estado Vargas, Venezuela. *Revista de Investigación*, 80(37), 189-214.
- Marques, R., Goncalves, F., Conceicao, R., Fernandes, F., Vierira, J.R. y N. Simas (2008). Relief morphometry in the Cachoeira river basin in the management plan of Floresta Nacional de Passa Quatro (MG). *R. RA'E GA, Curitiba*, 16, 119-128.
- Mata R., Rosales A., Vásquez A. y Sandoval, D. (2013). *Mapa de Órdenes de Suelos de Costa Rica*. 2 ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Escala 1: 200.000. Color.
- Mora, R. (2004a). *Aplicación de la metodología MVM para determinar la susceptibilidad a deslizamientos en el Bajo Cacao, Atenas, Alajuela*. Escuela Centroamericana de Geología. UCR, San José Costa Rica.
- Mora, R. (2004b). *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, provincia de San José, Costa Rica*. Escuela Centroamericana de Geología UCR. San José Costa Rica. Recuperado de http://www.femica.org/areas/modambiental/archivos/foro/deslizamiento_canton_san_jose.pdf
- Mora, R., Chaves, J. y Vázquez, M. (2002). *Zonificación de la Susceptibilidad al Deslizamiento: Resultados obtenidos para la Península de Papagayo mediante la modificación del método Mora-Vahrson (Mora, R., Vahrson & Mora, S., 1992)*. Servicios Especializados de Laboratorio de Suelos y Rocas, FUNDEVI 0960-00, Vicerrectoría de Investigación 113-A0827, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
- Mora, R. y Mora, S. (1994). *Deslizamientos*. En: Denyer, P. & Kussmaul, K. Atlas geológico de la Gran Área Metropolitana. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago. 245-288.
- Mora, R., Vahrson, W. y Mora, S. (1992). *Mapa de amenaza de deslizamientos, Valle Central, Costa Rica*. Centro de Coordinación para la prevención de desastres naturales en América Central (CEPREDENAC).

- Mora, S. y Vahrson, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Bulleting of the Association of Engineering and Geologist*, 31(1), 49-58.
- Mujica, S. y Pacheco, H. (2013). Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, estado Vargas, Venezuela. *Revista de la investigación*, 80, 215-243.
- Muñiz-Jaúregui, J.A., y Hernández-Madrigal, V.M. (2012). Zonificación de procesos de remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco, mediante combinación de análisis multicriterio y método heurístico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29(1), 103-114.
- Pedraza, J. (1996). *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Editorial Rueda, Madrid, España.
- Peña-Monné, J. L. (1997). *Cartografía Geomorfológica: Básica y Aplicada*. Geoforma Ediciones, Logroño, España.
- Peraldo, G. (2000). Amenaza de deslizamientos, 273-286. En: Denyer, P. y Kussmaul S. (comp). *Geología de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago.
- Quesada-Román, A. (2016). *Peligros geomorfológicos: inundaciones y procesos de ladera en la cuenca alta del río General, Pérez Zeledón, Costa Rica*. (Maestría en Geografía con énfasis en Geografía Ambiental). Posgrado en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 257 pp.
- Quesada-Román, A. y Barrantes-Castillo, G. (2016). Procesos de ladera cosísmicos del terremoto de Cinchona (Costa Rica) del 8 de enero de 2009 ($M_s=6,2$). Cuadernos de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 25(1), 217-232.
- Quesada-Román, A. y Barrantes, G. (2017). Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. E-print. <http://dx.doi.org/10.14350/rig.57318>.
- Ramírez, R, Santana, G. y Chacón, O. (1996). Mapa de amplificación sísmica del Valle Central, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 19/20, 37-55.

- Salazar, L. (2007). Modelaje de la amenaza al deslizamiento mediante el sistema de información geográfico ILWIS utilizando el método Mora & Vahrson, 1991. San José Costa Rica. Recuperado de <http://hercules.cedex.es/hidraulica/prohimet/Br07/Presentaciones/Salazar.pdf>
- Segura, G., Badilla, E. y Obando, L. (2011). Susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba. *Revista Geológica de América Central*, 2(45), 101-121.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). (2004). *Memoria técnica para el mapa de susceptibilidad de deslizamientos de tierra en El Salvador*. San Salvador, El Salvador. Recuperado de <http://www.snet.gob.sv/Documentos/SusceptMovMasa-ES-SNET-2004.pdf>
- Simonov, Y. (1985). *Análisis morfológico*. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. Moscú, URSS.
- Suárez, A. M., Peraldo, G., Badilla, E. y Obando, L.G. (2009). Zonificación geomorfológica para la evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos en la cuenca del río Viejo, Puriscal, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 41, 55-69.
- Vargas, A. (2001). Contribución a la geología y geomorfología del cantón de Coronado; Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 24, 67-78.
- Vahrson, W. (1992). Distribuciones de los periodos de retorno de tres eventos de lluvias extremas en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 25-26, 193-207.
- Valerio, V., López, C. y Alcántara, I. (2012). Mass movement processes associated with volcanic structures in Mexico City. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 79, 48-74.
- Van Zuidam, R. A. (1986). *Aerial Photointerpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Ed. Smits Publishers, The Hague.
- Velázquez, G. A. y Celemin, J. P. (2011). Elaboración y aplicación de un índice de calidad ambiental para la Región de Cuyo, Argentina, 2010. *Cuadernos Geográficos*, 49(2), 179-197.
- Villacorta, S., Llorente, M., Laín, L., Fidel, L., Machare, J. y Carlotto, V. (2007). Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del río Llaminchán (Cajamarca, Perú). *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 19, 103-112.

Adolfo Quesada Román, Sergio Feoli Boraschi. Comparación de la Metodología Mora-Vahrson y el Método Morfométrico para Determinar Áreas Susceptibles a Deslizamientos en la Microcuenca del Río Macho, Costa Rica

International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI) (1990). A suggested method for reporting a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 41, 5-12.

Contribuição de Milton Santos para o Debate Epistemológico na Geografia

Milton Santos' Contribution to the Epistemological
Debate in Geography
Contribución de Milton Santos para el Debate
Epistemológico en Geografía

Thiago Oliveira Neto¹
Universidade Federal do Amazonas, Brasil

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.2>

RESUMO

Este artigo busca abordar a contribuição de Milton Santos para a inserção de debates teóricos dentro do campo da geografia, através de cinco obras publicadas em livros: Por uma geografia nova; Espaço dividido; Espaço, técnica e tempo; Natureza do espaço; Por uma outra globalização. Nesse contexto, foram destacados alguns apontamentos trabalhados pelo autor: Espaço, território e técnica, presentes nas obras, seja em maior ou menor expressividade.

Palavras chave: epistemologia, geografia, Milton Santos.

ABSTRACT

This article aims to approach Milton Santos' contribution for the insertion of theoretical debates within the field of geography, through five books: Por una geografía nueva (The Active Role of Geography: A Manifesto); Espacio dividido (The Shared Space); Espacio, técnica y tiempo (Space, Technical and Time); Naturaleza del espacio (The Nature of Space); Por otra globalización (Toward

1 Graduado em geografia pela Universidade Federal do Amazonas-UFAM, Discente do Programa de Pós-Graduação em Geografia pela mesma instituição, Bolsista CAPES. E-mail: thiagoton91@live.com

Fecha de recepción: 28 setiembre de 2017
Fecha de aceptación: 23 de enero de 2018

an Other Globalization: From the Single Thought to Universal Conscience). In this context were highlighted some topics the author worked on: space, territory, and technique, present in the works to a greater or lesser expressiveness.

Keywords: epistemology, geography, Milton Santos.

RESUMEN

Este artículo busca abordar la contribución de Milton Santos para la inserción de debates teóricos dentro del campo de la geografía, a través de cinco obras publicadas en libros: Por una geografía nueva; Espacio dividido; Espacio, técnica y tiempo; Naturaleza del espacio; Por otra globalización. En ese contexto, fueron destacados algunos apuntes trabajados por el autor: Espacio, territorio y técnica, presentes en las obras, sea en mayor o menor expresividad.

Palabras clave: epistemología, geografía, Milton Santos.

Introdução

Ao longo de mais de quatro décadas de leituras e produção de textos, abarcando debates envolvendo a geografia, Milton Santos destaca-se pelas obras com teor crítico e chamando a atenção dos geógrafos sobre a necessidade de se repensar alguns postulados sobre os quais estavam debruçados os pesquisadores da ciência geográfica, seja pela quantificação seja pelo planejamento tecnocrático que atendia, obviamente, ao interesse das grandes corporações nacionais e internacionais.

No período de sua trajetória acadêmica, entre 1944 até junho de 2001, Milton Santos escreveu mais de 40 livros e publicou mais de 240 artigos nos mais diversos periódicos científicos internacionais, com destaque a revista *Antipode*. Há que se ressaltar que alguns dos temas trabalhados em suas obras propiciaram uma inserção de debates nos estudos geográficos realizados no Brasil e, concomitante, no exterior, com destaque: desigualdades, território, globalização, formação socio-espacial, circuitos da economia urbana etc. Nota-se também, em suas obras, um longo e amplo referencial teórico, com destaque para os clássicos da ciência geográfica² e da filosofia, os quais se constituem as pilstras-mestre que sustentaram suas proposições teóricas e de questionamento.

Nas obras de Milton Santos, observa-se uma estrutura científica de discussão e de investigação apoiada no materialismo histórico e dialético de Hegel e o estruturalismo de Althusser, demonstrando as contradições e as estruturas existentes dentro do sistema capitalista de produção e na globalização.

2 Apontamos como clássicos conforme Moreira (2008; 2009; 2011).

Metodologicamente, estruturou-se este texto em três partes: primeiramente são apontados os caminhos teóricos que o autor utilizou em suas obras, com ênfase no materialismo histórico e dialético e no estruturalismo; a seguir, destacam-se os debates apontados nas cinco obras priorizadas e que propiciaram reflexões importantes aos debates acadêmicos; por fim, aponta-se a evolução de algumas proposições destacadas por Milton Santos nas suas obras de 1978 –*Por uma geografia nova*– e de 1996 –*A natureza do espaço*, abordando os conceitos, aqui destacados: espaço, técnica e rugosidade, realizando ainda, alguns apontamentos críticos.

Para a construção da discussão destacada anteriormente, foram selecionados cinco livros do Milton Santos³, os quais, por sua vez, trouxeram debates e proposições de reflexões no campo epistemológico da geografia e das ciências humanas, além de que cada obra possui proposições e debates mais trabalhados e específicos. No livro **Por uma geografia nova**, de 1978, o autor chama a atenção para a necessidade de renovação do pensamento geográfico, lançando novas proposições e orientando que a construção do conhecimento científico crítico deveria acontecer através do materialismo histórico e dialético. No ano seguinte, o autor lança o livro **Espaço dividido** (1979), destacando a presença de dois circuitos da economia urbana e suas respectivas características e contradições.

Nas obras da década de 80 e 90, mais especificamente em **Técnica, Espaço e Tempo**, de 1985, o autor aponta a importância de se compreender as contradições observadas no espaço da globalização, bem como os conflitos entre as temporalidades distintas; em uma das suas principais obras, que corresponde a um aprofundamento substancial de suas reflexões, **Natureza do espaço**, de 1996, traz uma série de debates e questionamentos sobre variados “temas” oriundos de uma gama de autores, apontando os limites, as possibilidades e sua respectiva compreensão, reformulando, por sua vez, a proposta de compreensão sobre o Espaço.

Por fim, pontua-se a obra **Por uma outra globalização**, de 2000, com um texto em que se pode identificar o tom militante do autor em questionar o rumo de um processo que estava repleto de contradições internas.

3 Corrêa citou apenas três importantes livros de Milton Santos: *Por uma Geografia Nova*; *Espaço Dividido*; *Natureza do Espaço*, mencionando como um autor clássico, ou seja, autor de obras que propiciaram um avanço no debate teórico, mas possuem uma visão complexa, gerou discípulos e causou algumas rupturas entre o que estava sendo realizado e o que passou a ser feito (2011).

Outros livros poderiam ser trabalhados ao longo desse texto, a rigor, *Metamorfose do Espaço Habitado* de 1988, *Da totalidade ao lugar* de 2005⁴, *Espaço e Sociedade* de 1979, *O Brasil*, publicado em 2001, em coautoria de Maria Laura Silveira. Contudo, entre outros livros e artigos, optou-se por abordar apenas cinco livros, publicados em dois momentos distintos: o primeiro durante o processo de inserção de uma corrente filosófica de pensamento, que se tornou majoritária após 1978 na geografia brasileira; e o outro, parte da premissa de que os últimos livros desse autor trazem questionamentos e reflexões que remetem às obras anteriores, seja para ir além do que foi posto ou apenas reafirmar.

Caminhos teóricos de Milton Santos

Milton de Almeida dos Santos-1926-2001- nasceu em Brotas de Macaúbas, na Bahia, fez sua graduação em Direito, pela Universidade Federal da Bahia, em 1948. Posteriormente, trabalhou no *Jornal A tarde* (Ramirez, Vargas, 2012), editado na cidade de Ilhéus, e, na década de 60, realizou o curso de doutorado em Geografia sob orientação de Jean Tricard.

Vale a pena apontar que, entre seu doutorado e seu desdobramento de trabalho acadêmico em universidades, Milton Santos ministrou cursos em diversas universidades⁵, permitindo acesso às mais diversas obras, com os mais variados posicionamentos filosóficos, teóricos e políticos. Nesse contexto, ele teve acesso aos textos clássicos da ciência geográfica, em particular, bem como àqueles que estavam na vanguarda dos demais debates das ciências humanas. Contudo, a necessidade de ler os clássicos da ciência geográfica lhe permitiu, naquele momento, uma compreensão dos fundamentos, postulados e correntes teóricas⁶.

Moraes (2013), ao analisar as obras do Milton Santos, identifica as fases teórico-metodológicas, destacando as correntes filosóficas que foram trabalhadas ao longo do período de atividade intelectual do autor, demonstrando que os seus primeiros trabalhos científicos possuem uma presença primordial de autores da tradicional geografia francesa através dos

4 Copyright © 2002 da família Santos.

5 No livro *Por uma geografia nova*, o autor menciona: Universidade de Dar-es-Slaam, na Tanzânia, Universidade Central da Venezuela em Caracas e da Universidade de Colúmbia, em Nova Iorque. “Na França, país onde Milton Santos estudou e manteve laços acadêmicos bem consistentes, ele acompanha e participa de uma transição importante, da chamada geografia ativa para a radical-crítica” (Saquet; Silva, 2008, p. 26).

6 Corrêa (2011) e Calvino (1993) ressaltam a importância de ler os clássicos.

expoentes: Michel Rochefort, Max Sorre, Etenne Julliard e Pierre George, ao longo da década de 60, e, na década seguinte, nota-se uma influência de autores da corrente existencialista, com os expoentes: Jean Paul Sartre e Franz Fanon, os quais, por sua vez, vão aparecer em diversas obras em décadas seguintes⁷.

Nessa década de 70, com os estudos sobre organização espacial, economia das cidades, urbanização e dos demais processos que estavam ocorrendo em países rotulados de “terceiro mundo” ou “subdesenvolvidos”, nota-se, nas obras de Milton Santos, uma ampla influência de autores marxistas e o uso do método do materialismo histórico e dialético com Lefebvre, Althusser, Gramsci e Lukács, observando-se também, a presença do estruturalismo⁸ com Sartre e Althusser. Nesse momento, o autor busca evidenciar as contradições internas, à luz de uma abordagem geográfica, rompendo, por sua vez, com outra corrente hegemônica da geografia, a geografia quantitativa.

Assim, após o estabelecimento de uma discussão sistematizada e apresentada no livro *Por uma geografia nova*, de 1978, no mesmo ano, na cidade de Fortaleza, em um evento da Associação dos Geógrafos Brasileiros-AGB⁹, denominado Encontro Nacional dos Geógrafos-ENG, houve o lançamento da base para inserção e difusão do marxismo na geografia brasileira¹⁰, com um encontro de debates que, por sua vez, não tinham aflorado vultosamente antes de 1978¹¹. A rigor, nesse momento, nota-se também

7 No final da década de 60 houve uma larga e crescente produção intelectual de obras com raízes epistemológicas calcadas no marxismo, destaca-se: Quaini, Harvey, George, E., Kayser.

8 Johnston destaca a “forte influência do marxismo na Geografia a partir de um ponto de vista estruturalista, pelo qual as explicações dos fenômenos devem estar referenciadas às estruturas que os sustentam, mas que não são imediatamente identificadas por estes fenômenos (...)” (1986, pp. 97-101 *apud* Evangelista, 2014, p. 315).

9 “[...] primeira instituição a divulgar a geografia crítica foi a AGB” (Evangelista, 2014, p. 323). “Havia um grupo de geógrafos brasileiros preocupados com a geografia brasileira dispostos a mudar seu rumo no sentido acadêmico, na construção de uma nova teoria geográfica, uma nova posição que fosse também ao mesmo tempo, política e acadêmica, dentro da geografia [...]”. Em 1979, em São Paulo o grupo que ocupava a direção da AGB optou pela a “renúncia e entrega[ou] a AGB aos ‘revolucionários’, que elegeram Armen Mamigonian como presidente” (Scarim, 2000, *apud*, Batista, 2006, p. 30).

10 Naquele momento de inserção, pode-se pontuar dois geógrafos que propiciaram a difusão: Milton Santos e Armen Mamigonian.

11 “[...] inquietações e transformações que ocorreriam na AGB estão ligadas ao fato de que no final da década de 1960 e início da década de 1970 um novo perfil de geógrafos começa a surgir no Brasil. Estes geógrafos de posturas políticas mais declaradas, juntamente com os estudantes vão fazer com que a década de 1970 seja marcada por desestruturas e reestruturas na AGB” (Batista, 2006, p. 26).

o desenvolvimento de lutas sindicais, movimento grevista no ABC paulista e declínio do regime militar no Brasil.

Nesse sentido, porém, deve-se apontar que esse afloramento de debates e da produção intelectual de geógrafos, com aportes teóricos marxistas, segundo Moraes e Costa (1987) resultou em um dos pontos de renovação da geografia na década de 50, com os autores: Jean Dresch, Pierre George, Bernad Kayser, R. Guglielmo, A Prenat, Wolkowitch, Jean Tricard entre outros, “que inauguraram esta vertente de discussão”.

O marco dessa renovação se constituiu em 1953, durante a Jornada dos Intelectuais Comunistas, em Ivry, onde e quando os geógrafos já apontavam uma preocupação com os métodos da “geografia burguesa”, inserindo preocupações de ordem social (Moraes, Costa, 1987, p. 40). Por sua vez, Santos ([1978] 1990, p. 42) destaca que, no início dos anos 50 houve uma tendência neomarxista, mas com grandes dificuldades de se consolidar. Evangelista radicaliza e destaca a “(...) acirrada luta contra a geografia quantitativa, não pelo seu conteúdo técnico, mas sim aos seus pressupostos de base positivista (...) que não trazem contribuições para a compreensão da sociedade” (2014, p. 321).

Silva (1984, p. 76) destaca que a ruptura ocorrida em 1978 foi tanto de cunho político quanto teórico, com a inserção do “debate intelectual para além dos muros das Academias e Institutos, através do livro de Milton Santos, *POR UMA GEOGRAFIA NOVA*”; e ainda ressalta as contribuições teóricas e textuais de: David Harvey, Armando Corrêa, Carlos W. P. Gonçalves, Roberto L. Corrêa e Armen Mamigonian.

Com esse contexto, Milton Santos, em sua célebre obra de 1978, estabelece uma revisão crítica da evolução da geografia, abarcando os fundadores, além de apontar que a geografia é viúva do espaço, em decorrência da “desespacialização do espaço, reduzido a uma teia de coordenadas sem relação com o real” e de possuir alguns empecilhos, tais como a incapacidade de “permitir o que se encontra em um estágio e em outro” e de “estreitar os horizontes da disciplina e de empobrecer sua interdisciplinaridade” tornando a geografia como uma “palavra vazia de conteúdo – e quase nunca do espaço como sendo o objeto” (Santos, [1978] 1990, pp. 53-91).

E nesse mesmo caminho de estabelecer a crítica ao que vinha sendo realizado, destaca-se a celebre frase de Gaston Bachelard: “É preciso refletir para medir e não medir para refletir” (Bachelard, 1972, p. 213 *apud*

Santos [1978] 1990, p. 49; Lacoste, [1973] 1981, p. 242) sendo que “a quantificação representa apenas um instrumento” (Santos [1978] 1990, p. 52) e não um fim do pensamento.

A denominada “nova geografia”¹² se estruturou e se manifestou através, basicamente da quantificação (Santos, [1978] 1990, p. 42) apresentando uma rica abordagem em modelos matemáticos, sendo fruto da própria necessidade da a geografia se afirmar enquanto ciência, tendo, alcançar tal objetivo, usando o caminho da quantificação e inserção da matemática e o estabelecimento de leis gerais.

Santos já apontava que a geografia da percepção é “uma das novas tendências” na geografia, permitindo uma ruptura com as abordagens economicistas ([1978] 1990, p. 67)¹³, mas o próprio autor radicalizar ao afirmar que a percepção individual “não é conhecimento” e que “a coisa não seria objetiva e a própria teoria da percepção seria incompleta, senão inútil”. Compreende-se, entretanto, que o autor buscou criticar e apontar possíveis limites das outras correntes teóricas para justificar a abordagem crítica, esta diferenciando-se, metodológica e filosoficamente da geografia da percepção/fenomenologia.

Outro apontamento realizado é a crítica ao planejamento tecnocrático, que atende as demandas das empresas privadas em detrimento da sociedade¹⁴ e que a abordagem dos sistemas¹⁵ permitiu grandes avanços para as ciências exatas¹⁶.

Nessa mesma obra, apresenta-se uma discussão sobre a categoria de Formação Econômica e Social como uma teoria do espaço, enfatizando a problemática social (Santos, [1978] 1990).

12 “A expressão New Geography supõe (...) uma preocupação de afirmar como novo o que aos seus defensores parecia igualmente a ser único (...) iam desde a indiferença ou a perplexidade a uma espécie de combatividade que opunha os extremistas dos dois polos, divididos entre os que afirmavam a necessidade da nova tendência (e da nova denominação) e os que mantinham a posição contrária” (Santos, [1978] 1990, p. 41).

13 A geografia da percepção ou geografia humanista vai ter uma ampliação de estudos e de publicações a partir do final da década de 1990 com a publicação de livros organizados por Correa e Rosendahl, mas devemos apontar que outros geógrafos tiveram um papel fundamental na divulgação desta corrente, tais como Livia de Oliveira aposentada da UNESP.

14 Essa crítica está presente veementemente no livro Economia Espacial de 1979.

15 Crítica maior a teoria de Ludwig von Bertalanffy (Santos, [1978] 1990, p. 55) e com base em Chisholm (1967 *apud*) destaca que os geógrafos já buscavam compreender o espaço como um sistema, outra apontamento, e que os geógrafos do passado sempre buscaram compreender as interações de fenômenos, conforme aponta Sauer em 1925 (Sauer, [1925], 2012).

16 Na contra mão desse argumento, Morin (2003) e Capra (1996) apontam a necessidade das ciências humanas incorporarem essa discussão.

Durante esse momento de inserção de novos debates, ocorre a proposição teórica sobre a existência de um duplo circuito da economia urbana em 1972 e com publicação na França em 1975 do *L'espace Partagé* sendo publicado no Brasil em 1979.

Esse momento de renovação ocorreu em outros países, num processo embalado com o auxílio da criação e publicação de artigos com abordagem marxista, tendo um papel relevante os periódicos *Antipode*, nos Estados Unidos, e a revista francesa *Herodote*, “estabelecendo um confronto com a *New Geography*” (Santos, [1978] 1990, p. 42).

Para Silva o ano de 1982 foi um ano de difusão das ideias de renovação geográfica no Brasil, com destaque os livros de Milton Santos com as obras: *Novos Rumos da Geografia Brasileira* e *Pensando o espaço do homem* (1984).

Nas primeiras páginas do livro *Por uma Geografia Nova*, o autor anuncia a produção de outros quatro livros. Contudo, apesar dos temas anunciados, nota-se que os livros não seguem, fielmente a proposta dos títulos, mas pode-se apontar que o lançamento da discussão em 1978 foi aprofundada em 1996, com a publicação do livro *Natureza do Espaço*.

O livro *Natureza do Espaço* é construído a partir de uma exposição da discussão teórica em uma estrutura dialética¹⁷, apresentando as concepções existentes sobre uma determinada problemática, apontando os limites e as críticas, para, posteriormente, o autor lançar sua compreensão, seja negando ou afirmando/concordando com algum autor antes citado. No decorrer do livro, ainda, nota-se a presença de outros postulados de correntes teóricas distintas e criticadas em 1978. A rigor, nota-se uma discussão que incorpora noções de sistema, o estruturalismo e a fenomenologia, porém, apesar desse ecletismo na forma de estruturar sua discussão, pode-se apontar a presença substancial da dialética.

Abordagens miltonianas

Como característica dos debates apresentados por Milton Santos, em sua larga obra, ressalta-se não se tratarem de debates lançados originalmente por ele, mas estruturados e sistematizados, partindo da aproximação articulada com a geográfica de cunho crítico, priorizando, obviamente, alguns

17 As abordagens realizadas pelo Milton Santos estavam “centrad[as] em princípios do materialismo histórico e dialético como método de interpretação” (Saquet; Silva, 2008, p. 25).

temas para a compreensão do Espaço, tratando-se, portanto, de uma abordagem nova que permite compreender a nova reordenação dos fatos no espaço. Nesse contexto, destacam-se algumas abordagens realizadas por Milton Santos, como: espaço, formação socioespacial, território usado e redes.

Em 1978 o autor já destaca o conceito de espaço, este não apenas como um mero reflexo social, mas como um fato social e que este espaço é constituído de formas representativas de relações sociais de tempos distintos que se acumulam em uma “estratigrafia de objetos”. Para realizar uma compreensão do espaço nota-se a presença do que se denominou de totalidade e tempo, detendo um caráter global e tecnológico a partir da Formação Econômica e Social-FES.

Nessa obra de 1978, Milton Santos enfatiza o papel das rugosidades com base nos escritos de Jean P. Sartre sobre o prático-inerte, mas destaca o poder de permanência das formas espaciais fixas. Nesse sentido, o espaço tem elementos que remetem a um testemunho, seja pelo modo de produção ou pela memória do espaço construído, “as formas espaciais criadas por uma geração ou herdadas das procedentes, têm como característica singular o fato de que, *como forma material*, não dispõem de uma autonomia de existência” (Santos, [1978] 1990, p. 150 *grifo do autor*).

Partindo da premissa de que o espaço é “uma totalidade de relações posicionais que organiza a totalidade de autores” (Santos, [1978] 1990, p. 176) que atuam em diversas escalas geográficas e para realizar uma interpretação desse espaço, Santos destaca, inicialmente, quatro categorias: forma, função, estrutura e processo, as quais devem ser priorizadas na análise geográfica, tomando como ponto de partida o espaço, na busca de compreender a organização espacial e sua evolução. Destaca-se que essas são “categorias fundamentais para o estudo do espaço” (Santos, [1978] 1990, p.176).

Essas categorias não se apresentam isoladamente, algo que, por sinal, Santos destaca várias vezes em seus textos. Nesse contexto, conforme frisa o autor, a forma não pode ser compreendida por si mesma, mas como um aspecto visível e que é exterior de um objeto geográfico, embora esse mesmo objeto possua uma função ou várias funções, cujo sentido de materialização (do objeto) se justifica, como desempenhar ou possibilitar a realização de algo. Por sua vez, ainda, esse objeto possui uma estrutura, não relacionada aos componentes que o tornaram e compuseram. Essa

estrutura, contudo, é invisível e marcada pela natureza social e econômica em um determinado modo de produção ou ciclo econômico. Enfim, o processo é caracterizado como algo que ocorre continuamente e dentro de uma estrutura social e política, ou seja, uma estrutura em contínuo movimento (Santos, [1978] 1990; 1985, Corrêa, 2003), sendo que “a noção de totalidade é inseparável da noção de estrutura” e estas “estruturas correspondentes são as estruturas sociais” (Santos, [1978] 1990, p. 177).

A Formação Sócio-Espacial¹⁸, proposta por Santos em 1977 e derivada da Formação Econômica e Social, proposta por Marx e Engels, mas foi Vladimir Lênin que a sistematizou “buscando compreender a totalidade da história e o desenvolvimento de uma sociedade” (Bastos; Casaril, 2016, p. 277), a Formação Econômica e Social, incluindo o espaço. Contudo, foi Milton Santos que apontou uma discussão destacando também a inclusão do espaço e constituindo a Formação Sócio-Espacial. Bastos e Casaril destacam que a FES “foi estruturada tendo em vista um entendimento da totalidade espacial em macro escala (escala nacional), todavia, não a percebemos como um paradigma teórico-metodológico concretizado”, podendo ser largamente empregado em outras escalas geográficas, como a regional e a local (2016, p. 277).

A proposta é tentar colocar, lado a lado, noções de espaço humano e de formação social, para evitar compreensões equivocadas da realidade, entendendo que o “objeto dessa geografia renovada é o estudo das sociedades humanas em sua obra de permanente reconstrução do espaço herdado das gerações precedentes, através das diversas instancias de produção”, além do mais, “a noção de formação social nos oferece a possibilidade de interpretar a acumulação e a superposição de formas” ([1978] 1990, p. 195-198) espaciais que compõem o espaço geográfico de vários territórios do mundo.

Ressalta também Milton Santos que a “história não se escreve fora do espaço e o próprio espaço sendo social, não há sociedade a-espacial”. Nesse contexto, nota-se a persistência em apontar o uso da formação social “como categoria da realidade e como categoria analítica”, a qual permite a “formulação de uma teoria espacial válida”, propiciando uma

18 “Uma formação sócio-econômica é “uma totalidade, um sistema que se define a partir de sua própria elaboração” (...), isto é, “não de uma maneira caprichosa mas em obediência aquelas leis que, fundamentalmente, exprimem um dado modo de produção ou a passagem a um outro modo de produção” (Aguilar, 1974, pp. 93-96 *apud* Santos, [1978] 1990, p. 197).

compreensão diferencial da sociedade, conhecendo as especificidades e mostrando as distinções de outras sociedades “cuja especificidade e particularismos devem ser realçados para que o estudo concreto de suas realidades” (Santos, [1978] 1990, p. 198-201).

Santos faz a proposição de uma espaciologia que seria quase-história (Santos, [1978] 1990, p. 196), tal rotulação tinha como proposta substituir “geografia” por espaciologia, em uma perspectiva de valorização acentuada do espaço.

No mesmo livro de 1978, chama atenção que boa parte da discussão era feita sobre a geografia, mas pouco se discute sobre o objeto desta ciência, que, para Santos, seria o espaço. Outro apontamento refere-se às analogias e à relação entre os elementos naturais e o corpo humano (Santos, [1978] 1990, p. 27), como foi o caso da compreensão sobre redes, elaborada por Saint Simon (Dias, 1995; 2007), ou de Estado como um organismo (Ratzel, [1987] 2011)¹⁹.

Em outra obra, *O Espaço Divido* com a publicação em francês em 1975 e em português em 1979, o autor vai destacar a existência de dois circuitos da economia urbana a partir da teoria do espaço e da urbanização e apresentando apontamentos teóricos e empíricos sobre a modernização tecnológica com base econômica e política. Cada circuito é um sistema e cada um possui seu espaço de relações na cidade.

Para Santos existe uma economia urbana formada por circuitos distintos em decorrência das características técnicas e de organização, tendo sua existência indissociável de um circuito do outro, enquanto que no superior apresenta um aparato técnico e um “capital intensivo” com a presença majoritária de capitais volumosos e a presença de monopólios e de atividades puras, impuras e mistas, enquanto, que no inferior ocorre um “trabalho intensivo”²⁰ com a presença de atividades de pequena dimensão que interessam principalmente grupos humanos “pobres” ([1979] 2008).

O circuito superior marginal demonstra a interligação entre os dois circuitos anteriores, a rigor, os transportes é um exemplo, assim como, os serviços (Santos, [1979] 2008, pp.40-41). Santos renuncia a rotulação de moderno e tradicional, pois estão carregadas de significados ([1979] 2008).

19 Ver essa discussão em Dias (1995) e em Costa (2010).

20 Podendo ser caracterizado brevemente pelas “atividades de fabricação tradicionais, como o artesanato, assim como os transportes tradicionais e a prestação de serviços” (Santos, [1979] 2008, p. 24).

Na obra *Espaço, Técnica e Tempo*, de 1985, o autor já destacava o papel proeminente das técnicas e do meio técnico científico informacional associado ao processo de globalização, com apresentação de abordagens que vão reaparecer nas obras seguintes, em *Natureza do Espaço* e no livro *Por Uma Outra Globalização*.

Por fim, o reforço desse debate vem com a obra publicada 11 anos depois, ampliando o debate e apontando novas discussões.

Em *Natureza do Espaço*, de 1996, Milton Santos realiza um vasto compilado de assertivas de um grande número de autores que propuseram reflexões referentes a alguns temas elencados como norteadores da obra, que foi sistematizada em uma estrutura dialética, mas com a presença de outras correntes teóricas, tais como o estruturalismo, e tangenciado pelo pensamento sistêmico. Este livro, assim como os demais, é uma proposta teórica e metodológica para compreender o espaço geográfico, tendo como um dos eixos centrais a discussão sobre o meio técnico (Maia, 2012, p. 180).

Nesse contexto, optou-se em indicar somente os apontamentos sobre território usado, noção de meio, objeto geográfico, espaço e redes, pois o objetivo aqui não é esgotar essa obra, mas apresentar alguns pontos que se articulam ou não com outras obras escritas pelo mesmo autor.

Denominam-se objeto geográfico as formas espaciais construídas pelo ser humano dentro de um espaço. Contudo, a noção de objeto geográfico está circunscrita aos objetos móveis e àqueles imóveis, tais como uma cidade, rodovias, portos, floresta, montanha, entre outros. Ou seja, “para os geógrafos, os objetos são tudo o que existe na superfície da Terra, toda herança da história natural e todo resultado da ação humana que se objetivou”, trabalhando com os objetos do presente e, em alguns casos, um testemunho ações –a sociedade- passadas, que passam a compor objetos –a materialidade- que estão presentes numa extensão contínua, que pode ser caracterizada como uma estratigrafia de objetos técnicos, sendo que uma determinada técnica ou o conjunto delas e sua evolução é uma das “características da sociedade e do espaço geográfico” (Santos, 2006, p. 111).

Santos (2006, p.16) define que “as técnicas são um conjunto de meios instrumentais e sociais, com os quais o homem realiza sua vida, produz e, ao mesmo tempo, cria espaço”. Destaca, ainda, o autor que a sucessão de

períodos históricos²¹ e de sistemas técnicos, e periodiza três momentos da história das técnicas: o primeiro caracterizado apenas pela presença de um meio técnico; o segundo, por um meio técnico e científico²²; e o terceiro, informacional. Para Maia (2012, p.185), Milton Santos não privilegiou abordar incisivamente a luta de classe, tendo, também, estabelecido uma “supervalorização dada por ele ao fenômeno técnico”.

Nessa obra, Santos aponta que o espaço não é apenas um conjunto de fixos e fluxos, ele é também um sistema.

Sendo o espaço geográfico um conjunto indissociável de sistemas de objetos e sistemas de ações, sua definição varia com as épocas, isto é, com a natureza dos objetos e a natureza das ações presentes em cada momento histórico. Já que a técnica é também social, pode-se lembrar que sistemas de objetos e sistemas de ações em conjunto constituem sistemas técnicos, cuja sucessão nos dá a história do espaço geográfico.

Os objetos que constituem o espaço geográfico atual são intencionalmente concebidos para o exercício de certas finalidades, intencionalmente fabricados e intencionalmente localizados. A ordem espacial assim resultante é, também, intencional. Frutos da ciência e da tecnologia, esses objetos técnicos buscam a exatidão funcional, aspirando, desse modo, a uma perfeição maior que a da própria natureza. É desse modo que eles são mais eficazes que os objetos naturais e constituem as bases materiais para as ações mais representativas do período (Santos, [1996] 2006, p. 226).

Santos destaca que os objetos geográficos não estão no espaço isoladamente, ao contrário, sua materialização e seu uso ocorre numa relação indissociável com outros objetos e processos (2006)²³ e a ocorrência da união entre técnica e ciência, e o conhecimento como recurso.

Santos ([1996] 2006) destaca em sua obra um debate teórico escasso referente às redes, apontando que estas são mistas e que as redes técnicas são de constituições globais capazes de unir pontos do território a uma

21 Santos denomina de empiricização do tempo (2006, p. 33).

22 Aparece pela primeira vez no livro Espaço e Método, de 1985, sendo trabalhado em obras posteriores e tendo a inclusão do informacional e sua relação com o processo da globalização na obra Técnica, espaço e tempo, de 1994 (MAIA, 2012).

23 Para Santos “uma técnica nunca aparece só e jamais funciona isoladamente” ([1996] 2006, p. 114). “As técnicas se dão como famílias. Nunca, na história do homem, aparece uma técnica isolada; o que se instala são grupos de técnicas, verdadeiros sistemas” (Santos, 2000a, p. 24).

mesma lógica produtiva, permitindo a fluidez²⁴ diversificada, que atende interesses de autores hegemônicos, a estrutura seria um suporte para alcançar ou aumentar a competitividade, nesse sentido, cria-se objetos geográficos capazes de favorecer a fluidez.

Nessa obra, nota-se uma proximidade com os debates aprofundados no livro dedicado ao tema globalização, aponta-se que as cidades ‘luminosas’ se “justapõem, superpõem e contrapõem ao uso da cidade onde vivem os pobres, nas zonas urbanas ‘opacas’” (Santos, [1996] 2006, p. 221).

Um dos últimos livros escrito por Milton Santos trata sobre o processo contraditório da Globalização, e, nesse ensaio, o autor aponta o processo como fábula, como perversidade, e como poderia ser a globalização, estabelecendo uma crítica ao processo em curso. Nesse livro, nota-se o caráter militante do autor, que faz uso de jargões como: perversidade, tirania, morte da política, violência, pobreza, capitalista, trabalho, entre outros, na busca de superar “explicações mecanicistas [que] são, todavia, insuficientes” e que “esse mundo como fábula é alimentado por outros ingredientes, entre os quais a politização das estatísticas” (Santos, 2000, pp. 17-42) para elucidar esse processo, que, para o autor, pode ser constituído em três mundos: “o primeiro seria o mundo tal como nos fazem vê-lo; a globalização como fábula; o segundo seria o mundo tal como ele é; a globalização como perversidade; e o terceiro, o mundo como ele pode ser: uma outra globalização” (Santos, 2000, p. 18).

Para Santos, a globalização é uma perversidade sistêmica, e que está na raiz da “evolução negativa da humanidade”, que por sua vez, materializou um conjunto interligado de técnicas que acaba sendo a base para que o grande capital se apoie para “construir a globalização perversa”, tendo como fatores: “a unicidade da técnica, a convergência dos momentos, a

24 “A produção da fluidez é um empreendimento conjunto do poder público e do setor privado. Cabe ao Estado, diretamente ou por concessões, e aos organismos supranacionais prover o território dos macrossistemas técnicos sem os quais as demais técnicas não se efetivam: Já as empresas, isoladamente ou associadas, estabelecem redes privadas, cuja geografia e funcionalização correspondem ao seu próprio interesse mercantil. É por onde circulam - não raro de forma exclusiva - as informações, os dados especializados e as ordens que estruturam a produção. Quando se fala em fluidez, deve -se, pois, levar em conta essa natureza mista (e ambígua) das redes e do que elas veiculam (...) A fluidez, de fato, é seletiva” (Santos, 2006, p. 187) e tal seletividade é observada nos transportadores que escolhem os melhores eixos que podem propiciar melhores acumulações de lucro e de transporte em menor tempo (dependendo do tipo de produto), alguns eixos são priorizados em decorrência da seletividade que os transportadores e as grandes empresas fazem, optando por um corredor e não pelo outro, seja pelo fator distância ou político, fronteira, etc.

cognoscibilidade do planeta e a existência de um motor único na história, representado pela mais-valia globalizada” (2000a, pp. 20-24).

Contudo, o controle do curso do processo é realizado pelos grandes atores, constituídos pelas empresas globais que atuam na velocidade dos fluxos e no discurso ideológico, e visando “a instalação desses capitais globalizados supõe que o território se adapte às suas necessidades de fluidez, investindo pesadamente para alterar a geografia das regiões escolhidas” (Santos, 2000, p.66), na busca de superar as crises sucessivas no âmbito global através de uma violência estrutural,²⁵ que pode “ser vista como uma fábrica de perversidade” (Santos, 2000, pp.58-59), gerando uma produção globalizada da pobreza.

Essas empresas globais ou menos nacionais agem seletivamente nos territórios, na busca de obterem as frações territoriais que apresentam as melhores características para obtenção de rentabilidade e recompor o capital empregado e a mais-valia. Nesse sentido, aponta-se que “aos atores mais poderosos se reservam os melhores pedaços do território e deixam o resto para os outros” (Santos, 2000, p.79), em um processo caracterizado pelas práticas espaciais com destaque para a seletividade espacial²⁶, tendo o território como ente onde ocorre o uso por uma dada população, daí o termo *território usado*. Porém, este “não é apenas o resultado da superposição de um conjunto de sistemas naturais e um conjunto de sistemas de coisas criadas pelo homem. O território²⁷ é o chão e mais a população, isto é, uma identidade, o fato e o sentimento de pertencer àquilo que nos pertence”, sendo também a base do trabalho, da moradia e das trocas materiais e imateriais por uma dada população (Santos, 2000, pp.96-97).

Uma outra característica do “período da globalização, [é] o mercado externo, com suas exigências de competitividade, obriga a aumentar

25 “Ao nosso ver, a violência estrutural resulta da presença e das manifestações conjuntas, nessa era da globalização, do dinheiro em estado puro, da competitividade em estado puro e da potência em estado puro, cuja associação conduz à emergência de novos totalitarismos e permite pensar que vivemos numa época de globalitarismo muito mais que de globalização” (Santos, 2000, p. 55).

26 Essa discussão está presente em CORRÊA, (1992; 2007; 2013) quando aponta as práticas espaciais das grandes corporações e MOREIRA, (2013) que destaca também algumas práticas espaciais presentes no espaço, e para Santos: “cada empresa hegemonicamente age sobre uma parcela do território. O território como um todo é objeto da ação de várias empresas, cada qual (...) preocupada com suas próprias metas e arrastando, a partir dessas metas, o comportamento do resto das empresas e instituições” (2000, p. 86).

27 Santos destaca “O território tanto quanto o lugar são esquizofrênicos, porque de um lado acolhem os vetores da globalização, que neles se instalam para impor sua nova ordem, e, de outro lado, neles se produz uma contra-ordem, porque há uma produção acelerada de pobres, excluídos, marginalizados” (2000, p. 114).

a velocidade” (Santos, 2000, p.123) dos fluxos materiais e imateriais, na busca de atender a demanda de novos ou de consolidar os fluxos, os quais ocorrem através de uma base territorial de realização do Estado e não da iniciativa privada (Juillet, 1971), corroborando com o aumento da mais-valia²⁸ e deixando outros serviços desamparados de recursos financeiros.

Evolução dos debates e alguns apontamentos críticos

Um dos conceitos retrabalhado por Milton Santos ao longo das décadas e presentes em suas obras foi a concepção sobre o espaço, apresentada, inicialmente, como um conjunto de fixos e fluxos e, por fim, como sistema, esta última oriunda da formulação orteguiana para elaboração da noção de espaço como sistema. Nas obras, notam-se influências de Heidegger, Ortega y Gasset, Sartre e outros autores já mencionados, os quais permitiram estruturar toda uma discussão sobre, principalmente, espaço como categoria chave da geografia.

Dantas (2014) aponta que se pode distribuir as obras de Milton Santos em dois grandes grupos: o primeiro composto pelas obras teóricas e epistemológicas e o segundo grupo é caracterizado pelos textos sobre urbanização e uso do território. E ressalta, ainda, a importância de uma base teórica para compreender os processos, afirmando que a “realidade concreta não se revela sem o uso da teoria e nem esta tem razão de ser sem o domínio da empiria” (Dantas, 2014, p. 51).

Para Tavares e Silva, o livro *Le Métier Du Géographe*, de 1971, traduzido como O Trabalho do Geógrafo no Terceiro Mundo, de 1978, é o marco teórico do autor, e que se completou com o livro Natureza do Espaço, apresentando um debate sobre técnica, construído ao longo das obras publicadas.

Outra proposição de debate está circunscrita ao que se denominou e adjetivou de *território usado*, amplamente trabalhado em um artigo publicado em 2000 e que também foi parte da exposição de Milton Santos, no Congresso Brasileiro de Geógrafos-CBG, realizado em Florianópolis²⁹, onde se debateu o papel ativo da geografia. No texto, porém, notam-se

28 “[...] atividades *just-in-time*, que trabalham como um relógio universal, movido pela mais-valia universal” (Santos, 2000, p. 126).

29 Debate com Milton Santos; O Papel Ativo da Geografia: um manifesto. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=xpM6M08rI3E>> Acesso em: 11 de julho de 2017. Vídeo da palestra do XII Encontro Nacional de Geógrafos promovido pela AGB realizado em julho de 2000 em Florianópolis.

algumas proposições, tais como a de que o espaço geográfico³⁰, este, é entendido como território usado, sendo “tanto o resultado do processo histórico quanto a base material e social das novas ações humanas”, permitindo realizar uma “consideração abrangente da totalidade das causas e dos efeitos do processo socioterritorial” e se constituindo “como um todo complexo onde se tece uma trama de relações complexas e conflitantes (Santos, 2000b, pp. 104-105).

Lança-se a crítica às ações pontuais e não globais, devendo-se pensar o território como um todo, composto pelo emaranhado de relações conflitantes e contraditórias. Na mesma esteira, aponta-se que a espacialização dentro da geografia leva a um ramo simplesmente operacional, incluindo-se a própria fragmentação da ciência, a qual é carregada de termos e de adjetivos que fragilizam uma possível explicação do mundo, principalmente quando se trata sobre o ensino de geografia (Santos, 2000b, p.106).

Santos destaca que “o problema central é como utilizar os conhecimentos sistematizados por uma disciplina no delineamento de soluções práticas e caminhos, frente aos problemas concretos da sociedade”, através de um discurso socialmente eficaz, calcado em uma base de intervenção “sistêmica” na sociedade (Santos, 2000b, p. 107).

Apesar de suas proposições representarem fato positivo, algumas foram palco de críticas. Vesentini (2001; 2009), por exemplo, estabelece duras críticas aos escritos de Milton Santos, primeiramente sobre a proposição de uma espaciologia, que não teria aplicabilidade e não resulta em trabalhos criativos³¹. Sua crítica também alcança a produção brasileira de textos de geografia crítica, referindo que autores como Lefebvre, Lipietz,

30 “A compreensão do espaço geográfico como sinônimo de espaço banal obriga-nos a levar em conta todos os elementos e a perceber a inter-relação entre os fenômenos. Uma perspectiva do território usado conduz à idéia de espaço banal. O espaço de todos, todo o espaço. Trata-se do espaço de todos os homens, não importa suas diferenças; o espaço de todas as instituições, não importa a sua força; o espaço de todas as empresas, não importa o seu poder. Esse é o espaço de todas as dimensões do acontecer, de todas as determinações da totalidade social. É uma visão que incorpora o movimento do todo, permitindo enfrentar corretamente a tarefa de análise” (Santos, 2000b, p. 104).

31 “Santos, por sua vez, não soube muito bem a quem se dirigir e, com um viés positivista, propôs uma ‘nova ciência’ – ele chegou até a sugerir o rótulo espaciologia no lugar de geografia – que enfocasse o espaço enquanto sujeito (*sic*) e como totalidade (ou melhor, como formação socioeconômica, ou ‘socioespacial’). É evidente que tal proposta teórico-metodológica não poderia ter grande aplicabilidade nas análises de fato críticas, ou mesmo nas pesquisas engajadas (que, em alguns casos, não são críticas), pois quem estuda, por exemplo, as lutas pela terra no meio rural tem que privilegiar os *sujeitos* sociais envolvidos nos conflitos e não uma espaciologia abstrata [...] [e] [...] dessa incapacidade da espaciologia em produzir qualquer trabalho importante ou mesmo criativo [...]” (VESENTINI, 2001, S/P; 2009, p. 144).

Raffestin e Lacoste, “[...] foram e são muito mais importantes nos trabalhos acadêmicos da geocrítica brasileira – em especial nas geografias política, social, regional, demográfica, urbana e agrária – do que a espacilogia de Milton Santos (Vesentini, 2001, S/P; 2009, p. 145).

Outra crítica de Vesentini (2001; 2009) é referente ao ecletismo de correntes teóricas³² apresentado em alguns escritos. A rigor, o livro *Natureza do Espaço* é um exemplo, pois Milton Santos³³ optou por um emaranhado de correntes filosóficas, diluídas na organização do texto, apresentando um leque de discussões organizadas de forma dialética hegeliana, com alguns pontos que possuem interligação com outras correntes de pensamento. Esse ecletismo pode denunciar o enfraquecimento de um aporte teórico que poderia significar um caminho percorrido para possibilitar uma compreensão, mas não é esse o caso, pois o uso de várias correntes de pensamento pode tornar contraditórias as discussões do próprio texto, já que cada corrente teórica teve uma gênese distinta e carrega consigo diferentes proposições de investigação. Ribeiro (2009, p. 25), em outro contexto, aponta que “esse ‘ecletismo’ seria um dos legados do pós-modernismo, que se abre para o diálogo entre diferentes matrizes teóricas, em um movimento multifacetado”.

A partir da década de 1990 ocorre aceitação de diversas perspectivas teóricas e metodológicas que são utilizadas na geografia, mas Diniz Filho (2004, p. 81) alerta para evitar a possível adentrada em algumas armadilhas, dentre as quais, o pluralismo de correntes caracterizado pelas “formulações teóricas [que] revelam nitidamente um elevado ecletismo epistemológico” que pode ocasionar uma incoerência nas proposições³⁴.

Santos priorizou uma abordagem sobre território com “certos enfoques da economia e, mesmo, da ciência política, que não se apropriam da

32 “[...] certo ecletismo – mistura ou sobreposição sem coerência da análise sistêmica, via ecossistemas, com a ideia hegel-marxista de totalidade (entendida pelo viés althusseriano) –, e principalmente devido à falta de engajamento e de sujeitos sociais, além das ambiguidades na noção de espaço (que se torna fetichizado)” (Vesentini, 2001, S/P; 2009, pp. 143-144).

33 “O ecletismo teórico é fonte de riqueza e auxílio fundamental para a discussão teórica e não apenas campo para classificações para determinadas tendências. Contudo, a escolha por um caminho definido é um imperativo, para que não se caia no perigo de ser ‘teóricos da moda’ ou de formar uma ‘colcha de retalhos’” (Santos, 2002 *apud* Braga, 2007, p. 66).

34 Diniz Filho ainda ressalta que esse ecletismo “pode deixar a geografia ainda mais desarmada frente aos riscos de um ecletismo mal conduzido que acabe sacrificando a própria coerência do discurso, que, também pode ser usado para dar sobrevida a certas teorias marxistas que, embora importantes nos anos 60 e 70 encontram-se hoje desacreditadas” (Diniz Filho, 2004, pp. 81-96).

noção do território considerado como *território usado* e visto, desse modo, como estrutura dotada de um movimento próprio” (Santos, 2000, p. 87). Nesse contexto, porém, acaba ocorrendo um engessamento da possibilidade de abordar o território no enfoque da ciência política, da geografia política e cultural, tendendo esses últimos um debate distinto dos enfoques da geografia econômica.

Sauer ([1925] 2012, p. 187), em seu texto sobre paisagem, reafirma que “os objetos que existem juntos na paisagem existem em inter-relação”, e que deve-se considerar uma realidade como um todo, e não expresso pelas partes separadamente, sendo que a área possui forma, estrutura e função³⁵, portanto, posição de um sistema. Observa-se que Sauer já apresenta uma breve articulação com três categorias baseadas em forma, estrutura e função, as quais já foram trabalhadas e apontadas, em 1978 por Milton Santos, como um caminho para permitir uma compreensão sobre o espaço.

Nota-se que essa discussão de bipolarização –espaço dividido/dois circuitos/espacos luminosos e opacos³⁶- não se constituem em polos opostos ou um dualismo, que por sua vez, esse último é caracterizado pelos polos opostos, sendo um marco na ciência, sendo que na geografia, observa-se a constituição de vários binômios, seja pelo debate vencido entre determinismo e possibilíssimo, geografia física e humana ou monotética e ideográfica. Obviamente, Santos tentou evidenciar esses circuitos distintos e interligados na busca de mostrar suas contradições e aspectos inerentes, mas esse debate constituído de binômios está presente na geografia desde a sua formação epistemológica.

Considerações finais

Apesar de sua vasta obra publicada, alguns apontamentos e formulações realizadas pelo Milton Santos sobre as categorias geográficas merecem ser discutidas, a rigor, o debate sobre o Espaço foi amplamente trabalhado em seus textos, mas a categoria e os debates sobre o Lugar acabou sendo trabalhado por outros autores, com destaque a Yi Fu Tuan nos Estados Unidos em 1977³⁷, outra categoria que também foi pouco explorada foi a região que acabou sendo vista durante muitos anos apenas para fins de

35 Milton Santos em diversas obras utiliza esses três e ainda acrescenta o Processo.

36 Milton Santos “rompe com as abordagens dualistas: “moderno” versus “tradicional” e substitui pela dialética entre o “circuito superior” e o “circuito inferior”” (DANTAS, 2014, p. 59).

37 *Space and place* em 1977 e no Brasil a publicação ocorreu em 1983 com o título Espaço e Lugar.

planejamento e do ponto de vista administrativo e também não se incorporou o debate que o Armand Frémont realiza sobre região e a paisagem que possui um rico debate com autores americanos e ingleses da geografia, tais como: Cosgrove, Duncan e Sauer e da rotulada geografia física com o expoente George Bertrand. A discussão sobre território foi apontada apenas pelo viés de uma geografia econômica e adjetivando como *território usado*, deixando de lado as outras possibilidades de compreensão, estas realizadas principalmente por: Raffestin, Sack, Gottmann, Saquet e Claval. Essa negligência é justificada pela apropriação teórica que o autor realizou, onde a categoria *espaço* permitia o desenvolvimento de apontamentos gerais de cunho dialético e marxista. Nesse contexto, pontua-se que o autor seguiu seus postulados teóricos para compreender processos gerais, e sua escolha teórica não abarca todas as categorias a partir de várias correntes de pensamento, ao contrário, permitiu-se ao autor, que ele trilhasse um caminho para o desenvolvimento das reflexões calcadas basicamente em duas correntes filosóficas de pensamento; o próprio materialismo histórico e dialético e o estruturalismo com maior ênfase em suas obras.

Vale a pena destacar que deve-se rever a bibliografia que o autor utilizou para a formulação de suas reflexões, ou seja, da mesma forma que o Milton Santos foi ler os textos clássicos da ciências sociais e da geografia, majoritariamente esta última, para compreender determinados processos e formular novas possibilidades de compreensão, deve-se buscar compreender minimamente os apontamentos dos textos e de autores clássicos bem como os “atuais” para, posteriormente, inserir críticas ou reflexões, evitando afirmações com uma estrutura epistemológica frágil, empobrecendo o debate teórico ou a repetição transvestida de uma falsa originalidade.

Um dos grandes diferenciais das obras de Milton Santos é a proposição de discussões gerais, por não estar presa a um lugar específico, o que permite compreender um dado processo em qualquer lugar do mundo³⁸. As especificidades são advertidas e ressaltadas pelo autor para aqueles que vão aplicar suas proposições, mas suas formulações são gerais. Isso, talvez, seja fruto do próprio momento pelo qual a ciência geográfica estava passando e das discussões de autores clássicos, pois, para esta ciência –geografia- se afirmar como tal eram necessárias discussões gerais e não

38 Uma epistemologia universal para permitir compreender as especificidades dos países subdesenvolvidos (Dantas, 2014).

apenas específicas. Firmar-se somente em discussões específicas não se enquadra às leis gerais do pensamento racionalista e positivista de ciência. A rigor toda a produção do conhecimento está em constante construção e reconstrução, ou seja, uma conjuntura em movimento.

Referências

- Batista, E. E. (2006). As [im]possibilidades da crítica: o movimento de renovação da geografia no Brasil. Monografia em Geografia, Universidade Estadual de Londrina, 57 p.
- Bastos, J. M.; Casaril, C. C. (2016). A formação sócio-espacial como categoria de análise aos estudos sobre rede urbana: ampliando a discussão teórica. *Geosul*, 31(62), 271-298.
- Braga, R. M. (2007). O espaço geográfico: um esforço de definição. Em: *Geosp*, 22, 65-77.
- Capra, F. (1996). *A teia da vida*. São Paulo: Cultrix.
- Cassab, C. (2009). Epistemologia do espaço na obra de Milton Santos: breve panorama. Em: *Geografias*, 4(1), 98-108.
- Calvino, I. (1993). *Por que ler os clássicos*. Trad. Nilson Moulin. São Paulo: Companhia das Letras.
- Costa, W. M. (2010). *Geografia Política e Geopolítica: Discurso sobre o Território e o Poder*. São Paulo: Edusp.
- Corrêa, R. L. (1992). Corporação, Práticas espaciais e gestão do território. Em: *Anuário*, 15(1), 35-41. Disponível em: < http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_1992/vol_15_35_42.pdf>
- Corrêa, R. L. (2003). *Região e organização espacial*. 7ª ed. São Paulo: Editora Ática.
- Corrêa, R. L. (2007). Diferenciação Sócio-Espacial, Escala e Práticas Espaciais. Em: *Cidades*, 4(6), 62-72. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/revistacidades/article/viewFile/570/601>>
- Corrêa, R. L. (2011). Quem são os Clássicos da Geografia brasileira? E Por Que Lê-los?. Em: *Revista Espaço Aberto*, 1(1), 155-160.
- Corrêa, R. L. (2013). “Espaço: um conceito-chave na geografia”. Em: Castro, I. E. de. y Gomes, P. C. da C. y Corrêa, R. L. *Geografia: Conceitos e Temas*. 15º ed. Rio de Janeiro: Bertrand, pp. 15-47.

- Dias, L. C. (1995). "Redes: emergência e organização". Em: Castro, I. E. de y Gomes, P. C. da C. y Corrêa, R. L. (Org.). *Geografia: Conceitos e Temas*. 15ª ed. Rio de Janeiro: Bertand, p. 141- 162.
- Dias, L. C. (2007). "Os sentidos da rede: notas para discussão". Em: Dias, L. C.; Silveira, R. L. L. (Orgs.). *Redes, Sociedades e Território*. 2. ed. Santa Cruz do Sul: EdUNISC, 2007.
- Dantas, A. (2014). *Geografia e epistemologia do sul na obra de Milton Santos*. Mercator, 13(3), 49-61.
- Diniz, L. (2004). "Certa má herança marxista: elementos para repensar a geografia crítica". In: Kozel, S. y Mendonça, F.. (org). *Elementos de epistemologia da geografia contemporânea*. Curitiba: Ed. da UFPR, p. 77- 108.
- Evangelista, H. (2014). *Aspectos Históricos da Geografia Brasileira*. Rio de Janeiro: Letra Capital.
- Juillet, A. (1971). *Sur la place des transports dans l'économie capitaliste*. Em : *Vie Urbaine*, 3, 169-184.
- Lacoste, Y. (1981). *A geografia*. Em: Chatelet, François. *História da Filosofia*. Volume 7. Rio de Janeiro: Zahar, pp. 221-274.
- Maia, L. (2012). *O conceito de meio técnico-científico-informacional em Milton Santos e a não-visão da luta de classes*. *Ateliê Geográfico*, 6(4), 175-196.
- Moraes, A. C. R. y Costa, W. M. (1987). *Geografia crítica: a Valorização do espaço*. São Paulo: EDUSP.
- Moraes, A. C. R. (2013). *Território na Geografia de Milton Santos*. São Paulo: Annablume.
- Moreira, R. (2008). *O Pensamento Geográfico Brasileiro - volume 1*. (1.ed.). São Paulo: Contexto.
- Moreira, R. (2009). *O Pensamento Geográfico Brasileiro - volume 2*. (1.ed.). São Paulo: Contexto.
- Moreira, R. (2010). *O Pensamento Geográfico Brasileiro - volume 3*. (1.ed.) São Paulo: Contexto.
- Moreira, R. (2013). *Pensar e ser em geografia: ensaios de história, epistemologia e ontologia do espaço geográfico*. (2ª ed.). São Paulo: Contexto.
- Morin, E. (2003). *Introdução ao pensamento complexo*. Porto Alegre: Sulina.
- Nascimento, F. das C. do. (2016). Moraes, A. C. R. *Território na geografia de Milton Santos*. *Resenha. Sociedade & Natureza*, 28(1), 171-176.

- Queiroz, T. A. N. de. (2014). Espaço geográfico, território usado e lugar: ensaio sobre o pensamento de Milton Santos. *Para Onde?*, 8(2), 154-161.
- Santos, M. (1985). *Espaço e Método*. São Paulo: Nobel.
- Santos, M. (1985). *Técnica, Espaço e Tempo: globalização e meio técnico científico*. São Paulo: HUCITEC.
- Santos, M. ([1978] 1990). *Por uma geografia nova*. (3^o ed.). São Paulo: EDUSP.
- Santos, M. (2000a). *Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal*. (3^a ed.). Rio de Janeiro: Record.
- Santos, M. (2000b). O papel ativo da geografia: um manifesto. *Revista Território*, 5(9), 103-109.
- Santos, M. (2005). *Da totalidade ao lugar*. São Paulo: EDUSP.
- Santos, M. ([1996] 2006). *A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção*. (4^o ed.). São Paulo: EDUSP.
- Santos, M. ([1979] 2008). *O Espaço Divido: os dois circuitos da economia urbana dos países subdesenvolvidos*. (2^a ed.). São Paulo: EDUSP.
- Saquet, M. A. y Silva, S. S. (2008). Milton Santos: concepções de geografia, espaço e território. Em: *Geo UERJ - Ano 10, 2(18), 2^o, 24-42*
- Tavares, M. A. y Silva, A. D. (2011). Introdução ao pensamento de Milton Santos: reflexões sobre o “trabalho do geógrafo”. Em: *Geosp*, 30, 139-148.
- Ramirez, I. A. y Vargas, M. R. (2012). Semblanza del professor Dr. Milton Almeida dos Santos. Em: *Revista Geográfica de América Central*, 48E(2), 233-237.
- Ratzel, F. ([1987] 2011). A relação entre o solo e o Estado – capítulo 1: O Estado como organismo ligado ao solo. Trad. Matheus Pfrimer. Em: *Geosp*, 29, 51-58.
- Ribeiro, M. T. F. (2009). Introdução. In: Ribeiro, Maria Teresa Franco; Milani, Carlos Roberto Sanchez. *Compreendendo a complexidade socioespacial contemporânea: O território como categoria de diálogo interdisciplinar*. Salvador: Edufba, pp. 21-36.
- Sauer, C. O. (2012). A morfologia da paisagem. [1925] In Corrêa, Roberto Lobato; Rosendahl, Zeny. *Geografia cultural: uma antologia*. Rio de Janeiro: EdUERJ, pp. 181-217.

- Silva, A. C. (1984). A Renovação geográfica no Brasil – 1976/1983 (as geografias crítica e radical em uma perspectiva teórica). *Boletim Paulista de Geografia*, 60, 73-140.
- Vesentini, J. W. (2001). A geografia crítica no Brasil: uma interpretação depoente. Disponível em: <http://www.geocritica.com.br/texto07.htm>. Acesso em: 10 de julho de 2017.
- Vesentini, J. W. (2009). *Ensaios de geografia crítica: história, epistemologia e (geo)política*. São Paulo: Plêiade.

Herramientas GNSS en la Enseñanza de Geografía y Cartografía: Aspectos Metodológicos

GNSS Tools Used in Teaching Geography and Cartography: Methodological Aspects

*Bepsy Cedeño-Montoya*¹
*Consuelo Alfaro-Chavarría*²
Universidad Nacional, Costa Rica

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.3>

RESUMEN

El artículo presenta los principales aspectos metodológicos adquiridos a lo largo de los dos años de ejecución del proyecto “Aplicación de la herramienta GPS en la enseñanza de Cartografía”. Se describe la metodología utilizada, detallando los procesos y pasos seguidos para cumplir con los objetivos, tareas y actividades propuestas en la formulación del proyecto. Se describen las distintas fases técnicas, indicando los programas y herramientas utilizadas, así como las principales dificultades enfrentadas en cada proceso. Además, se muestran los principales productos generados: el banco de datos espaciales puntuales de alta precisión, el mosaico de fotografías aéreas georreferenciadas y el mosaico de imágenes ortorectificadas, se realiza un análisis de los resultados obtenidos y se presentan las principales conclusiones y recomendaciones derivadas del proceso desarrollado.

Palabras clave: GPS, datos GNSS, georreferencia, ortorectificación, docencia.

-
- 1 Máster y Académica en la Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica. Correo electrónico: bepsy.cedeno.montoya@una.cr
 - 2 Máster y Académica en la Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica. Correo electrónico: consuelo.alfaro.chavarría@una.cr

Fecha de recepción: 2 agosto de 2017
Fecha de aceptación: 23 de enero de 2018

ABSTRACT

The article presents the main methodological aspects acquired during the two years of execution of the project "Application of the GPS tool in the teaching of Cartography". It describes the methodology used, detailing the processes and steps followed to meet the objectives, tasks and activities proposed in the formulation of the project. It describes the different technical phases, indicating the programs and tools used, as well as the main difficulties faced in each process. In addition, the main products are shown: the high precision point spatial data bank, the mosaic of georeferenced aerial photographs and the mosaic of orthorectified images, performing an analysis of the results obtained and presenting the main conclusions and recommendations derived from the methodological process developed.

Keywords: GPS, GNSS data, georeferenced, orthorectification, docenc

Introducción

En el 2014, se formuló en la Escuela de Ciencias Geográficas (ECG) de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), un proyecto de docencia que buscaba contribuir con la generación de datos espaciales de alta precisión y con la capacitación de parte del personal docente del área de Cartografía, SIG y Teledetección. Lo anterior, tras detectar un vacío en materia de utilización y aplicación de datos proveniente de GPS en los planes de estudio de las carreras de Bachillerato en Ciencias Geográficas con énfasis en ordenamiento del territorio y el Diplomado en Cartografía y Diseño Digital.

El proyecto fue aprobado y se ejecutó durante el 2015 y 2016. Su objetivo general fue generar una metodología para la utilización del equipo GPS Trimble® R4 y el controlador Trimble® TSC2 en levantamientos de datos de alta precisión, que permitan georreferenciar y ortorectificar fotografías aéreas y generar productos cartográficos.

Las tareas identificadas como necesarias para cumplir con cada uno de los objetivos específicos del proyecto fueron cumplidas en su totalidad, por lo que ahora se cuenta con una serie de datos, generados a partir de mediciones en el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS por sus siglas en inglés), como coordenadas de alta precisión, fotografías georreferenciadas y ortorectificadas, mapas temáticos y una unidad didáctica en la que se describen con detalle los procedimientos a seguir para utilizar el equipo con que cuenta la ECG. El realizar este tipo de mediciones y realizar el post procesamiento de los datos, dieron como resultado una importante cantidad de material que puede ser utilizado en diferentes cursos y actividades que se desarrollen en la unidad académica.

Metodología

La metodología fue desarrollada en cinco etapas: capacitación, trabajo de campo Post-procesamiento, Georreferencia y Ortorectificación, que se detallan a continuación.

Etapa 1: Capacitación

El proyecto inició en el mes de enero de 2015 con una capacitación rápida en la que se repasaron las características básicas del equipo GNSS que posee la ECG y los tipos de medición que pueden realizarse con el mismo, además, se revisó la licencia del software de procesamiento, se actualizó el firmware de los receptores y el programa Survey Controller y la configuración de los métodos de observación definidos en el software del controlador.

La ECG ya contaba con un equipo Trimble® R4 GNSS (ver figura 1), con el software de campo Survey Controller, instalado en el controlador TSC2 y una licencia del programa de post-procesamiento Trimble® Business Center (TBC, versión 2.5).

Figura 1: equipo Trimble® R4 GNSS y controlador TSC2.



Fuente: Foto de equipo Trimble® R4 GNSS y controlador TSC2 de la Escuela Ciencias Geográficas, 2015.

Según la hoja de datos de Trimble®, el equipo R4 rastrea simultáneamente señales de satélite GPS L1, L2, L2C y QZSS, además, permite actualizar a GLONASS, Galileo, y BeiDou (COMPASS), facilitando mediciones GNSS con precisión horizontal 3 mm +0,1 ppm RMS y vertical de 3,5 mm + 0,4 ppm RMS en estáticos de alta precisión, con una precisión horizontal de 8 mm + 1 ppm RMS y vertical de 15 mm + 1 ppm RMS en redes RTK.

Este equipo había sido utilizado únicamente en prácticas de algunos cursos del Programa de Maestría en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, por lo que se consideró que estaba subutilizado.

El proyecto “Aplicación de la herramienta GPS en la enseñanza de Cartografía” realizó las primeras pruebas de medición en el Campus Omar Dengo durante el mes de marzo de 2015. El ejercicio fue de gran aprendizaje para identificar problemas en el trabajo de campo y en el procesamiento de los datos, entre los que se encontraban que los sitios de medición seleccionados resultaron no ser los ideales, dificultades en la descarga de los datos por inexperiencia en el manejo de los formatos, y principalmente, en el manejo del software de post-procesamiento, debido a desconocimiento de nociones básicas de geodesia.

Ante las dificultades enfrentadas, se decidió solicitar capacitación y asesoramiento al Centro Nacional de Procesamiento de Datos Geoespaciales (CNPDG) de la Escuela de Topografía Catastro y Geodesia (ETCG) de la UNA.

Los datos generados durante la medición realizada en el mes de marzo fueron de gran utilidad para esta capacitación, permitiendo que los participantes del proyecto se concentraran en aprender sobre datos de alta precisión y equipos GNSS, definición de redes para la medición, la planificación del trabajo de campo, las mediciones y post-proceso de los datos brutos.

Se redefinieron las redes de medición en el Campus Omar Dengo y en el distrito primero del cantón Central de Heredia, considerando la cantidad y características del equipo disponible, las distancias y desplazamientos entre los sitios de medición, la cantidad de personas que participarían del trabajo de campo, el uso que se le daría a las coordenadas en el resto del proyecto, entre otros aspectos. Se generaron una serie de plantillas a utilizar en el trabajo de campo como fichas para la planificación y control del trabajo de campo y las mediciones.

Etapa 2: Trabajo de campo

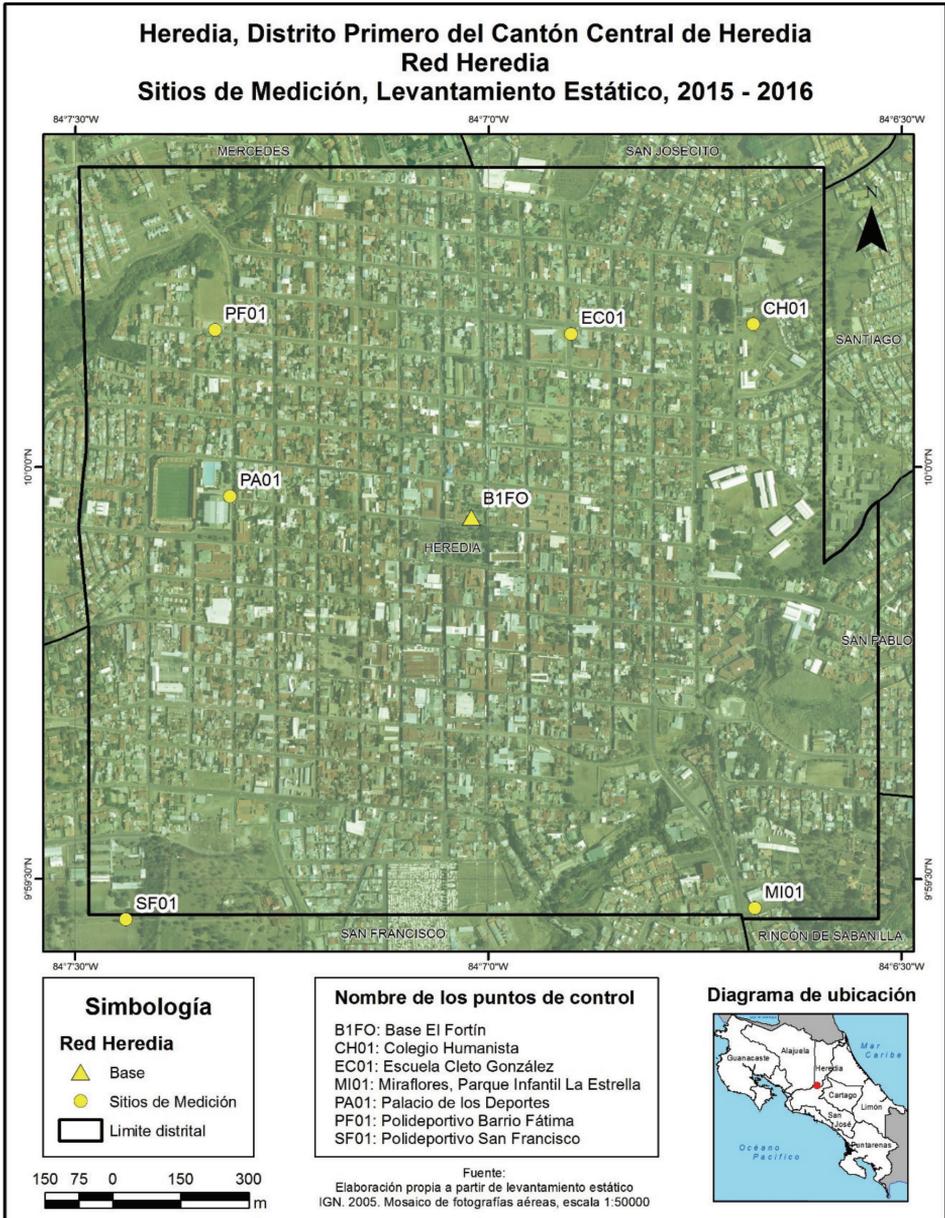
En el 2015 se llevaron a cabo dos nuevos levantamientos de datos, utilizando mediciones de tipo estático, el de la red del Campus Omar Dengo que se realizó en los meses de julio y agosto, y el de la red del distrito Heredia efectuada en agosto. Se levantaron un total de 14 puntos de control distribuidos de la siguiente forma:

- **Red Heredia:** se establecieron siete puntos de medición en el distrito primero del cantón Central de Heredia. Se definió como base un punto ubicado en El Fortín y los otros se ubicaron en el Colegio Humanista de la UNA, la Escuela Cleto González Víquez, el Polideportivo de Barrio Fátima, el Palacio de los Deportes, el Polideportivo de San Francisco y el parque infantil de la Urbanización Miraflores (ver mapa 1). El trabajo de campo se realizó los días 24 y 31 de julio de 2015.
- **Red Campus Omar Dengo:** también se definieron 7 sitios de medición, con una base establecida en la Plaza de la Diversidad. Los restantes seis puntos se ubicaron en el parqueo de la Facultad de Ciencias Sociales, el Centro de Estudios Generales, el puente de la Escuela de Ciencias Geográficas, el parqueo de la Escuela de Ciencias Biológicas, el parqueo de la Escuela de Música y en la Estación Meteorológica de la Escuela de Física. (ver mapa 2). Este levantamiento se realizó los días 7 y 21 de agosto de 2015.

Para ambas redes se realizaron mediciones bajo el método de observación estático, estableciendo para la base tiempos de medición de aproximadamente 8 horas y de 30 minutos para cada uno de los otros seis puntos. Los levantamientos se realizaron en dos días distintos, pues las redes fueron configuradas de forma tal que en un día se midiera desde la base hacia los puntos periféricos, y que en el segundo día las mediciones se realizaran entre puntos.

Los datos brutos obtenidos fueron descargados en el controlador tras cada medición, y posteriormente en una computadora, en la cual fueron procesados.

Mapa 1: Distribución de los puntos de control de la Red Heredia



Etapa 3: Post-procesamiento

El post-procesamiento de los datos se realizó utilizando el software Trimble® Business Center (TBC), versión 2.5, que funciona mediante una llave de hardware HASP® conectada a un puerto USB del equipo.

Se trabajaron de forma separada para los datos de la Red Heredia y la Red Campus Omar Dengo, es decir, el procedimiento que a continuación se detalla se ejecutó en dos ocasiones.

Se inició con la creación de un nuevo proyecto en el programa TBC y la definición del sistema de coordenadas, coincidente con el sistema en el que se encontraban los datos adquiridos en el levantamiento. En el caso de este proyecto los datos fueron adquiridos en el sistema CRTM05, cuyos parámetros estaban incluidos en el software del controlador, no así en el TBC.

De seguido se realizó la importación de los datos brutos hacia el programa, haciendo una conexión a la carpeta que contenía los datos y seleccionando los archivos de interés (figura 2) (formato *.T01, *.T02, ambos nativos de Trimble®).

Figura 2: Resumen de la importación de los datos brutos del 24 de julio de 2015, correspondientes a la Red Heredia.

Vista de puntos					
Importar	ID punto	Nombre de archivo	Hora de inicio	Hora final	Duración
<input checked="" type="checkbox"/>	B1FO	04522050.T01	24/07/2015 08:40:15 a.m.	24/07/2015 01:23:15 p.m.	04:43:00
<input checked="" type="checkbox"/>	CH01	09842050.T01	24/07/2015 08:57:45 a.m.	24/07/2015 09:29:15 a.m.	00:31:30
<input checked="" type="checkbox"/>	EC01	09842051.T01	24/07/2015 09:38:45 a.m.	24/07/2015 10:09:45 a.m.	00:31:00
<input checked="" type="checkbox"/>	PF01	09842052.T01	24/07/2015 10:17:45 a.m.	24/07/2015 10:47:45 a.m.	00:30:00
<input checked="" type="checkbox"/>	PA01	09842053.T01	24/07/2015 10:56:15 a.m.	24/07/2015 11:26:15 a.m.	00:30:00
<input checked="" type="checkbox"/>	SF01	09842054.T01	24/07/2015 11:46:45 a.m.	24/07/2015 12:17:15 p.m.	00:30:30
<input checked="" type="checkbox"/>	MI01	09842055.T01	24/07/2015 12:41:45 p.m.	24/07/2015 01:12:15 p.m.	00:30:30

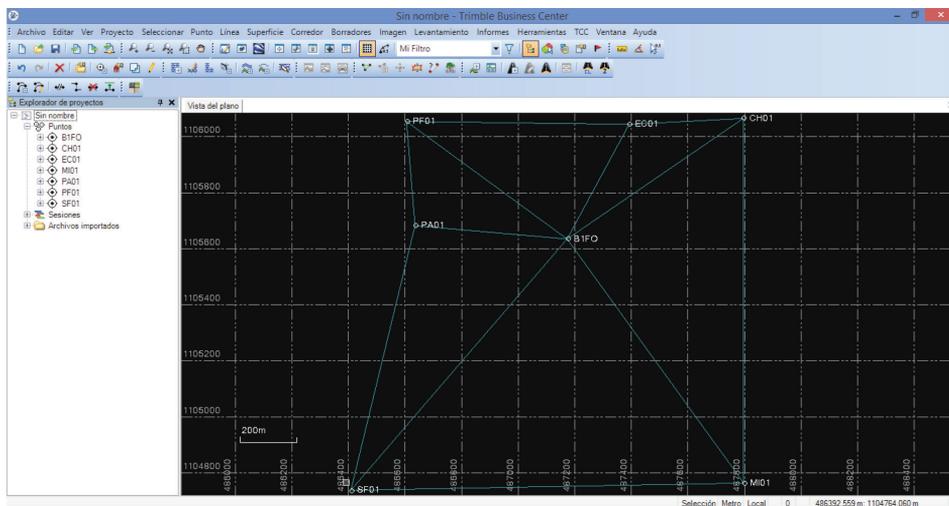
Fuente: Elaboración propia a partir del resumen de importación de datos del programa TBC.

Durante el proceso de importación se prestó atención a aspectos reseñados en las cejillas Punto, Antena y Receptor, pues enlistan los archivos importados y sus características respectivas, ofreciendo la posibilidad de detectar errores o faltantes de información, y de pensar aquí en formas de solventarlo, mediante nuevos levantamientos o utilizando datos de estaciones de apoyo.

El producto de las mediciones es una red estática que “describe la geometría y el orden en el que se organizan y procesan las líneas base GPS

capturadas mediante las técnicas estática y FastStatic [...] El resultado es un conjunto de líneas base que se deriva utilizando coordenadas iniciales precisas” (Trimble®, 2005: 103).

Figura 3: Puntos y líneas base de la Red Heredia desplegados en la vista del TBC.



Fuente: Elaboración propia a partir de la visualización de los puntos y las líneas base en el programa TBC.

Lo que se busca con el post-procesamiento es corregir los datos brutos generados en el trabajo de campo, a partir de otros datos que sean aún más precisos y confiables. Estos datos provienen de las estaciones de medición continua más próximas al área de estudio, para el caso de Costa Rica se cuenta con información de las estaciones del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y de la red SIRGAS.

A continuación en la tabla 1 se detallan las estaciones de medición continua utilizadas en este proyecto:

Tabla 1: Estaciones de medición continua utilizadas en el proyecto.

Nombre de la estación	Institución a cargo	Red a la que pertenece
AACR	Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AyA)	SIRGAS
CRCP	Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT)	SIRGAS
ETCG	Universidad Nacional (UNA)	SIRGAS
RIDC	Instituto Geográfico Nacional (IGN)	IGN

Fuente: Elaboración propia con datos de estaciones SIRGAS de operación continua, <http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/stations/station-list/>

Las coordenadas de cada estación para las fechas de levantamiento fueron descargadas utilizando el sistema SpiderWeb del Registro Nacional y mediante un servicio FTP que ofrece el CeNAT para las estaciones SIRGAS de Costa Rica.

Los datos de las estaciones de medición continua deben corresponder a las fechas de las mediciones realizadas en campo, por lo que fue necesario conocer el día y semana GPS de los levantamientos. Esta consulta se realizó en el calendario GNSS (Jahic, 2016). Por ejemplo, (figura 4) una de las mediciones en el campo se llevó a cabo el 24 de julio de 2015, fecha que corresponde al día GPS 205 y a la semana GPS 1854.

Figura 4: Visualización de consulta al Calendario GNSS.

Friday, July 24, 2015 (UTC)			
Julian Day Number:	2457227.5	Day of Year:	205
GPS Week:	1854	GPS Week Number:	18545

Fuente: Calendario GNSS <http://www.gnsscalendar.com/>

A continuación, la tabla 2 muestra el día GNSS correspondiente a las fechas en que se realizaron las mediciones de la Red Heredia y el Campus Omar Dengo (COD), con los nombre de los archivos descargados de las estaciones de medición continua, los cuales se importaron al TBC siguiendo el mismo proceso que los datos brutos.

Tabla 2: Fechas de las mediciones y sus correspondientes días según calendario GNSS, junto con el nombre de cada archivo descargado de las estaciones de medición continua.

Red	Fechas de Medición	Día GNSS	AACR	CRCP	ETCG	RIDC
Heredia	24 de julio	205	AACR2050	CRCP2050	ETCG2050	ride205o00
Heredia	31 de julio	212	AACR2120	CRCP2120	ETCG2120	ride212o00
COD	7 de agosto	219	AACR2190	CRCP2190	ETCG2190	ride219o00
COD	21 de agosto	233	AACR2330	No se generó	ETCG2330	ride233o00

Fuente: Elaboración propia a partir de datos descargados.

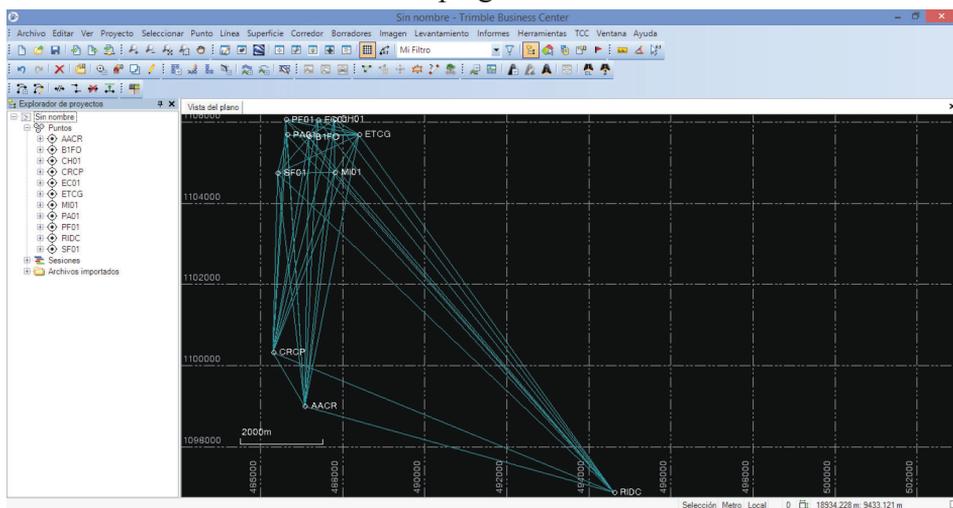
A continuación en la figura 5 se muestra un resumen de la importación de los datos de estaciones de medición continua del 24 y 31 de julio de 2015, correspondientes a la Red Heredia y en la figura 6 se presentan los puntos y líneas base de la Red Heredia y estaciones de medición continua desplegadas en la vista del TBC.

Figura 5: Resumen de la importación de los datos de estaciones de medición continua del 24 y 31 de julio de 2015, correspondientes a la Red Heredia.

Vista de puntos						
Importar	ID punto	Nombre de archivo	Hora de inicio	Hora final	Duración	
<input checked="" type="checkbox"/>	AACR	aacr2050.15o	23/07/2015 05:59:45 p.m.	24/07/2015 05:59:40 p.m.	23:59:55	
<input checked="" type="checkbox"/>	AACR	aacr2120.15o	30/07/2015 05:59:45 p.m.	31/07/2015 05:59:40 p.m.	23:59:55	
<input checked="" type="checkbox"/>	RIDC	ride205o00.15o	24/07/2015 07:59:45 a.m.	24/07/2015 03:59:30 p.m.	07:59:45	
<input checked="" type="checkbox"/>	RIDC	ride212o00.15o	31/07/2015 07:59:45 a.m.	31/07/2015 03:59:30 p.m.	07:59:45	
<input checked="" type="checkbox"/>	CRCP	CRCP2050.15o	23/07/2015 05:59:45 p.m.	24/07/2015 05:59:15 p.m.	23:59:30	
<input checked="" type="checkbox"/>	ETCG	ETCG2050.15o	23/07/2015 05:59:45 p.m.	24/07/2015 05:59:15 p.m.	23:59:30	
<input checked="" type="checkbox"/>	CRCP	CRCP2120.15o	30/07/2015 05:59:45 p.m.	31/07/2015 05:59:15 p.m.	23:59:30	
<input checked="" type="checkbox"/>	ETCG	ETCG2120.15o	30/07/2015 05:59:45 p.m.	31/07/2015 05:59:15 p.m.	23:59:30	

Fuente: Elaboración propia a partir del resumen de importación de datos del programa TBC.

Figura 6: Puntos y líneas base de la Red Heredia y estaciones de medición continua desplegados en la vista del TBC.



Fuente: Elaboración propia a partir de la visualización de los puntos y las líneas base en el programa TBC.

Adicionalmente en la tabla 3, y con el mismo objetivo de incrementar la precisión de las coordenadas de los sitios o puntos medidos, se incorporaron las efemérides al post-procesamiento. Las efemérides describen la órbita de cada satélite por un espacio de tiempo, calculada por el satélite en base a una serie de parámetros y ecuaciones (García, 2008). Las mismas pueden ser de navegación (transmitidas) o precisas y se definen como:

- **Efemérides de navegación:** posiciones teóricas de los satélites, las cuales se insertan dentro del mensaje de navegación, siendo posible que sean transmitidas en tiempo real.
- **Efemérides precisas:** describen las posiciones reales de los satélites, obtenidas a partir del seguimiento continuo de las estaciones del segmento control. Tales efemérides son obtenidas a partir de un post-procesado y están disponibles unos días más tarde. Son más exactas que las de navegación, pues se corresponden con posiciones reales y no teóricas de los satélites (Comisión Interdepartamental de Estadística y Cartografía de Andalucía, 2016: 45)

Para cada día de medición se identificó y descargó el archivo de efeméride precisa, también denominado órbita final.

Tabla 3: Fechas de las mediciones y sus correspondientes días según calendario GNSS, junto con el nombre de cada archivo descargado de las órbitas precisas.

Red	Fechas de Medición	Día GNSS	Semana GPS	Órbitas finales
Heredia	24 de julio	205	1854	igs18545.sp3
Heredia	31 de julio	212	1855	igs18555.sp3
COD	7 de agosto	219	1856	igs18565.sp3
COD	21 de agosto	233	1858	igs18585.sp3

Fuente: Elaboración propia a partir de datos descargados.

Las órbitas finales (IGS, 2017), se descargaron en formato sp3 (automáticamente legible por el TBC) y se almacenaron en una carpeta desde la que se importaron.

En resumen, en el post-procesamiento se utilizaron los datos GNSS resultado de las mediciones, los puntos con las coordenadas de las estaciones de medición continua y las efemérides precisas. Como se mencionó unos párrafos atrás, la finalidad de realizar este post-procesamiento es aumentar la precisión de las coordenadas de los sitios medidos, lo que se logró mediante la aplicación de dos herramientas del TBC: el procesamiento de líneas base y el ajuste de red.

De acuerdo con la Guía del usuario Trimble® Business Center (2005), el procesamiento de líneas base busca superposiciones en los tiempos de medición para calcular la media de las coordenadas, determinando las coordenadas de más alta calidad para cada punto del proyecto.

Tras revisar, corregir y aceptar los resultados del procesamiento de líneas base, y antes de continuar con el ajuste final de la red, se editaron las coordenadas de las de las estaciones de medición continua utilizadas (AACR, CRCP, ETCG y RIDC) a partir de las soluciones semanales finales de las estaciones pertenecientes a la red SIRGAS que pueden ser consultadas y descargadas en formato *.CRD (SIRGAS, 2017).

Las coordenadas semanales del marco de referencia SIRGAS (red continental + redes nacionales de referencia) son obtenidas de la combinación de las soluciones individuales proporcionadas por los Centros de

Procesamiento SIRGAS (SIRGAS, 2017), entre los que se encuentra el CNPDG - UNA, y “detallan coordenadas de precisión milimétrica (asociadas a una época específica de referencia) y sus cambios a través del tiempo (velocidades de las estaciones) para cada estación, lo cual garantiza su orientación permanente dentro del mismo sistema de coordenadas al que se refieren los satélites GNSS” (IGAC, 2016).

Al tratarse de soluciones semanales es necesario conocer a que semana GPS corresponde el día en que se realizó la medición, y como se mencionó unas páginas atrás, esto se determinó consultando el calendario GNSS. (ver tabla 4)

Tabla 4: Fechas de las mediciones y sus correspondientes días y semana según calendario GNSS.

Red	Fechas de Medición	Día GNSS	Semana GPS
Heredia	24 de julio	205	1854
Heredia	31 de julio	212	1855
COD	7 de agosto	219	1856
COD	21 de agosto	233	1858

Fuente: Elaboración propia a partir del Calendario GNSS, <http://www.gnsscalendar.com/>

Las coordenadas que ofrece esta solución semanal están dadas en coordenadas cartesianas que deben pasar una serie de transformaciones para llegar a las coordenadas elipsoidicas, para WGS84 que se puedan ingresar como coordenadas locales. Este proceso se realizó con la ayuda de las hojas de cálculo para transformaciones del país elaboradas por el CNPDG,

Los datos descargados de las soluciones semanales de SIRGAS están en coordenadas cartesianas que deben transformarse a coordenadas elipsoídicas para WGS84, utilizando la hoja de cálculo denominada “xyz_flh_wgs84” (CNPDG, 2017).

A continuación en tabla 5 y 6, se muestran un ejemplo de coordenadas obtenidas a partir de la solución semanal SIRGAS para cuatro estaciones de medición continua, correspondientes a la semana GPS 1854.

Tabla 5: Coordenadas cartesianas de la solución semanal SIRGAS para la semana 1854.

Week 1854: SIRGAS solution aligned to IGB08 (wrt igs15P1854)					20-AUG-15 15:48
LOCAL GEODETIC DATUM: IGB08			EPOCH: 2015-07-22 12:00:00		
NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)	FLAG
1	AACR 40612M001	644009.01839	-6251064.26453	1093780.90110	A
179	CRCP 40612M002	643206.98314	-6250876.63012	1095084.93607	A
232	ETCG 40602M001	645208.31806	-6249842.13641	1100399.61087	A
628	RIDC 40609M001	651566.59455	-6250735.95246	1091707.76525	A

Fuente: Coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON, <http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/coordinates/weekly-positions/>

Tabla 6: Coordenadas elipsoidicas para WGS84 para la semana 1854.

Estación	Latitud	Longitud	Altura
AACR	N 9° 56` 19.85629125	O 84° 7` 4.502766013	1123.938887
CRCP	N 9° 57` 03.16502977	O 84° 7` 30.05931782	1084.393010
ETCG	N 9° 59` 58.14282003	O 84° 6` 21.2269279	1193.606529
RIDC	N 9° 55` 10.8647931	O 84° 2` 56.65979186	1212.150907

Fuente: Elaboración propia a partir de coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON, <http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/coordinates/weekly-positions/>

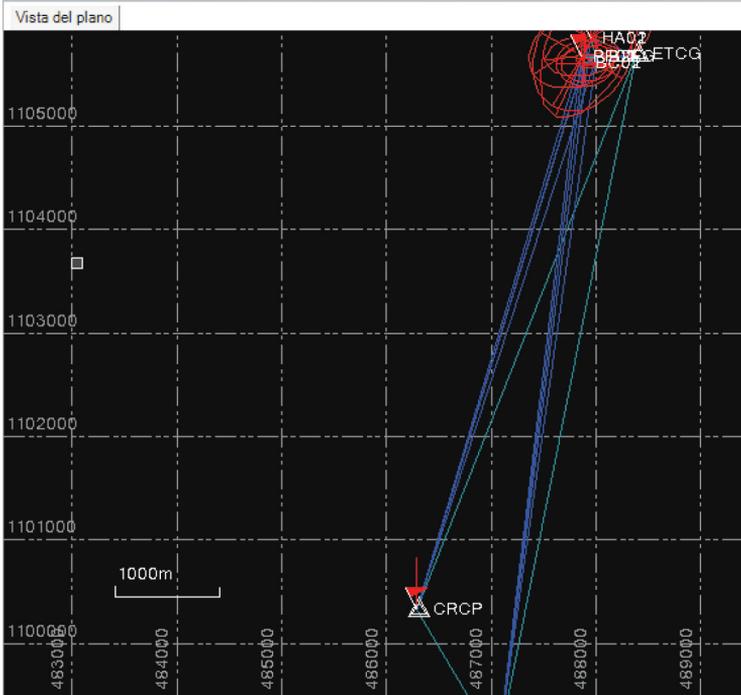
Estas coordenadas se incluyeron antes del ajuste de red con el fin de aumentar el nivel de precisión de las estaciones de medición continua y con esto las coordenadas finales que se obtendrán para los datos brutos tras el post-procesamiento. Se seleccionaron una a una cada estación y se digitaron en el cuadro de Propiedades correspondiente. Se establecieron como coordenadas locales y se indicó que poseen calidad de control.

Para finalizar el proceso de cálculo de posiciones más precisas se debe hacer el ajuste de la red, proceso que da como resultado una coordenada adicional para cada punto, misma que pasa a ser el valor final del punto. Según la Guía del usuario Trimble® Business Center (2005), la herramienta realiza un ajuste de mínimos cuadrados que asegura que no hay errores sistemáticos o severos en los datos, sino más bien errores pequeños, aleatorios y distribuidos adecuadamente.

Terminado el proceso de ajuste de red, se observó en la vista del TBC una serie de elipses de error que muestran gráficamente el error

posicional (magnitud y dirección del error) de cada punto ajustado en la red. (ver figura 7)

Figura 7: Puntos, líneas base y elipses de error de la Red Heredia y estaciones de medición continua, con órbitas finales, tras el ajuste de red.



Fuente: Elaboración propia a partir de la visualización del resultado del ajuste de red en el programa TBC.

El ajuste de red ofrece también un informe en el que se muestra información general del proyecto (nombre, fecha, sistema de coordenadas), y se indican elementos estadísticos del ajuste, los valores de las coordenadas ajustadas (de cuadrícula, geodésicas y cartesianas), los errores estimados para cada punto, dimensiones de las elipses de error y una descripción del ajuste realizado a cada línea base.

Se decidió que las coordenadas obtenidas tras el post-procesamiento eran satisfactorias para el proyecto por lo que los puntos se exportaron a formato SHP, utilizando una herramienta que ofrece el TBC, lo que permitió contar con 14 puntos de control de alta precisión para el área de estudio.

Sin embargo, a esta altura del proyecto, resulto evidente que la cantidad de puntos adquiridos en la Red Heredia y Campus Omar Dengo no serían suficientes para la georreferencia y ortorectificación de las fotografías aéreas, por lo que se decidió realizar una tercera campaña de medición de una segunda red para el distrito Heredia.

El trabajo de campo se realizó los días 24 y 25 de febrero del 2016, utilizando mediciones de tipo estático, donde se levantaron un total de 13 puntos de control distribuidos de la siguiente forma: Parque de Urbanización La Lilliana, Hospital San Vicente de Paul (nuevo), Cementerio de Heredia, Parque Infantil de la Urbanización La Esperanza (3º etapa), Parque Infantil del Residencial Don Eloy, Parque Infantil de Urbanización La Amelia (La Puebla), puente sobre el río Pirro, Escuela de Enseñanza Especial (San Rafael de Heredia), Bajo Los Molinos, Escuela de Fátima, Universidad Estatal a Distancia (UNED, Mercedes Norte), plaza de Cubujuquí y Antiguo Hospital San Vicente de Paul.

Como se observa en el Mapa 3, los sitios seleccionados para esta red de apoyo se ubican en la periferia del distrito Heredia y con ellos se buscó aumentar la cantidad y mejorar la distribución de los puntos para la elaboración de un Modelo de Elevación Digital y para el trabajo con las fotografías aéreas.

Los datos crudos obtenidos tras este levantamiento estático se post-procesaron siguiendo los mismos pasos que se reseñaron para las otras dos redes, es decir, se utilizaron datos de estaciones de medición continua (ver tabla 7) y efemérides precisas (tabla 8) para ajustar las coordenadas finales de alta precisión.

Tabla 7: Fechas de las mediciones y sus correspondientes días según calendario GNSS, junto con el nombre de cada archivo descargado de las estaciones de medición continua.

Red	Fechas de Medición	Día GNSS	AACR	CRLP	ETCG	RIDC
Apoyo	24 de febrero	55	aacr0550	CRLP0550	ETCG0550	03_30_2016 ride055n00_092355
Apoyo	25 de febrero	56	aacr0560	CRLP0560	ETCG0560	03_30_2016 ride056n00_092528

Fuente: Elaboración propia a partir de datos descargados.

Mapa 3: Distribución de los puntos de control de apoyo para la Red Heredia.

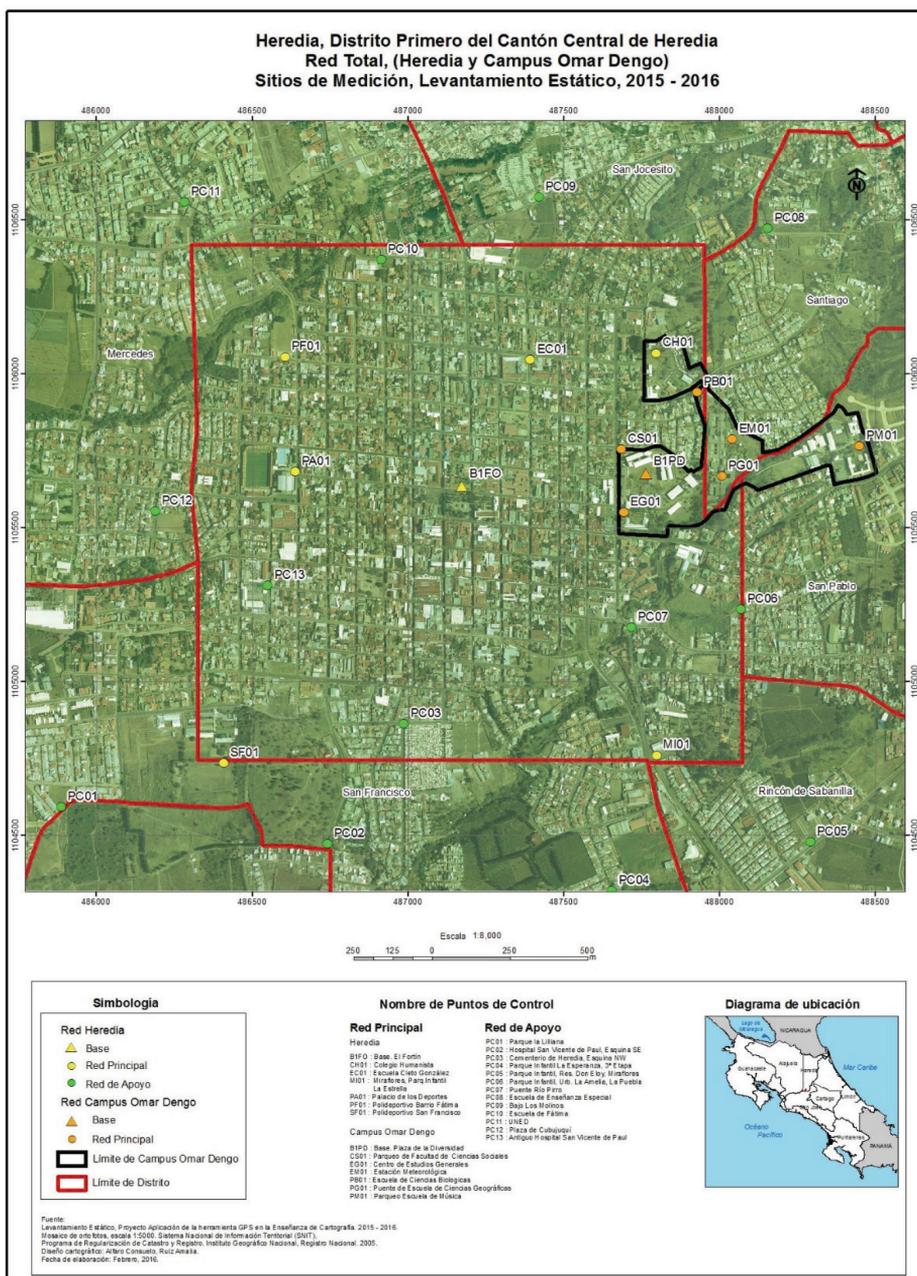


Tabla 8: Fechas de las mediciones y sus correspondientes días según calendario GNSS, junto con el nombre de cada archivo descargado de las órbitas precisas.

Red	Fechas de Medición	Día GNSS	Semana GPS	Orbitas finales
Apoyo	24 de febrero	55	1885	igs18855.sp3
Apoyo	25 de febrero	56	1885	iigs18855.sp3

Fuente: Elaboración propia a partir de datos descargados.

Etapas 4: Georreferencia

Para esta etapa del proyecto se solicitó al IGN el material fotográfico aéreo crudo escala 1:1000 y 1:5000, utilizado como base para la elaboración del mosaico de ortofotos disponibles en el visor del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). El IGN facilitó un total de 13 fotografías aéreas escala 1:6000, acompañadas de los reportes de calibración de las cámaras utilizadas en estos vuelos fotogramétricos y la información de posicionamiento cinemático de las líneas de vuelo PRCR-CR-017 y PRCR-CR-026.

De las 13 fotografías aéreas proporcionadas por el IGN se identificaron y seleccionaron cuatro imágenes que cubrían la totalidad del área de estudio, a saber: PRCR-CR-017_166, PRCR-CR-017_168, PRCR-CR-026_055 y PRCR-CR-026_057.

Estas fotografías se georreferenciaron utilizando el software ArcGIS 10.3, específicamente, la herramienta Georreferencia, mediante la cual se logró establecer una relación de correspondencia entre las imágenes aéreas y los puntos de control generados en las anteriores etapas de este proyecto.

Para cada fotografía aérea se ubicaron entre 10 y 12 puntos de control, por lo que fue posible utilizar un polinomio de segundo orden para la asignación de las coordenadas y en promedio el RMS con el que se georreferenciaron las imágenes fue inferior a 1 metro.

Posteriormente, se delimitaron como polígono en formato shp, áreas de corte en cada fotografía que permitieran cubrir todo el ámbito de estudio y mantener la sobre posición entre ellas, con el fin de generar un mosaico que integre la cuatro imágenes. El corte y generación del mosaico se elaboraron en el programa ERDAS 2013, utilizando las herramientas Subset y Mosaic Pro del menú Raster.

Etapa 5: Ortorectificación

La ortorectificación de las fotografías aéreas se realizó en el software ERDAS 2013, mediante el módulo IMAGINE Photogrammetry, en el cual se generaron bloques de trabajo con pares de fotografía aéreas organizados de la siguiente forma:

La creación del bloque fotogramétrico inicia con la selección del modelo geométrico que en este caso corresponde a una cámara tradicional (Frame Camera) bajo la categoría de Cámaras (Camera).

Se definió también el sistema de referencia horizontal y vertical de las imágenes aéreas, después de repasar las características de los datos con los que se cuenta para el proceso de ortorectificación, a saber:

- Datos procesados en el TBC: en el informe del ajuste de red se ofrecen varios juegos de coordenadas, las primeras denominadas de cuadrícula se indican las coordenadas mN, mE para el sistema horizontal CTRM05 (variación SIRGAS) y en vertical la elevación (en metros) que corresponde a la altura ortométrica (H). En un segundo cuadro se encuentran las coordenadas geodésicas ajustadas, en las que se visualizan coordenadas de latitud, longitud para el sistema horizontal y en vertical la altura (en metros) que se designa altura elipsoidica (h) porque depende del elipsoide de referencia, en este caso el EGM08.
- Datos de posicionamiento cinemático de las líneas de vuelo: indican las coordenadas Norte y Este para el sistema de referencia horizontal CRTM05 y la altura (en m) elipsoidica, pero asociada al elipsoide EGM96.

Es posible notar que ambos juegos de datos coinciden en el sistema de referencia horizontal, no así en el vertical. Con la intención de trabajar con una única altura elipsoidica se calculó la ondulación del geoide (N), utilizando la herramienta calculadora EGM96 (National Geospatial – Intelligence Agency, 2015).

En esa herramienta se introdujeron los valores de coordenadas geodésicas (latitud y longitud en grados, minutos y segundos), lo que devuelve un valor correspondiente a la ondulación del geoide (N) EGM96.

Para obtener la nueva altura ortométrica (H) asociada al elipsoide EGM96 es necesario restarle a la altura elipsoidica (h) la ondulación del geoido, es decir, $H = h - n$.³ Lo anterior permitirá que se pueda utilizar CRTM05 como sistema de referencia vertical y el EGM96 como sistema horizontal.

Tras analizar y resolver la discordancia entre datos, se procedió a definir el sistema de proyección: CRTM05, que al no estar incluido dentro de las opciones predeterminadas del programa ERDAS obligó a ingresar los siguientes parámetros:

- *Tipo de proyección: Transversal Mercator*
- *Esferoide: WGS84*
- *Datum: Costa Rica 2005 (To WGS 84 1)*
- *Factor de escala: 0.999900*
- *Longitud del meridiano central: 84:00:00.0000 W*
- *Latitud del origen de la proyección: 0:00:00.0000 N*
- *Falso Este: 0.000000 metros*
- *Falso Norte: 500000.000000 metros*

Inmediatamente, se definió el sistema vertical de los datos, que como se explicó anteriormente se homogenizó a EGM96, sin embargo, ERDAS 2013 no cuenta con ese sistema dentro de sus opciones, por lo que se seleccionó GRS80 que es un sistema de referencia horizontal muy similar.

De seguido se completó el cuadro de información específica de las tomas fotográficas, manteniéndose los valores por defecto para sistema de rotación (Omega, Phi, Kappa), las unidades angulares (grados) y la dirección del ángulo de toma (Z). Se colocó la altura promedio de vuelo y se ingresó a la edición de la cámara.

De los reportes de calibración de cada cámara se extrajo la información del nombre y descripción, el valor de la distancia focal y del puntos principal X_0, Y_0 , de las marcas fiduciales y la distorsión de los lentes; datos que se colocaron en la edición de la cámara.

Finalizada la creación del bloque, se visualizó la ventana principal del módulo de fotogrametría de ERDAS, donde se agregaron las imágenes

3 Para más detalle respecto al tema de coordenadas horizontales se recomienda la revisión del artículo Conceptos básicos en geodesia como insumo para un tratamiento adecuado de la información geoespacial (Moya y Cedeño, 2016).

a ortorectificar. Se seleccionaron tres imágenes de cada línea de vuelo, específicamente, la PCRC-CR-026-055, PCRC-CR-026-056 y PCRC-CR-026-055. En un segundo bloque se ortorectificaron las fotografías aéreas PCRC-CR-017-166, PCRC-CR-017-167 y PCRC-CR-017-168.

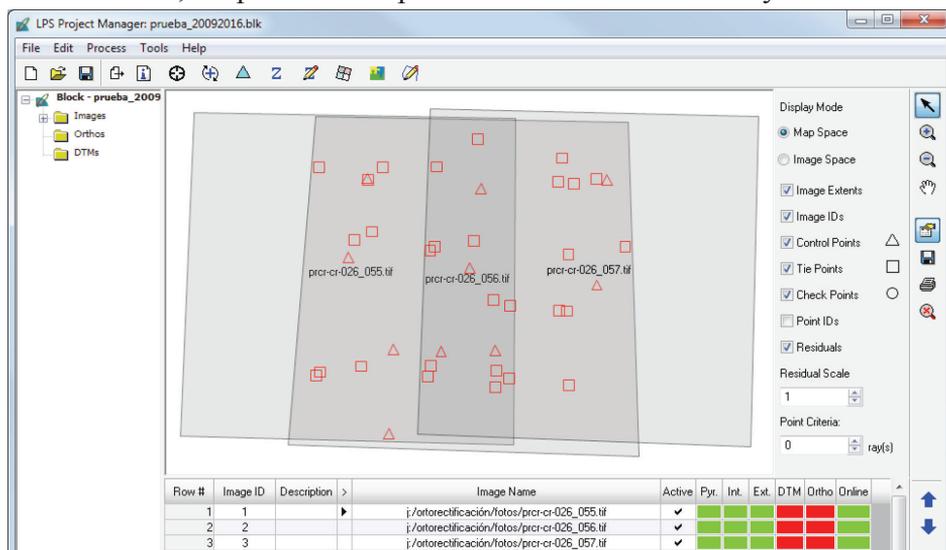
Se inició con la definición de la orientación interna, posicionando cada una de las marcas fiduciales sobre las imágenes y manteniendo el orden indicado en las fotografías. Luego se continuó con la orientación externa del bloque de imágenes, proceso realizado con la herramienta Classic Point Measurement, ventana de trabajo en la que las fotografías aéreas se trabajan en pares, es decir, se seleccionaron primeros dos fotografías aéreas continuas y luego el otro par.

Se identificaron en las imágenes los sitios en los que se había realizado al medición GNSS estática, pues para estos sitios se contaba con puntos de calidad control generados específicamente para la ortorectificación. Se colocaron puntos en el primer par, otros en el segundo par y para cada uno se anotó el valor de las coordenada X, Y y Z ajustada y se les definió como puntos de tipo FULL (certeza de la coordenada X,Y,Z) y de Control (por la calidad).

Adicionalmente, se permitió que el programa agregará automáticamente una serie de puntos en común (TIE points) en las tres imágenes, de los que se eliminaron aquellos localizados en techos o sombras, indicando que correspondían a tipo HORIZONTAL (confianza solo en las coordenadas X, Y) y manteniendo la clasificación en TIE.

Dentro del mismo módulo de definición de la orientación externa, se accedió a la Aerotriangulación, logrando la convergencia de los puntos y en la que se alcanzó un RMS de 21.0108 pixeles. Así, se completó la orientación externa de las imágenes y se observó cómo las fotografías aéreas se posicionaron de acuerdo a los puntos de control colocados, traslapándose.

Figura 8: Ventana principal del módulo IMAGINE Photogrammetry de ERDAS, después de completar la orientación interna y externa.



Fuente: Visualización del proceso de ortorectificación en el módulo IMAGINE Photogrammetry de ERDAS.

Se avanzó hacia el proceso de generación del Modelo de Elevación Digital (MDE) que complementó la información de elevación necesaria para la ortorectificación de las fotografías aéreas. El MDE se generó con una resolución espacial de 2m, utilizando como base los 27 puntos de control generados en el levantamiento GNSS.

Finalmente, se llegó a la generación de las imágenes ortorectificadas, revisando que las tres imágenes de cada bloque se incluyeran y manteniendo como sistema de proyección de salida el CRTM05. El MDE generado para el primer bloque fue el mismo utilizado para la ortorectificación del segundo bloque.

Se obtuvieron así dos mosaicos de fotografías aéreas ortorectificadas que se integraron en un único mosaico utilizando la herramienta Mosaic Pro del menú Raster.

Resultados

El producto principal obtenido a partir de la metodología reseñada en el apartado anterior es el conjunto de 27 puntos de control con coordenadas

ajustadas al sistema horizontal CRTM05 (marco de referencia SIRGAS, época 2015,19 y el datum IGB08) y vertical EGM08.

Se muestran a continuación tres tablas con las coordenadas finales (horizontales y verticales) calculadas a partir del ajuste de red, con sus respectivos errores en metros.

Tabla 9: Red Heredia - Coordenadas y elevación ajustadas al sistema horizontal CRTM05 (marco de referencia SIRGAS, época 2015,19 y el datum IGB08) y sistema vertical EGM08.

Nombre del punto	Código del Punto	Coordenada Este SIRGAS	Error Este (m)	Coordenada Norte SIRGAS	Error Norte (m)	Elevación (m)	Error de Elevación (m)
El Fortin	B1FO	487173.665	0.034	1105633.788	0.025	1153.848	0.076
Colegio Humanista	CH01	487796.741	0.028	1106065.446	0.023	1169.897	0.081
Escuela Cleto González	EC01	487393.519	0.030	1106043.860	0.026	1174.881	0.077
Polideportivo Fátima	PF01	486606.080	0.045	1106053.502	0.038	1144.465	0.102
Palacio de los Deportes	PA01	486639.005	0.073	1105680.743	0.050	1142.061	0.124
Polideportivo San Francisco	SF01	486409.142	0.049	1104733.676	0.037	1120.171	0.120
Parque Infantil Miraflores	MI01	487799.991	0.037	1104759.050	0.029	1132.064	0.094

Fuente: Elaboración propia a partir del informe de ajuste de red generado en el programa TBC.

Tabla 10: Red Campus Omar Dengo - Coordenadas y elevación ajustadas al sistema horizontal CRTM05 (marco de referencia SIRGAS, época 2015,19 y el datum IGB08) y sistema vertical EGM08

Nombre del punto	Código del Punto	Coordenada Este SIRGAS	Error Este (m)	Coordenada Norte SIRGAS	Error Norte (m)	Elevación (m)	Error de Elevación (m)
Plaza de la Diversidad	B1PD	487765.122	0.014	1105675.783	0.011	1151.021	0.029
Parqueo Ciencias Sociales	CS01	487684.872	0.012	1105753.891	0.011	1158.223	0.03
Estudios Generales	EG01	487693.275	0.015	1105549.658	0.013	1149.143	0.04
Puente Geografía	PG01	488008.136	0.016	1105667.131	0.017	1148.719	0.05
Parqueo Biología	PB01	487928.612	0.018	1105938.217	0.016	1167.619	0.035
Estación Meteorológica	EM01	488041.117	0.013	1105785.682	0.009	1158.093	0.024
Parqueo Escuela de Música	PM01	488450.134	0.012	1105763.571	0.010	1172.595	0.026

Fuente: Elaboración propia a partir del informe de ajuste de red generado en el programa TBC.

Tabla 11: Red de Apoyo Heredia - Coordenadas y elevación ajustadas al sistema horizontal CRTM05 (marco de referencia SIRGAS, época 2015,19 y el datum IGB08) y sistema vertical EGM08.

Nombre del punto	Código del Punto	Coordenada Este SIRGAS	Error Este (m)	Coordenada Norte SIRGAS	Error Norte (m)	Elevación (m)	Error de Elevación (m)
Parque La Lilliana	PC01	485884.937	0.033	1104587.362	0.026	1110.758	0.056
Hospital nuevo	PC02	486740.577	0.029	1104469.600	0.021	1106.957	0.050
Cementerio	PC03	486985.947	0.040	1104860.048	0.029	1124.964	0.076
Parque Infantil La Esperanza	PC04	487657.239	0.035	1104317.706	0.024	1111.804	0.096
Parque Infantil Res. Don Eloy	PC05	488292.229	0.024	1104476.398	0.017	1149.223	0.063
Parque Infantil La Amelia	PC06	488069.216	0.017	1105231.819	0.014	1137.956	0.054
Pirro	PC07	487717.684	0.017	1105174.395	0.016	1126.067	0.037
Escuela Enseñanza Especial	PC08	488155.531	0.015	1106469.745	0.015	1219.938	0.033
Bajo Los Molinos	PC09	487420.835	0.019	1106570.452	0.016	1184.353	0.045
Escuela Fátima	PC10	486915.067	0.023	1106367.857	0.018	1157.489	0.057
UNED	PC11	486284.670	0.026	1106552.572	0.020	1154.684	0.104
Plaza Cubujuqui	PC12	486190.032	0.028	1105550.404	0.023	1122.486	0.078
Hospital Viejo	PC13	486549.321	0.022	1105307.652	0.019	1134.352	0.048

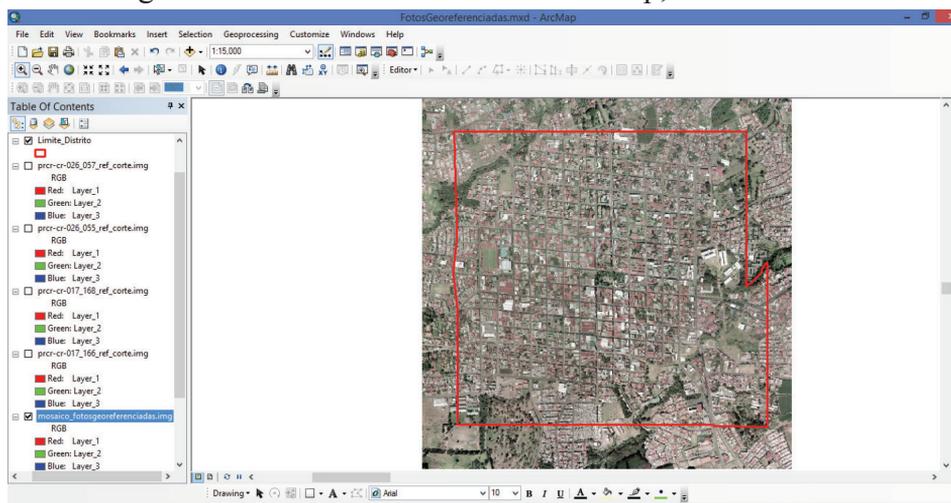
Fuente: Elaboración propia a partir del informe de ajuste de red generado en el programa TBC.

Tras la revisión y el análisis del informe del ajuste de red se concluyó que los valores de coordenadas obtenidos eran suficientes para los fines del proyecto. Los errores en horizontal tienen en promedio 2.68 cm en el Este, 2.12cm en el Norte y en vertical de 6.29 cm. Todos los valores se encuentran por debajo de la precisión horizontal (3 mm +0,1 ppm RMS) y vertical (3,5 mm + 0,4 ppm RMS) indicadas en la hoja de datos del equipo Trimble® R4 GNSS para levantamientos estáticos de alta precisión.

Otro de los productos generados en el proyecto es el mosaico de fotografías aéreas georreferenciadas. En la metodología se señaló que las cuatro fotografías aéreas seleccionadas fueron georreferenciadas utilizando de 10 a 12 puntos de control, con un polinomio de segundo orden y un error promedio de 1 m.

Sin embargo, al comparar las fotografías georreferenciadas con el mosaico de ortofotos, escala 1:5000, disponible en el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), los desplazamientos alcanzan un máximo de 3 metros, especialmente en dirección noreste.

Figura 9: Visualización del mosaico de fotografías aéreas georreferenciadas en la vista de ArcMap, del ArcGIS.



Fuente: Elaboración propia partir de la Visualización mosaico de fotografías aéreas georreferenciadas en la vista del ArcMap, ArcGIS 10.4

Los desplazamientos señalados son esperados, pues la georeferencia no ofrece el mismo nivel de precisión y corrección de la fotografía aérea como si lo hace el proceso de ortorectificación. Se debe recordar que la georeferenciación es “el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas” (ArcGIS Resources, 2016), proceso que se realiza a partir de un archivo vectorial (puntos, líneas o polígonos) y que traslada la información de coordenadas horizontales a un dato que no las tiene.

Al no utilizarse información de elevaciones (Z) la corrección de la fotografía aérea no es completa, pues aunque adquiere una posición en X, Y no se eliminan los desplazamientos producto de la proyección central inherente a las imágenes aéreas por su forma de adquisición.

Adicional al desplazamiento horizontal de 3 metros que se observó en el mosaico georeferenciado, hay un desplazamiento aparente que tiene su causa campo angular de la cámara fotográfica con la que tomo la fotografía y su proyección central. Es decir, el objeto está bien posicionado geográficamente pero el ángulo en el que se tomó la fotografía hace que parezca desplazado.

Figura 10: Visualización del desplazamiento aparente de los objetos en la imagen georeferenciada comparada con el mosaico de ortofotos, escala 1:5000, disponible en el SNIT.



Fuente: Elaboración propia partir de la visualización mosaico de ortofotos en la vista del ArcMap, ArcGIS 10.4

El proyecto generó también un mosaico de fotografías aéreas ortorectificadas, generado en el software ERDAS a partir de seis imágenes, tres de cada línea de vuelo, para abarcar así toda el área del distrito Heredia.

La ortorectificación de las imágenes utilizó los 27 puntos de control generados en el levantamiento GNSS para la orientación externa y para el MDE, alcanzado un error promedio de 2.5 m, según indicó el resultado del proceso de aerotriangulación.

Figura 11: Visualización del mosaico de fotografías aéreas georreferenciadas en la vista de ArcGIS.



Fuente: Elaboración propia partir de la visualización mosaico de ortofotos en vista del ArcMap, ArcGIS 10.4

Al comparar las fotografías aéreas ortorectificadas en el proyecto con el mosaico de ortofotos, escala 1:5000, disponible en el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), los desplazamientos alcanzan un máximo de 3 metros en los extremos del área de estudio y menos de 1 m en la parte central del mosaico.

La metodología seguida permitió alcanzar exitosamente los productos propuestos al formular el proyecto. Los datos permiten que el ejercicio pueda ser replicado, por partes o de forma completa, en los cursos del área de Ciencias de la Información Geográfica (CIG) que se imparten en la ECG.

Conclusiones y recomendaciones

El proyecto “Aplicación de la herramienta GPS en la enseñanza de Cartografía” se formuló con la clara intención de definir una metodología para una línea de trabajo en el tema de levantamiento de datos con

herramientas GNSS, que permitiera generar productos y datos aplicables a distintos temas de los cursos del área de CIG, específicamente, los asociados a la producción cartográfica.

Además de alcanzar los productos planteados, mediante el proyecto se adquirieron una serie de conocimientos que contribuirán a mejorar la docencia y la investigación de la ECG.

Uno de los primeros puntos aclarados en la ejecución del proyecto fue el concepto de GNSS y los distintos sistemas que lo componen (GPS, Glonass, Galileo, Beidou), lo que a su vez permitió comprender las diferencias entre posicionamiento absoluto y relativo, características y tipos de dispositivos, así como entender la adecuada selección del tipo de posicionamiento según la tarea a realizar. La técnica más sencilla de posicionamiento es el absoluto con código, en el que se utilizan navegadores conocidos como GPS, cuya precisión aproximada es de 5m y es la herramienta de mayor uso por su facilidad y disponibilidad, hasta en teléfonos celulares. El posicionamiento relativo o diferencial es una técnica más compleja, en la que se requiere de equipo especializado, con mayor costo de adquisición y un nivel de conocimiento adecuado para su utilización. Los resultados de estas observaciones son muchos más precisos (centimétricos o milimétricos), dependiendo del método de observación y complejidad de la red de medición planificada (Brunini, 2010).

Otro de los aspectos fundamentales a considerar cuando se trabaja con equipo GNSS es la planificación del trabajo de campo, que implica la selección del método de observación, la precisión requerida según el objetivo del trabajo, la definición de la red de medición, la selección de los sitios a utilizar como puntos de control y la aplicación de los datos a generar.

También es importante recordar que según el método de observación seleccionado será necesario incorporar el post-procesamiento de datos GNSS, tarea de gran complejidad que implica conocimiento especializado, así como la adquisición del software compatible con el equipo usado, comprensión sobre la calidad, fuentes y formatos de los datos necesarios para realizar el proceso.

El uso de este tipo de herramientas adquiere mayor relevancia cuando se sabe que en Costa Rica hay gran dificultad para acceder a datos espaciales confiables y actualizados, por lo que la posibilidad de generar datos propios de alta calidad y precisión es siempre importante.

Se debe recordar que la ECG cuenta con el equipo Trimble® R4, por lo que se recomienda su aplicación en la docencia y la investigación, incorporando contenidos sobre GNSS inicialmente en los cursos Cartografía I, Cartografía Temática y Fotointerpretación, para luego ir avanzando gradualmente al resto del área CIG, lo que permitirá que el tema se convierta en un eje transversal en la malla curricular de las carreras. Para esto es necesaria la definición y materialización de una red fija para medición en la UNA, pues muchos de los puntos marcados y medidos en el Campus Omar Dengo fueron eliminados por procesos de construcción y remodelación de infraestructura. Además, se propone una red fija para medición en el distrito de Heredia, autorizada por la Municipalidad de Heredia para su beneficio y el de otras unidades académicas de la UNA.

Finalmente, desde el punto de vista de las participantes, se considera un proyecto exitoso, pues se cumplió con todos los objetivos y actividades propuestas, y el aprendizaje alcanzado fue mucho más allá de lo que originalmente se había pensado (pronosticado).

Agradecimientos

Al Dr. Jorge Moya Zamora, responsable del Centro Nacional de Procesamiento de Datos Geoespaciales (CNPDG) de la Escuela de Topografía Catastro y Geodesia (ETCG) de la UNA, quién muy amable y desinteresadamente brindó una capacitación a los integrantes de este proyecto en los meses de marzo a junio de 2015 y asesoramiento a lo largo de los dos años de ejecución del proyecto. Definitivamente sin su ayuda no habría sido posible alcanzar muchas de las metas de este proyecto.

Al Consejo Municipal de cantón Central de Heredia por autorizar la colocación del equipo de medición en espacios de propiedad municipal.

Referencias

- ArcGIS Resources. (2016). *Georreferenciación y sistemas de coordenadas*. Recuperado de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-tarted/articles/026n000000s000000.htm> Consultado el 17 de enero de 2017
- Brunini, C., Sánchez, L., Dalda, A., Cano, M. A., Sánchez, J. A., Valdés, M. & López, P. G. (2010). *Apuntes del X Curso de GPS en Geodesia y Cartografía*. Instituto Geográfico Nacional de España y Agencia de Cooperación Española. Montevideo, Uruguay.

- Centro Nacional de Procesamiento de Datos GNSS (CNPDG). (2017). **xyz_flh_wgs84** (hoja de cálculo). Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Recuperado de <http://www.cnpdg.una.ac.cr/index.php/download/software/transformaciones-cr/category/6-transcr>. Consultado en mayo de 2015
- Comisión Interdepartamental de Estadística y Cartografía de Andalucía. (2011). *NTCA 02002 Observación y procesamiento GNSS*. Normas técnicas cartográficas de Andalucía. Junta de Andalucía. Sevilla España. Recuperado de https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/ieagen/sea/ntca/02_procesos/02002_Observacion_procesamiento.pdf. Consultado el 20 de noviembre de 2016.
- García, D. (2008). *Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System)*. (Proyecto de fin de carrera). Escuela Politécnica Superior. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. 104 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2016). *Red MAGNA ECO*. Recuperado de http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/inicio-home/TramitesServicios/FueraDeServicio!/ut/p/c4/04_SB8K8xLL-M9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3A083A08jJ1MDlxBXYwsnE_2CbEdFAGrs9jg!/?WCM_PORTLET=PC_7_AI-GOBB1A0G0IF0I2B50DTE38R4_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Web+-+Tramites+y+Servicios/Servicios/Servicios/Informacion+Geodesica/Red+MAGNA+ECO/. Consultado el 21 de noviembre de 2016.
- International GNSS Service (IGS). (2017). *IGS Product Availability*. Recuperado de https://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html. Consultado en mayo de 2015.
- Jahic, E. (2016). *GNSS Calendar and Utility*. Recuperado de <http://www.gnsscalendar.com/>. Consultado en mayo de 2015.
- National Geospatial - Intelligence Agency (NGA). (2015). *NGA EGM96 Geoid Calculator*. Recuperado de <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/intpt.html>. Consultado el 30 de mayo de 2016.
- Trimble®. (2005). *Manual de Referencia Trimble® Business Center Heavy Construction Edition, Versión 1.20*. Ohio, EEUU: Trimble Navigation Limited.
- Trimble®. (2005). *Guía del usuario Trimble® Business Center*. Ohio, EEUU: Trimble Navigation Limited.

Trimble®. (2009). *Hoja de datos Sistema GPS Trimble® R4*. Ohio, EEUU: Trimble Navigation Limited.

Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) (2017.) SIRGAS de operación continua Consultado en mayo de 2015. <http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/stations/station-list/>

Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS). (2017). *Coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON*. Recuperado de <http://www.sirgas.org/index.php?id=153> Consultado en mayo de 2015.

Transformações Geopolíticas Recentes no Mundo Islâmico: a Primavera Árabe

Recent Geopolitical Transformations in the Islamic World: the
Arab Spring

Transformaciones Geopolíticas Recientes en el Mundo
Islámico: la Primavera Árabe

Nizete Maria Bomfim¹

Dante Severo Giudice²

Universidade Católica do Salvador, Brasil

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.4>

RESUMO

O presente artigo tem por objetivo efetuar a análise das transformações geopolíticas recentes no mundo islâmico, causadas pela denominada Primavera Árabe, iniciadas em 2011, quando um protesto ocorrido na Tunísia, desencadeou uma revolta nos países islâmicos, contra os regimes totalitários, disfarçados de democracias teocráticas. Onde a repressão era tônica, disfarçada/respaldada na religião, muito embora, não existam registros nas bases religiosas para tal. Este fato reforça a nossa tese de que, a grande massa popular pode ser manipulada pelos poderosos, por meio da religião.

1 Licenciada e Bacharel em Geografia pela UCSAL. Membro do Grupo de Estudo e Pesquisa em Geografia Política e Geopolítica.(GEPOGEO), Universidade Católica do Salvador (UCSAL). Email: nizete.bomfim@gmail.com

2 Prof. Dr. IFCH/UCSAL/Curso de Geografia, Coordenador do GEPOGEO/UCSAL, Prof. Colaborador da Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Urbano da Universidade Católica do Salvador (UCSAL), Brasil. Email: dasegu@gmail.com

Fecha de recepción: 09 noviembre de 2017

Fecha de aceptación: 01 de marzo de 2018

Palavras-chave: Primavera Árabe; Transformações geopolíticas; Protesto; Regimes totalitários; Bases religiosas; Democracias teocráticas.

ABSTRACT

This article aims to analyze recent geopolitical changes in the Islamic world, caused by the so-called Arab Spring, initiated in 2011 when a protest in Tunisia triggered a revolt in Islamic countries against totalitarian regimes, in the guise of theocratic democracies, and where repression was tonic, disguised as religion and supported by it, although there were no records on religious grounds to do so. This fact reinforces our thesis that the great mass of the people can be manipulated by the powerful through religion.

Keywords: Arab Spring; geopolitical transformations; protest; totalitarian regimes; religious basis; theocratic democracies.

RESUMEN

El presente artículo tiene por objeto efectuar el análisis de las transformaciones geopolíticas recientes en el mundo islámico, causadas por la denominada Primavera Árabe, iniciadas en 2011, cuando una protesta ocurrida en Túnez, desencadenó una revuelta en los países islámicos, contra los regímenes totalitarios, disfrazados de democracias teocráticas. Donde la represión era tónica, disimulada / respaldada en la religión, aunque no existían registros en las bases religiosas para tal. Este hecho refuerza nuestra tesis de que la gran masa popular puede ser manipulada por los poderosos, por medio de la religión.

Palabras clave: primavera árabe; transformaciones geopolíticas; protestar; regímenes totalitarios; bases religiosas; democracias teocráticas.

Introdução

Este artigo tem como objetivo investigar as modificações ocorridas no mundo muçulmano, que provocaram significativas mudanças geopolíticas, levando à queda dos arraigados regimes totalitários, fundamentados numa teocracia de fachada, uma vez que a grande maioria dos governantes tinha vínculos com a civilização ocidental, e nela conviveram durante algum tempo, usufruindo das liberdades e das benesses oferecidas. Entretanto, ao retornarem aos seus países, reacenderam o discutível “afã religioso”, como forma de manipulação da população, para se apoderarem do poder.

Na verdade, não foi uma tarefa fácil, pois praticamente não há literatura a respeito, uma vez que são acontecimentos recentes. Procuramos assim, nos fundamentar nas poucas publicações existentes, e nos muitos sites.

Material e métodos

Para a realização desse artigo foi necessário uma grande pesquisa bibliográfica para tentar entender a formação do mundo islâmico, as

transformações históricas, a diferenciação entre muçulmano e árabe, a expansão desta etnia, para compreender as transformações geopolíticas recentes, decorrentes da onda democratizante e modernizadora que varreu a porção árabe do mundo islâmico, curiosamente os maiores países produtores de petróleo.

Segundo Costa (2008):

à geopolítica caberia a formulação das teorias e projetos de ação voltados às relações de poder entre os Estados e às estratégias de caráter geral para os territórios nacionais e estrangeiros, de modo que estaria mais próxima das ciências políticas aplicadas, sendo assim interdisciplinar e utilitarista.

Entendemos como mundo islâmico ou mundo muçulmano, o conjunto de países que tem o Islão como religião seguida pela maioria da população.

Por outro lado, mundo árabe refere-se ao conjunto de países que falam o árabe e se distribuem, geograficamente, do oceano Atlântico, a oeste (Marrocos), até o mar Arábico, a leste (Oman), limitando-se ao norte pelo mar Mediterrâneo, a sul, pelo deserto do Saara até o Corno de África, e a sudeste do oceano Índico. Este passou no início desta década por significativas transformações.

O conjunto destas transformações históricas, iniciadas em 2010 e consolidadas em 2011, denominou-se Primavera Árabe. Tais transformações foram instauradas através de manifestações de protestos e revoluções que aconteceram no Oriente Médio e na África, quando a população foi às ruas para destituir ditadores que estavam no poder a décadas. Os protestos compartilharam técnicas de resistências civis, manifestações, passeatas e comícios, usando também as novas mídias sociais como o facebook, o twitter e o youtube, para organizar, comunicar, e sensibilizar a população com a atual conjuntura política da região.

Histórico do mundo Árabe

O Mundo Árabe se estende da orla atlântica norte da África, até o denominado Oriente Médio, passando pela Península Arábica.

A península Arábica se localiza na parte sudeste do Mar Mediterrâneo, a leste do continente africano e a oeste do continente asiático. Na margem oriental é banhada pelos golfos Pérsico e de Omã. Ao sul localiza-se o Mar da Arábia e o Golfo de Áden, no Oceano Índico. Ela se caracteriza por ser o local de origem dos diversos povos que formavam a etnia árabe. Não existe uma data precisa que determine o surgimento dessa etnia, mas uma primeira referência remonta ao primeiro milênio antes de cristo (Kennedy, 2007, apud Lannes, 2013, p. 61).

Em verdade não existe consenso sobre o significado da palavra *árabe*. Também conforme Lannes (2013, p. 88):

De forma geográfica, se entende como árabe todos os habitantes oriundos da Península Arábica e que tem alguma variante da língua árabe como língua materna. Nesse contexto se incluem os judeus, cristãos e os seguidores de religiões politeístas ou animistas que ali habitavam, assim como os sarracenos, nômades que habitavam o norte da Península e os iemenitas, povos sedentários do sul, além dos habitantes da Península que haviam emigrado para os domínios do Império Bizantino e Persa.

Lannes (2013, p. 88), afirma ainda que:

De acordo com Crone (1992), os árabes são os únicos conquistadores de origem tribal que moldaram as tradições de povos detentores de instituições complexas a partir de sua herança tribal. Isso aconteceu a partir da reelaboração dos valores tribais em uma forma que muito transcendia o contexto onde residia.

A questão da conquista de outros povos pelos árabes pode ter uma explicação que complementa essa visão de Crone. Não seria os valores tribais árabes uma influência sobre os povos ditos “civilizados”, mas sim, o novo ordenamento político-social criado por Maomé, denominado de Umma. Além disso, as instituições, a cultura e as tradições dos povos conquistados, também foram adotadas pelos dominadores árabes-islâmicos. (Crone, 1992, apud Lannes, 2013, p. 88).

“Existem três formas de conservar os Estados conquistados quando estes, (...) estão habituados a reger-se por leis próprias e em liberdade: a primeira consiste em destruí-los; a segunda é ir habitá-los; a terceira é deixá-los viver sob as suas leis, mas impondo um tributo e criando dentro deles

um governo de poucos que os mantenha aliados.” (Maquiavel, 2003, apud Lannes, 2013, p. 89)

Lannes, (2013, p. 89), citando Lewis e Kennedy destaca:

Os conquistadores árabe-islâmicos acenaram com a segunda e a terceira opção. A segunda opção pode ser visualizada pelas imigrações feitas por árabes para os territórios ocupados, e pela construção de cidades, normalmente quartéis-generais, os quais deram origem a novas cidades, como foi o caso da cidade al-Fustât, que se tornaria a primeira capital do Egito sob domínio árabe (Lewis, 2010: 83). Quando a conquista foi consolidada, as tropas não árabes receberam do governo muçulmano concessões de terra nessa cidade (Kennedy, 2001:5).

Ainda segundo Lewis, (1982, p.64):

Essas cidades eram chamadas de Amsare tiveram um papel vital na organização e consolidação da influência árabe nos territórios conquistados. Estas cidades serviam de mercado para o escoamento da produção agrícola de territórios vizinhos e por meio dessa conexão, o árabe foi penetrando nessas regiões. Com o tempo foram surgindo aglomerações urbanas fora das muralhas, com artesãos e mercadores das populações conquistadas, que supriam as necessidades das elites árabes. Presencia-se um forte movimento da população das 90 regiões rurais para as cidades, movimento este que foi favorecido por uma tributação discriminatória contra os agricultores não muçulmanos e pela baixa dos preços agrícolas. Tal fato foi ocasionado principalmente pela distribuição gratuita, e em larga escala, dos rendimentos entre os exércitos árabes.

Os povos que habitavam as porções litorâneas da Península Arábica eram considerados prósperos comerciantes e viviam do comércio fixo. Neste lado da Arábia, existiam centros urbanos e a consolidação de uma economia agrícola mais complexa. Meca era considerada um grande centro comercial e religioso dos árabes.

Os povos árabes que habitavam a região desértica da Península Arábica eram povos nômades conhecidos por **beduínos**. Sendo esta uma região inóspita, era muito difícil a formação de povos sedentarizados. Os beduínos sobreviviam do comércio desenvolvido com os habitantes das

regiões próximas, e da criação de camelos, de onde tiravam carne, leite e suas indumentárias, e praticavam a religião politeísta. Nesse período, ainda não havia na Arábia a unidade religiosa nem política, os beduínos adoravam vários deuses, e dessa tribo em 570 nasceu **Maomé (Mohammad)**.

Segundo a lenda e seus biógrafos, em 610, Maomé teve uma visão com o anjo Gabriel, quando este, comunicou-lhe os princípios doutrinários do *Islamismo*, e delegou-lhe a missão de comunicar essa doutrina a todos os homens. Durante 23 anos o Anjo Gabriel revelou a Maomé os versículos do Alcorão, o livro sagrado dos *Muçulmanos*. Os *Muçulmanos* e também os historiadores da religião, consideram que o Alcorão contém os mais autênticos textos religiosos de todas as religiões.

Segundo Seda (2011, p. 7):

Literalmente a palavra Árabe Islão significa “Entrega” ou “submissão”. O Islão enquanto fé significa entrega total e sincera a Deus, de modo a que seja possível à pessoa viver em paz e tranquilamente. A Paz (Salam em Árabe, Shalom em Hebraico) é alcançada por meio de uma forte obediência aos mandamentos revelados por Deus, visto Deus ser o Justo, a Paz (grifo do autor) O significado do nome “Islão” é universal, e não foi escolhido pelos seres humanos; foi divinamente transmitido por Deus. O Islão não deriva de uma pessoa ou uma tribo, como sucedeu com o Judaísmo, que deve o nome à Tribo de Judá, o Cristianismo, que surgiu depois de Cristo, ou o Budismo, que procedeu a Buda. Trata-se de uma fé global, que não pertence ao Oriente ou ao Ocidente. É um modo de vida completo, que implica a total submissão a Deus. Aquele ou aquela que, voluntariamente, submete a sua vontade a Deus, é chamado Muçulmano. (Seda, 2011, p. 7).

Ainda segundo Seda (2011, p. 8):

Em arábico, o nome “Allah” significa “O Único Deus Verdadeiro”, o nome adequado Àquele que criou os Céus e a Terra. Judeus e Cristãos que falam árabe, referem-se igualmente a Deus pelo nome de Allah. Para um Muçulmano, Allah é o maior e mais abrangente nome de Deus, referindo-se Àquele que é adorado quando se presta culto, Àquele que criou tudo o que existe.

Para os árabes, o Islão é um Din (Modo de Vida) (Seda, 2011, p. 7), e tem o Monoteísmo (Tawhid em Árabe), como o mais importante dos conceitos do Islão, para o qual, tudo se constrói em torno da unicidade de Deus, e prega que a humanidade deve adorar o Único Deus Verdadeiro. (Seda, 2011, p. 9).

Conforme Kamel (2007, p. 75):

Os cinco pilares do Islamismo, as cinco obrigações dos fiéis, a base da crença muçulmana, são os seguintes: acreditar em um só Deus e em Maomé como o último profeta (Shahâdah); orar cinco vezes ao dia, voltado para Meca (Salat); dar esmola visando à caridade (Zakat); jejuar durante o mês do Ramadã, do nascer do dia até o cair da noite (Saum ou Siyam); e fazer a peregrinação a Meca pelo menos uma vez na vida, para aqueles que têm condições físicas e financeiras (Hajj).

Ainda segundo Kamel (2007, p. 73 - 74), "literalmente, *Alcorão* quer dizer "A Leitura" (em português, deve-se dizer Alcorão, e não o Corão, porque a palavra entrou em nossa língua daquela primeira forma, assim como outros três mil vocábulos (...))".

Os muçulmanos estão divididos em dois grandes grupos, os sunitas e os xiitas. Essas tendências surgiram da disputa pelo direito de sucessão a Maomé. Os desentendimentos entre os *sunitas* e os *xiitas* começaram com a morte de Maomé, pois os dois grupos reclamavam o direito de assumir a posição de legítimo sucessor do profeta. Essas disputas entre sunitas e xiitas se consolidaram ao longo de vinte e oito anos e provocaram a divisão do Islã.

Segundo relato de Kamel (2007, p. 95):

"Conta uma tradição, aceita pelos dois lados, que um dia Maomé teria profetizado: "Vai acontecer ao meu povo o mesmo que aconteceu ao povo de Israel, que foi dividido em 72 seitas. Meu povo será dividido em 73. Cada uma delas irá para o inferno, exceto uma: a religião que é professada por mim e por meus companheiros".

Segundo os sunitas, o profeta jamais indicou quem seria o seu sucessor, o seu califa; de acordo com os xiitas, Maomé teria deixado claro que seu primo Ali, a quem tinha dado sua filha Fatima como esposa, deveria ser o seu sucessor. Tradições aceitas pelos dois lados dão conta de que Maomé, por diversas vezes, demonstrou seu imenso amor e admiração por Ali, a quem considerava um bravo guerreiro, um juiz justo, o mais caridoso dos homens, o mais generoso, o mais sábio. (Kamel: 2007, p. 95)

"Eu sou a cidade do conhecimento, e Ali é o portão dessa cidade", disse Maomé certa vez. (Kamel: 2007, p. 95)

Kamel (2007, p.96) afirma que:

Para os xiitas, isso era a prova de que o profeta indicara Ali para sucedê-lo (a palavra xiita vem exatamente de shi'at'Ali, que quer dizer “os partidários de Ali”); para os sunitas, os ditos do profeta expressavam tão-somente a admiração pelo homem Ali (o nome sunita vem de suna, “caminho”, significando a tradição, tudo aquilo que o profeta fez e disse; assim, sunitas seriam “o povo do caminho, o povo da tradição”).

Com a morte de Ali, ocorreu de fato a divisão entre *sunitas* e *xiitas*. Os *sunitas*, que sempre em maior número, acreditam que a Revelação acabou com a morte de Maomé, e que se deve viver segundo as orientações do Alcorão, seguir a *Suna* (tudo o que o profeta fez e disse) e esperar o final dos tempos. Para os sunitas, o *Califa* (em árabe, *Khalifha*, “sucessor”), é apenas chefe do poder temporal, que deve orientar a comunidade para viver como mandam os ensinamentos religiosos.

Para Kamel (2007, p. 101):

Mesmo entre eles, há matizes e subgrupos. São quatro as escolas teológicas sunitas, que diferem fundamentalmente em detalhes de rito e código legal: Hanafi, Hanbali, Mâlaki, Shaâfi'í, sem falar na “reforma” ultra-radical wahhabista do século XVIII – o wahhabismo é uma seita hoje majoritária na Arábia Saudita. Os sunitas chamam os quatro primeiros califas, portanto inclusive Ali, de aqueles “corretamente orientados por Deus”.

Kamel (2007, p. 102) ainda afirma que:

Para os xiitas, a Revelação de fato acabou com a morte de Maomé, mas há nela significados ocultos a que só um Imã tem acesso (literalmente, imã é “aquele que vai à frente”, guia espiritual, representante e prova de Deus na Terra). Para eles, é impossível que a Terra fique sem um imã (hoje essa designação é usada também, apenas honorificamente, por alguns líderes religiosos). O primeiro imã foi Adão. Noé, Abraão, Moisés, Jesus, Maomé, todos estes foram ao mesmo tempo profetas e imãs (...).

A maior parte dos adeptos do Islamismo é sunita (cerca de 85%). Entretanto existem países como o Iraque, onde a maioria da população é

xiita, mas o ex-governo (até 2003) era sunita. Sunitas e xiitas fazem juntos os mesmos ritos e seguem as mesmas leis (com diferenças irrelevantes), mas o conflito político é profundo. A rivalidade histórica entre *sunitas* e *xiitas* se acentuou com a revolução iraniana de 1979 que, sob a liderança do Aiatolá Khomeini (xiita), depôs o Xá Reza Pahlevi e instaurou a República Islâmica do Irã.

No dia 1º de abril em 1979, a Revolução Islâmica alcançou o seu objetivo, depôs o Xá Reza Pahlevi, que não tendo outra alternativa fugiu do país. O Irã foi declarado uma República Islâmica. O Aiatolá Khomeini assumiu o cargo de chefe religioso e governante do Irã, estabelecendo novas doutrinas baseadas em questões religiosas, que alteraram profundamente a estrutura social do país. Ao assumir o poder, o Aiatolá Khomeini abandonou o discurso revolucionário dos anseios democráticos e de melhorias das condições de vida dos iranianos, assumindo uma postura extremamente radical, impondo novas leis, baseadas no Islamismo, transformando o país em um Estado Teocrático (Kamel, 2007).

- Império Otomano

O surgimento do Império Otomano começou no início do século XI, na Anatólia, região que atualmente pertence à Turquia. Algumas tribos turcas nômades passaram a habitar a Anatólia e divulgar a religião muçulmana nas terras do Império Bizantino. Otomano tem origem em Osman, ou em árabe, Uthman", que foi um chefe turco que viveu entre os anos de 1258 a 1324 e que conseguiu transformar as tribos nômades em um poderoso Império.

Entre os anos de 1299 a 1922, foi consolidado (Figura 1) o **Império Otomano**, que compreendia vastos territórios no norte da África, sudeste da Europa e Oriente Médio. Este império foi estabelecido por um ramo dos vários povos turcos que migrou para a Península da Anatólia (hoje Turquia). É fato que o Império Otomano é considerado a última potência global do mundo islâmico até os dias atuais - A característica marcante do Império Otomano, e que durante seis séculos garantiu-lhe o sucesso da expansão e consolidação, era a tolerância dos otomanos com as tradições e as religiões dos povos conquistados. O sultão estava estabelecido em Constantinopla, e administrava os diversos povos conquistados, dentre

eles estavam, sérvios, búlgaros, gregos, romenos, croatas, árabes, curdos, turcos, berberes, e muitos outros; tais povos tinham várias denominações religiosas, entre elas, cristãos católicos, maronitas, coptas e ortodoxos, muçulmanos sunitas e xiitas, judeus, mandeus, drusos, entre outros. O Império Otomano ocupava um vasto território, que se dividia em 29 províncias e numerosos estados vassalos (pertencentes ao império, mas que mantinham estrutura administrativa própria). O Império Otomano dominou extensa área da Europa, Ásia e África.

Entre 1520 e 1566, sob a administração de Solimão, o Magnífico, o Império Otomano tornou-se efetivamente o centro de comunicação entre Oriente e Ocidente durante seis séculos.

Figura 1 – Império Otomano consolidado



Fonte: Adaptado de Yapp (2015)

Durante o século XIX a prosperidade do Império Otomano sofreu alguns reveses, o império perdeu territórios, e cresceu a instabilidade

política, até que, em 1909, o sultão Abdul Hamid II foi deposto por uma rebelião que deu início à modernização do império, porém, essas mudanças não conseguiram atingir os seus objetivos, pois a desagregação continuou. As duas guerras balcânicas entre 1912 e 1913, e as investidas colonialistas da Itália e da França, acabaram formalmente com a presença otomana na Europa e na África.

A França colonizou a África do Norte, o chamado Magreb (Marrocos, Argélia e Tunísia). A Itália em 1911 anexou as províncias de Tripolitana, Cirenaica e Fezzan, e rebatizou a sua nova colônia com o antigo nome Greco-romano de Líbia. A Grã-Bretanha ocupou o Egito, mas, a anexação só foi efetivada em 1914, quando o país se tornou um protetorado britânico.

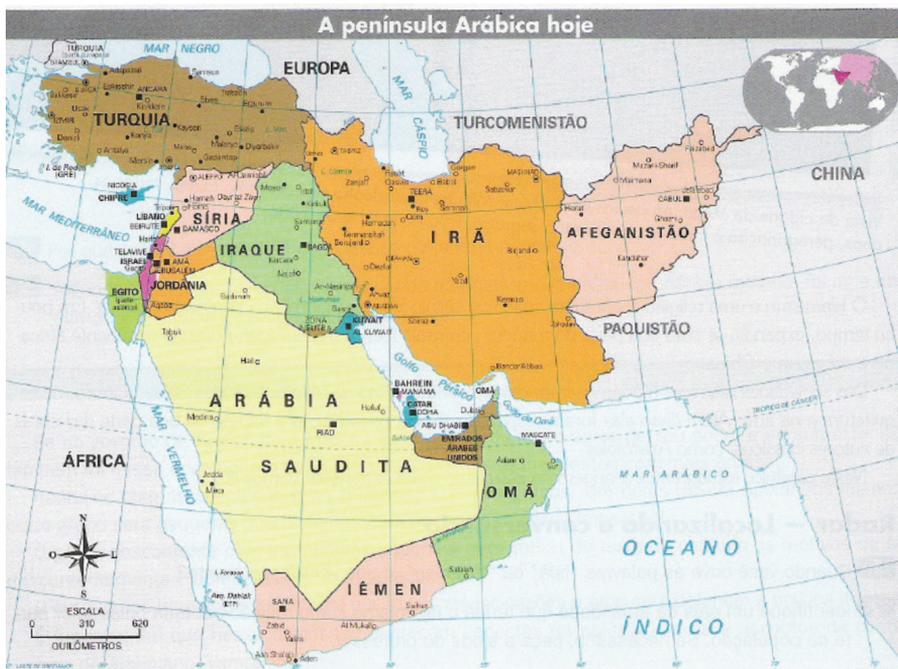
Na Primeira Guerra Mundial, o Império Otomano lutou ao lado da Alemanha, porém, o império conhecido e respeitado durante seis séculos, não possuía mais a força com a qual fez história. Vencido pelos países aliados, o Império Otomano foi extinto em 1922, e deu lugar a uma república (Turquia), fundada pelo militar otomano, Mustafá Kemal, “Ataturk” (Pai dos turcos).

Como consequência da derrota na Primeira Guerra Mundial, as províncias do Império Otomano (identificados como Oriente Médio ou Crescente Fértil), foram divididas entre os vencedores. À França couberam os territórios que hoje conhecemos como Líbano e a Síria, a Grã-Bretanha obteve a área que constitui hoje o Iraque, a Jordânia e o território do Estado de Israel.

- A Consolidação do Mundo Árabe

Quando ocorreu a divisão da região do Oriente Médio, ainda não existiam os Estados, apenas simples conjuntos de províncias do velho Império Otomano, cujos limites, entre si, não eram definidos. As capitais e também as fronteiras modernas (Figura 2) foram estabelecidas por decisão do poder colonial, conforme interesses específicos. Temos alguns exemplos curiosos, como o Iraque, onde se juntaram populações árabes xiitas no sul, sunitas no centro e curdos (não árabes), no norte. No Líbano, por ocasião de sua criação, os cristãos eram majoritários, mas hoje tendem a ser minoritários frente aos muçulmanos, sobretudo xiitas.

Figura 2 – Oriente Médio Atual



Fonte: Adaptado de Meyer (2015)

Após a Primeira Guerra Mundial, as colônias começaram a conquistar independência e teve início a criação de partidos nacionalistas. No Egito, o Ward; na Síria e no Iraque, o Baath; na Argélia, o FLN e na Tunísia o Destour e o neo-Destour.

Teoricamente, o Egito conquistou sua independência em 1922, após forte movimento popular, porém, somente nos anos cinquenta a força militar britânica deixou o país. Apesar de haver conquistado a independência em 1932, o Iraque permaneceu submetido à ocupação estrangeira e a instalação de uma monarquia ligada à Grã-Bretanha. Por ocasião da Segunda Guerra Mundial, a Síria e o Líbano, conquistaram a independência da França. O Estado de Israel foi proclamado em 1948 e o resto da Palestina foi ocupada em 1967. A África do Norte (francesa) separou-se da metrópole colonial e a partir de 1956 dividiu-se dando origem ao Marrocos e a Tunísia. Somente em 1962, após uma longa e violenta guerra, a Argélia, alcançou a independência.

Essas independências resultaram da pressão dos movimentos nacionalistas e do rápido desgaste, nas metrópoles europeias, da legitimidade do conceito de colonialismo. Inicialmente, os nacionalismos que assumiram o poder no Mundo Árabe, assumiram posturas seculares, não adotando o laicismo de tipo europeu (ou francês), e não permitiram o controle dos movimentos religiosos. Também somaram esforços para promover a união, desconsiderando as fronteiras estabelecidas pelo poder colonial, por não concordarem com as mesmas, pois consideravam que eram injustas ou artificiais. Estes movimentos pan-arabistas foram muito importantes nos anos setenta e oitenta, mas não conseguiram se perpetuar.

A partir dos anos oitenta e noventa os partidos religiosos ganharam força no Mundo Árabe, entre eles a Irmandade Muçulmana, fundada em 1928 no Egito, pelo professor, Hasan al-Banna, um *wahhabista* (*salafti*, pioneiros do tempo do profeta), formado pela tradicional Universidade de Al-Azhar, no Cairo.

Conforme Kamel (2007, p. 209):

A Irmandade continua ativa em todos os países árabes, mas deu origem a muitas dissidências: quase todos os grupos terroristas vêm dela. Além do Jihad Islâmico (a Palestina), o Hamas nasceu da Irmandade – o xeque Ahmed Yassim, assassinado por Israel em 2004, foi membro do grupo durante anos. E a história da Al-Qaeda é indissociável da Irmandade.

Os movimentos religiosos constituíram ameaças aos poderes instalados, mas não assumiram controles políticos concretos no Mundo Árabe, exceto em áreas limitadas como a faixa de Gaza com o Hamas ou, parcialmente, no governo libanês, como o Hezbollah. Alguns regimes autoritários se justificaram como barreiras contra os movimentos religiosos, como no Egito, frente à ameaça, do islamismo expresso pela Irmandade Muçulmana, única oposição organizada ao regime do presidente Mubarak.

Existem hoje, no Mundo Árabe, Estados constituídos e consolidados. O Egito, figura como tal há muito tempo, antes mesmo da conquista islâmica no século VII. A partir do século XIX, o Egito emergiu novamente como um Estado coeso e organizado. O país esteve sujeito à ocupação estrangeira, essencialmente, devido à importância estratégica do Canal de Suez.

A Tunísia e os demais Estados do Magreb, colonizados pela França, também apresentam características de Estados organizados. A colonização francesa transferiu a sua tradição administrativa centralizadora para esses territórios e a influência cultural foi intensa.

É comum no Mundo Árabe, sociedades tribais ou eminentemente tribais, unidas, como é o caso do Iêmen, onde tribos tradicionais dividem o país, marcado por constantes guerras civis, e Líbia cuja unidade, frágil, era obra de seu líder, o Coronel Muammar Kadhafi, mas profundamente dividida por tribos antigas.

Na Arábia Saudita, somente a sua parte ocidental foi colonizada, o Estado se formou somente em 1932, pelas conquistas da dinastia Saud. As maiores jazidas de petróleo do mundo, o controle das cidades santas de Meca e Medina, o culto *wahhabista* (forma tradicional do *Islã*), e uma dinastia formada por inúmeros príncipes constituem os elementos aglutinadores de uma sociedade também dividida em tribos, cuja união é recente. Os recursos do petróleo garantem o peso do Estado central.

No Mundo Árabe ocorrem também estados e sociedades setoriais, divididas em seitas ou comunidades religiosas. Entre elas se destaca o Líbano, onde convivem dezoito comunidades: muçulmanos sunitas, xiitas, drusos, católicos maronitas, cristãos ortodoxos, etc., e que nem sempre estabelecem uma convivência pacífica. A Síria, onde cerca de 70% é sunita, o presidente *Bashar al-Assad*, pertence a essa comunidade, assumiu o governo após a morte de seu pai o ditador Hafez al-Assad. O Bahrein que tem a maioria da população formada por não árabes, sendo estes de maioria xiita, e o Catar, onde a religião do Estado é o *wahhabismo*, um movimento religioso estritamente conservador do islamismo sunita.

A Jordânia representa um caso específico, com uma população composta por uma maioria de (refugiados) palestinos e uma dinastia – da família hashemita – instalada pela Grã-Bretanha. Uma crise estrutural no país poderia levar à criação de um poder palestino com repercussões além das fronteiras do Estado.

Os países do Mundo Árabe compartilham a cultura e também um passado comum com os grandes califados que dirigiam essa civilização. Também possuem em comum, o orgulho de um longínquo passado glorioso, quando o Mundo Árabe esteve, certamente, à frente da Europa (talvez até o século XI).

A língua árabe é oficial em toda a região, entretanto existem profundas variações dialetais e algumas minorias, como os curdos, que utilizam idiomas próprios.

A primavera Árabe

O movimento denominado Primavera Árabe, teve sua origem em 17 de dezembro de 2010, na pequena vila tunisiana de Sidi Bouzid, onde um jovem tunisiano de 26 anos, Mohamed Bouazizi, que possuía graduação, mas não conseguia oportunidade de emprego, e mantinha uma banca de venda de frutas e verduras, para garantir o sustento da sua família. Entretanto por ser constantemente importunado por policiais, apelou para uma atitude extrema, em um ato de desespero ateou fogo ao próprio corpo, como forma de protesto contra a falta de oportunidade de trabalho. Bouazizi não resistiu aos ferimentos e faleceu em 04 de janeiro de 2011, não imaginando que o seu gesto viesse a desencadear uma onda de protestos na Tunísia e que recebeu o nome de “**Revolução de Jasmim**”. Esses protestos se intensificaram e alcançaram outros países árabes (espalhados do norte da África até o Oriente Médio), os quais, durante décadas foram governados por ditaduras ou por partidos políticos dominantes que não estavam acostumados a enfrentar movimentos opositores.

Essa onda de protestos foi batizada de “**Primavera Árabe**” e se estendeu do Atlântico ao Índico (Figura 3). O nome é uma referência à **Primavera dos Povos** - 1848, e também uma associação com “despertar” da condição social e política atual árabe, ganhando proporções difíceis de serem imaginadas, se espalhando pelo mundo árabe, derrubando ditaduras consideradas inabaláveis.

Figura 3 – Países envolvidos na Primavera Árabe



Fonte: Adaptado de Kreutzfeld (2015)

Segundo Farah, (2011, p. 46):

“A Primavera Árabe”, deve ser compreendida dentro de um contexto mais amplo que inclui diversas tentativas prévias de florescimentos regionais ou locais, movimentos de primaveras caiotas, tunisinas, bagdalis, alexandrinhas etc. Na história recente, os levantes árabes constituem o maior evento político internacional desde a queda do Muro de Berlim e devem modificar significativamente a geopolítica mundial.

Os protestos começaram na **Tunísia**, logo após o funeral do jovem Mohamed Bouazizi, quando milhares de pessoas se concentraram na Avenida Bourguiba, no centro de Tunis, a capital, um país até então elogiado pela sua estabilidade. O presidente **Zine el-Abdine Ben Ali** tentou se manter no poder prometendo reformas, mas foi rechaçado pelos manifestantes e fugiu pedindo asilo na Arábia Saudita.

Após os resultados positivos alcançados na Tunísia, os ventos da “Primavera Árabe” sopraram fortes na direção do **Egito**, um país-chave na estratégia das Potências Ocidentais, devido à sua posição geográfica entre a África, Ásia e Oriente Médio. Por esta razão, há mais de três décadas os Estados Unidos e a União Europeia prestavam forte apoio econômico e militar ao país, que possui a maior população entre os países árabes. O

Poder sempre foi exercido com autoritarismo pela sequência de ditadores, Nasser, Sadat, e Mubarak, este último por 30 anos. Mesmo com bom desempenho da diversificada economia, devido a investimentos estrangeiros, sobretudo da China, os protestos chegaram a Praça Tahir, centro do Cairo, de forma intensa, muito provavelmente devido às insatisfações geradas pelos baixos indicadores sociais, debilidades estruturais e fragilidade política. Essa forte pressão popular, apoiada pelos EUA e forças armadas locais, exigiu a renúncia do presidente *Hosni Mubarak*.

Segundo Visentini (2012, p. 130):

A pressão norte-americana pela renúncia de Mubarak deveu-se ao temor de ver emergir no Egito um duplo poder, o do Estado e o das ruas, que precede as revoluções. Isso já estava acontecendo, pois o governo não mais governava, a economia estava paralisada e as forças políticas, após décadas de inércia, ganhavam um dinamismo imprevisível. O vácuo gerado pela crise do governo foi coberta pelos militares, com desgaste crescente pela permanência do detestado presidente, já abandonado por seus aliados externos.

A propagação da Primavera Árabe no norte da África chegou à **Líbia**, onde houve maior resistência por parte do governo do Coronel Muammar Kadhafi, no poder havia 45 anos, graças a golpe militar que prometia melhorias para a população, mas que se beneficiou amplamente com os recursos do petróleo. A característica do país de estrutura tribal, dividido em clãs que não mantinham boas relações com o governo, devido ao autoritarismo vigente, contribuiu para o início das manifestações em janeiro de 2011, na cidade de al-Bayda, que tiveram como resposta o bloqueio das comunicações virtuais (youtube e redes sociais) para evitar repercussões. Este fato causou mais insatisfação, e as milícias que combatiam o governo, começaram as primeiras manifestações na cidade de Bengazi, contra o desemprego e alto custo de vida. Contudo na Líbia, os protestos não foram pacíficos e o governo reagiu com violência, o que desencadeou uma guerra civil que se espalhou por todo o país.

Conforme Visentini (2012, p.140):

Em 20 de fevereiro de 2011, no início da guerra civil que se estenderia até outubro, as forças antikaddafi anunciaram, na cidade de Bengazi, a formação do Conselho Nacional de Transição da Líbia, a “face política da

revolução”, o qual se declarou, em 5 de maio, “o único órgão legítimo representando o povo e o Estado líbio”, apelando aos demais países por seu reconhecimento como tal.

Entretanto as forças kadafistas continuaram avançando sobre os insurgentes, só sendo barrados em março com o início dos bombardeios realizados pela OTAN, autorizado pelo Conselho de Segurança da ONU. Porém os conflitos se intensificaram em várias cidades, e se prolongavam, pois Kadhafi rechaçava todas as propostas de cessar fogo. Em agosto, no auge da escalada de violência, Trípoli foi tomada pelos rebeldes que centraram forças no último reduto **pró-Kadhafi** – Sirte – que só veio a capitular em outubro, e onde após semanas de perseguição, o ditador foi localizado e executado sumariamente.

A onda de protestos se expandiu pelo Magreb e na **Argélia** ocorreram muitos protestos na tentativa de depor o presidente Abdelaziz Bouteflika que governava o país havia 12 anos. Porém o governo agiu rápido, colocou a polícia nas ruas e ordenou a prisão dos líderes do movimento. Passou a controlar mais ativamente o trabalho da imprensa que trabalha sobre um regime de liberdade controlada. E para contornar a situação, o presidente determinou o fim do estado de emergência e utilizou as receitas oriundas da exportação de petróleo para implantar medidas favorecendo a população.

A situação no **Marrocos** foi um pouco diferente, mas também ocorreram protestos, sobretudo em Casablanca, porém, o rei Mohammed VI, no comando do país havia 12 anos, contava com a simpatia da população, devido aos enormes subsídios dados aos produtos alimentícios e alguns bens de consumo. Para contornar a situação, em 01 de julho de 2011, o rei Mohammed VI autorizou a realização de plebiscito para promover mudanças na constituição, reduzir os poderes da monarquia e reforçar os poderes do parlamento e a eleição de um primeiro-ministro. Com essas medidas, o rei conseguiu a aprovação de 98% da população e o Marrocos voltou à normalidade.

Do norte da África os protestos chegaram ao Oriente Médio, na sequência da expansão, atingindo Síria, Iêmen, Omã, Bahrein, e Jordânia.

Na **Síria** o presidente **Bashar al-Assad**, (malauita), no poder a cerca de 15 anos, de forma ditatorial, devido ao seu relacionamento com o Hamas, o Hezbollah, a Jihad Islâmica e outros grupos palestinos radicais, sofre sanções

estadunidenses, mas ainda assim conseguiu a reaproximação com diversos países, inclusive o próprio Estados Unidos e a União Europeia, mas novos confrontos internos foram pretexto para novas sanções estadunidenses.

Em março de 2011, como reflexo da onda de mudanças levantadas pela Primavera Árabe, na cidade de Da'ra, no sul do país, a população foi às ruas para pedir o fim do estado de emergência, a legalização dos partidos políticos e a expulsão de oficiais corruptos do governo. À semelhança da Líbia, os protestos se espalharam por várias cidades, e o governo reagiu com violência, o que não intimidou os manifestantes, levando-o a agir de forma ainda mais brutal. Entretanto com receio de que o país mergulhasse em uma guerra civil, o poder central concordou em fazer algumas concessões para compensar a insatisfação popular (por exemplo, suspendeu o estado de emergência em vigor por 48 anos). Apesar disso, as manifestações que já aconteciam há pelo menos dois anos não cessavam, mas o presidente continuou resistindo, segundo Visentini (2012, p. 147), “Alegando estar enfrentando gangues terroristas armadas e acusando parte da comunidade internacional de insuflar esses grupos contra a autoridade nacional e conspirar contra o país”.

Esta resistência de forma truculenta, mantinha a ordem malauita do Partido Baath, e apesar dos aspectos autoritários, era benéfica para a região. Isso ficou comprovado quando a rebelião se propagou por todo o país, e o governo perdeu o controle da situação, com a infiltração entre os revoltosos (na maioria sunita), de terroristas internacionais (ligados ao Estado Islâmico), o que levou a guerra civil, e ao fortalecimento do E.I., com a anexação da parte leste da Síria ao Califado.

As revoltas também chegaram à **Jordânia**, onde os manifestantes, em Amã, pediram mais democracia, mas não exigiram a saída do rei Abdullah II, do reino Hashemita, e no poder desde 1999, quando assumiu após a morte do pai o rei Hussem. O rei Abdullah II pertence ao clã Hashim, o mesmo clã do Profeta Maomé. Para apaziguar os ânimos dos manifestantes, o rei prometeu adotar o sistema de governo parlamentarista, com essa atitude o rei conseguiu controlar a situação no país.

Em **Omã** a população também foi às ruas para reivindicar reformas políticas, aumentos salariais e democracia, o país é governado por Qaboos Bin Said, que está no poder a 41 anos. Os protestos começaram na cidade portuária de Sohar (norte), e chegaram à capital, Mascat. Ao contrário dos

protestos nos outros países árabes, em Omã os manifestantes não pediam a deposição do monarca e nem a queda do regime, mas melhores salários e um sistema mais democrático.

No **Iêmen**, país com predominância de populações rurais isoladas, distribuídas em 35 mil aldeias, e com apenas 30% de população urbana, contexto propício para atuação de grupos radicais, viveu dividido por questões ideológicas, com governo central ignorando os reais problemas estruturais. A economia é altamente dependente do petróleo, cujas rendas correspondem a 92% das exportações. O país sempre teve grandes problemas internos, inclusive separatismo com guerra civil, sendo território de forte presença da Al Qaeda.

No rastro da Primavera Árabe, o povo ocupou, em junho, as ruas da capital iemenita Sana'a, durante quatro meses. Os protestos exigiam a saída do presidente que reagiu pela força, mas os manifestantes não se intimidaram, realizaram ataques que o feriram seriamente. Após recuperação e refúgio na Arábia Saudita, retornou ao país gerando novos protestos, agravando a instabilidade política e os problemas já existentes, sobretudo com o crescimento da Al Qaeda. Assim Saleh concordou em deixar o poder em novembro, ficando o vice-presidente Abd-Rabbu Mansour Hadi, com a missão de formar governo provisório com a oposição, e convocar eleições presidenciais. Mohammed Basindwa foi nomeado Primeiro Ministro, com a missão de conciliar os interesses dos grupos do país e formar o governo de transição.

Em Omã, o governo vem modernizando o país, adotando medidas de melhorias sociais e de infraestrutura, produzindo um crescimento econômico, baseado na extração de petróleo, de padrão chinês, atualmente estabilizado em 4%. A economia vem sendo diversificada com investimentos no turismo e em novas indústrias.

O minúsculo sultanato insular do **Bahrein** é governado a 228 anos pela Família Al Khalifa, de origem sunita. Apesar de constituir a minoria numérica da população, ainda assim controla a maioria xiita que constitui 70% da população. Em 2006, o Rei Hamad Bin Isa Al-Khalifa, que comandava o país havia 8 anos, promoveu mudanças constitucionais, atendendo às reivindicações da maioria xiita que conseguiram eleger um representante legal na figura de um primeiro-ministro, porém na prática a eleição serviu apenas para acalmar os ânimos da oposição xiita, pois não diminuiu

o poder do rei. Como a maioria dos países da região, 80% das receitas são provenientes da extração de petróleo, embora a sua produção seja muito menor que as apresentadas pelas outras petromonarquias. O crescimento econômico que vem ocorrendo na última década, não conseguiu resolver o problema da alta taxa de desemprego que atinge o mundo árabe como um todo. O problema afeta diretamente a maioria xiita que cansada de esperar por mudanças, também foi às ruas em fevereiro de 2011 para exigir o direito de maior participação política com um representante na figura de um primeiro-ministro com poder de decisão. Quando começaram os protestos, a Arábia Saudita enviou tropas para sufocar o movimento, aparentemente por solidariedade dinástica e para evitar contágios, pondo a situação sob controle.

Assim o movimento se expandiu porque durante décadas a realidade árabe se resumia à falta de democracia, falta de oportunidade, corrupção, urbanização descontrolada, exclusão social e política, pobreza, desemprego e subemprego. Os árabes precisaram apenas de um gesto de heroísmo, para promoverem “A Primavera Árabe”, que retrata a insatisfação com a realidade vivida durante décadas. Esse movimento certamente promoverá uma nova configuração geopolítica no Mundo Árabe.

Segundo Farah, (2011, p. 51), no artigo,

As revoluções árabes e a longa angústia da unidade”, Al-Faqih afirma que, “acima de tudo, trata-se de um momento histórico, política e culturalmente, que revigorou no Mundo Árabe a ideia de unidade árabe, sob a liderança dos próprios povos árabes desta vez. (...).

Porém, para Visentini (2012, p. 158):

A mídia mundial procurou passar uma imagem de que se tratava “de uma forma espontânea de luta política, possibilitada pela tecnologia da informação”. Mas chama atenção que os slogans, os logos, a adoção de uma cor ou flor padrão (com um kit completo que inclui camisetas, bandeiras, faixas e balcões, que lembram as convenções partidárias dos EUA) (...). Assim, como dizia o presidente norte-americano Franklin Roosevelt, “em política nada acontece por acidente. Se alguma coisa acontece, você pode ter certeza que foi planejado.

É importante observar que a mobilização pacífica foi um dos elementos da Primavera Árabe, com inspiração na Estratégia de Mudança de Regime (*Regime Change*) as chamadas “Revoluções Coloridas”, que já fora utilizada anteriormente de forma bem planejada para provocar mudanças de regimes políticos desgastados, que se tornaram indesejáveis às grandes potências. Inicialmente essa estratégia foi utilizada para derrubar os regimes comunistas do leste europeu que perderam o apoio de Gorbachov, especialmente na Alemanha Oriental e na Tchecoslováquia (Revolução de Veludo). Posteriormente, a estratégia foi empregada com sucesso na Sérvia em 2000 (Revolução Bulldozer), na Geórgia em 2003 (Revolução Rosa), na Ucrânia em 2004 (Revolução Laranja), no Líbano (Revolução Cedro) e no Quirquístão (Revolução Tulipa) em 2005. Em 2011 chegou aos países árabes com maior abrangência, recebendo o suporte da divulgação através da internet, da telefonia celular e das redes sociais.

Segundo os professores G. Sussman e S. Krader, da Portland State University/EUA, (apud Visentini, 2012, p. 158):

“as Revoluções Coloridas não são espontâneas, mas resultado de uma vasta planificação. Os Estados Unidos, em particular, e seus aliados exerceram nos Estados pós-comunistas uma impressionante gama de pressões e utilizaram financiamentos e tecnologias a serviço de ‘apoio à democracia’”.

Reforçando esta afirmativa, existe no Catar um canal de televisão via satélite, que teve e tem papel fundamental na abertura política do mundo árabe, e que é financiado pelo governo. Para os governos autoritários da região, o canal foi um dos culpados pela instabilidade de onde surgiu a Primavera Árabe. Tendo em vista a forte aliança do país com o EUA, é possível a influência deste no levante promovido pela onda de mudanças de 2011.

Avaliando as implicações geopolíticas

No começo da Primavera Árabe, ninguém poderia imaginar que os protestos na Síria, se prolongariam por tanto tempo, um país-chave do equilíbrio geopolítico do Oriente Médio, localizado entre Turquia, Jordânia, Israel e Iraque. É quase impossível determinar qual será o desfecho da guerra civil que se instalou na Síria, pois o presidente Bashar al-Assad se mantém inflexível. Segundo Visentini (2012, p. 147) “o presidente não afirma ter a

intenção de se afastar do poder até o fim do seu mandato, alegando estar enfrentando gangues terroristas armadas e acusando parte da comunidade internacional de insuflar esses grupos contra a autoridade nacional e conspirar contra o país.” Em junho de 2014, Bashar al-Assad, foi eleito para o seu terceiro mandato como Presidente da Síria. Atualmente, se tornou um aliado contra o Estado Islâmico. No Conselho de Segurança, Estados Unidos, França e Reino Unido apoiaram em 2013, a resolução proposta pela Liga Árabe sobre a renúncia de Assad e transição pacífica na Síria, porém enfrentam resistência por parte da Rússia e China, geopoliticamente mais próximos à Síria. Em março de 2015, os conflitos completaram dois anos, e ao longo deste período os combates entre o governo sírio e os opositores evoluíram para uma sangrenta guerra civil. Nos últimos meses deste mesmo ano, o governo de Bashar al-Assad passou a combater os insurgentes, utilizando mísseis de alta letalidade - incluindo os Scuds, bombas de fragmentação e incendiárias, que provocaram mortes tanto de civis quanto de militares, com saldo total até o presente momento de mais de 200 mil pessoas desde o início do conflito em março de 2011, segundo a ONU.

Os conflitos também provocaram um grave problema social para a região, pois, no relatório (dezembro/2014) do Alto Comissariado das Nações Unidas para Refugiados - ACNUR, Intitulado “Living in the Shadows” (“Vivendo na Sombra”, em português), consta 3,8 milhões de sírios já registrados como refugiados e outras 12 milhões de pessoas deslocadas precisando de assistência dentro da Síria. Estes refugiados buscaram proteção na Turquia, Líbano, Jordânia (que desde o fim de 2014 estão fechando as fronteiras) e outros países, o que agravou ainda mais a situação. As mudanças provocadas pela Primavera Árabe geraram uma delicada situação para a região do Oriente Médio.

Na intenção de combater o Exército Nacional Sírio, formado por desertores das Forças Armadas Oficiais e também por opositores jihadistas, ligados a *Al-Qaeda*, o governo sírio conta com a ajuda dos iranianos e integrantes do grupo libanês *Hezbollah*. Os opositores ampliaram o seu peso militar e político, e ocuparam Aleppo e outras cidades no norte do país, intensificando os atentados a bomba em regiões urbanas.

Em matéria publicada em 10 de Março/2013 em O Estadão, Simon relata que,

“Segundo o último relatório do Conselho de Direitos Humanos da ONU, supervisionado pelo brasileiro Paulo Sérgio Pinheiro, é crescente a presença nas fileiras rebeldes de fundamentalistas islâmicos vindos do Norte da África e mesmo do Ocidente. Analistas estão certos de que esses grupos são armados e financiados por países da Península Arábica”. (O Estado de São Paulo, 10 Março/2013, 02h04).

Esses grupos terminaram dominando uma parte do país que foi incorporada ao Estado Islâmico, califado estabelecido por Abu Bakr al-Baghdadi, composto e apoiado por vários grupos terroristas sunitas insurgentes.

Neste contexto a situação da Líbia, durante quatro décadas governada por Muammar Kadhafi, que controlava a população e grande quantidade de recursos do petróleo, não foi diferente. A **Guerra Civil Líbia** ou **Revolução Líbia**, como foram denominados os conflitos no país, foi marcada por muita violência. O Coronel Kadhafi, lançou mão das forças leais e contratou mercenários nos países vizinhos para combater os insurgentes. Devido à gravidade da situação fez-se necessária a intervenção das forças militares da OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte), comandadas, principalmente, pela frente da União Europeia.

O assassinato de Muammar Kadhafi em outubro de 2011, mergulhou a Líbia num caos e provocou muitas mudanças, entre elas a queda do exército, o desequilíbrio da administração pública e das instituições. O vazio foi preenchido a duras penas por um novo governo que vem encontrando muita dificuldade para restabelecer a paz no país, pois precisa combater a forte presença de todos os tipos de milícias locais e regionais, muitas infiltradas por grupos islamitas radicais que orquestraram vários atentados e ataques contra os serviços de segurança e contra representações de países ocidentais.

A Líbia agora tem um novo nome “**Estado da Líbia**”. O Conselho Nacional de Transição (CNT) realizou eleições no ano de 2012, e a Aliança Força Nacional, do ex-premier Mahmoud Jibril, sagrou-se vitoriosa e passou a controlar 39 das 80 cadeiras do Parlamento e planejando formar um grupo de 60 pessoas para redigir a nova Carta. No entanto, a falta de experiência dos congressistas, não conseguiu resolver velhos problemas que persistem no novo/velho país, tais como a ação de milícias, a presença de jihadistas, as rixas tribais e o enorme fluxo de armas. Em junho de 2014 foi realizada a segunda eleição nacional desde a derrubada de Kadhafi, porém, os islamitas

e as milícias tribais que se espalharam pelo país, expulsaram o Parlamento da capital Trípoli, poucos meses depois deste ser eleito.

Segundo James Robbins, Correspondente para Assuntos Diplomáticos da BBC News, “A Câmara dos Deputados foi forçada a um exílio interno, reunindo-se na cidade de Tobruk, perto da fronteira leste da Líbia. Os islamitas têm a sua própria legislatura alternativa em Trípoli, o Conselho Nacional Geral”.

Segundo Ian Pannell, Correspondente internacional da BBC. "(A Líbia) Tem um primeiro-ministro que representa o governo reconhecido pela comunidade internacional, no leste do país. E tem outro primeiro-ministro (...), que não é reconhecido pela comunidade internacional e que governa no oeste, sob a bandeira (da coalizão) 'Amanhecer'".

Os desdobramentos da Revolução no Egito, denominada **Dias de Fúria**, **Revolução de Lótus** e **Revolução do Nilo**, também foram tumultuados. A população tinha como objetivo principal acabar de uma vez por todas com a longa ditadura de *Hosni Mubarak*. Os protestos se iniciaram em 25 de Janeiro de 2011 e se encerraram em 11 de Fevereiro do mesmo ano. Em uma tentativa frustrada, Mubarak anunciou que não se candidataria em novas eleições e dissolveu todas as frentes de estruturação do poder, porém não conseguiu convencer os opositores das suas reais intenções, sendo deposto, e em Junho de 2011.

Foram realizadas eleições e Mohammed Morsi conseguiu vencer duas eleições: aquela que o colocou no poder e a que aprovou a sua nova Constituição. Entretanto teve de enfrentar uma insatisfação da oposição heterogênea e fortalecida, um poder Judiciário rebelde, e um exército poderoso que se considerava como garantia da segurança no país e que interviu, promovendo a queda de Morsi, reprimindo manifestações, rasgando a constituição e elegendo em agosto de 2013, o general golpista como presidente. Desde 1991 com o fim da URSS, não aconteciam significativas mudanças na geopolítica do Oriente Médio, quando surgiram novos países na Ásia Central e no Cáucaso e suas incorporações ao Grande Oriente Médio. Com essa nova configuração a região deixou de ser apenas um ponto geográfico de contato entre três continentes, ganhando destaque como uma zona desorganizada e rica em petróleo, que desperta o interesse das

grandes e médias potências, devido a esse bem mineral, e a localização estratégica que podem assegurar o desenvolvimento asiático, os interesses europeus e a influência americana.

Com essa nova configuração geopolítica, a Turquia agora precisa competir com o Irã e Israel para ocupar a posição de potência regional, uma situação que desagradava aos EUA que considera Israel, mais um problema regional do que um aliado útil, e vêm tentando impedir o avanço europeu no Oriente Médio. A crise econômica americana e europeia vem fortalecendo a rivalidade entre Estados Unidos e a Europa.

A atuação do BRICS nos últimos anos no Oriente Médio e África despertou o interesse dos estrategistas americanos, que não consideravam uma ameaça a ascensão dos BRICS. Entretanto um novo cenário se configura em um jogo de poder e na disputa por liderança que podem ameaçar o equilíbrio mundial. É preciso cautela, pois essas rivalidades podem resultar em uma guerra de maiores proporções. Entretanto, as grandes decisões não serão baseadas somente em conspirações e na grande diplomacia, porque as transformações, provocadas pela Primavera Árabe, estão modificando as populações do mundo árabe, e as interferências externas tem provocado resultados desastrosos, como o surgimento do Estado Islâmico.

Considerações finais

À medida que se avançava na pesquisa, mas claro se delineava que a “A Primavera Árabe” era uma orquestração direta ou indireta dos Estados Unidos, ao contrário do que a mídia procurava divulgar no início do movimento, de tratar-se de uma iniciativa do povo árabe para reclamar os seus direitos. Na verdade a estratégia era anular regimes desgastados e adversos ao contexto político vigente, utilizando tecnologia (mídias digitais, facebook, internet, celulares, redes sociais), uma nova roupagem, mas extremamente evidente de que existiu “algo propulsar” e dois pontos devem ser destacados. Primeiro essas tecnologias não são de fácil acesso nestes países, segundo, como haver um levante intercontinental sem a existência de um líder? Na primeira questão, podemos tomar o exemplo do Iêmen, onde a grande maioria da população é pobre, vive na zona rural, em locais isolados e de difícil acesso, portanto, não teria como organizar movimentos tão grandiosos e com efeitos tão imediatos. Com relação a segunda questão, como os Estados Unidos não queriam assumir o fomento

aos conflitos, porque havia o risco da situação fugir ao controle o que realmente aconteceu em alguns países (Afeganistão e Iraque), teriam que assumir o prejuízo da perda de importantes parceiros no mundo árabe e precisariam conquistar novos aliados, muito provavelmente, através da utilização da tecnologia, fomentaram o levante dos jovens das cidades que serviram de multiplicadores, já que a insatisfação era latente.

Os países árabes tiveram a sua formação como estados iniciadas muito recentemente, em alguns casos no pós Primeira Guerra Mundial e pós Segunda Guerra Mundial, quando conquistaram a independência da França ou da Grã-Bretanha, porém, muitos dos governantes desses países recebiam apoio político, militar e/ou financeiro dos Estados Unidos e de países europeus. Em todos eles, os governantes assumiram o poder através de golpes de estados ou foram elevados à condição de governantes sob a tutela dos Estados Unidos, se sentiam seguros para governar com autoritarismo, camuflando o descaso com o alto nível de pobreza, desemprego, injustiças sociais e falta de liberdade impostas à população. Para assegurar a permanência no poder, era comum a construção de acordos firmados entre os governantes e pequenos grupos de privilegiados que gozavam da amizade e da generosidade do governo em troca de favores e apoio político. O governo por sua vez, fazia uso das benesses conquistadas com as receitas do petróleo e praticavam livremente as atrocidades e desmandos, sem sofrer nenhuma censura, e ao mesmo tempo mantinha o controle da população, não lhes permitindo se expressassem livremente. As pessoas sentiam insatisfação e desconforto, mas não demonstravam, pois se sentiam inseguras e temiam a presença de agentes do governo infiltrados entre as pessoas comuns, prontos para denunciar os insurgentes que ousassem demonstrar insatisfação com as condições impostas pelo governo central. Embora insatisfeitas com as condições em que viviam, com a falta de oportunidade, empregos, melhores condições de vida, e liberdade de expressão, ainda assim, todos se submetiam à tirania, e assistiam ao enriquecimento dos governantes, de forma pacífica, pois sabiam que nada poderiam fazer para mudar a situação. As pessoas não se manifestavam por temerem as punições, na forma de prisão ou mesmo o ‘desaparecimento’ de maneira inexplicada (eliminação sumária), visto que para muitos deles, essa realidade era a única da qual tinham conhecimento.

Dos países envolvidos na Primavera Árabe existem aqueles onde houve queda do regime e aqueles onde os antigos governantes permaneceram no poder. No primeiro grupo, a **Tunísia** depois de um período de instabilidade, o partido mais religioso Enhada e os partidos mais seculares chegaram a um acordo para uma Constituição liberal para padrões do mundo árabe, e pode-se considerar que está em uma transição para a democracia. O **Egito** tem uma nova ditadura militar, ainda mais repressiva do que o antigo regime de Mubarak. Apesar disso, o novo regime do general Sissi é popular. Por enquanto, estão distantes da democracia. Na **Líbia** – Há um governo em transição para a democracia. Mas o Estado é fraco e incapaz de manter a ordem em uma nação controlada por milícias radicais, sendo algumas delas ligadas à Al Qaeda. O **Iêmen** também segue em direção à democracia e tem muito mais liberdade do que nos tempos de Abdullah Saleh. Os problemas do país já existiam no antigo regime – rebeldes houthis no norte, presença da Al Qaeda em áreas rurais do país e separatismo no sul.

Entre os países do segundo grupo, a **Síria** está imersa em uma violenta guerra civil, com parte do território tomado pelo Estado Islâmico - EI, completamente destruída e sem rumo. O **Líbano** única democracia do mundo árabe antes de 2011, está instável com a guerra civil no país vizinho, conflitos sectários e a presença de 1 milhão de refugiados. As divisões políticas seguem acentuadas, mas segue democrático. No **Marrocos** importantes reformas foram implementadas pela monarquia, mas a democracia ainda é uma realidade distante. A **Argélia** apesar do susto do movimento de 2011, mantém o regime militar que controla firmemente as investidas dos fundamentalistas. Em **Omã** a monarquia autocrática do sultão Qaboos serve hoje como o mediador dos conflitos na região, mas internamente não há liberdades democráticas. No **Bahrain** a monarquia sunita dos Al Khalifa praticamente entregou a segurança do país para os sauditas, reprimindo com violência a maioria xiita e grupos pró-democracia. Por fim, na **Jordânia** depois de protestos contra o regime do rei Abdullah, houve uma estabilização devido ao temor da população de transformar o país em uma nova Síria ou Iraque.

Ainda não é possível prevê como e nem quando a situação será “normalizada” ou qual será a nova configuração no mundo árabe. Os povos do mundo árabe estão vivenciando uma situação totalmente nova para

eles, pois milhões deles estão vivendo pela primeira vez em situação de liberdade. Talvez demore alguns anos até se acostumarem com essa nova condição, visto que ao longo da história eles foram subjugados pelos colonizadores, pelas monarquias ou por governos ditatoriais. Seja qual for o desfecho da Primavera Árabe, no balanço final as populações desses países, formada na sua grande maioria por jovens desempregados e sem esperança de um futuro digno, serão os grandes beneficiados, pois terão conquistado a independência de fato, é verdade que irão contabilizar algumas dezenas de milhares de mortos e desaparecidos, mas sairão fortalecidos e preparados para lutarem por seus direitos e não se submeterem mais a governos ditatoriais.

No nosso ponto de vista, a simbiose entre religião e Estado é um dos grandes problemas do mundo árabe. Para manter o “status quo”, os ditadores usam a religião para manipular a população, se perpetuar no poder, e coibir o surgimento de oposição e de cabeças pensantes.

Referências

- Costa, W. M. (2008). *Geografia Política e Geopolítica*. 2ª Ed. São Paulo: EDUSP.
- Farah, P. D. (2011). *A primavera Árabe no Machreq, Maghreb e Khalij: motivações e perspectivas*. Política Externa: Repercussões da Primavera Árabe. São Paulo. Paz e Terra. 20(1), 45-55, jun/jul/ago.
- Kamel, Ali. (2007). *Sobre o Islã, afinidade entre muçulmanos, judeus e cristãos e as origens do terrorismo*. Rio de Janeiro. Nova Fronteira.
- Kreutzfeld, J. (2015). IN: www.geografia-ensinareaprender.blogspot.com. Acesso em 03 fev.
- Lannes, S. B. (2013). *A formação do Império Árabe-Islâmico: história e interpretações*. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Lewis, B. (1982). *Os Árabes na História*. Lisboa: Ed. Nova História.
- Meyer, M. (2015). IN: www.geografia-marciameyer.blogspot.com/.../oriente-mapa-medio-politico.html. Acesso em 31 jan.
- Pannel, I. (2015). IN: www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2015/01/150159libia_ei_f. Acesso em: 01 fev.
- Seda, Pete. (2005). *O Islão é Uma introdução ao Islão e aos seus princípios*. IN: www.islamhouse.com. Acesso em 15.02.2015.

Simon, R. (2015). <http://internacional.estadao.com.br/noticias/geral,crise-siria-faz-2-anos-sob-silencio-da-onu-imp-,1006738>. Acesso em: 10 abr. 2015.

Tv Cultura. (2011). *Primavera Árabe (Documentário)*. São Paulo.

Visentini, P. F. (2012). *A primavera árabe: entre a democracia e a geopolítica do petróleo*. Porto Alegre. Leitura XXI.

Yapp, M.E. (2015). www.britania.com/place/Ottoman-Empire. Acesso em 12.03.2015.

Sittes: <http://www.alikamel.com.br/artigos/iraque-e-motorista-jordaniano.php>. Acesso em: 09 fev. 2015.

<http://terra.com.br/noticias/infograficos/protestos-mundo-arabe>. Acesso em: 05 jan. 2013.

www.exame.abril.com.br. Acesso em: 26 jan. 2015.



ESTUDIOS DE CASO

CASE STUDIES

Competitividad y Sustentabilidad de las Ciudades Petroleras de México: Diagnóstico y Retos

Competitiveness and Sustainability of Oil Cities in Mexico: Diagnosis and Challenges

Jaime Torres-Fragoso¹
Universidad del Istmo, Oaxaca, México

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.5>

RESUMEN

En la presente investigación se realiza un análisis de los indicadores de competitividad y sustentabilidad de las ciudades petroleras de Coatzacoalcos, Minatitlán, Salamanca, Tehuantepec-Salina Cruz y Tula, el cual comprende su posición a nivel nacional y un ejercicio comparativo entre ellas. Este trabajo se justifica primeramente por el significativo aporte que históricamente han tenido estas urbes en la economía local, regional y en general de México, y, por otra parte, por la severa crisis que experimentan desde 2015 a raíz del desplome de los precios internacionales del petróleo. Asimismo, se exploran algunas de las variables que permiten explicar los niveles de competitividad registrados en estas ciudades y algunas de las posibilidades que, en materia de política pública, disponen para atender los importantes retos que enfrentan en estos momentos.

Palabras clave: competitividad, sustentabilidad, ciudades petroleras, México.

ABSTRACT

This research article analyzes the indicators of competitiveness and sustainability of oil cities such as Coatzacoalcos, Minatitlan, Salamanca, Tehuantepec-Salina Cruz and Tula. This analysis includes their respective positions at a national level and a comparative exercise between them. This

1 Doctor en Ciencias Políticas y Sociales por la UNAM. Se desempeña como profesor-investigador en la Universidad del Istmo, Oaxaca, México. Dirección electrónica: jaimetorres@bianni.unistmo.edu.mx.

Fecha de recepción: 4 de abril de 2017
Fecha de aceptación: 30 de mayo de 2017

work is justified primarily by the significant contribution that these cities historically have had in the local and regional economy, and in Mexico in general. On the other hand, it is justified by the severe crisis experienced since 2015 following the collapse of the international price of oil. Likewise, the paper explores some of the variables that explain the competitiveness levels registered in these cities and some of the possibilities that, in matters of public policy, are available to address the major challenges they face in these moments.

Keywords: competitiveness, sustainability, oil cities, Mexico.

Introducción

A nivel internacional México es un país poco competitivo; el informe 2016 de las economías más importantes del mundo, elaborado por el IMD Centro de Competitividad Mundial (IMD World Competitiveness Center), así lo corrobora. Este estudio, elaborado por el centro de investigación del IMD Business School desde 1989, analiza 61 naciones y se divide en cuatro ejes: desempeño económico, eficiencia gubernamental, eficiencia en los negocios e infraestructura. Según esta investigación, los cinco países más competitivos en 2016 resultaron ser: 1. China Hong Kong, 2. Suiza, 3. Estados Unidos, 4. Singapur y 5. Suecia, mientras que los menos competitivos fueron: 56. Grecia, 57. Brasil, 58. Croacia, 59. Ucrania y 61. Venezuela. México se ubicó tan sólo en la posición 45, lo que le permite superar, además de Brasil y Venezuela, a otras naciones de América Latina como Colombia (lugar 51), Perú (posición 54) y Argentina (lugar 55), sin embargo, se encuentra muy rezagado respecto a Chile, que se ubicó en el lugar 36. Independientemente de lo anterior, hay un dato que resulta desconcertante: mientras que Argentina subió cuatro lugares respecto a 2015, Colombia y Perú conservaron sus posiciones y Chile y Brasil descendieron un lugar, México descendió seis lugares, lo que supone la mayor caída en la región y una de las mayores en el mundo² (IMD World Competitiveness Center, 2016).

Bajo una perspectiva sistémica, lo anterior amerita realizar análisis, digamos que internos, acerca de la competitividad de las regiones y zonas metropolitanas de México. Particularmente si pensamos en las grandes ciudades como producto y productoras a la vez del desarrollo económico e industrial, además de espacios centrales de decisión política y

2 Esto independientemente del muy particular caso de Venezuela, cuyo gobierno, tan alejado de los preceptos de la competitividad (basta recordar la escasez de productos básicos), ha propiciado una crisis social, política y económica que permite comprender, fácilmente, que en ambos años ocupe la última posición.

administrativa de gobiernos y empresas (Varela, 2015). Sin embargo y tal como lo comenta el mismo autor, la concentración de riqueza, los ingresos y las oportunidades son muy asimétricas en las grandes urbes de América Latina, además de que en muchas de ellas se ha presentado un deterioro de las condiciones ambientales. En contraposición a ello, la adecuada gestión de las zonas metropolitanas depende de su capacidad de entendimiento de los cambios sociales, económicos y políticos, y con ello generar programas de innovación y aprovechamiento de las ventajas competitivas. En tal sentido, los factores estratégicos del desarrollo urbano vendrían siendo la relación entre poblaciones, territorios y economía, la logística e infraestructura urbana, la responsabilidad política por parte de los gobiernos locales, la coordinación de políticas y la garantía de los derechos humanos y el acceso a oportunidades bajo capacidad institucional (Varela, 2015, p. 219). Como un elemento esperanzador, el efecto más relevante a raíz de la globalización de los mercados es el resurgimiento del poder político de los gobiernos locales y un papel revitalizado de las regiones, las zonas metropolitanas y las ciudades.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo central de esta investigación es realizar, con base en la información contenida en el Índice de Ciudades Competitivas y Sustentables (ICCS), un análisis de la competitividad y sustentabilidad de las zonas metropolitanas petroleras de México. Para ser incluidas en este estudio, estas metrópolis debían satisfacer dos criterios: tener entre cien mil y quinientos mil habitantes y contar con una refinería petrolera.³ Entonces, el estudio comprende las ciudades de Coatzacoalcos y Minatitlán (Veracruz), Salamanca (Guanajuato), Tehuantepec-Salina Cruz (Oaxaca) y Tula (Hidalgo). De manera específica, se consideró su desempeño respecto al resto de las poblaciones de tamaño similar en el país y entre ellas mismas. La investigación también pretende explorar las causas de ese desempeño y con ello constatar si en ellas están presentes los elementos que, de acuerdo a Varela (2015), definen el nuevo perfil de los gobiernos locales y las zonas metropolitanas. Por otra parte, en sentido

3 Se eligió ese rango de población debido a que la mayoría de las ciudades petroleras de México se ubican en él. A pesar de no contar con una refinería, se incluyó a Coatzacoalcos por ser una ciudad con una gran tradición petrolera y poseer los complejos petroquímicos más importantes del país. En cambio, no se incluyeron las ciudades de Cadereyta, Nuevo León ni Ciudad Madero, Tamaulipas, debido a que los índices consultados ubican a la primera como parte de la zona metropolitana de Monterrey y a la segunda dentro de la de Tampico-Pánuco, cuyas poblaciones las dejan fuera del rango de estudio.

inverso, este ejercicio podría ayudar a ratificar la afirmación de Moreno (2008) en el sentido de que el desarrollo regional en México presenta distorsiones causadas por una desproporcionada concentración económica, centralización de las decisiones políticas y una inequitativa distribución de los beneficios.

Estas metas se consideran relevantes dado el valioso aporte que, históricamente, ha representado la industria petrolera en la economía mexicana y de manera más específica, el de esta industria en la actividad económica de las ciudades y entidades federativas en donde se ejecutan sus procesos extractivos o de transformación. Fines que cobran más sentido si reparamos en las circunstancias por las que atraviesan desde hace varios meses estas ciudades a raíz de su desplome económico originado por la caída de los precios del petróleo, fenómeno que contribuyó a que Petróleos Mexicanos (Pemex) sufriera un recorte presupuestal de 100 mil millones de pesos en 2016 (Acosta, 2016). Esta crisis ha provocado que metrópolis otrora prósperas y pujantes, fundamentalmente de los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche, como Tampico, Ciudad Madero, Poza Rica, Coatzacoalcos, Minatitlán, Ciudad Pemex y Ciudad del Carmen (tan sólo en este lugar se perdieron alrededor 30,000 empleos y cerca de 1,000 empresas vieron disminuidos sus ingresos) redujeran drásticamente sus actividades productivas y, por consiguiente, la demanda de servicios se redujera a su mínima expresión, lo que exige su diversificación económica en lo inmediato.

Lo anterior exige el análisis particular de las causas de la crisis por la que atraviesan las ciudades petroleras, las razones de la disminución de sus niveles de competitividad y algunas de las posibles alternativas en materia de política pública para enfrentar esta coyuntura. La estrategia metodológica de este trabajo se sustenta en la revisión y análisis documental (Luna, 2011) y, para alcanzar los propósitos planteados, se divide en dos grandes apartados. El primero de ellos representa la sección teórico-descriptiva, fundamentalmente en lo que concierne a la explicación de las características esenciales del ICCS, así como al comportamiento en él de las ciudades analizadas; previamente se examina el concepto de competitividad, enfatizando en la competitividad territorial. El segundo capítulo describe dos de las variables explicativas que se han identificado como relevantes para entender el desempeño de las ciudades petroleras: 1. El Índice de Competitividad

Estatad (ICE), ya que una hipótesis de trabajo es que la competitividad de los estados o entidades federativas donde se ubican las zonas metropolitanas evaluadas representa un factor exegético para entender la competitividad de estas últimas y 2. El dominio demostrado, respecto a los temas de competitividad y sustentabilidad medioambiental, en los planes de desarrollo municipal de las urbes en estudio. Enseguida se presenta la sección de conclusiones, donde se incorporan una serie de reflexiones finales y algunas posibles alternativas en materia de política pública.

I. Medición de la competitividad y sustentabilidad de las ciudades petroleras mexicanas

1. Concepto de competitividad territorial

A pesar de que no hay unanimidad de criterios respecto a su definición, el concepto de competitividad es muy empleado para comparar el desempeño económico de las unidades de análisis, ya sean empresas, industrias, países, estados, ciudades o regiones (Garduño, Ibarra y Dávila, 2013; Morales de Llano, 2014). En tal sentido, para el Instituto Mexicano de la Competitividad (IMCO), ésta se entiende como la capacidad de los estados para atraer y retener inversiones y talento, para lo cual se requiere maximizar el potencial socioeconómico de las empresas y de las personas que en ellos radiquen a través de políticas públicas pertinentes (IMCO, 2014). Bustamante y Bustamante (2008) coinciden con esa apreciación, ya que, para ellos, la competitividad consiste en la capacidad de un territorio para generar condiciones de entorno favorables, de tal forma que empresas locales, nacionales e internacionales se instalen en él. Agregando que la competitividad territorial pretende maximizar las oportunidades de interacción y de innovación de los agentes económicos.

Para Porter (1990), uno de los investigadores pioneros en esta materia, la competitividad consiste en la capacidad para mantener o elevar la participación en los mercados internacionales y, simultáneamente, incrementar el nivel de vida de las personas, siendo el aumento de la productividad la única vía para acceder a ella. Este autor reconoce que los salarios, la rentabilidad, la distribución del ingreso, la calidad del medio ambiente, los niveles de gobernabilidad y las libertades y derechos de la población, inciden de manera significativa en la productividad y, por extensión, en la competitividad. Al

mismo tiempo, la productividad determina los niveles salariales, es decir, el nivel de vida de las personas, y las ganancias respecto al capital invertido. A pesar de que este autor subraya que la noción de competitividad empresarial es clara, mientras que la de competitividad nacional no lo es, y que son las empresas, no los países lo que compiten en los mercados globales, el papel que juega el gobierno como promotor de la competitividad de las naciones no debe ser menospreciado (Porter, 1990). Para él, el rol que debe asumir el sector público es el de ser un agente catalizador y promotor de un mayor desempeño competitivo de las empresas, a través de políticas públicas que generen un ambiente en el que éstas puedan tener ventajas competitivas.

Como lo apunta Suñol (2006) y coincidiendo con Porter, el logro de una auténtica competitividad requiere de la implementación de políticas públicas efectivas de parte de los gobiernos. Así como se ha planteado en varios foros, se espera que tales políticas, como la promoción de la apertura comercial, los apoyos al desarrollo científico y tecnológico y la desregulación económica, brinden estabilidad macroeconómica y eficiencia microeconómica. Por consiguiente, como lo advierte Sobrino (2005), la competitividad de un país depende de la eficiencia de sus empresas, de las políticas públicas para incentivar el crecimiento económico y de la capacidad de sus principales ciudades para atraer nuevas inversiones que promuevan la generación de empleos y el desarrollo local.

Así como lo manifiesta Silva (2005), si bien es cierto que son las empresas las que compiten, su capacidad de competir se puede acrecentar si el lugar donde se asientan facilita esa acción y si, a la vez, ellas también asimilan la importancia de ser empresas “del territorio” en lugar de ser empresas “en el territorio”. Idea que guarda paralelismo con la de Perroux, quien reconoce la existencia de “industrias locomotoras”, las cuales son empresas o industrias que impulsan el crecimiento de otras y, por consiguiente, la formación de polos de desarrollo (Moreno, 2008). Coincide también con las de Bustamante y Bustamante (2008) respecto a la importancia de que las empresas construyan redes de interacción y de innovación junto a otras. En tal sentido, por competitividad urbana se entiende la capacidad de una ciudad para producir bienes y servicios para los mercados nacionales e internacionales y, al mismo tiempo, de promover el crecimiento económico local, la mejora en la calidad de vida de la población y el desarrollo sostenible. Como lo propone Sobrino (2005), su

comportamiento depende de la interacción de tres tipos de ventajas competitivas: empresariales (eficiencia y productividad de las empresas ubicadas en la ciudad), territoriales (tamaño de la ciudad, mercado de trabajo, oferta de suelo industrial, estructura económica local, desempeño de los gobiernos locales) y distributivas (referidas a las condiciones que ofrece la ciudad para la distribución de los productos, como su posición geográfica).

2. Índice de Ciudades Competitivas y Sustentables (ICCS)

A partir de 2013, el Banco Nacional de México (BANAMEX), en coordinación con varias organizaciones públicas, como el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS), y privadas, como el ya citado IMCO y el Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C. (CMM), elabora anualmente el ICCS, el cual evalúa la competitividad y la sustentabilidad de las ciudades mexicanas, con la intención de reconocer y difundir prácticas exitosas de gobiernos municipales que, a la postre, impacten positivamente en la calidad de vida de la población. El ICCS está compuesto por el Índice de Competitividad Urbana (ICU) del IMCO, que examina las condiciones estructurales para la competitividad de cada ciudad, y por el Índice de Desempeño Ambiental (IDA) del CMM, que estima cuantitativamente las variables ambientales y de sustentabilidad. Tal como se aprecia en la Tabla 1, el ICCS agrupa 15 subíndices, de los cuales 9 se vinculan a la competitividad y 6 a la sustentabilidad, los cuales a su vez se integran por indicadores pertinentes de acuerdo con las temáticas evaluadas. En síntesis, se trata de modelos que extraen datos de la realidad para simplificarla por medio de técnicas estadísticas que identifican elementos representativos de información. Una vez realizados los cálculos para obtener el ICU y el IDA, la calificación de ambos índices se pondera de acuerdo con la metodología del modelo para obtener el Índice de Ciudades Competitivas y Sustentables, cuya escala de calificación, para facilitar su aplicación y comprensión, va de 0 al 100 (BANAMEX, BANOBRAS E INFONAVIT, 2014; BANAMEX, 2015).

Tanto en 2014 como en 2015, participaron en el estudio 78 ciudades (que básicamente son las que conforman las 59 zonas metropolitanas identificadas por el INEGI y la CONAPO y las capitales de los estados no incluidas en ellas) con más de 100,000 habitantes, asentadas en un total de 379 municipios. Con la finalidad de hacer una comparación más objetiva,

las ciudades fueron clasificadas de acuerdo con el tamaño de su población. En la Categoría A aparecen las ciudades con una población mayor a 1 millón de habitantes; en la Categoría B figuran las ciudades cuya cifra de pobladores va de los 500 mil a 1 millón; mientras que en la Categoría C se ubican las ciudades con poblaciones de 100 mil a 500 mil habitantes.

Tabla 1. Índices y subíndices del ICCS

Índice Subíndice Índice Subíndice	
ICU 2015 (JMCO)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema de derecho confiable y objetivo 2. Sociedad incluyente, preparada y sana 3. Sistema político estable y funcional 4. Gobiernos eficientes y eficaces 5. Mercado laboral 6. Economía estable 7. Sectores precursores 8. Aprovechamiento de las relaciones internacionales 9. Innovación en los sectores económicos
	IDA 2015 (CMM)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uso del agua 2. Calidad del aire 3. Suelo y áreas verdes 4. Residuos sólidos urbanos 5. Uso de energía 6. Movilidad y transporte

Fuente: BANAMEX, 2015.

3. Comportamiento de las ciudades en estudio de acuerdo con el ICCS

En 2014, de las 42 ciudades Categoría C participantes (de entre 100 mil y 500 mil habitantes, como ya se apuntó), las que ocuparon las cinco mejores posiciones en el ICCS fueron Los Cabos, Ciudad del Carmen, Puerto Vallarta, La Paz y Colima-Villa de Álvarez, ubicadas, respectivamente, en los lugares 5, 8, 13, 15 y 17 a nivel nacional. Mientras que las peor calificadas en esta categoría y en todo el país (acompañadas de Poza Rica, que está en la Categoría B) resultaron ser Tecomán, La Piedad-Pénjamo, Ocotlán, San Francisco del Rincón y Ciudad Obregón. En lo que corresponde a 2015, de 41 ciudades analizadas en la Categoría C, Zacatecas-Guadalupe, Guanajuato, Salamanca, Monclova-Frontera y Puerto Vallarta obtuvieron las mejores calificaciones en el ICCS, en sentido inverso, Cárdenas, Nuevo Laredo, Tecomán, Rioverde-Ciudad Fernández y Tulancingo se situaron en los últimos lugares. Respecto al ICU, en 2015 las ciudades de Los Cabos, La Paz, Campeche, Zacatecas-Guadalupe y Mazatlán resultaron las mejor ubicadas, en cambio, Rioverde-Ciudad Fernández, Tehuacán, Tulancingo, La Piedad-Pénjamo y Cárdenas, obtuvieron las menores calificaciones. En cuanto al IDA, Salamanca, Tehuacán, Tepic, San Francisco del Rincón y

Cuautla, ocuparon los primeros lugares en ese año, y Los Cabos, Manzanillo, La Paz, Campeche y Cárdenas, los últimos.

En lo que respecta específicamente a las ciudades consideradas en esta investigación (ver Figura I), en 2014 y 2015 casi todas se ubicaron en una posición media en cuanto a los índices de competitividad y sustentabilidad, y por tanto también en el ICCS. Respecto al ICU,⁴ y aunque las diferencias no son muy notables, Coatzacoalcos resultó ser la urbe más competitiva en ambos años (además de que muestra una trayectoria ascendente), particularmente en los siguientes indicadores: sistema político estable y funcional, gobiernos eficientes y eficaces, mercado laboral, economía estable y sectores precursores⁵.

Figura 1. Ubicación de las principales ciudades petroleras de México



Fuente: Barboza (2015).

4 Como bien lo refieren Garduño, Ibarra y Dávila (2013), este índice, que fue presentado por el IMCO en 2012, presenta varias ventajas en su estructura, metodología y representatividad.

5 Este indicador incluye los siguientes sectores: financiero, telecomunicaciones y de transporte, los cuales potencian el desarrollo de los restantes sectores económicos.

Si se fija el 2015 como año de referencia, Coatzacoalcos alcanzó el octavo lugar, superando a núcleos urbanos como Guanajuato, Guaymas, Colima y Los Mochis, lo cual es muy meritorio. Después de esta ciudad se ubicó Salamanca (posición 20), que incrementó su nivel de competitividad con relación a 2014 gracias a un buen desempeño en sistema de derecho confiable y objetivo, sociedad incluyente, preparada y sana, aprovechamiento de las relaciones internacionales e innovación en los sectores económicos. Simultáneamente, Salamanca mostró un nivel insatisfactorio en dos indicadores: sistema político estable y funcional, y sectores precursores. A continuación, aparece Minatitlán (lugar 22), cuyos registros, además de considerarse como promedio, se mantienen prácticamente estáticos. En tanto que Tehuantepec-Salina Cruz y Tula, cuyo desempeño se puede considerar como bajo (alcanzaron las posiciones 26 y 31, respectivamente), son las dos ciudades petroleras con menor ICU. Tehuantepec-Salina Cruz mantuvo en 2015 el nivel mostrado en 2014, en donde se observa un manejo adecuado en cuanto a sistema de derecho confiable y objetivo, y en aprovechamiento de las relaciones internacionales, a la vez que una gestión insatisfactoria en sistema político estable y funcional, junto a la innovación en los sectores económicos. Mientras que Tula disminuyó ligeramente su nivel de competitividad, con un manejo inadecuado de los siguientes indicadores: gobiernos eficientes y eficaces, mercado laboral, economía estable, aprovechamiento de las relaciones internacionales e innovación en los sectores económicos. En contraparte, muestra un buen desempeño en sistema político estable y funcional (ver Tabla 2).

Con relación al IDA, destacan las acciones que en este rubro implementa Salamanca, lo que permite situarla en el grupo de ciudades con alta sustentabilidad merced a su buena gestión en cuanto a calidad del aire (cuenta con un marco institucional avanzado en esta materia, una unidad administrativa especializada, un programa de gestión denominado ProAire, además de un sistema de monitoreo y difusión de datos casi en tiempo real), agua (específicamente en 2015), suelo y áreas verdes. Esto permitió ubicar a Salamanca como la primera en IDA en 2015 dentro de la Categoría C y tercera a nivel nacional. El resto presenta registros que se pueden considerar como insatisfactorios (particularmente Tehuantepec-Salina Cruz y Tula), sin embargo, en términos generales hay una notable mejoría en 2015, lo cual es meritorio por tratarse de ciudades que albergan grandes

refinerías petroleras. En dicho año, atrás de Salamanca se ubicaron las ciudades veracruzanas, en primer término, Minatitlán (posición 20 de 41 ciudades analizadas), seguida muy de cerca por Coatzacoalcos (lugar 22); detrás de ellas se ubica Tula (que se situó en el lugar 25). Estas últimas tres ciudades han demostrado mejorías significativas en lo que respecta a calidad del aire, áreas verdes y movilidad y transporte, aunque presentan problemas en el uso del agua. Finalmente aparece Tehuantepec-Salina Cruz (posición 32), núcleo urbano que comparte las mejoras en los rubros antes señalados pero que, además del agua, tiene dificultades serias en la gestión de residuos sólidos urbanos, las cuales se originan desde hace muchos años atrás.

Tabla 2. Cálculo del ICU, IDA e ICCS de las ciudades en estudio

Indicador	Coatzacoalcos		Minatitlán		Salamanca		Tehuantepec-Salina Cruz		Tula	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
<i>Sistema de derecho confiable y objetivo</i>	61.0	60.7	58.9	59.3	63.9	67.3	66.6	65.5	60.4	58.7
<i>Sociedad incluyente, preparada y sana</i>	50.0	49.7	41.6	40.3	50.1	52.0	41.8	42.9	42.0	43.8
<i>Sistema político estable y funcional</i>	68.2	59.6	67.4	57.5	44.3	40.3	46.5	32.5	70.9	59.6
<i>Gobiernos eficientes y eficaces</i>	58.1	63.1	45.5	47.4	56.6	55.0	52.6	53.8	43.3	45.3
<i>Mercado laboral</i>	56.7	69.9	61.7	58.1	48.0	55.2	54.2	51.8	57.5	50.3
<i>Economía estable</i>	45.8	45.2	41.4	43.0	41.4	41.1	42.6	42.0	39.7	40.3
<i>Sectores precursores</i>	48.1	48.1	43.6	43.6	28.2	28.2	36.8	36.8	38.1	38.1
<i>Aprovechamiento de las RR internacionales</i>	12.5	22.2	9.2	17.1	18.8	28.7	16.5	27.8	3.5	3.5
<i>Innovación en los sectores económicos</i>	9.7	9.1	9.7	8.5	5.2	16.3	5.6	2.7	5.4	5.2
ICU	45.7	47.8	41.9	41.7	39.7	42.6	40.4	40.0	39.7	38.3
<i>Uso del agua</i>	67.2	54.6	63.3	47.5	27.7	59.3	72.6	41.9	62.4	48.5
<i>Cantidad del aire</i>	25.0	47.4	25.0	48.7	98.0	70.2	25.0	43.8	0.0	50.9
<i>Suelo y áreas verdes</i>	23.3	48.9	29.2	47.9	45.0	58.8	5.0	40.8	31.0	43.4
<i>Manejo de residuos sólidos urbanos</i>	54.4	48.9	43.3	44.3	73.3	46.3	63.3	34.9	43.3	45.9
<i>Uso de energía</i>	61.1	45.0	61.7	52.6	56.7	52.6	61.1	59.8	58.7	45.9
<i>Movilidad y transporte</i>	---	46.8	---	54.1	---	51.2	---	66.5	---	53.1
IDA	46.2	48.5	44.5	49.1	60.1	55.9	45.4	46.7	39.1	47.8
ICCS	46.0	48.1	42.2	45.2	49.9	48.8	42.9	43.2	39.4	42.8
Lugar	22	7	33	21	9	3	31	32	36	35

Fuente: Elaboración propia en base a BANAMEX, BANOBRAS E INFONAVIT, 2014; BANAMEX, 2015. El ICU 2014 se calculó a partir de la ponderación de los subíndices de competitividad del modelo. El IDA 2014 se obtuvo con la media aritmética de los subíndices (los datos coinciden con la información gráfica presentada en el documento). Hasta 2014, el IDA se identificaba como ISA (Índice de Sustentabilidad Ambiental), que no incluía movilidad y transporte.

Los resultados generales, es decir, del ICCS, señalan que, por las causas comentadas atrás, Salamanca es la ciudad petrolera más competitiva y sustentable, ocupando los lugares nueve y tres, respectivamente, en los años 2014 y 2015 dentro de la Categoría C, lo que la ubica en los primeros lugares. En resumen, Salamanca es una localidad con un nivel medio de competitividad, un alto nivel de sustentabilidad y que despliega una tendencia global positiva (ver Tabla 3). Con base en lo explicado en párrafos anteriores, después aparece Coatzacoalcos, que en 2014 se ubicó en la posición 22 a nivel global y en 2015 logró el sitio número 7, lo que permite colocarla en el conjunto de ciudades líderes de la Categoría C. Así, Coatzacoalcos es una ciudad que muestra una tendencia favorable en sus indicadores, con un alto nivel de competitividad, y un nivel medio en lo correspondiente a sustentabilidad. Enseguida aparece Minatitlán, ciudad vecina de Coatzacoalcos, y que alcanzara el sitio 33 en 2014 y el 21 en 2015, lo que la ubica en una posición intermedia. El análisis realizado permite afirmar que Minatitlán es una urbe con niveles medios en competitividad y sustentabilidad ambiental, pero con una tendencia positiva. Después se ubicó la zona metropolitana de Tehuantepec-Salina Cruz que se instaló en lugares secundarios: 31 y 32, de manera respectiva, en los años 2014 y 2015 en el ICSS; como ya se observó, manifiesta un nivel medio en competitividad y bajo en sustentabilidad, aunque su tendencia es positiva. Finalmente, también en lugares bajos, se ubica la ciudad de Tula, cuya baja competitividad y sustentabilidad ambiental media, le ubican en los lugares 36 y 35, respectivamente, en 2014 y 2015, mostrando una tendencia también positiva, fundamentalmente por sus gestiones en materia ambiental.

Tabla 3. Resumen del comportamiento de las ciudades en estudio

Ciudad	Competitividad	Sustentabilidad	ICCS	Tendencia
Coatzacoalcos	Alta	Media	Alto	Positiva
Minatitlán	Media	Media	Medio	Positiva
Salamanca	Media	Alta	Alto	Positiva
Tehuantepec-S. Cruz	Media	Baja	Bajo	Positiva
Tula	Baja	Media	Bajo	Positiva

Fuente: Elaboración propia

II. Explicación de la competitividad de las ciudades petroleras mexicanas

1. La competitividad de las entidades federativas

Un referente obligado para entender la competitividad de una ciudad o municipio, en una república federal como México, lo constituye la competitividad de la entidad federativa a la cual pertenece. Tal y como se puede constatar en el trabajo de Moreno (2008), con la de 2014 el IMCO ha presentado cinco ediciones del Índice de Competitividad Estatal (ICE), mismo que se conforma por 89 indicadores, agrupados en 10 subíndices, los cuales miden diferentes aspectos de la competitividad de las 32 entidades federativas que integran la república mexicana, fundamentalmente su capacidad para atraer y retener capital humano y proyectos de inversión (ver Tabla 4). Para fines de evaluación, el ICE otorga una calificación de 0 a 100 a cada estado por cada factor de competitividad y de manera global.

Tabla 4. Subíndices del ICE

Subíndice	Indicadores representativos
Sistema de derecho confiable y objetivo	Tasas y número de delitos, percepción de seguridad pública, cumplimiento de contratos
Manejo sustentable del medio ambiente	Áreas naturales protegidas, tasa de reforestación, tratamiento de aguas residuales, sobreexplotación de acuíferos, residuos sólidos
Sociedad incluyente, preparada y sana	Acceso a servicios de salud, agua potable, esperanza de vida, mortalidad infantil, analfabetismo, escolaridad, ingreso, pobreza
Sistema político estable y funcional	Participación ciudadana, percepción de corrupción en gobierno y partidos políticos, participación de mujeres en el Congreso
Gobiernos eficientes y eficaces	Información presupuestal, calidad de gobierno electrónico, apertura de un negocio, ingresos propios, empleos informales
Mercado laboral	Eficiencia terminal en secundaria y preparatoria, absorción en educación superior, atracción de talento, ingreso laboral medio
Economía estable	Crecimiento del PIB, PIB per cápita, deuda pública per cápita, dependencia económica, participación laboral
Sectores precursores	Carreteras pavimentadas, tráfico aéreo, cobertura de telefonía móvil, viviendas con internet, captación de ahorro
Aprovechamiento de las relaciones internacionales	Exportaciones, inversión extranjera directa, flujo de visitantes extranjeros, ingresos por turismo
Innovación en los sectores económicos	Patentes, investigadores, empresas certificadas con ISO 9000 y 14000, instituciones científicas, diversificación económica

Fuente: Elaboración propia con base en IMCO (2014)

El ICE 2014 señala que entre 2010 y 2012, las entidades mejor posicionadas resultaron ser el Distrito Federal (nombrada por decreto, desde enero de 2016, como Ciudad de México), Baja California Sur, Aguascalientes, Nuevo León y Querétaro, mientras que las menos competitivas⁶ resultaron ser Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Tlaxcala y Durango. En lo que concierne a las entidades federativas vinculadas a las localidades participantes en la presente investigación (ver Tabla 5), se observa que Guanajuato es la más competitiva, al ocupar el lugar 15 a nivel nacional, lo cual es consistente con el resultado a nivel ciudad, donde Salamanca resultó ser la mejor posicionada. Después de Guanajuato se ubicaron en lugares muy próximos Hidalgo y Veracruz (posiciones 24 y 26). Los resultados relativos en Veracruz guardan correspondencia con el análisis por ciudad, ya que después de Salamanca, las más competitivas y sustentables resultaron ser Coatzacoalcos y Minatitlán; no ocurre lo mismo con la ciudad representante de Hidalgo, ya que Tula es la ciudad petrolera con menor ICCS y registra además una de las notas más bajas a nivel nacional en su categoría. Finalmente aparece el estado de Oaxaca, el más rezagado en el estudio y uno de los menos competitivos a nivel nacional (lugar 31, sólo superando a Guerrero); lo que ocurre en esta entidad permite comprender, en buena medida, la insatisfactoria posición de Tehuantepec-Salina Cruz en materia de competitividad y sustentabilidad.

Tabla 5. Competitividad en las entidades federativas de las ciudades estudiadas

Estado	Posición 2010	Posición 2012	Puntaje 2012
Guanajuato	16	15	46.4
Hidalgo	23	24	41.8
Veracruz	25	26	40.0
Oaxaca	31	31	34.2

Fuente: Elaboración propia con datos del IMCO (2014)

6 No sería exagerado sugerir que el instrumento revisado se nombrara como Índice de Competitividad y Sustentabilidad Estatal, ya que tal como se revisó, uno de sus subíndices corresponde al manejo sustentable del medio ambiente. Asimismo, esto brinda consistencia al ejercicio comparativo entre entidades federativas y ciudades.

2. La concepción de la competitividad y del desarrollo sustentable a nivel municipal

Una manera de entender la forma en que los gobiernos locales conciben la competitividad y la sustentabilidad ambiental, así como la importancia que dedican a estos temas por medio de medidas específicas, es la revisión de los instrumentos de planeación municipal. Por lo tanto, a continuación, se presenta un análisis de los diagnósticos, objetivos, estrategias y acciones que, en tales materias, se incorporan en los planes de desarrollo municipal vigentes.

2.1. Coatzacoalcos

a. Competitividad

El diagnóstico institucional contenido en los apartados correspondientes al empleo y productividad, así como al turismo, comercio y competitividad, integrantes del primer eje rector, desarrollo económico, del Plan Municipal de Desarrollo 2014-2017, parte de reconocer la importancia comercial del municipio de Coatzacoalcos y su consolidación como un importante centro para los negocios en una escala regional, estatal y nacional con base en su infraestructura para el transporte terrestre y marítimo. Entre los problemas detectados figura la insuficiente generación de empleos en la región, lo que provoca la expulsión de mano de obra calificada. En el ramo turístico se menciona la necesidad de construir y darle mantenimiento a ciertas instalaciones, a la par de generar una nueva cultura de servicio entre las organizaciones y personas involucradas en esta actividad, lo que contribuya a situar a Coatzacoalcos como destino turístico de primer orden. Como una medida para generar más y mejores empleos se creó la Dirección de Mejora Regulatoria, que se pretende impacte de manera positiva en los sectores económicos y gubernamentales, además de que se estableció el objetivo de crear un centro virtual empresarial. Mientras que entre las ventajas identificadas se cita su privilegiada ubicación geográfica, su conectividad, su amplia infraestructura urbana y turística, y la gran industria petroquímica (encabezada por Pemex Petroquímica y 25 empresas privadas) instalada en el municipio (Gobierno Municipal de Coatzacoalcos, 2014).

Con base en lo anterior, entre los objetivos estratégicos de este eje aparecen el fortalecimiento del autoempleo y el apoyo para la instalación de pequeñas y medianas empresas, el aumento de la productividad en todas las esferas económicas como vía para acceder a una mayor competitividad, el fomento de una cultura emprendedora, la generación de una cultura de calidad en la atención en las empresas de servicios, el posicionamiento de Coatzacoalcos como destino de negocios, la ampliación y modernización de las instalaciones petroquímicas, la consolidación de la ciudad como destino turístico, la diversificación de las actividades económicas, la promoción de nuevos parques industriales, la atracción de inversión privada local, regional, estatal y nacional, la reducción de trámites para la apertura de nuevas empresas. Entre los programas y acciones contempladas para materializar estos objetivos se pretende gestionar la construcción del museo de la ciudad, habilitar el mirador turístico y el malecón antiguo, elaborar la guía turística de la ciudad, remodelar el centro de la ciudad, potenciar las inversiones en el ramo petroquímico⁷, gestionar la construcción de una planta de cianuro de sodio, elaborar un directorio empresarial y actualizar el padrón de proveedores y prestadores de servicios, crear el centro de negocios empresarial, crear un manual de trámites empresariales, impartir conferencias de cultura emprendedora y competitividad a micro y pequeñas empresas y jóvenes emprendedores, ofrecer cursos de capacitación al sector hotelero y de restaurantes, coordinar la celebración de ferias de empleo y la impartición de talleres para autoempleo, realizar el Encuentro Internacional del Mar y la expo feria, además de remodelar los mercados de la ciudad.

En lo que respecta al quinto eje rector, nombrado gobierno eficiente y moderno, el documento plantea entre otros aspectos, impulsar un manejo más transparente, adecuado y austero de los recursos públicos, además de la prestación de servicios con mayor calidad, lo que implica la agilización de los trámites que realizan los ciudadanos y empresas. Para cumplir con estos compromisos se resalta el aprovechamiento de las tecnologías de la información y la comunicación bajo los siguientes esquemas: gobierno-ciudadanos, gobierno-empresas, gobierno-municipio y gobierno-otros

⁷ Lo que contemplaba la realización del proyecto Etileno XXI y la modernización de la empresa Petroquímica Mexicana de Vinilo, operada por Pemex en conjunto con la compañía Mexichem. Desafortunadamente esta acción no se podrá cumplir debido a la explosión de la planta Clorados III, que era parte de la empresa petroquímica, acaecida el 20 de abril de 2016 y que dejara un saldo de 32 personas fallecidas.

niveles de gobierno. Entre los objetivos estratégicos de este eje se destacan el incrementar la calidad de los servicios públicos que proporciona el Ayuntamiento, optimizar los recursos disponibles, mejorar la simplificación administrativa en todos los trámites, así como fomentar la participación ciudadana mediante el uso de medios electrónicos (Gobierno Municipal de Coahuila, 2014).

b. Sustentabilidad medioambiental

El diagnóstico que se presenta en los apartados correspondientes al tercer eje rector, desarrollo urbano, ecología y medio ambiente, identifica problemáticas como carencia de planeación urbana del uso de suelo y reserva territorial, además de la inexistencia de reglamentación en materia de desarrollo urbano y sustentabilidad. Asimismo, necesidades como incrementar la cobertura de los servicios de infraestructura vial, drenaje y alcantarillado, agilizar los servicios de limpia y alumbrado, desarrollar un programa de mantenimiento de pavimentos asfálticos e hidráulicos, así como mejorar el equipamiento urbano y su respectiva conservación. En lo que corresponde al cuidado del medio ambiente, se detectan retos mayores como la contaminación atmosférica generada por los complejos petroquímicos, los cuales, junto a otras industrias, comercios y hogares, por medio de sus descargas de agua, también producen contaminación en el río Coahuila, el mar y arroyos, que además de dañar los recursos naturales, impacta negativamente en la sustentabilidad de la industria pesada y turística. Se advierte por tanto que se requiere realizar el saneamiento de los mantos freáticos y cancelar las descargas de desechos sanitarios e industriales al mar y al río. De manera particular, la contaminación causada por la industria petrolera está afectando la viabilidad de la actividad pesquera de la región. Otra amenaza lo representa el desabasto de agua en temporadas de estiaje, misma que se ha agudizado por la dependencia con la presa Yuribia.

Para enfrentar dicha problemática, se distinguen estrategias como el concientizar a la ciudadanía respecto al correcto uso del agua, fortalecer la cultura de cuidado del medio ambiente entre la población, verificar y fomentar el cumplimiento de las normas ambientales, proteger las áreas reservadas de preservación ecológica, coordinar la restauración de la cuenca baja del río Coahuila y reforestar la zona urbana del municipio. Con estas estrategias se pretende acompañar más de 30 programas y acciones, entre las

que destacan el proyecto de mejora de la imagen urbana, el establecimiento del IMPLAN (Instituto Municipal de Planeación), el programa de mantenimiento a las vialidades con superficie de concreto hidráulico y asfáltico, la gestión para la conclusión del túnel sumergido hacia Villa Allende, la rehabilitación del puente Coatzacoalcos I y el acceso al recinto portuario, la construcción, ampliación y modernización de diversos circuitos viales, la identificación de nuevas fuentes de abastecimiento de agua, la rehabilitación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Villa Allende, la construcción del relleno sanitario y estación de transferencia con saneamiento del actual basurero, el programa de reforestación, la rehabilitación de la imagen urbana del municipio y el mejoramiento del sistema de recolección y limpia pública (Gobierno Municipal de Coatzacoalcos, 2014).

2.2. Minatitlán

a. Competitividad

El eje rector cuatro del Plan Municipal de Desarrollo 2014-2017, correspondiente al desarrollo económico, ofrece un diagnóstico muy escueto, sin embargo, en él se indica que se orientarán esfuerzos para contribuir al aumento de la productividad, la comercialización y la competitividad por medio de gestiones vinculadas a los servicios básicos, comunicaciones, mercados y aprovechamiento de la mano de obra local calificada. Lo anterior con el fin de incrementar las inversiones productivas, que puedan impulsar la creación de más empleos y mejor remunerados, donde el gobierno municipal funja como agente facilitador de las condiciones necesarias en infraestructura y servicios, y en cuyo manejo de las finanzas públicas prevalezcan principios como la transparencia, la certidumbre, la credibilidad y la confianza.⁸ El apartado de fomento económico plantea como objetivo el “contribuir al fortalecimiento de las actividades económicas desarrolladas en el municipio y, en coordinación con los gobiernos federal y estatal, incentivar nuevas actividades que permitan la generación de valor y de nuevos empleos” (Gobierno Municipal de Minatitlán, 2014,

8 Es necesario que estos valores imperen en Minatitlán, ya que dos recientes expresidentes municipales que ha tenido esta ciudad, Guadalupe J. Porras David (2008-2010) y Leopoldo Torres García (2011-2013), concluyeron sus gestiones en medio de fuertes críticas en materia financiera y legal, muy de la mano de los serios cuestionamientos hacia la administración del gobernador de Veracruz, Javier Duarte de Ochoa (2010-2016).

p. 76). Para su cumplimiento, se definen acciones como la vinculación con dependencias federales y estatales para el desarrollo del sector empresarial y la oferta de empleo, la simplificación de los trámites y tiempos para la apertura de negocios, la impartición de cursos de capacitación a empresarios y emprendedores, ciudadanos y servidores públicos con el objeto de que desarrollen, respectivamente, más habilidades en la administración de sus negocios, conocimientos para la creación de empresas comunitarias y una cultura de trabajo en equipo y servicio a la ciudadanía, y la creación de una oficina virtual de promoción económica.

Por otra parte, el apartado de competitividad hace referencia a la metodología y estudios generados por el IMCO, en tal sentido, indica como objetivo lo siguiente:

Generar el clima propicio que permita impulsar la competitividad municipal y mejorar la calificación y ubicación en la clasificación nacional, a partir de una mayor vinculación con instituciones educativas, dependencias públicas, organismos de seguridad y gestión de infraestructura, para atraer flujos de inversión, así como la vinculación intermunicipal a través de la articulación de cadenas productivas (Gobierno Municipal de Minatitlán, 2014, p. 81).

Sin embargo, las estrategias y acciones plasmadas para alcanzar tal objetivo son muy limitadas y poco precisas, consistiendo básicamente en la vinculación con instituciones educativas y organizaciones públicas y privadas para detectar demandas de empleo, aumentar la productividad de las empresas locales, gestionar proyectos, diseñar una agenda común en materia de competitividad local y regional, soportada por la construcción de un sistema de indicadores con la finalidad de darles seguimiento y evaluarlos periódicamente. Respecto al aporte de la administración pública y de los conceptos de la nueva gerencia pública, el documento menciona el compromiso de mejorar de manera sustancial la eficacia, eficiencia y calidad de los servicios públicos.

b. Sustentabilidad medioambiental

El plan de desarrollo municipal reconoce en el apartado de ecología y medio ambiente, integrante del segundo eje rector: espacio armónico, que en Minatitlán prevalece un grave problema de contaminación del

medio ambiente, generado por la actividad de la industria energética y la deficiente gestión de los residuos sólidos urbanos. Ante esto, se incorpora el objetivo de generar un cambio en la cultura ecológica en todos los actores sociales que permita concebir al municipio como un espacio armónico, ordenado, limpio y con sustentabilidad ambiental. Para alcanzarlo, se plantean acciones como la capacitación de servidores públicos en el manejo de residuos sólidos orgánicos, la promoción de la cultura del reciclaje en las escuelas, la instalación de botes de basura en las calles, la promoción del uso de la bicicleta, la concientización de la ciudadanía respecto a la importancia de no tirar basura en espacios públicos, el establecimiento de áreas naturales protegidas en el municipio y la promoción de programas de reforestación y de educación en materia ambiental. Además de lo anterior, en el marco de la estrategia de elaboración y/o actualización de la reglamentación municipal con apego a las leyes decretadas en otros niveles de gobierno, se plantea revisar, aprobar y protocolizar los reglamentos de limpia pública y ecología.

2.3. Salamanca

a. Competitividad

El Programa de Gobierno Municipal 2015-2018 ofrece una estructura interesante para identificar y abordar los principales problemas que aquejan al municipio de Salamanca, la cual se compone, una vez identificada la deficiencia, de retos, objetivos, estrategias e indicadores. El eje vinculado a la competitividad y a la economía, denominado Salamanca de Éxito, conformado por las áreas de desarrollo económico (retos 1 y 2), obras públicas (reto 3) y turismo (reto 4), señala problemáticas y desafíos como niveles de ingreso insuficientes en las familias, compromiso de generar más y mejores empleos (en lo general y de manera concreta para los jóvenes), lograr que el turismo constituya una mejor alternativa económica, necesidad de diversificar la economía, exigencia con relación a la mejora de la infraestructura vial (tanto en lo que corresponde a construcción como mantenimiento), así como en la calidad del transporte público. En la Tabla 6 se presentan las acciones planteadas para su tratamiento.

Tabla 6. Retos y estrategias en competitividad de Salamanca 2015-2018⁹

Reto	Objetivos centrales	Principales estrategias
1. Más y mejores empleos en Salamanca.	Impulso a empresarios locales y emprendedores para generar más empleos y cubrir la demanda en el municipio. Atracción de las inversiones.	Bolsa de empleo. Capacitación empresarial. Capacitación y certificación de oficios. Fomento al autoempleo. Semana de cultura laboral. Mejora regulatoria.
2. Más oportunidades económicas para los jóvenes.	Crear un entorno adecuado para el desarrollo de los jóvenes, sus aptitudes y actitudes de manera integral, así como vincularlos con grupos e instituciones empresariales.	Ayudar a los jóvenes en la búsqueda de empleo. Ferias de emprendedores. Capacitación a los jóvenes; cursos en línea y talleres presenciales.
3. Colocar a Salamanca en los ojos de Guanajuato, México y el mundo.	Impulso a la oferta turística del municipio y los prestadores de servicios.	Crear directorio de oferta turística. Mejorar la calidad de los servicios. Identificar y recomendar los puntos de interés turístico. Forjar sinergias entre las operadoras turísticas y las agencias de viajes locales.
	Infraestructura turística.	Gestionar ante SECTUR Guanajuato el recurso necesario para la PYME turística. Posicionar al municipio en turismo de congresos y convenciones ¹⁰ . Fomento, revitalización y preservación del patrimonio histórico, cultural y artístico.
	Promoción y difusión del turismo de Salamanca.	Página de promoción turística "Visita Salamanca". Generar información turística de la ciudad para plataformas electrónicas. Pasaporte turístico. Promoción en ferias y exposiciones.
4. Poner en marcha un plan de movilidad urbana.	Mejorar la estructura de vialidades para mejorar la movilidad en la ciudad.	Contratación de obras para la construcción de vialidades en función del programa general de obra pública, programa de bacheo, rehabilitación de caminos, canchas y espacios públicos.

Fuente: Gobierno municipal de Salamanca (2016)

9 Adicionalmente, el Plan Municipal de Desarrollo 2012-2035 identifica, en el eje económico, debilidades como una alta tasa de desocupación abierta, un muy bajo porcentaje de contribución del sector primario a la producción total, el predominio de agricultura convencional, la inexistencia de parques industriales y el que las universidades estén desvinculadas de las actividades productivas (Gobierno municipal de Salamanca, 2012).

10 Términos adaptados, ya que el documento original señala "turismo de reuniones".

b. Sustentabilidad medioambiental

El documento que se revisa subraya que en la ciudad de Salamanca se experimenta una problemática histórica en materia de medio ambiente, originada por su actividad industrial, la cual se ha enfrentado, siguiendo a Méndez (2015), con la generación de políticas públicas activas en la materia. En tal sentido, el eje de gobierno identificado como Calidad de Vida, Salamanca Para Todos, incorpora las acciones a cargo de la Dirección de Medio Ambiente, donde se destaca el reto de realizar acciones encaminadas a mejorar el hábitat del municipio y, para encararlo, se plantean estrategias como el dotar con más y mejores parques y jardines a la ciudad, estudios de impacto y regulación ambiental, además de educación y difusión ambiental. Cabe señalar que estas acciones guardan correspondencia tanto con el Programa de Gobierno 2012-2018 como con el Plan Estatal de Desarrollo visión 2035, cuya dimensión dedicada al medio ambiente hace referencia, entre otros aspectos, al desarrollo integral de regiones y ciudades, además de la disponibilidad y uso sustentable del agua.

2.4. Tehuantepec-Salina Cruz

A pesar de que conforman una sola área metropolitana, en realidad Tehuantepec y Salina Cruz son dos diferentes municipios, por lo tanto, se revisarán sus respectivos planes de desarrollo.

a. Competitividad

En el caso de Tehuantepec, el eje dos, correspondiente al desarrollo económico y competitivo, ofrece un análisis muy limitado, que se centra en las áreas de turismo, junto al comercio y servicios. En lo que respecta al turismo, se plantea como objetivo central el mejoramiento de la difusión de los atractivos turísticos existentes. Para alcanzarlo se identificaron las siguientes estrategias, las cuales carecen de precisión: la organización de eventos para difundir los atractivos turísticos, la creación de un mercado dedicado a la comercialización de artesanías locales, el fomento de la inversión turística y la elaboración de un reglamento turístico. En lo referente al comercio y los servicios, su objetivo central, de manera análoga que en el rubro turístico, expone las principales problemáticas a vencer: regular la actividad del comercio establecido y reducir el ambulante mediante la creación de reglamentos para inhibir la corrupción. El establecimiento

de foros de discusión entre vendedores ambulantes y la autoridad municipal para generar acuerdos, la realización de un inventario de locatarios en los mercados públicos y el establecimiento de horarios de atención en ellos, la actualización del padrón de negocios existentes, la incorporación de negocios informales al marco legal y el apoyo a pequeñas empresas, constituyen sus principales líneas de acción (Gobierno Municipal de Santo Domingo Tehuantepec, 2014).

En lo que respecta a Salina Cruz, el plan de desarrollo dedica el eje tres a la economía y la competitividad, donde se destaca la importancia estratégica de contar con un puerto de altura pero que ha quedado rezagado en lo que respecta a su nivel de equipamiento e infraestructura con relación a otros puertos; además se reconocen otros problemas como un alto nivel de desempleo y el predominio de modestas empresas familiares manufactureras, comerciales y de servicios, las cuales generan pocas fuentes de empleo, generalmente con salarios muy bajos.

Tabla 7. Objetivos y estrategias en competitividad de Salina Cruz 2014-2016

1. Sector productivo sólido, organizado y moderno		Líneas de acción
Objetivo	Estrategia	
Atraer inversiones y fomentar el desarrollo de empresas locales, además de impulsar la productividad y competitividad.	Actualizar el marco legal en materia de productividad Fomentar el sector productivo	<ul style="list-style-type: none"> * Implementar un sistema de información sobre las condiciones del sector productivo. * Regular el sector a través de políticas públicas de planeación productiva a largo plazo. * Estimular al sector, reduciendo los requisitos y tiempos de apertura de empresas y negocios. * Promover la cultura empresarial por medio de seminarios y conferencias con temáticas especializadas. * Participar en foros comerciales e industriales para promover las ventajas competitivas regionales. * Diseñar, ejecutar y evaluar proyectos productivos para integrar emprendedores al mercado laboral.
2. Desarrollo portuario e industria pesquera, sectores en marcha		
Reactivar la industria pesquera en el municipio y articular los mecanismos de participación municipal para potencializar los beneficios de las inversiones federales en materia portuaria.	Industria pesquera y desarrollo portuario consolidados	<ul style="list-style-type: none"> * Implementar un sistema de información actualizado sobre las condiciones del sector pesquero. * Generar programas de impulso al sector pesquero, gestionar apoyos ante organismos federales y estatales e impulsar los siguientes programas de pesca: Pesca ribereña, Pesca de alta mar, Censo de población pesquero (CEPOPESC), Programa de capacitación pesquera (PROCAPESC), Programa municipal de pescado popular (PROMUPESC), Programa de diésel marino (PRODIMASC). * Otorgar estímulos fiscales a la inversión, de tal forma que se instalen industrias vinculadas a la actividad portuaria.
	Sistemas de comercialización eficientes	<ul style="list-style-type: none"> * Apoyar a los productores a ubicar los canales de venta adecuados. * Implementar programas de apoyo para incrementar los niveles de producción.
	Reactivación del sector turístico	<ul style="list-style-type: none"> * Generar infraestructura turística para aprovechar de manera sustentable la riqueza natural existente, particularmente para la generación de turismo de aventura y/o ecoturismo.
3. Proyecto transístico y parque industrial		
Dinamizar el corredor transístico entre Salina Cruz y Coatzacoalcos, y desarrollar el parque industrial ubicado a un costado de la refinería Antonio Dovalí Jaime	Impulsar el establecimiento de nuevas industrias	<ul style="list-style-type: none"> * Promover un ordenamiento territorial legal con el fin de dar certeza jurídica a las inversiones. * Impulsar la creación de industrias locales. * Modernizar las ordenanzas municipales. * Participar en foros comerciales e industriales para presentar las ventajas competitivas del lugar.

Fuente: Gobierno municipal de Salina Cruz (2014)

De acuerdo con lo anterior y como se observa en la Tabla 7, se definieron tres áreas de atención: 1. Sector productivo sólido, organizado y moderno, 2. Desarrollo portuario e industria pesquera, sectores en marcha (sic) y 3. Proyecto transístico y parque industrial (Gobierno municipal de Salina Cruz, 2014).

b. Sustentabilidad medioambiental

En la ciudad que da nombre al Istmo de Tehuantepec, el diagnóstico y las acciones concernientes al medio ambiente también aparecen en el ya citado eje dos. Entre los problemas detectados aparecen la falta de regulación que se manifiesta en contaminación auditiva y visual, deforestación, contaminación de aguas de río y mar, inexistencia de una cultura de respeto por el medio ambiente, caza inmoderada de animales silvestres, presencia de tiraderos a cielo abierto. Ante ello, la generación de acciones que eviten la contaminación del medio ambiente por parte de ciudadanos y empresas, se plantea como el objetivo general, el cual se acompaña de actividades como la creación de mecanismos de concientización ciudadana, la ejecución de campañas de forestación, el fomento de una cultura del cuidado del agua, el desazolve de ríos, la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, así como la difusión de la legislación aplicable en la materia (Gobierno Municipal de Santo Domingo Tehuantepec, 2014).

En el caso de Salina Cruz, además de que la sustentabilidad medio ambiental figura como una de sus políticas transversales (aunque sin señalar acciones concretas), el primer eje de desarrollo municipal, referido a la política social, incorpora como tercera estrategia, dentro del área de atención en salud, el medio ambiente sustentable. Entre sus líneas de acción se incluye la reglamentación en materia de asentamientos humanos y crecimiento urbano, a fin de contar con áreas forestales protegidas y, por consiguiente, mejor calidad del aire; la implementación de programas de reforestación y cuidado del agua en planteles educativos; la comunicación de programas de capacitación a la población en materia de manejo y separación de residuos sólidos y cultura del reciclaje; así como la construcción de un relleno sanitario, una planta de tratamiento de basura y la adquisición de camiones de basura especializados (Gobierno municipal de Salina Cruz, 2014).

2.5. Tula

a. Competitividad

El segundo eje rector del Plan Municipal de Desarrollo 2012-2016 se identifica como Competitividad para el Desarrollo Económico, e incorpora las siguientes áreas temáticas: 1. Promoción a la inversión y al empleo, 2. Desarrollo agropecuario sustentable (agricultura y ganadería), 3. Infraestructura industrial y opciones productivas, 4. Promoción y servicios turísticos y 5. Comercio y abasto municipal. El incrementar la presencia de la industria en el municipio y con ello promover la creación de fuentes de empleo estables y bien remuneradas en todos los sectores productivos, es el objetivo estratégico de la tercera área temática (cabe señalar que la primera no indica objetivos ni estrategias de acción). Entre las estrategias de acción perfiladas para alcanzar los objetivos generales: desarrollo industrial sustentable y consolidación de la nueva refinería bicentenario¹¹, se mencionan:

- Promover la instrumentación de acciones de apoyo para las micro, pequeñas y medianas empresas con el fin de mejorar su competitividad y fortalecer la generación de empleos.
- Ejecutar una campaña de promoción y atracción de la inversión productiva.
- Promover la simplificación de trámites y reducción de tiempos para la creación de empresas.
- Fortalecer los programas de apoyo a la capacitación y certificación de competencias laborales.
- Fomentar el autoempleo por medio de cooperativas y pequeña empresa (Gobierno Municipal de Tula de Allende, 2012).

Respecto a la promoción y servicios turísticos, se apunta que el objetivo estratégico es el incrementar y consolidar el turismo con la intención de generar empleos y con ello contribuir al desarrollo del municipio. Las siguientes son algunas de las estrategias de acción diseñadas con la finalidad de alcanzar la consolidación del municipio como destino turístico, objetivo general de esta área temática: promover al municipio como

¹¹ Proyecto que, dada la coyuntura económico-financiera por la que atraviesa el país, se puede considerar como cancelado.

destino turístico, participando en ferias y exposiciones estatales y nacionales; impulsar la competitividad del sector, mediante la complementación de infraestructura turística; impulsar la formación de una cultura de atención al visitante, la capacitación del personal involucrado y la promoción y desarrollo de los productos y servicios que ofrece la industria turística.

b. Sustentabilidad medioambiental

El tercer eje rector del documento analizado lleva el título de Desarrollo Municipal Ordenado y Sustentable, y aglutina las áreas temáticas siguientes: 1. Servicios públicos integrales y de excelencia, 2. Municipalización y concesión de servicios públicos, 3. Municipio con perspectiva metropolitana, 4. Medio ambiente y recursos naturales, 5. Obra pública municipal y 6. Desarrollo urbano municipal. El objetivo de la cuarta área es el lograr una convivencia armónica de la ciudadanía con su medio ambiente, estableciendo las condiciones necesarias para garantizar un desarrollo integral sustentable; entre sus líneas de acción destacan:

- Promover una política ambiental para el desarrollo sustentable, que garantice a la población la protección y preservación de los recursos naturales.
- Integrar a la agenda municipal el cambio climático como eje estratégico y transversal de todas sus actividades.
- Implementar mecanismos de verificación ambiental de automotores e industrias.
- Promover programas de ahorro, acciones de eficiencia energética y nuevas tecnologías en la administración municipal.
- Identificar áreas de conservación y no urbanizables.
- Desarrollar un plan integral de manejo de áreas verdes.
- Realizar actividades que promuevan la educación y cultura ambiental en la ciudadanía (Gobierno Municipal de Tula de Allende, 2012).

Adicionalmente, en la primera área temática se plantea la promoción de la sustentabilidad de los servicios de agua potable mediante la participación de la sociedad, además de mantener libres de basura los espacios públicos del municipio, procurando un manejo integral y sustentable de los residuos. La Tabla 8 ofrece un resumen de las fortalezas y debilidades de las ciudades petroleras mexicanas expresadas en los planes de desarrollo municipal.

Tabla 8. Fortalezas y debilidades de las ciudades petroleras en competitividad y sustentabilidad

Dimensión	Competitividad	Sustentabilidad medioambiental
Ciudad Coatzacoalcos	*Buena infraestructura (autopista, puerto de altura) y conectividad. *Centro importante de negocios. *Baja generación de empleos.	*Contaminación de agua y aire. *Planeación urbana inadecuada. *Insuficiente reglamentación. *Desabasto de agua.
Minatitlán	*Infraestructura y ubicación geográfica adecuadas. *Gran dependencia en Pemex (poca diversificación económica). *Gobierno muy cuestionado.	*Contaminación de agua y aire. *Mal manejo de residuos sólidos urbanos. *Carencia de una cultura ecológica en la sociedad.
Salamanca	*Importante actividad y ubicación geográfica privilegiada. *Áreas de oportunidad en materia de niveles de ingreso, generación de empleos diversificación económica, turismo, infraestructura y transporte público.	*Coexisten problemas de contaminación del medio ambiente con le generación de políticas públicas activas en la materia. *Destacan los programas de parques y jardines y los estudios de impacto ambiental.
Tehuantepec	*Ausencia de un buen diagnóstico en la materia. El análisis de centra en las áreas de turismo, comercio y servicios.	*Polución de tierra, agua y auditiva. *Ausencia de una cultura de respeto al medio ambiente. *Vertederos a cielo abierto. *Limitada regulación.
Salina Cruz	*Puerto petrolero de altura. Pero rezagado a nivel comercial en equipamiento e infraestructura. *Alto nivel de desempleo y desarrollo empresarial incipiente.	*A pesar de que existen problemas de contaminación y de gestión de basura, la sustentabilidad medioambiental figura como una de sus políticas transversales. *No obstante lo anterior, hay ausencia de acciones contundentes.
Tula	*Se detectan áreas de oportunidad en materia de diversificación industrial, creación de empleos de calidad. *Se reconoce la necesidad de dinamizar la actividad turística.	*Problemas por contaminación de aire y por número insuficiente de áreas verdes. *Se admite la necesidad de generar una política ambiental y de incorporar el cambio climático como eje de gobierno.

Fuente: Elaboración propia a partir de los planes de desarrollo municipal

Conclusiones

Los resultados de esta investigación muestran grandes contrastes respecto al grado de competitividad y sustentabilidad de las ciudades petroleras mexicanas respecto al resto de metrópolis de similar tamaño en México, por lo que no se puede generalizar su desempeño. Por una parte y tomando como referencia el año 2015, Salamanca y Coahuila de Zaragoza se ubican en los primeros lugares de su categoría; en el extremo opuesto, las zonas metropolitanas de Tula y de Tehuantepec-Salina Cruz se posicionan en las últimas posiciones, mientras que Minatitlán tiene una ubicación media. Salamanca, seguida de Minatitlán, destaca por su gestión medioambiental, mientras que Coahuila de Zaragoza lo hace por su competitividad urbana, rubro en que, por el contrario, Tula y Tehuantepec-Salina Cruz necesitan alcanzar mejores indicadores. De manera concreta, estas dos últimas zonas metropolitanas requieren mayor innovación en los sectores económicos y, además, en el caso de Tula, un mucho mejor aprovechamiento de las relaciones internacionales. Lo que resulta claro es que estas urbes requieren ser competitivas y sustentables, ya que ambas características se explican y alientan mutuamente, en una relación simbiótica.

La información revisada sugiere que, efectivamente, la competitividad de las entidades federativas es una variable explicativa útil para entender a su vez la competitividad de las ciudades petroleras que en ellas se asientan. Al respecto, se observó que Guanajuato es un estado más competitivo que Hidalgo, Veracruz y Oaxaca; coincidentemente, Salamanca, ubicada precisamente en Guanajuato, resulta ser la ciudad petrolera más competitiva y sustentable. En el extremo opuesto, Hidalgo, Veracruz y Oaxaca demuestran ser estados poco competitivos, particularmente Oaxaca, que se ubica en el último lugar en competitividad dentro de las entidades federativas vinculadas a las ciudades participantes en el estudio (y penúltimo a nivel nacional). Lo anterior ayuda a comprender que la zona metropolitana conformada por las ciudades oaxaqueñas de Tehuantepec-Salina Cruz, así como la correspondiente a la hidalguense ciudad de Tula, se ubiquen en los últimos sitios en competitividad dentro de las ciudades mexicanas en la Categoría C.

A pesar de que es claro que varias ciudades petroleras mexicanas presentan índices de competitividad aceptables y que la mayoría de ellas han realizado esfuerzos sustantivos en materia medio ambiental, éstos no

son suficientes y se deberán redoblar, además, es urgente que apuntalen las estrategias y acciones que les permitan diversificar sus actividades económicas. Dado que durante muchos años gozaron de los beneficios que una próspera actividad petrolera generaba, estas urbes no se preocuparon por generar dicha diversificación. Hoy en día, cuando estas zonas metropolitanas experimentan una severa crisis económica, deben construir o recuperar industrias antes olvidadas o desplazadas, por ejemplo, entre las primeras figura el turismo, mientras que la pesca forma parte de las segundas. En tal sentido, hoy en día las ciudades petroleras mexicanas deberán implementar estrategias para ser más competitivas en sentido amplio, es decir, están obligadas a atraer más inversiones, las cuales impacten favorablemente en el nivel de vida de la población. Como antes ya se explicó, a mayor competitividad se esperarían menores índices de marginación y mayor desarrollo humano.

Una de las estrategias más sólidas para alcanzar lo anterior es el desarrollo de habilidades de planeación estratégica en los gobiernos locales (Cabrero y Nava, 2000), de tal forma que los planes de desarrollo municipal constituyan instrumentos fundamentales para el diagnóstico de problemáticas relevantes y la prospección de acciones de solución, lo cual no se ha logrado aún. A pesar de que los planes revisados indican que está ya en marcha un proceso de aprendizaje y mejora continua, la investigación muestra algunas debilidades que deben ser atendidas en el corto plazo. Por ejemplo, en el de Minatitlán se manifiesta la necesidad de establecer programas de manera conjunta con Coahuila de Zaragoza con la intención de promover el desarrollo local, pero no se precisa ninguna acción y en el de esta última ciudad ni siquiera se hace referencia al tema. En el de Tehuantepec, el nivel de análisis y propuestas correspondientes al eje económico luce muy débil, además de que mezcla el tema medioambiental, sin hacer una clara distinción de los alcances de cada eje temático. En el de Salina Cruz se incorpora la sustentabilidad como política transversal, pero no se señala una sola acción, mientras que las acciones correspondientes al medio ambiente se incluyen como política social, reflejando poca claridad al respecto. En el caso de Tula, en el rubro de promoción a la inversión y al empleo, no se delinea ninguna acción.

La revisión de estos planes permite aseverar que, en el caso de las ciudades de Salamanca y Coahuila de Zaragoza, además de que se cuenta con un

amplio diagnóstico en lo referente a las problemáticas más relevantes que enfrentan materia económica, social y medioambiental, disponen de un acertado plan de acción para enfrentarlas a partir del eslabonamiento de acciones en el corto, mediano y largo plazo. En el resto de las ciudades estudiadas, de manera general, se cuenta con un buen dictamen, pero no se especifican líneas de acción precisas o, en el caso extremo, se carece incluso de un buen diagnóstico acerca de los problemas más apremiantes del municipio. Por consiguiente, elaborar planes estratégicos municipales con mayor nivel de sofisticación técnica, que orienten el desarrollo, es uno de los retos y recomendaciones que en materia de política pública deben asumir las ciudades petroleras de México.

Asimismo, lo acontecido con las ciudades petroleras corrobora la idea de Moreno (2008), en cuanto a que el desarrollo local en México presenta asimetrías provocadas por una excesiva centralización de poder político y económico. No obstante, en fechas recientes y en correspondencia con la apreciación de Varela (2015), se observa una nueva vitalidad política y administrativa en las diversas regiones y urbes del país, como en el caso de Salamanca y Coatzacoalcos. Para afianzarla, en el caso de éstas y las demás zonas metropolitanas petroleras de México, será fundamental, como se reconoce en el trabajo de Morales de Llano (2014), transferir recursos a actividades modernas, apoyarse en recursos externos, emplear la innovación productiva y, fundamentalmente, incorporar a amplios segmentos de la población (capital humano) en estas actividades. Estas acciones deberán representar los ejes de los sistemas productivo y económico, apoyados siempre en los valores de la equidad social y sustentabilidad ambiental, lo que a la postre brindará legitimidad política a estos espacios territoriales. Dadas las condiciones contextuales que la actual realidad nos presenta, el compromiso es ineludible.

Sin duda, el mayor reto de las ciudades petroleras lo representa el no regresar al modelo de desarrollo impulsado décadas atrás que, como ya se indicó, dependía totalmente de las actividades de Pemex. Aunque la evidencia indica que los años de esplendor de la actividad petrolera mexicana ya no volverán, recientemente, tanto empresas privadas (pozo Zama-1) como Pemex (pozo Ixachi en Cosamaloapan, Veracruz), han anunciado el descubrimiento de nuevos yacimientos petroleros (Venegas, 2017), lo cual es una buena noticia sí y sólo sí estas urbes, además de establecer

equilibrio medioambiental, logren diversificar su economía. El desafío es, por tanto, que las organizaciones vinculadas a esta industria constituyan empresas locomotoras y sean parte integrante del territorio donde se asientan en un sentido amplio.

Referencias

- Acosta, C. (2016). *Desastre financiero en Pemex: confirman recorte de 100 mil mdp en su presupuesto*. Recuperado de www.proceso.com.mx/431879/desastre-financiero-en-pemex-confirman-recorte-de-100-mil-mdp-en-su-presupuesto, consultado el 28-03-2017.
- BANAMEX (2015). *Ciudades Competitivas y Sustentables 2015*. Recuperado de http://imco.org.mx/wp-content/uploads/2015/10/2015-Ciudades_Competitivas-Documento.pdf.
- BANAMEX, BANOBRAS E INFONAVIT (2014). *Ciudades Competitivas y Sustentables 2014*. Recuperado de <http://imco.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Ciudades-competitivas-y-sustentables-2014.pdf>.
- Barboza, C. (2015). *Cambia Pemex esquema de distribución de combustibles*. Recuperado de <http://www.24-horas.mx/cambia-pemex-esquema-de-distribucion-de-combustibles/>.
- Bustamante, A. M. y Bustamante, J. C. (2008). Análisis de las percepciones sobre competitividad territorial de tres municipios fronterizos del norte de Santander y Táchira. En: *Aldea Mundo*, 13, (25), enero-junio 13-24.
- Cabrero, E. y Nava, G. (2000). *Gerencia pública municipal. Conceptos básicos y estudios de caso*. Ciudad de México, México: CIDE-M. A. Porrúa.
- Garduño, R., Ibarra, J. E. y Dávila, R. (2013). La medición de la competitividad en México: ventajas y desventajas de los indicadores. En *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 4, (3), septiembre-diciembre 28-53.
- Gobierno municipal de Coatzacoalcos (2014). *Plan Municipal de Desarrollo 2014-2017*.
- Gobierno municipal de Minatitlán (2014). *Plan Municipal de Desarrollo 2014-2017*.
- Gobierno municipal de Salamanca (2016). *Programa de Gobierno Municipal 2015-2018*.

- Gobierno municipal de Salamanca (2012). *Plan Municipal de Desarrollo 2012-2035*.
- Gobierno Municipal de Santo Domingo Tehuantepec (2014). *Plan Municipal de Desarrollo 2014-2016*.
- Gobierno Municipal de Tula de Allende (2012). *Plan Municipal de Desarrollo 2012-2016*.
- IMD World Competitiveness Center (2016). *IMD World Competitiveness Ranking 2016*. Recuperado de www.imd.org/uupload/imd.website/wcc/scoreboard.pdf.
- Instituto Mexicano para la Competitividad-IMCO (2006). *Problemática en derivados de hidrocarburos*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/imcomx/en-refinacin-07ppgc>.
- Instituto Mexicano para la Competitividad-IMCO (2014). Índice de Competitividad Estatal 2014: Las reformas y los estados. La responsabilidad de las entidades en el éxito de los cambios estructurales. Ciudad de México, México: IMCO.
- Luna, A. (2011). *Metodología de la tesis*. Ciudad de México, México: Trillas.
- Méndez, J. L. (2015). “La política pública como variable de pendiente: hacia un análisis más integral de las políticas públicas”. En J. L. Méndez, *Análisis de políticas públicas: Teoría y casos*. Ciudad de México, México: El Colegio de México.
- Morales de Llano, E. (2014). La dimensión territorial de la competitividad. En: *Revista Economía y Desarrollo*, 151, (1), enero-junio 71-84.
- Moreno, S. (2008). *Desarrollo Regional y Competitividad en México*. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, Documento de Trabajo No. 39, abril. Ciudad de México: México.
- Porter, M. E. (1990). The competitive advantage of nations. En: *Harvard Business Review*, march-april 73-91.
- Silva, I. (2005). Desarrollo económico local y competitividad territorial en América Latina. En: *Revista de la CEPAL*, (85), abril 81-100.
- Sobрино, J. (2005). Competitividad territorial: ámbitos e indicadores de análisis. En: *Economía, Sociedad y Territorio*, Número Especial 123-183.
- Suñol, S. (2006). Aspectos teóricos de la competitividad. En: *Ciencia y Sociedad*, 31, (2), abril-junio 179-198.

- Varela, E. (2015). Nuevos roles de los gobiernos locales en la implementación de políticas públicas. Gobernabilidad territorial y competitividad global. En: *EURE*, 41, (123), mayo 211-237.
- Venegas, D. (2017, 3 de noviembre). Pemex descubre yacimiento en Veracruz. *Milenio*, Ciudad de México, Negocios.

Indicadores de Proximidad a Servicios Urbanos en la Ciudad de Heredia

Indicators of Proximity to Urban Services in Heredia City, Costa Rica

Marvin Alfaro-Sánchez¹

Marilyn Romero-Vargas²

Tania Bermúdez-Rojas³

Universidad Nacional, Costa Rica

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.6>

RESUMEN

Esta investigación trata sobre la cuantificación del acceso que tienen los residentes de la ciudad de Heredia a algunos servicios básicos en la ciudad, a partir de la distancia a la que viven, calculando que porcentaje de la población reside a 100, 250, 500, 750, 1000 y más de 1000 metros de distancia de la ubicación de los servicios. Los resultados obtenidos muestran un acceso heterogéneo a los servicios por parte de los residentes de la ciudad, lo cual es lo esperado en un área urbana que ha crecido y evolucionado en función de intereses económicos y comerciales, sin la intervención de un ente que planifique y regule las actividades en función del bienestar de la población residente.

-
- 1 Máster, Académico Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, Costa Rica. Analista de indicadores de sostenibilidad urbana y experto en Sistemas de información Geográfica. Correo electrónico: marvin.alfaro.sanchez@una.cr.
 - 2 Doctora, Académica Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, Costa Rica. Analista de indicadores de sostenibilidad urbana y experta en paisajismo. Correo electrónico: marilyn.romero.vargas@una.cr.
 - 3 Máster, Académica Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, Costa Rica. Analista de indicadores de sostenibilidad urbana y experta en manejo y conservación de la biodiversidad. Correo electrónico: taniabermudez1@gmail.com.

Fecha de recepción: 22 de agosto de 2017
Fecha de aceptación: 22 de febrero de 2018

Palabras clave: proximidad, accesibilidad, servicios, distancia, distribución de población.

ABSTRACT

This research article considers the quantification of the access that residents of the city of Heredia have to some basic services in the city, taking as reference the distance to which the residents live, calculating what percentage of the population resides at 100, 250, 500, 750, 1000 m and more than 1000 m away from the location of the services. The results obtained show heterogeneous access to services by the residents of the city, which is expected in an urban area that has grown and evolved in response to economic and commercial interests, without the intervention of an entity to plan and regulate the activities based on the well-being of the resident population.

Keywords: proximity, accessibility, services, distance, distribution of the population.

Introducción

Cuando las ciudades tienen muchos y muy variados servicios, y cuando éstos son fácilmente accedidos por sus residentes, se promueve la comunicación y la integración entre ellos mismos y entre ellos y con las instituciones administrativas de las ciudades y cuando éstas implementan políticas que fomentan la peatonización (Del Campo, García & Flores, 2009) y las relaciones ágiles y eficientes entre los distintos elementos del sistema urbano, se da como resultado una buena oferta de servicios y equipamientos básicos a una distancia suficientemente cercana como para ser recorrida a pie por los residentes, o con un sistema de transporte público que conecte todos los diferentes sectores de las ciudades.

La integración urbana es vital en procesos reales de sostenibilidad y debe ser una preocupación constante de las instituciones públicas que administran o gobiernan los espacios urbanos y una forma de determinar si los residentes de las ciudades tienen un buen acceso a los servicios urbanos, es mediante indicadores de proximidad.

Marco Conceptual

Para la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), (2000) los servicios urbanos son las actividades que satisfacen las necesidades de una aglomeración humana, soportando y facilitando su funcionamiento y de ellos depende la capacidad de las ciudades de producir riqueza y de distribuirla entre sus habitantes. Los servicios son una consecuencia y, a la vez, una condición de esa aglomeración y de sus actividades en un territorio, ya que contrario a lo que sucede con las personas que residen de forma dispersa, que pueden satisfacer sus necesidades (agua, eliminación

de desechos, etc.) individualmente, en una aglomeración urbana las necesidades deben ser atendidas en forma colectiva. Organization for Economic Co-Operation and Development. (OECD), (2000).

Dentro de este esquema, en Costa Rica, la Ley 4240 de Planificación Urbana (República de Costa Rica. 1962) clasifica los servicios, en forma indirecta, en dos categorías, los comunales (escuelas, colegios, parques, campos de juegos, unidades sanitarias, hospitales, bibliotecas, museos, mercados públicos, etc.) y los públicos (cañerías, alcantarillados sanitarios y pluviales, recolección y disposición de basuras), de explotación y/o financiamiento municipal y que deben estar incluidos en los planes reguladores locales (Pérez-Foguet. 2005), esta clasificación no involucra a todos aquellos otros servicios que no son indispensables, aunque si deseables, para los ciudadanos, como los sitios de entretenimiento (gimnasios, cines, teatros, museos y otros), o como los de servicios estéticos. (salones de belleza, acondicionamiento físico, etc.).

En esta investigación se analizará la proximidad de la población a algunos servicios públicos y comunales en la ciudad de Heredia, como indicadores de la accesibilidad que tienen los residentes de la ciudad a ellos, lo cual, está directamente relacionado con el modelo de ciudades compactas, complejas, eficientes y cohesionadas (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. 2010) que considera estos servicios como los elementos más importantes para medir el nivel de sostenibilidad de cualquier ciudad.

Las ciudades ofrecen una gran cantidad y variedad de servicios a sus ciudadanos y estos, según Pérez-Foguet (2005) propician el desarrollo de las aglomeraciones urbanas con coherencia en su organización territorial y con una alta cohesión social, en este sentido, desde un punto de vista ambiental, la cercanía a los diferentes servicios urbanos en una ciudad, reduce la necesidad y dependencia de los desplazamientos con vehículos privados y públicos y aumenta el número de desplazamientos a pie o a través de otros medios de transporte sostenibles, como la bicicleta, reduciendo el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, así como los niveles generales de contaminación atmosférica y acústica.

Desde el punto de vista social, la proximidad y cercanía a los servicios urbanos posibilita las buenas relaciones, una buena habitabilidad del espacio público y el desarrollo de un sentido de identidad en las comunidades, aumentando la cohesión social y la oportunidad de interrelación entre

la ciudad y sus habitantes (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. 2010), sobre todo, cuando se complementa con políticas que fomentan la peatonización (Pérez-Foguet. 2005) y las relaciones ágiles y eficientes entre los distintos elementos del sistema urbano.

Chevalier, Choiniere y Bernier (1992) definen los indicadores como las medidas de la parte observable de un fenómeno, que permite valorar otras porciones no observables de dicho fenómeno, es decir, es lo que permite aproximarnos a un fenómeno que no se puede observar ni valorar en forma directa, por lo que, la proximidad a los servicios pueden ser usado como indicador de algo tan complejo como la sostenibilidad de las ciudades, bajo esta perspectiva, es importante y deseable, cuantificar que tan accesibles son los servicios que ofrecen las áreas urbanas para sus ciudadanos como indicadores del grado de sostenibilidad de la ciudad de Heredia.

Finalmente, es importante analizar el grado o nivel de proximidad a los servicios en las ciudades, ya que esto permite evaluar de una forma cuantitativa aspectos que están directamente relacionados con la calidad de vida de los ciudadanos y al mismo tiempo permite elegir la mejor ubicación para futuros nuevos servicios, mejorando la capacidad de toma de decisiones y aumentando la capacidad de evaluación del impacto de cualquier nuevo recurso o proyecto.

Metodología para evaluar la proximidad a través del uso de indicadores

Los indicadores de proximidad seleccionados relacionan la ubicación de los servicios públicos, la distribución de la población y la distancia a la que se encuentran unos de otros, para estos efectos se cuantificaron indicadores de proximidad a servicios públicos en las áreas de educación, salud, finanzas, transporte público colectivo, seguridad, ambiente, comercio y religión.

Cada indicador está calculado a partir del porcentaje de la población que reside a menos de 100 metros, entre 100 y 250, entre 250 y 500, entre 500 y 750 y más de 1000 metros de distancia de la ubicación donde se ofrece los servicios, excepto en el caso de la distancia a hidrantes, que se calculó siguiendo los parámetros internacionales de entidades dedicadas al desarrollo de redes de hidrantes, así como su instalación, operación y mantenimiento.

Estos indicadores pueden ser de gran valor como herramientas para ejercicios de simulación. Por ejemplo, en el análisis de las preferencias en la localización de los hogares se espera que la distancia a los espacios verdes sea un factor importante en la selección final, así también la distancia a hidrantes debería de ser un elemento por considerar en el precio de seguros contra incendios.

Resultados

En la tabla 2 se presenta un resumen de los indicadores de proximidad estudiados en la ciudad de Heredia, donde se muestra el acceso que tiene la población a los servicios básicos urbanos.

Tabla 1. Resumen de los indicadores de proximidad en la ciudad de Heredia.

Indicador	Distancia (metros)					
	Menos de 100	100 - 250	250 - 500	500 - 750	750 - 1000	Más de 1000
	Porcentaje de población residente					
Escuelas	1,6	19,9	53,7	16,7	7,7	0,5
Colegios	4,1	21,5	22,7	35,3	14	2,4
Áreas verdes	1,2	12,9	33,8	28,2	15,6	8,3
Zona comercial	16	20,9	35,4	16,2	5,5	5,9
Abarrotes	31,7	42,7	12,6	5,7	3,6	3,6
Bancos	1,2	9,6	28,8	32	16,3	12,1
Buses	14,9	46,2	32,7	4,4	1,8	0
Taxis	1	7	31	27	26	8
Hospitales	1,7	4,7	22,7	18,1	13,1	39,8
Farmacias	5,3	27,3	42,6	10,3	8,1	6,4
Hidrantes	30,5	63,1	5,6	0,4	0,4	0
Policía	0	2	5	10	14	69
Iglesias	0	2,8	22,6	51,1	21,2	2,2

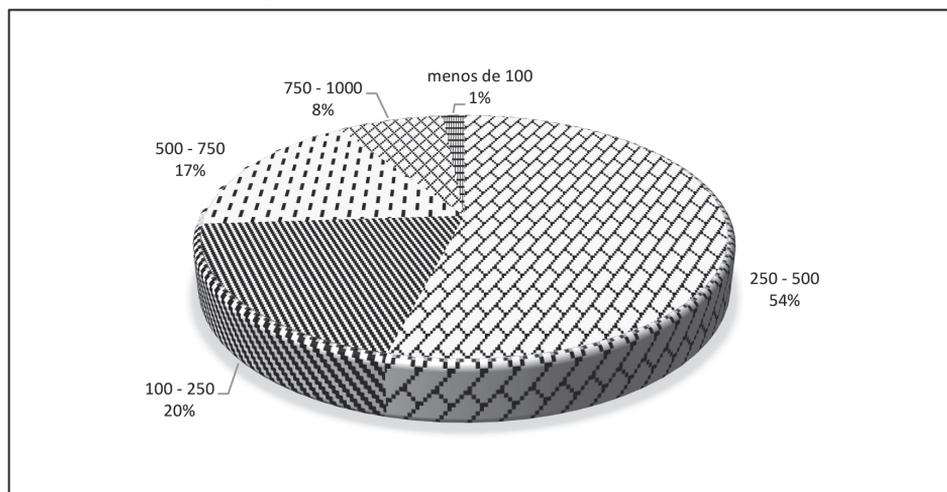
Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

1. Indicador de proximidad a servicios educativos

a. Primaria

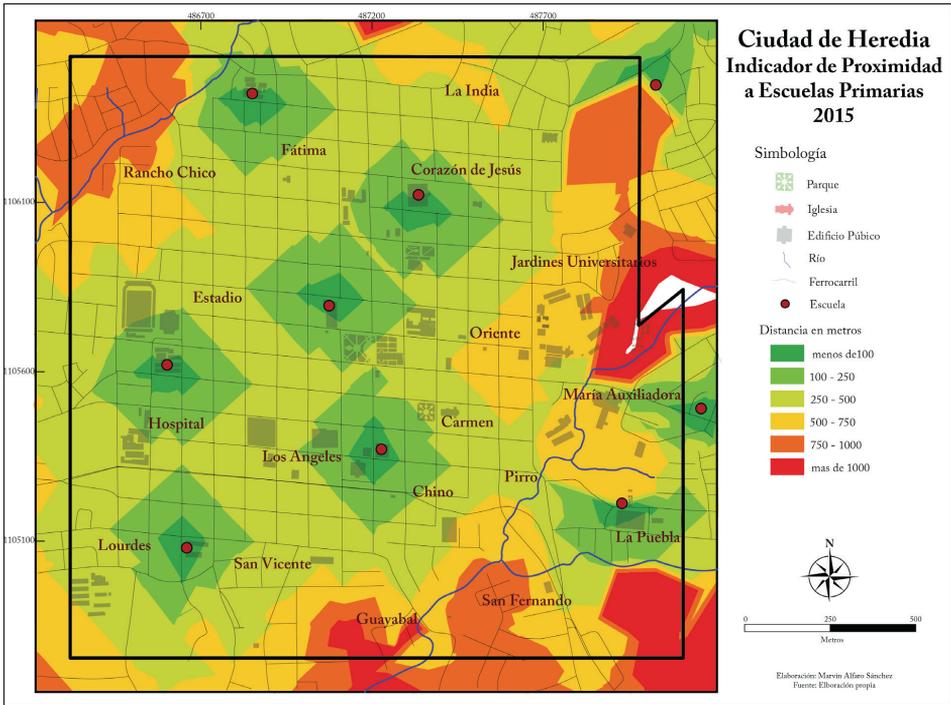
Este indicador cuantifica el acceso que tiene la población a escuelas públicas del nivel primario. Como se puede observar en el mapa 1, la distribución de escuelas es relativamente homogénea en la ciudad de Heredia, aunque tienden a concentrarse en el centro, justo donde hay una baja densidad de residentes, por lo que la población que vive a una distancia menor a 100 metros de una escuela primaria es solo el 1% del total de la ciudad (Gráfico 1).

Gráfico 1. Población residente a diferentes rangos de distancia a escuelas primarias en la ciudad de Heredia



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en abril 2017.

Mapa 1. Indicador de proximidad a escuelas primarias de la ciudad de Heredia



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en abril 2017.

Por otro lado, el 20% de los residentes de la ciudad de Heredia tienen una escuela a una distancia de entre 100 y 250 metros, que según CAT-MED (2017), 250 metros es la distancia máxima que debería caminar un estudiante para llegar a su centro educativo, lo cual quiere decir que solo uno de cada cuatro posibles estudiantes tiene un buen acceso a esta facilidad urbana y que la mayoría (54%) tiene que caminar hasta el doble de la distancia deseable. (Gráfico 1)

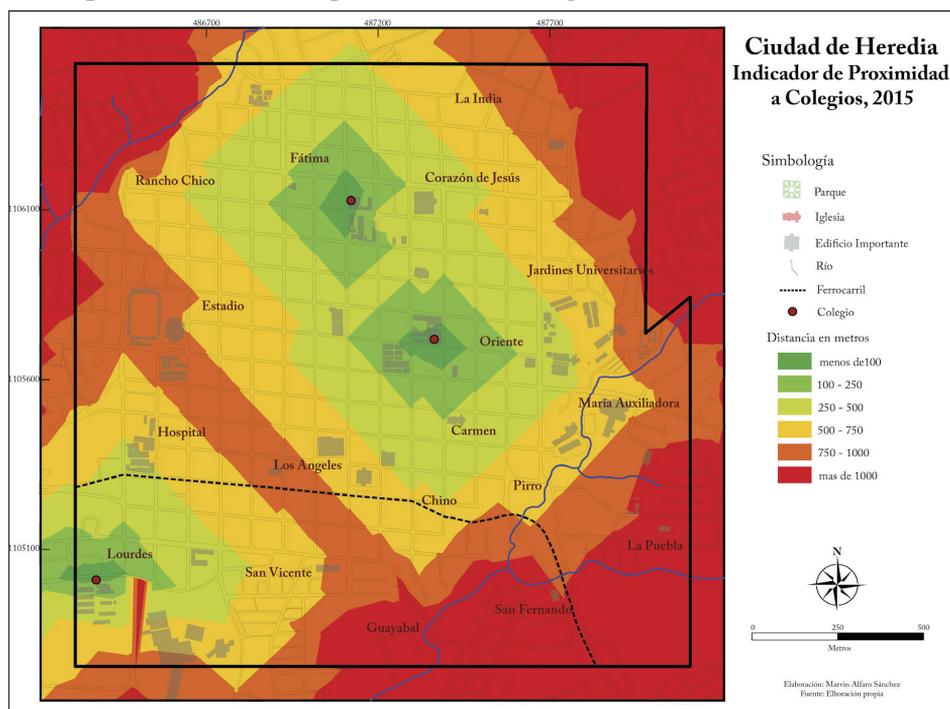
b. Secundaria

En la ciudad de Heredia hay solo tres instituciones públicas de educación de nivel medio (mapa 2), es decir, menos de la mitad de las ocho escuelas públicas de nivel primario que hay, y a pesar de que dos de esas tres instituciones se ubican en áreas con alta densidad de población, por

lo que debería mejorar el acceso a la educación por proximidad a colegios para los residentes de la ciudad, sin embargo, no sucede dada la poca cantidad de colegios que existen en la ciudad.

Si se compara el acceso a la educación por proximidad a nivel primario y secundario se notan ciertas diferencias significativas. Los residentes de la ciudad que tienen un colegio a menos de 100 metros de distancia es el 2% (gráfico 2), mientras que para escuelas primarias era el 1%, el 14% de la población tiene un colegio a una distancia de entre 100 y 250 metros (considerablemente menos que los que tienen una escuela primaria a esa misma distancia, que es 20%), sin embargo, el cambio más significativo se da en la población que reside a una distancia de entre 250 y 500 metros de un centro educativo, que es de 35% en secundaria y 54% en primaria.

Mapa 2. Indicador de proximidad a colegios en la ciudad de Heredia

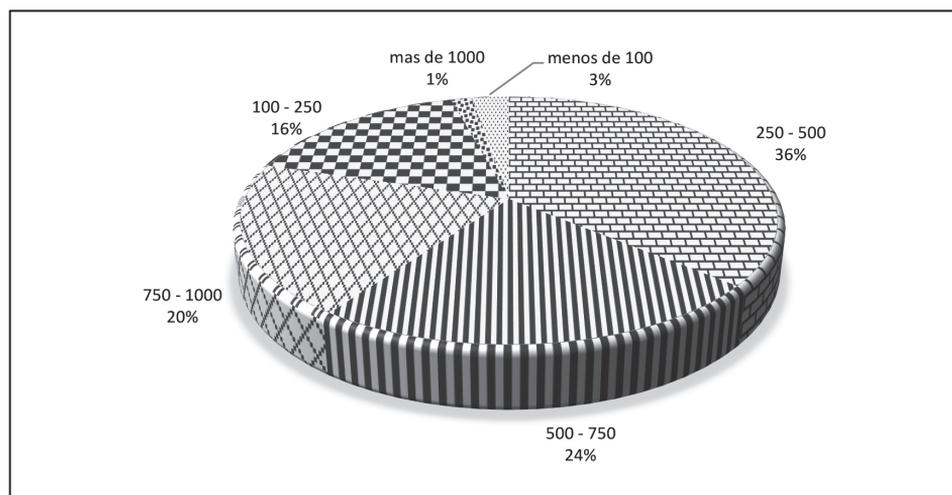


Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en abril 2017.

Sumando, solamente, los porcentajes de población que residen a las anteriores distancias de los centros educativos, se obtiene que un 75% de la población tiene una escuela a menos de 500 metros, pero solo el 61% tiene un colegio a la misma distancia, es decir, hay una considerable diferencia en este rango.

Tomando en cuenta las distancias superiores a 500 metros también se da un cambio significativo, para el 55% de la población el colegio más próximo supera esa extensión, mientras que la población que tiene la escuela más próxima para ese mismo trecho es solo el 26%, lo cual evidencia una baja sensible para el indicador de acceso a centros educativos entre un nivel y otro.

Gráfico 2. Población residente a diferentes rangos de distancia a colegios en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en abril 2017.

2. Indicador de proximidad a servicios ambientales

a. Espacios verdes

Los espacios verdes públicos son notoriamente escasos en la ciudad de Heredia. Solo hay 3.13 metros cuadrados de áreas verdes por habitante, muy por debajo de los 10 metros cuadrados recomendados, como mínimo, por la Organización Mundial de la Salud y la proximidad a ellos tiene un

comportamiento parecido a la de las escuelas primarias. Las áreas verdes tienden a concentrarse en las áreas centrales de la ciudad de Heredia, nuevamente, justo donde es más baja la densidad de habitantes. (Mapa 3)

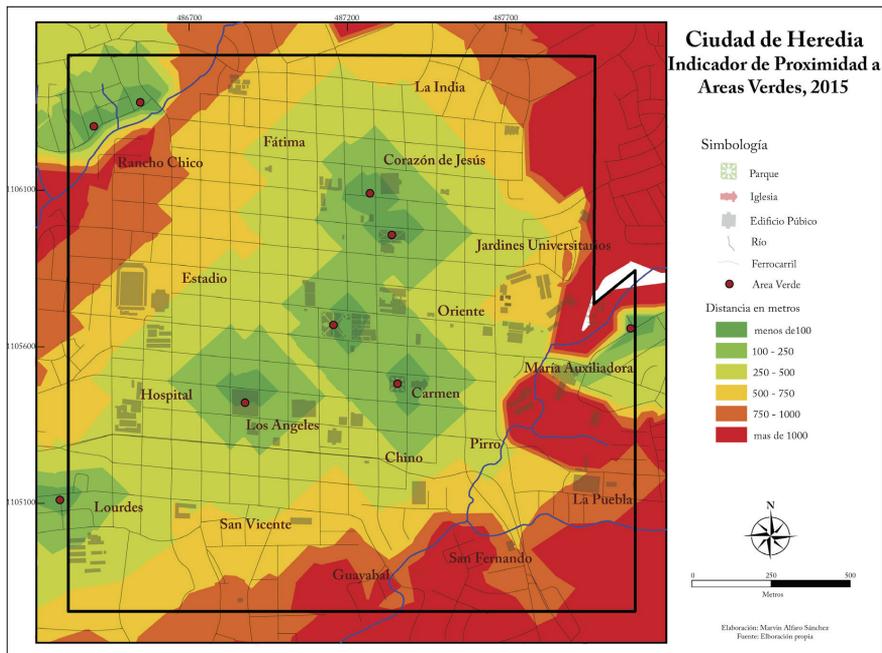
Obviando los parámetros internacionales que determinan la distancia óptima a los espacios verdes en función de las distintas tipologías (Tabla 2), según su tamaño (de 50 hasta 150000 m²), es evidente que una proporción importante de la población está a una distancia poco deseada de los espacios verdes útiles. El 86% de toda la población de la ciudad vive a una distancia superior a los 250 metros de distancia (Gráfico 3), que es, evidentemente, un trecho complicado para ciertos grupos sociales como los niños y los adultos mayores que deberían ser los usuarios con mayor accesibilidad a ellos, por la frecuencia con la que los visitan.

Tabla 2. Tipología de zonas verdes, según gobierno de la ciudad autónoma de Buenos Aires, 2010.

Espacios verdes	Superficie m ²
Acupuntura urbana	50 a 1.000
Plazas pequeñas	1.000 a 5.000
Plazas	5.000 a 15.000
Parque a escala urbana	15.000 a 150.000
Parque a escala metropolitana	más de 150.000

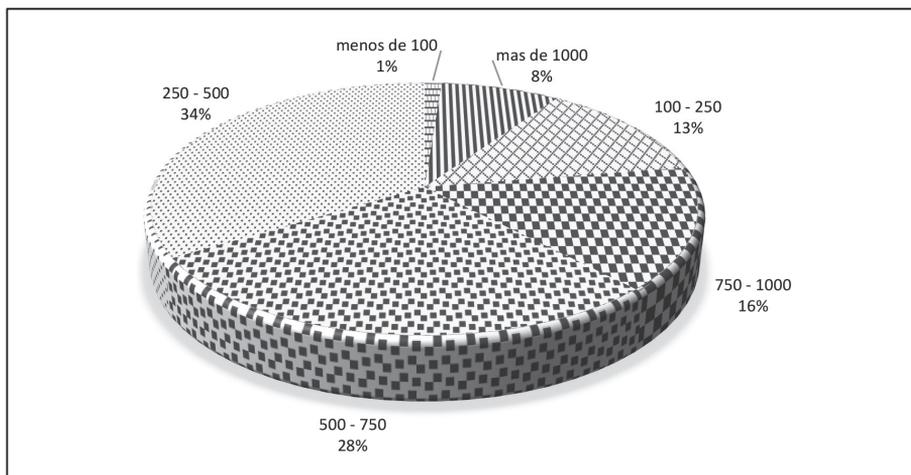
Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

Mapa 3. Indicador de proximidad a áreas verdes en la ciudad de Heredia



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

Gráfico 3. Población residente a diferentes rangos de distancia a áreas verdes en la ciudad de Heredia.



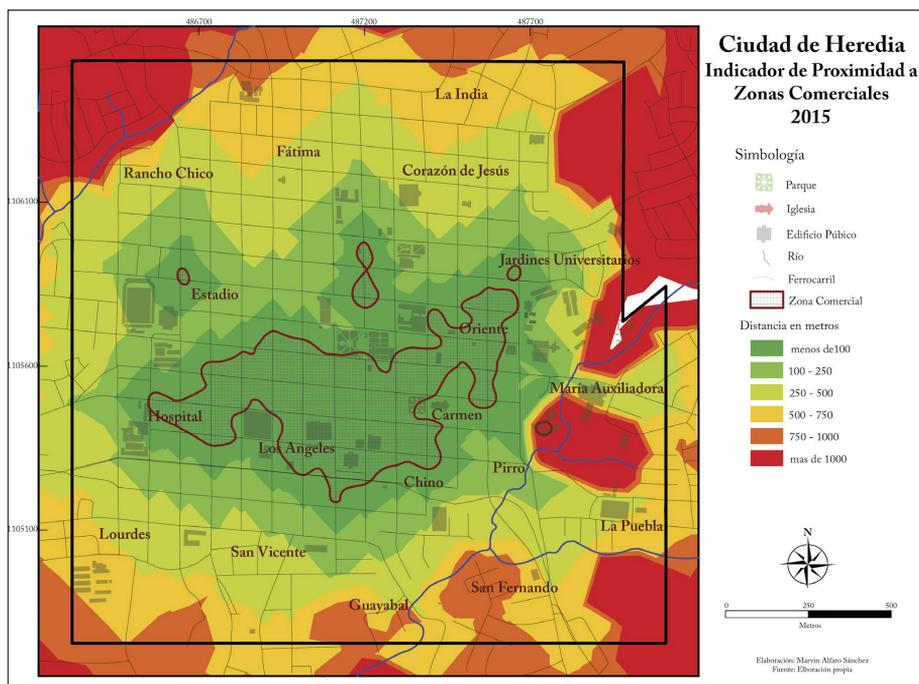
Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

3. Indicador de proximidad a servicios comerciales

a. Zonas comerciales

La accesibilidad, por proximidad, a las zonas comerciales (mapa 4), está basada en la localización de las áreas con una densidad de veinte o más negocios comerciales por hectárea y la distancia a la que residen los habitantes de ellas. Aunque, al igual que como sucede con la proximidad a centros educativos y a áreas verdes, la zona comercial se ubica en el centro de la ciudad, donde la densidad poblacional es más baja, aunque si existe una mejor proximidad entre los servicios comerciales y los residentes que en los casos anteriores, ya que el 36% de los residentes de la ciudad viven a menos de 250 metros de distancia de las zonas comerciales (Gráfico 4), muy por encima del 21 y 14% de residentes que tienen acceso a escuelas primarias y a áreas verdes a esa misma distancia.

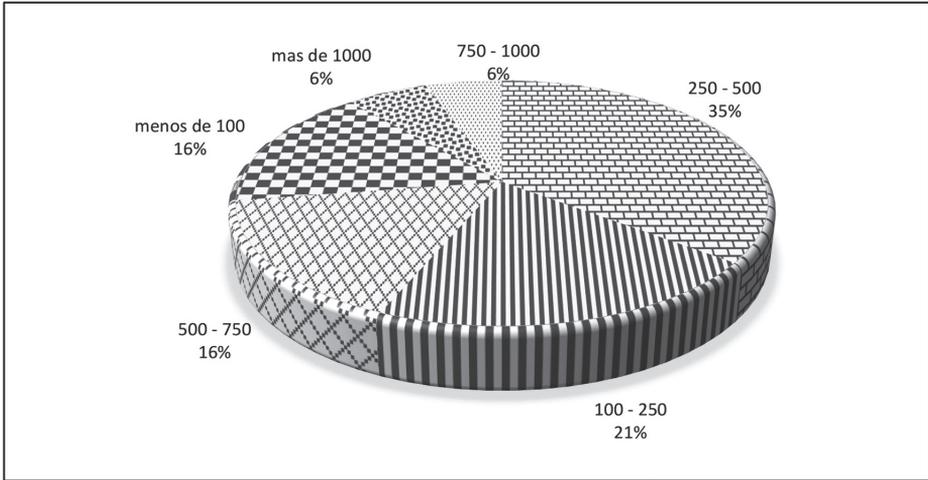
Mapa 4. Indicador de proximidad a zonas comerciales en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en abril 2017.

El rango de proximidad a las zonas comerciales con más población residente es el de 250 a 500 metros que tiene el 35% de los residentes de la ciudad, que si se suma con los dos rangos de distancia menores, nos indica que el 71% de la población debe caminar un máximo de 500 metros para acceder a las zonas comerciales de la ciudad que, desde cualquier ángulo que se analice es buen indicador de proximidad.

Gráfico 4. Población residente a diferentes rangos de distancia a zonas comerciales en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en abril 2017.

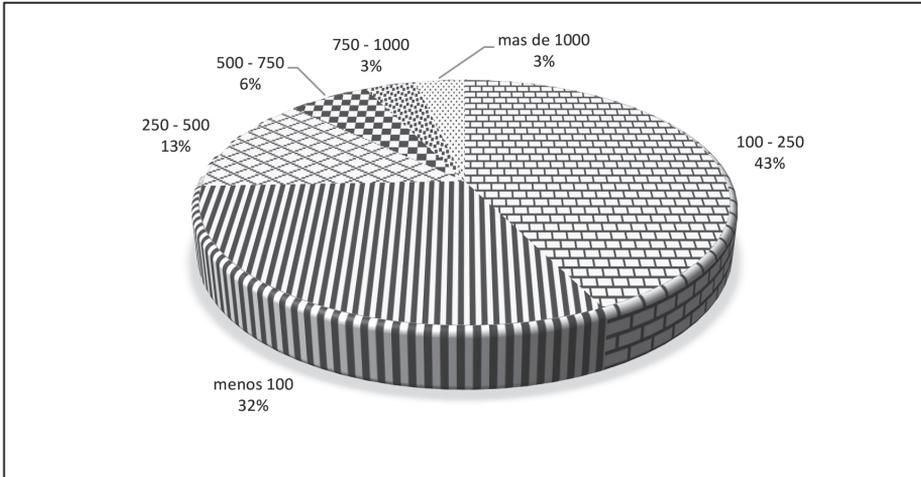
b. Indicador de proximidad a tiendas de abarrotes

En el mapa 5 se observa la accesibilidad por proximidad a tiendas de abarrotes que tienen los residentes de la ciudad de Heredia, que contrario a lo encontrado con otros indicadores (escuelas, áreas verdes, etc.) las tiendas de abarrotes tienen una distribución más homogénea en la ciudad de Heredia y aunque hay sectores (3% de la población) que se encuentran a más de 1000 metros de distancia de algún supermercado o negocio similar, la accesibilidad por proximidad a las tiendas de abarrotes es la segunda más alta, de las calculadas en esta investigación. (Gráfico 5)

La accesibilidad por proximidad es considerada alta porque el 76% de los residentes de la ciudad de Heredia tiene una tienda de abarrotes a menos de 250 metros de distancia de su residencia, lo cual es

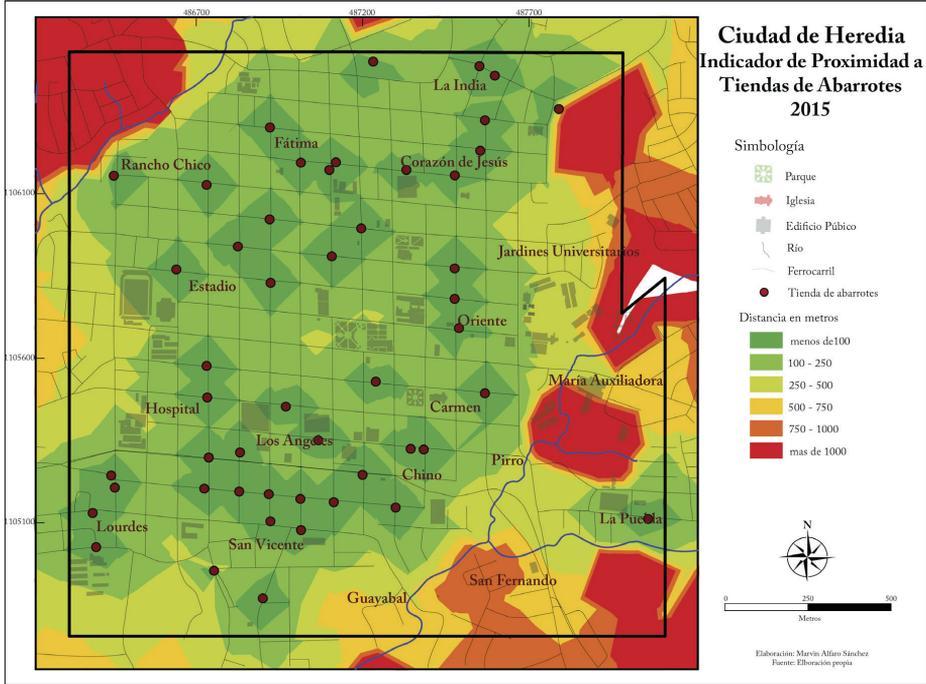
significativamente bueno para algunos grupos etarios como los ancianos que tienen una capacidad de caminar y de cargar peso más limitada que los otros grupos.

Gráfico 5. Población residente a diferentes rangos de distancia a tiendas de abarrotes en la ciudad de Heredia



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en mayo 2017.

Mapa 5. Indicador de proximidad a tiendas de abarrotes en la ciudad de Heredia

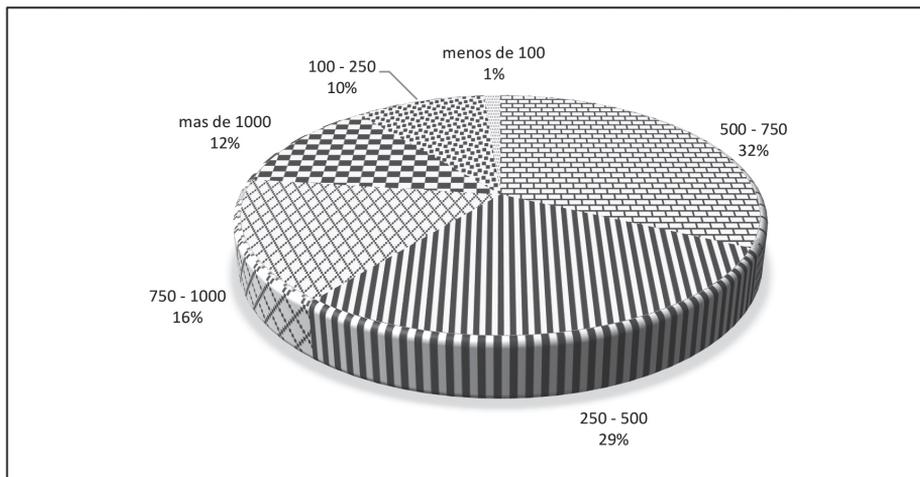


Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en mayo 2017.

4. Indicador de proximidad a servicios financieros

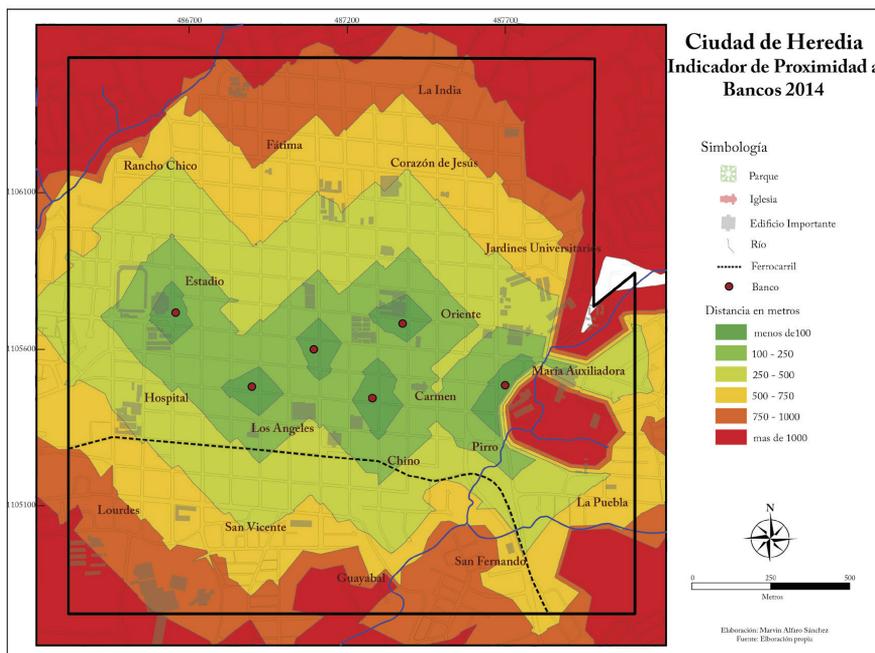
La accesibilidad a servicios financieros medida a partir de la proximidad a los bancos que tiene la población residente en la ciudad de Heredia se puede apreciar en el mapa 6. La distribución de los bancos tiene una concentración aún más alta en el centro de la ciudad que otros servicios como los de educación y el de acceso a áreas verdes.

Gráfico 6. Población residente a diferentes rangos de distancia a bancos en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en mayo 2017.

Mapa 6. Indicador de proximidad a bancos en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en mayo 2017.

La concentración espacial de los bancos en el área central de la ciudad de Heredia, donde la densidad de población es muy baja, hace que el acceso a ellos por parte de los residentes de la ciudad sea concéntrico y con valores muy bajos. Solo el 11% de los residentes de la ciudad tiene un banco a menos de 250 metros de distancia y solo un 1% a menos de 100 (gráfico 6), hay un porcentaje relativamente alto de población (29%) que tiene un banco a una distancia moderadamente buena (entre 250 y 500 metros) y un porcentaje más alto (32%) que tiene un banco a una distancia considerablemente alta (entre 500 y 750).

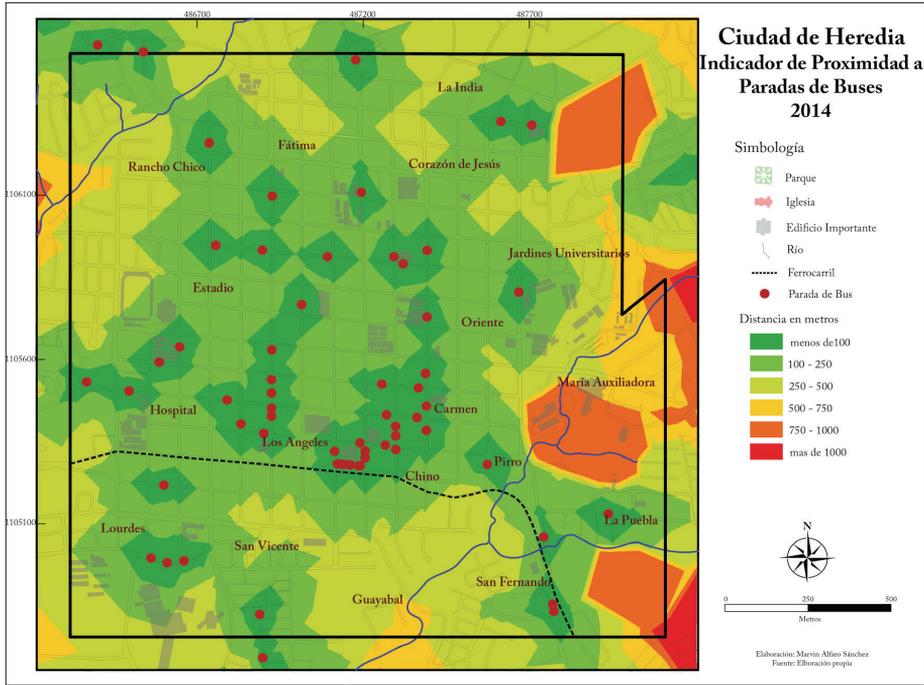
5. Indicador de proximidad a servicios de transporte público

a. Paradas de buses

En el mapa 7 se puede apreciar la accesibilidad por proximidad a las paradas de buses. La conectividad es claramente mayor en el centro de la ciudad donde se concentran las paradas, desde donde salen y a donde llegan la mayoría de rutas de buses que conectan la ciudad con otras ciudades, pueblos y barrios de otros distritos y cantones, y donde se encuentran las principales actividades financieras y comerciales de Heredia. Hacia la periferia de la ciudad disminuye la densidad de paradas disminuyendo el acceso a las líneas de transporte público.

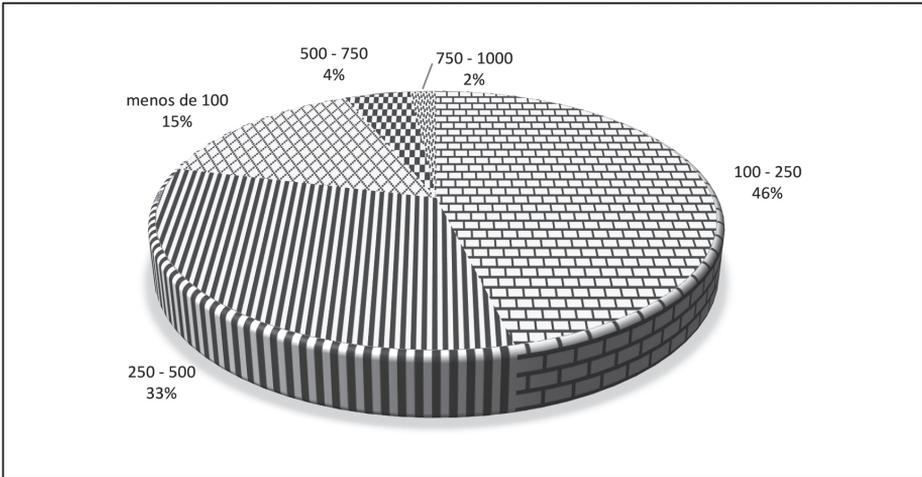
En términos generales la accesibilidad al transporte público por proximidad a las paradas de buses es bastante alta en la ciudad de Heredia. Los residentes que tienen una parada de buses a menos de 100 metros de sus residencias es el 15% del total y los que la tienen a una distancia entre 100 y 250 metros es el 46%, lo que en conjunto resulta que un 61% de los residentes de la ciudad caminan como máximo 250 metros para alcanzar una parada de bus (gráfico 7), la más alta proximidad a cualquiera de todos los servicios cuantificados en este documento.

Mapa 7. Indicador de proximidad a paradas de buses en la ciudad de Heredia



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en mayo 2017.

Gráfico 7. Población residente a diferentes rangos de distancia a paradas de buses en la ciudad de Heredia



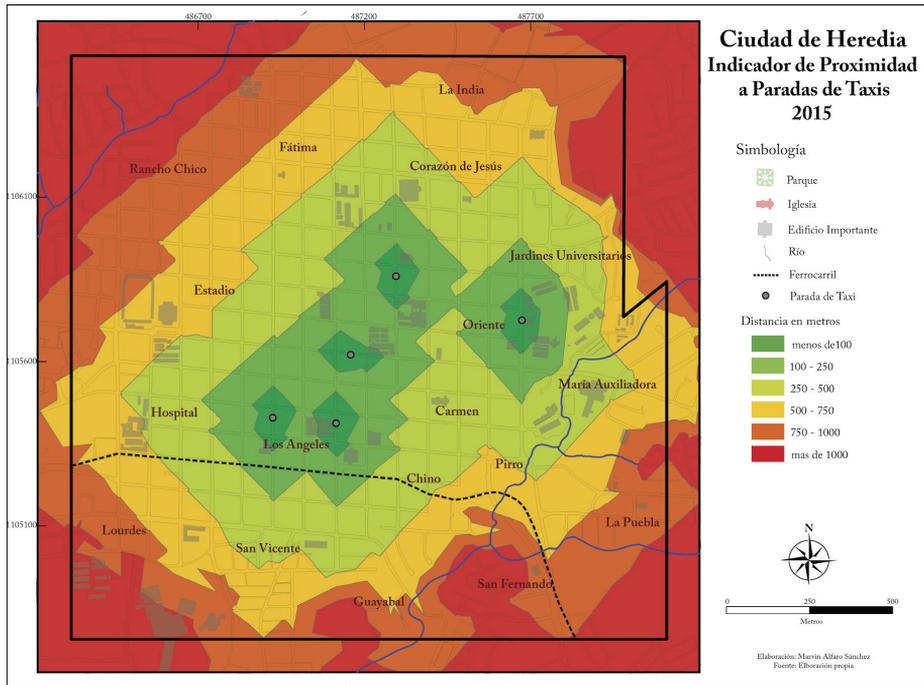
Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en mayo 2017.

b. Paradas de taxis

Al igual que casi todos los otros servicios que se ofrecen en la ciudad de Heredia, las paradas de taxis están concentradas en el centro de la ciudad donde se desarrolla casi toda la actividad comercial y donde hay poca población residente. (Mapa 8)

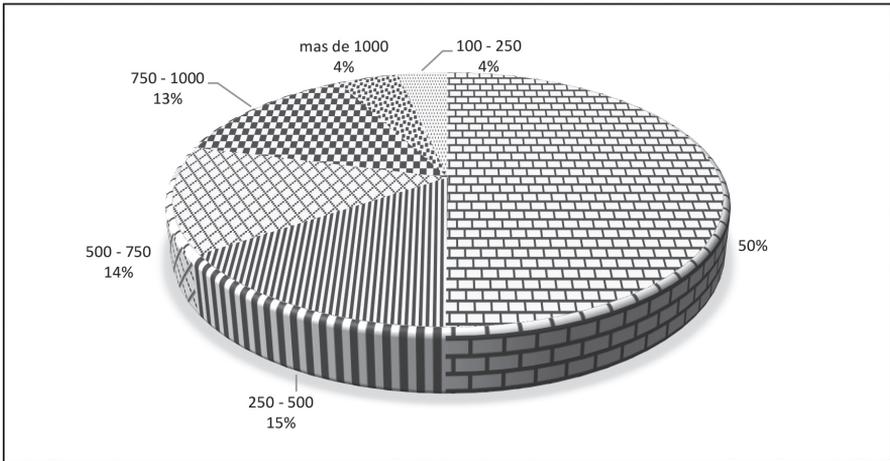
Es obvio, que el acceso al transporte público usando el servicio de taxis, no se da exclusivamente en las paradas de ellos, pero si se toma como referencia el indicador de la proximidad por distancia a ellas que tiene la población, se puede observar muy claramente un comportamiento concéntrico partiendo desde la zona comercial de la ciudad, lo que hace que el acceso a este servicio urbano este en función de la distancia al centro de la ciudad en la que viven sus residentes.

Mapa 8. Indicador de proximidad a paradas de taxis en la ciudad de Heredia



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

Gráfico 8. Población residente a diferentes rangos de distancia a paradas de taxis en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

6. Indicador de proximidad a servicios de salud

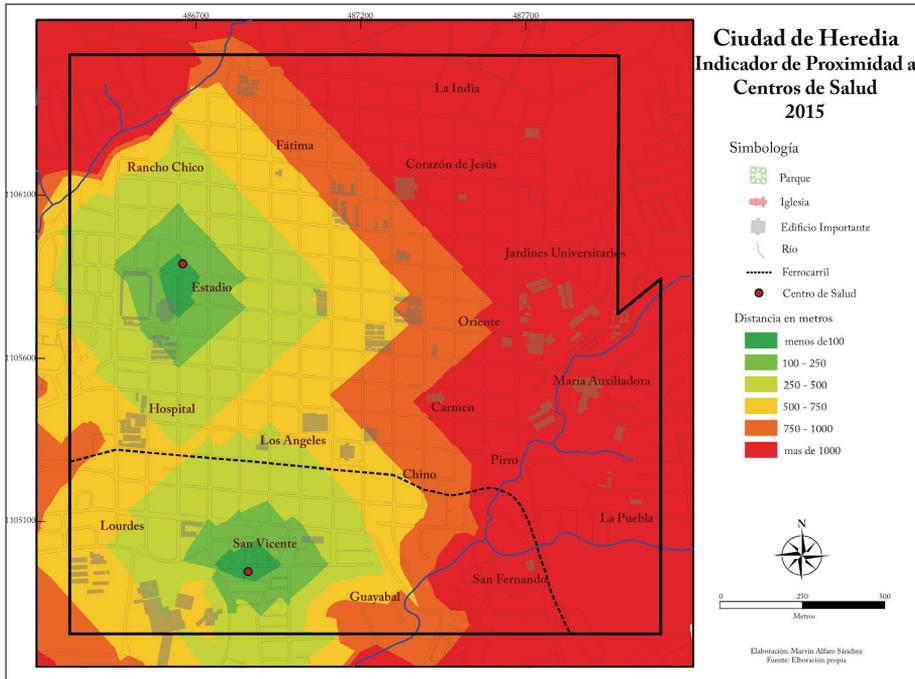
a. Centros de atención médica

Los servicios públicos de atención médica en la ciudad de Heredia, como en el resto del país, tienen dos componentes: la atención por consulta con cita previa, en lo que se denomina Equipos Básicos de Atención Integral en Salud (EBAIS), que atiende el control de enfermedades ya diagnosticadas, y la hospitalaria, que atiende emergencias, cirugías y enfermedades que requieren personal o equipo especializado para su atención, reuniendo ambos servicios en una sola variable, se tiene que la proximidad por distancia que tienen los residentes de la ciudad de Heredia a los servicios públicos de salud es bastante baja (gráfico 9). Solamente el 1% de la población reside a menos de 100 metros de los centros de salud y un 5% lo hace a una distancia de entre 100 y 250 metros (gráfico 7) y esto está en función directa de la distribución de los centros de salud pública, que se concentran en un solo edificio al oeste de la ciudad. (Mapa 9)

Los bajos porcentajes de accesibilidad a los servicios de salud se ven ligeramente mitigados por el porcentaje relativamente alto de población residente a una distancia moderada de entre 250 y 500 metros, que es del 23% (casi uno de cuatro residentes), pero esto se anula parcialmente si se

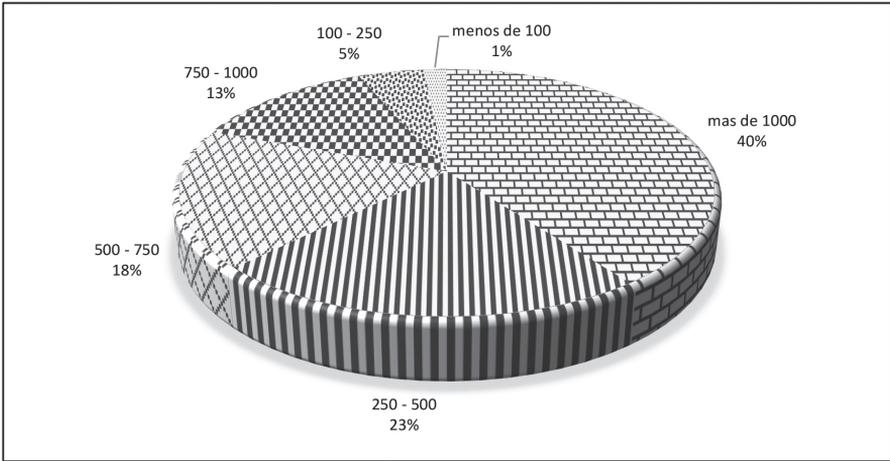
observa que para el 40% de la población residente en la ciudad los centros de salud se encuentran a más de 1000 metros de distancia.

Mapa 9. Indicador de proximidad a centros de salud en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

Gráfico 9. Población residente a diferentes rangos de distancia a centros de salud en la ciudad de Heredia.

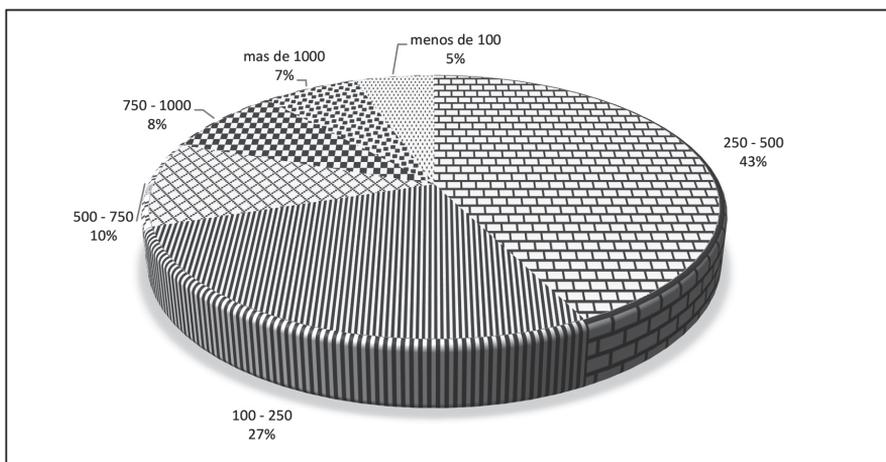


Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en mayo 2017.

b. Indicador de proximidad a farmacias

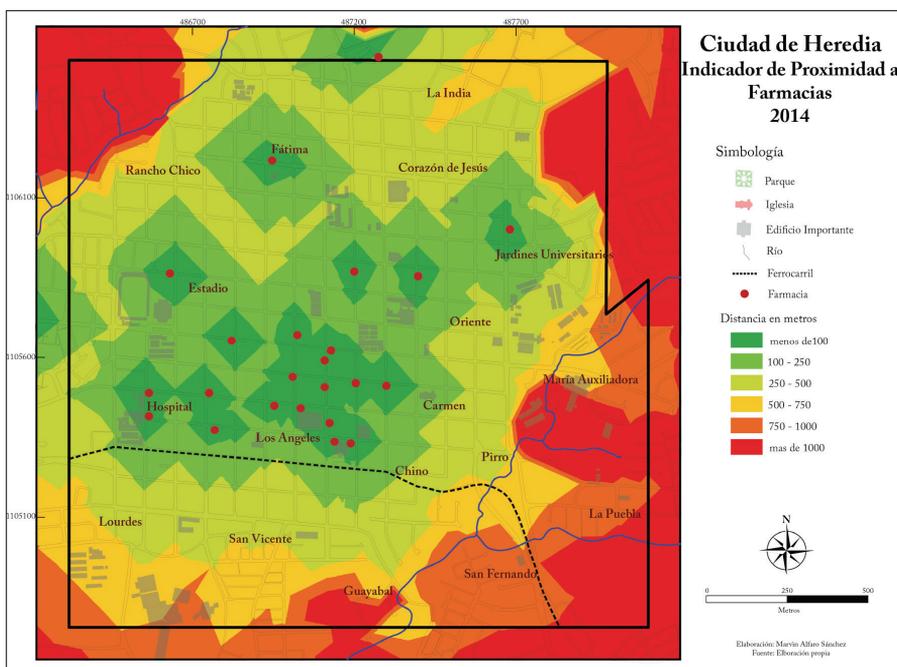
En la ciudad de Heredia las farmacias, salvo unas cuantas excepciones, se localizan en el área comercial de la ciudad (mapa 10), por lo que el acceso a ellas por proximidad tiene valores solo un poco más altos que los de acceso a los otros servicios que se concentran, también, en el área comercial.

Gráfico 10. Población residente a diferentes rangos de distancia a farmacias en la ciudad de Heredia



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en mayo 2017.

Mapa 10. Indicador de proximidad a farmacias en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

El porcentaje de población con mejor acceso al servicio de farmacias es de solo el 5%, que reside a menos de 100 metros de ellas (gráfico 10), y un 27% de la población de la ciudad vive a una distancia que varía entre 100 y 250 metros, lo que sumado significa que casi uno de cada tres residentes tiene una farmacia a una distancia muy buena para recorrerla a pie y otro porcentaje alto de población (43%) tiene una farmacia a una distancia relativamente buena (entre 250 y 500 metros), lo que en suma da que tres de cada cuatro residentes de Heredia deben caminar como máximo 500 metros para acceder a una farmacia.

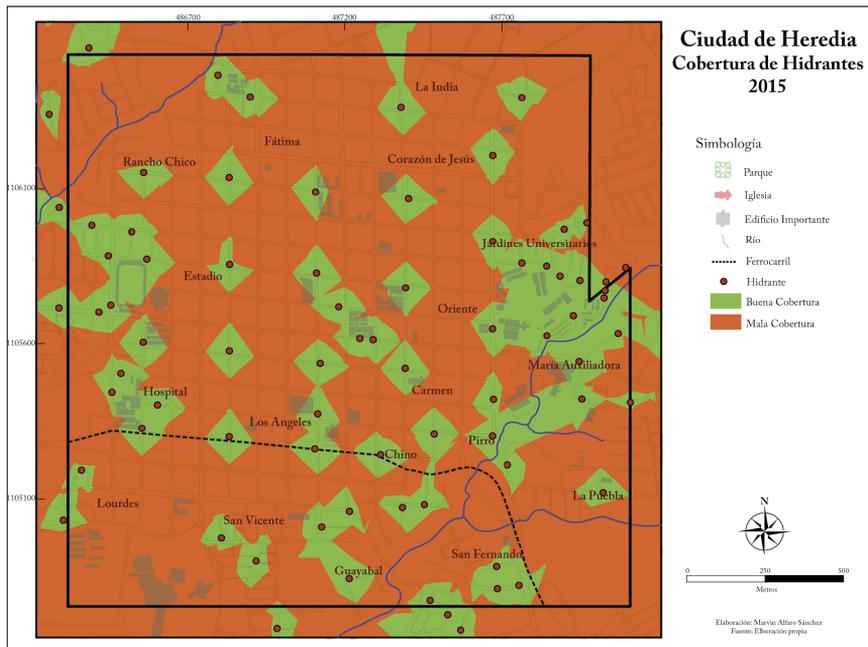
7. Indicador de proximidad servicios de seguridad ciudadana

a. Hidrantes

El acceso por proximidad a los hidrantes, por la naturaleza de su uso, debe analizarse desde dos puntos de vista. Por un lado, su distribución espacial, que en la ciudad de Heredia es bastante homogénea (mapa 11), pero insuficiente, porque si sigue la norma 291 NFPA de la Asociación Norteamericana de Protección contra Incendios, adoptada por el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, que estima que la distancia lineal máxima entre hidrantes, en áreas urbanas, no debe ser superior a los 180 metros, solo el 53% de los 109 hidrantes tiene una distancia entre sí menor a ella, lo cual quiere decir que en el 47% de la ciudad no hay una cobertura aceptable de este tipo de dispositivo contra incendios.

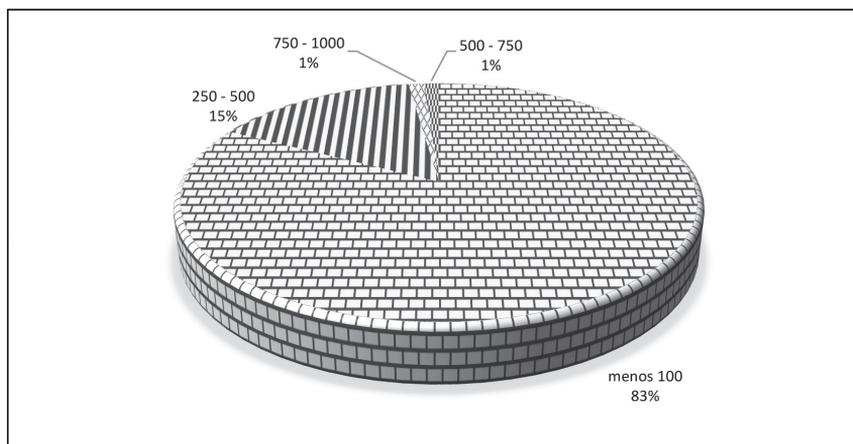
Por otro lado, la proximidad por cercanía de las residencias de los ciudadanos a los hidrantes, que en este caso, a diferencia a los otros indicadores, se contabilizó los que residen a una distancia igual o inferior a 180 metros, es bastante buena, ya que un 68% de los residentes viven a menos de esa distancia de los hidrantes, es decir, casi siete de cada diez ciudadanos tienen un hidrante a la distancia idónea, según los parámetros del cuerpo de bomberos. (Gráfico 11)

Mapa 11. Indicador de proximidad a hidrantes en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

Gráfico 11. Población residente a diferentes distancias de hidrantes en la ciudad de Heredia.



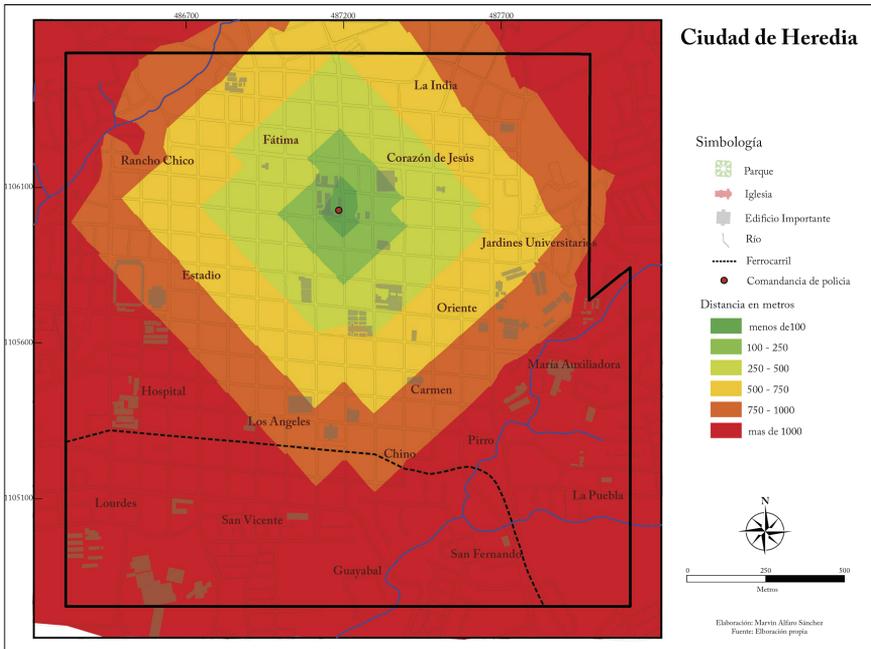
Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

b. Policía

El acceso por proximidad, a una estación de policía en la ciudad de Heredia, es muy limitado, ya que solo existe una en toda la ciudad (mapa 12), por lo que, al igual que con el acceso a servicios de salud y otros, el acceso a los servicios de seguridad ciudadana es una función directa y concéntrica a partir de la ubicación de lo que se llama la *comandancia de policía*.

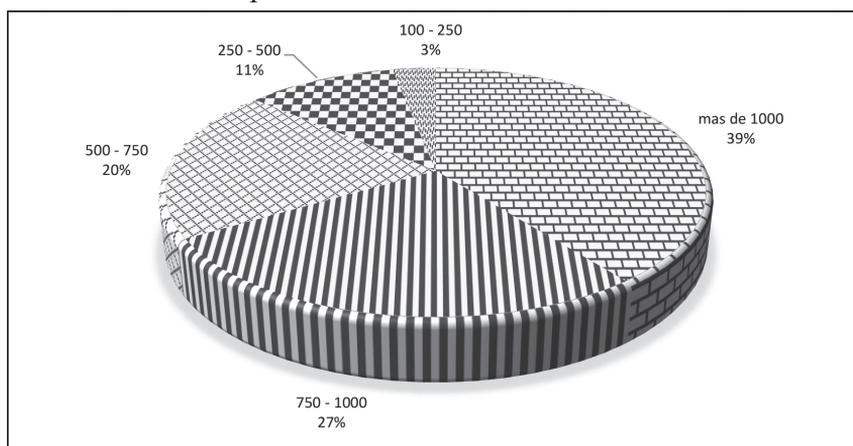
Siguiendo el mismo esquema de distancias, se tiene que, en la ciudad de Heredia, solamente el 2% de la población tiene una estación de policía a menos de 250 metros de distancia, que sería la distancia idónea según los lineamientos de esta investigación, un 10% la tiene a menos de 750 metros y un 69% a más de un kilómetro de distancia, es decir, que una patrulla o un policía debe desplazarse más de un kilómetro para llegar a siete de cada diez casas en la ciudad. (Gráfico 12)

Mapa 12. Indicador de proximidad a comandancia de policía en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

Gráfico 12. Población residente a diferentes distancias de comandancia de policía en la ciudad de Heredia.

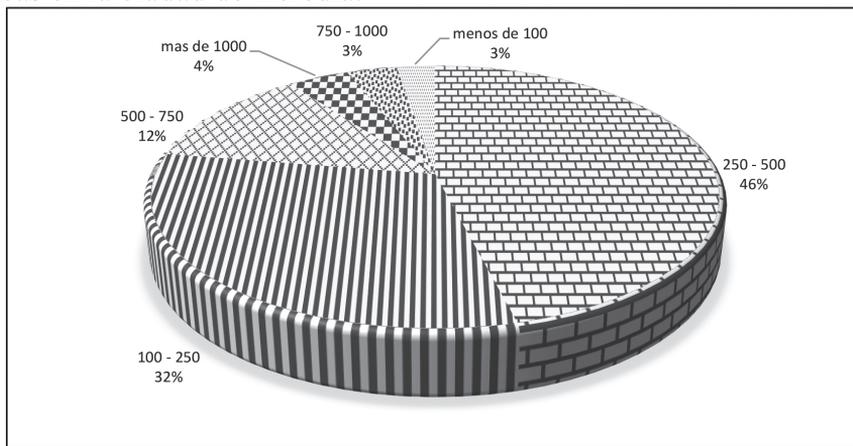


b Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

8. Indicadores de proximidad a servicios religiosos

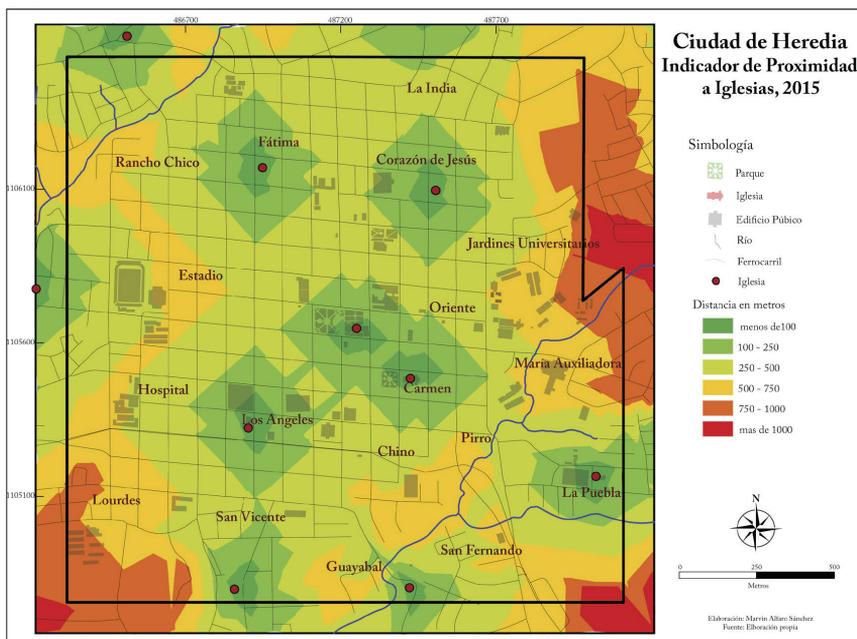
La proximidad, por cercanía, a servicios religiosos consideró, únicamente la distancia a iglesias católicas, porque esta es la fe que practica cerca del 76% de los creyentes en Costa Rica (Madrigal, 2015) y al igual que en varios de los otros casos, la distribución de las iglesias católicas es bastante homogénea en la ciudad de Heredia (mapa 12), lo cual se traduce en una buena accesibilidad para la población, ya que el 23% de los ciudadanos viven a menos de 250 metros de una iglesia, es decir, casi uno de cada cuatro, mientras que los que viven a menos de 500 es el 74% de la población, lo cual representa casi tres de cada cuatro ciudadanos, (gráfico 12) y solamente 26% de la población debe desplazarse más de 500 metros para llegar a un centro religioso católico para satisfacer sus necesidades religiosas.

Gráfico 13. Población residente a diferentes distancias a iglesias católicas en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

Mapa 13. Indicador de proximidad a iglesias en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

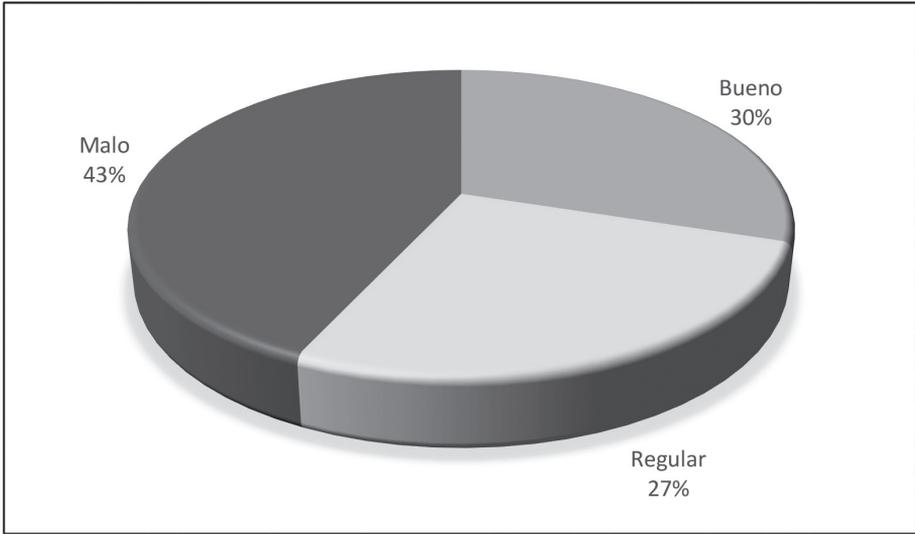
Síntesis de resultados

Aunque los indicadores, individualmente, fueron mapeados todos, no se puede hacer una sumatoria espacial (de mapas), pues cada servicio tiene un área de influencia diferente determinada por su localización y no hay forma de acumular proximidades a los servicios en función de la distancia que deben recorrer los residentes de la ciudad para accederlos.

Lo que sí puede hacerse, a modo de síntesis, es promediar las distancias que deben recorrer los residentes de la ciudad para acceder a los servicios, desde este punto de vista, se puede afirmar que los residentes de la ciudad de Heredia tienen un acceso modernamente bueno a los servicios urbanos que hay en la ciudad. En el gráfico 14 se resume y se simplifica la proximidad, medida por distancias, a los servicios. Un 30% de todos los residentes, tienen que caminar menos de 250 metros para acceder a los servicios y un 27% de la población residente tiene un acceso calificado como regular a ellos, ya que en promedio deben caminar o desplazarse un máximo de 750 metros para acceder a los servicios presentes en la ciudad, en suma, un 57% de los residentes de la ciudad de Heredia tienen un acceso al menos aceptable a las facilidades urbanas en esta ciudad.

Lo anterior, muestra que la ciudad de Heredia puede ser calificada como un núcleo urbano en el que se puede, aún, realizar una mezcla de actividades, con residencia, en función de la proximidad a los servicios, lo que muestra que existen niveles buenos y aceptables de autocontención y autosuficiencia básicos en cualquier proceso de sostenibilidad y movilidad urbana. (Ayuntamiento de Sevilla. 2008)

Gráfico 14. Población residente y el acceso promedio a los servicios en la ciudad de Heredia.



Fuente: Elaboración propia, datos recolectados en junio 2017.

Conclusiones

En esta investigación se midió únicamente el acceso por proximidad, que tiene la población residente en la ciudad de Heredia a algunos servicios y no se consideró la calidad de estos, que sin duda alguna es el complemento lógico e idóneo en una evaluación como esta, partiendo de esto es destacable la gran heterogeneidad en el acceso a los servicios en esta ciudad. Algunos indicadores presentan números muy positivos, como es el caso de los servicios comerciales, de tiendas de abarrotes o de acceso a hidrantes, mientras que otros no tanto, como es el de acceso a áreas verdes, servicios de salud o de seguridad ciudadana.

Dentro de los servicios con acceso más pobre está el de áreas verdes, hay un claro déficit de áreas verdes próximas a las zonas residenciales de la ciudad, nuevamente, sin considerar la calidad de ellas. La superficie de áreas verdes (parques, jardines públicos u otros) disponible por ciudadano (3.1 m²) está muy por debajo de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, que lo define entre 10 y 15 m², y además de ser pocas, se ubican a distancias poco amigables para los residentes, con el

agravante de que no existen predios desocupados en la ciudad en los que se puedan crear nuevos espacios verdes.

Los indicadores de proximidad a centros de salud y a estaciones de policía presentan, también, valores negativos, y ambos, muy posiblemente, por la misma razón. Los dos son servicios brindados por instituciones del gobierno central de Costa Rica que tienen administraciones muy centralizadas, tanto a nivel operativo como en términos de ubicación espacial, es decir, ambas centralizan sus operaciones en un solo edificio y no en centros pequeños distribuidos a lo largo de la ciudad, por lo que la población que vive cerca de ellos es relativamente poca con respecto al total de la ciudad.

Los otros indicadores de proximidad a servicios ofrecidos por el estado central como el de educación, tiene algunas características importantes de consideración. La ubicación de las escuelas y los colegios obedece a un proceso histórico que ya está desfasado, se ubicaron en su posición actual (en el centro de la ciudad) ya hace décadas, cuando había más población cerca de ellos, pero con los cambios en el uso de la tierra, especialmente, con el cambio de uso de residencial a comercial, estas instituciones se ubican hoy en día en áreas poco pobladas, por lo que los indicadores de proximidad presentan valores tendientes a bajos, y posiblemente con tendencia a seguir bajando con los futuros cambios en el uso de la tierra en los próximos años.

Es evidente, que el actual acceso a los servicios analizados en esta investigación, obedece a una dinámica histórica de la ciudad de Heredia, que ha sido dominada por intereses y actores económicos y que esta dinámica ha sido poco controlada por las instituciones públicas, resultando en una disparidad espacial casi anárquica de servicios urbanos, y que las necesidades de la población ha sido un factor irrelevante en la organización del territorio en la ciudad, por lo que es absolutamente necesario que las instituciones públicas intervengan más decidida y directamente en los patrones de distribución espacial de las diferentes actividades que se desarrollan en la ciudad, de modo que su crecimiento se oriente a mejorar el acceso a los servicios y con ello a mejorar la calidad de vida de los residentes a través de un mejor acceso a los servicios que toda ciudad debe ofrecer.

Referencias

- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2010). *Plan de Indicadores de Sostenibilidad Urbana de Vitoria-Gasteiz*. Barcelona, España
- Ayuntamiento de Sevilla. (2008). *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla*, Barcelona, España.
- CAT-MED (Plataforma). (2009). *Urban Empathy*. Recuperado de <http://www.catmed.eu/dic/es/61/proximidad-a-servicios-basicos>.
- Comisión Económica para América Latina. (CEPAL). (2000). *Servicios urbanos y equidad en América Latina. Un panorama con base en algunos casos*. División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. Santiago, Chile.
- Chevalier, S., Choiniere, R. y Bernier, L. (1992). *User guide to 40 Community Health Indicators*. Ottawa, Community Health Division. Health and Welfare Canada. Ottawa, Canadá
- Del Campo, A., García, F. y Flores, M. (2009). *Proceso de Peatonización y Nueva Sociabilidad*. Centro de Estudios Andaluces. Sevilla, España.
- Ley 4240 de Planificación Urbana. (1962). República de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Organization for Economic Co-Operation and Development. (OECD). (2000). *Competition in Local Services: Solid Waste Management*. Competition Policy Roundtables, ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT.
- Pérez-Foguet, A. (2005). *Asentamientos Humanos e Infraestructuras de Servicios Urbanos*. Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres. Barcelona, España.

El Efecto de la Cobertura del Suelo en la Variación de las Temperaturas Locales; Naranjo, Alajuela, Costa Rica, 2016

The Effect of Soil Cover on Local Temperature Variations;
Naranjo, Alajuela, Costa Rica, 2016

Enzo Barrientos-Ávila¹
Michael Moya-Calderón²
Universidad de Costa Rica, Costa Rica

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.7>

RESUMEN

El estudio pretende relacionar las variaciones en las temperaturas locales en el distrito central del cantón de Naranjo, Alajuela, mediante el uso de imágenes Landsat 8 y Sistemas de Información Geográfica. Se realizó una vectorización de la cobertura del suelo y se compararon las áreas de las diferentes coberturas con las áreas de los rangos de temperatura obtenidos, mostrando una relación entre las temperaturas altas y las zonas urbanas y las temperaturas bajas y las zonas con vegetación. Mostrar las relaciones entre la cobertura y la temperatura es importante para establecer medidas de mitigación y adaptación efectivas ante los cambios climáticos, y así evitar efectos que van asociadas a las zonas urbanas como lo son las islas de calor.

Palabras clave: Landsat, cobertura del suelo, temperatura.

1 Estudiante de Bachillerato en Gestión de los Recursos Naturales, Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: enzob2093@gmail.com

2 Magister en Desarrollo Sostenible-Conservación Biológica. Docente-investigador en la Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente, Sección de Biología. Programa de Investigaciones de Recursos Naturales Sostenibles. Correo electrónico: michael.moya@ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 6 de febrero de 2017
Fecha de aceptación: 23 de noviembre de 2017

ABSTRACT

The study aims to relate the variations in local temperatures in the central district of Naranjo, Alajuela, through the use of Landsat 8 images and Geographic Information Systems. A vectorization of the soil cover was carried out, and the areas of the different coverings were compared with the areas of the temperature ranges obtained, showing a relationship between high temperatures and urban areas and low temperatures and areas with vegetation. Showing the relationship between coverage and temperature is important to establish effective mitigation and adaptation measures in the face of climate changes and thus to avoid effects associated with urban areas such as the heat islands.

Keywords: Landsat, soil cover, temperature.

Introducción

Los países en vías de desarrollo son vulnerables ante los cambios extremos que se dan en el clima, es posible que el cambio climático aumente la frecuencia y la cantidad de fenómenos meteorológicos radicales, aumentando a su vez los efectos que se asocian a estos. La resiliencia al cambio climático depende de los modelos de desarrollo que se han creado para los países en crecimiento (Mirza 2003, p.1). Aunque el cambio climático es un proceso global, sus raíces son locales, el control del clima en el medio urbano es una labor que se debe tomar en cuenta para la planificación y la gestión ambiental en las ciudades contra los escenarios que presenta el cambio climático (Romero, Irrázaval, Opazo, Salgado & Smith 2010, p.36).

La urbanización ha traído consigo algunas consecuencias, como lo son la pérdida de áreas verdes, reducción en la captación de gases de carbono, una mayor emisión de contaminantes de la atmosfera, impermeabilización de los suelos y el almacenamiento de calor en las estructuras y superficies, originando las llamadas islas de calor urbanas (Valor *et al.* 2000, p.1; Grimmond 2007, p.83).

Estudios realizados en Eurasia sugieren que el cambio en el uso/cobertura del suelo tiene un efecto importante en las temperaturas, así mismo muestran evidencias claras de que el efecto de este cambio no afecta de gran manera las temperaturas promedio, en su lugar afectan las temperaturas máximas y mínimas (Li, *et al.*, 2017, p. 66).

En el contexto latinoamericano, esta labor es de gran importancia, debido a que presenta, de manera extraordinaria, un alto nivel de urbanización (United Nations 2009, p.9). Las ciudades evidencian como el desarrollo económico ha propiciado al cambio climático, todos los países

del mundo siguen el mismo patrón de crecimiento y concentran de forma desordenada la mayor parte de su población en espacios urbanos (Casillas, García, Leyva & González 2014, p.140).

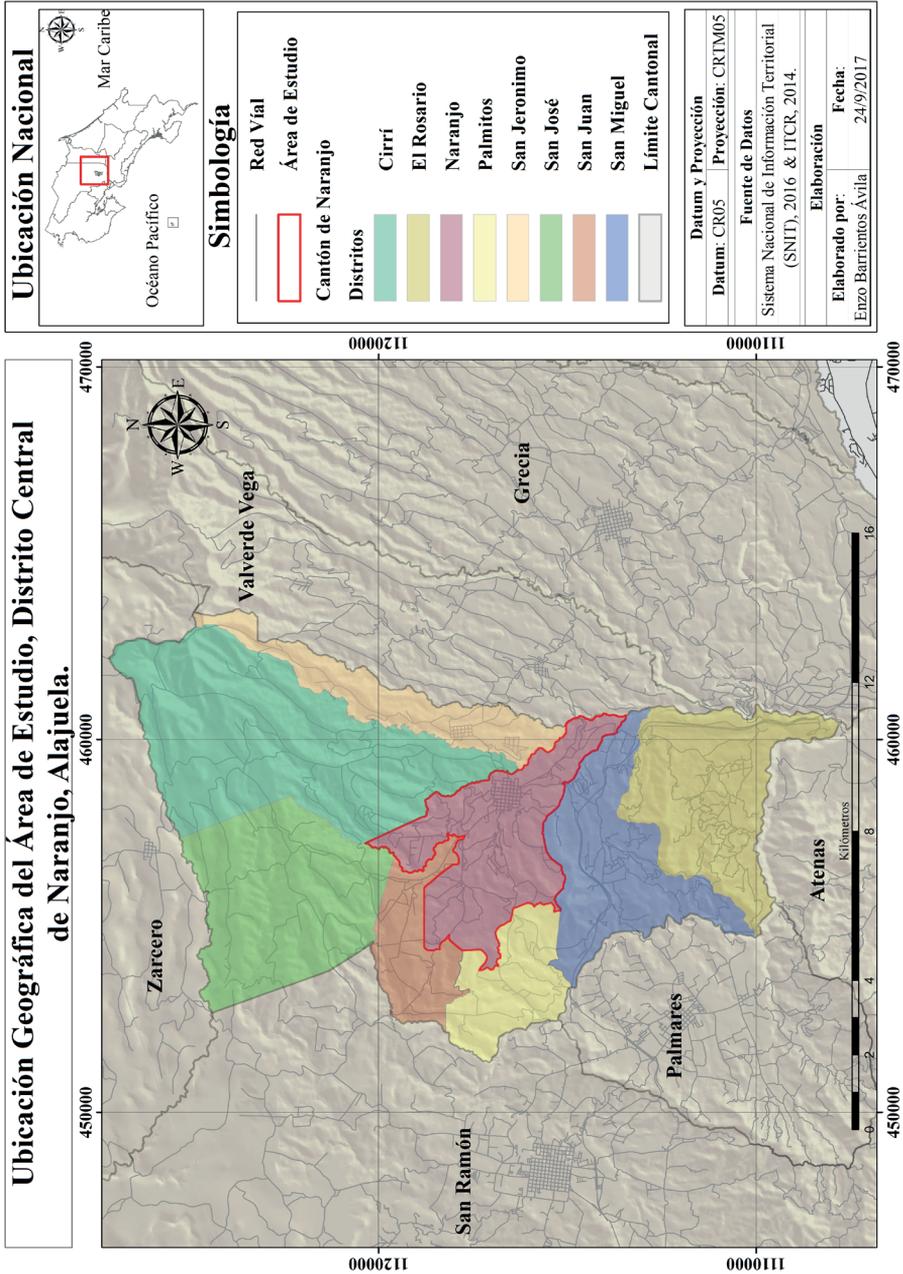
Este trabajo pretende relacionar la cobertura del suelo con la variación en las temperaturas locales, con el propósito de establecer posibles acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Materiales y métodos

Área de estudio

Esta contempla el distrito central del cantón de Naranjo en la provincia de Alajuela, Costa Rica (Fig. 1), el cantón como tal no está tomando medidas visibles para la adaptación al cambio climático, como si lo hacen otros cantones de occidente por medio de planes de arborización urbana, además, se toma el distrito central por ser el que posee un mayor grado de urbanización. El cantón de Naranjo se ubica entre las coordenadas 10°06'23" latitud norte y 84°23'23" longitud oeste, posee una extensión de 126.62 Km², su distrito central tiene una superficie de 16,85 Km² y una altitud que va desde los 840 hasta los 1361 msnm y presenta una temperatura promedio entre 20 y 22 °C (Municipalidad de Naranjo, 2012, p.4).

Figura 1. Área de estudio.



Cobertura del suelo

Se realizó una vectorización de la fotografía aérea Naranjo del proyecto misión Carta 2005 (Costa Rica Airborne Research and Technology Applications) para determinar los tipos de uso de suelo del distrito por medio del software ARC GIS 10.2.1® (ESRI, 2013). Al resultado de la vectorización, se le agregaron cuadrículas de 1000x1000 m, con la herramienta *Cuadrícula Vectorial*, del software QGIS 2.14.2 ESSEN® (QGIS Development Team, 2016); dentro de estas cuadrículas se creó un punto en el centro con la herramienta *Centroides de Polígonos*, dando como resultado 32 puntos, los cuales se visitaron los días 1, 2 y 3 de Agosto de 2016, para realizar comprobación de campo de la exactitud de la vectorización en parcelas de 20x20 m, con el uso de GPS Garmin Oregon 550. Se determinaron las siguientes coberturas:

- **Uso urbano:** todas aquellas zonas donde se presenta infraestructura urbana, por ejemplo, casas, carreteras, locales comerciales.
- **Cobertura forestal:** aquellas áreas con presencia de árboles, ya sean naturales o artificiales, que no se encuentren dentro de áreas de cultivos ni en zonas verdes; presentando características más naturales.
- **Cultivos con sombra:** zonas destinadas para el cultivo, con presencia de árboles en ellas cubriendo el 20% o más de la plantación.
- **Cultivos sin sombra:** zonas en las que se desarrolla el cultivo, con poca (menos de 20%) o sin presencia de árboles.
- **Suelo descubierto:** suelo con poca o sin ninguna cobertura de plantas herbáceas.
- **Tacotal:** terreno no utilizado para el cultivo, cubierto espesamente de plantas herbáceas y arbustos.
- **Zona verde arbolada:** aquellas zonas que son utilizadas como jardines, parques o zonas de recreación, locales comerciales que cuentan con presencia de árboles.

Estimación de temperaturas

Para la estimación de las temperaturas se descargaron imágenes Landsat 8 del 4 de octubre del año 2015 de (USGS, 2016) y se analizaron mediante el software QGIS 2.14.2 ESSEN® con el uso del complemento *Semi-Automatic Classification* (SCP) Congedo (2015) y la metodología establecida por el mismo.

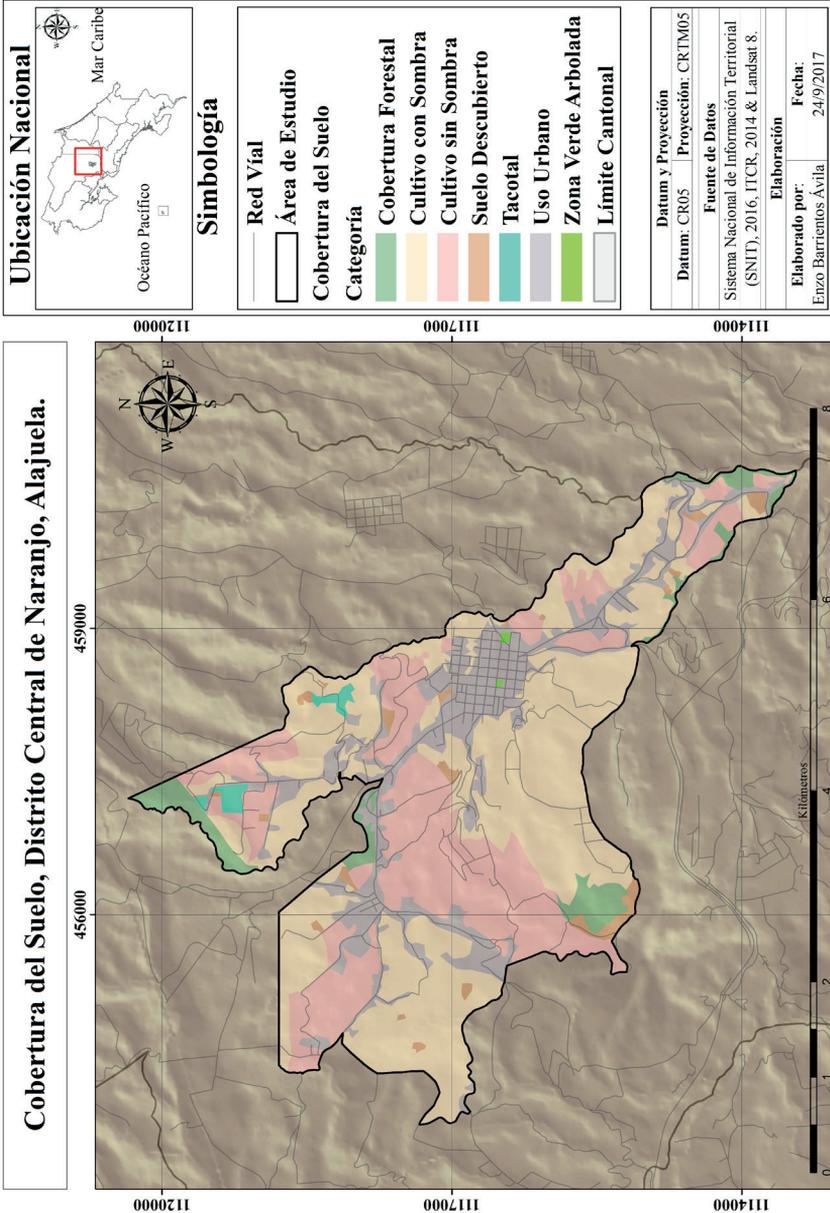
Se realizaron cruces de cada tipo de cobertura con cada uno de los cinco rangos de temperatura establecidos, mediante la herramienta *Intersect* (ARC GIS), para establecer el porcentaje de área de cada cobertura que se encontraba dentro de cada rango de temperatura. Para efectos de esta investigación, se establecieron los siguientes rangos de temperatura, según los datos obtenidos del modelo realizado:

1. 24,41-26,76 °C
2. 26,74-28,49 °C
3. 28,50 -30,10 °C
4. 30,11-32,16 °C
5. 32,17-35,88 °C

Resultados

Cobertura del suelo: en total se identificaron siete distintas coberturas de suelo en el distrito central, los cuales se pueden observar en la Figura 2, con su respectiva distribución dentro del área de estudio. La cobertura de suelo con mayor extensión es el cultivo con sombra, seguido del cultivo sin sombra y el uso urbano, con menor extensión se encuentran el tacotal y las zonas verdes arboladas (Cuadro 1).

Figura 2. Cobertura del suelo del distrito central del cantón de Naranjo, Alajuela, Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 1. Cantidad de área por tipo de cobertura y sus correspondientes porcentajes.

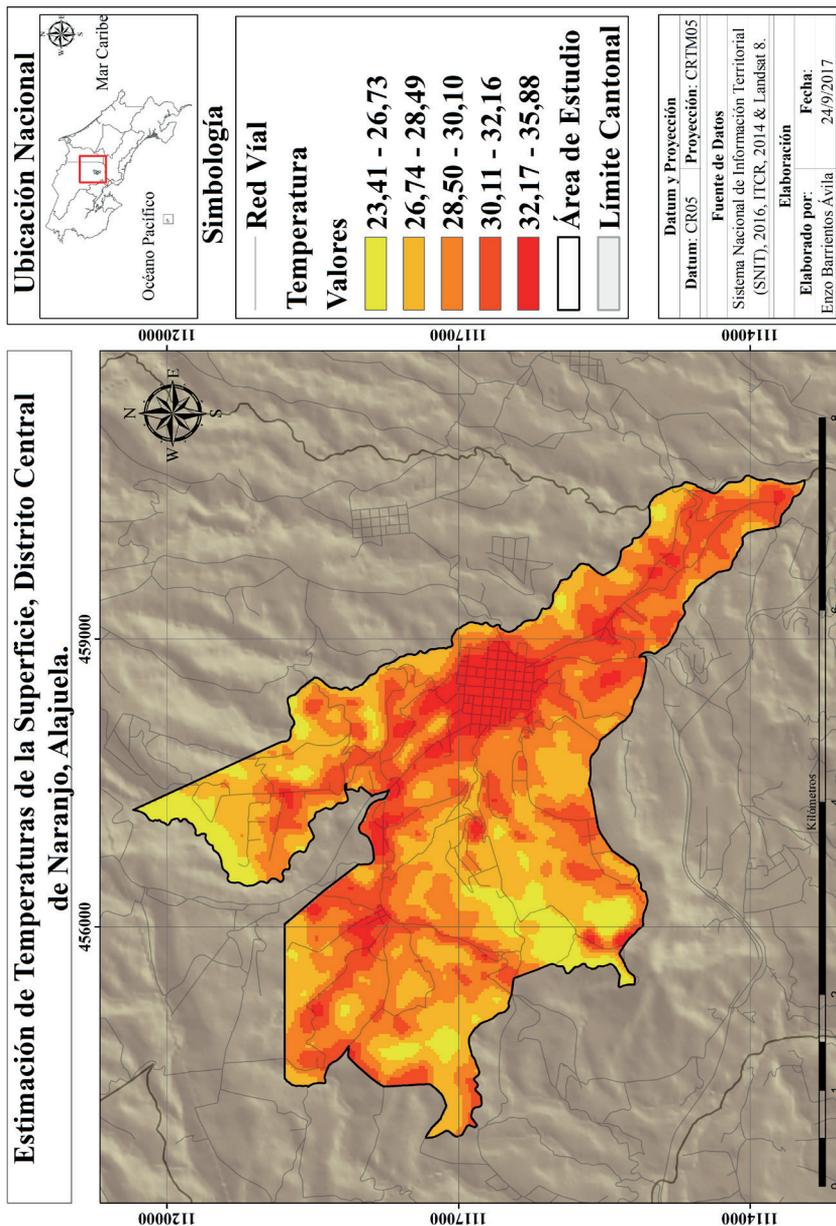
Categoría	Área (m ²)	Porcentaje de Área (%)
Cobertura forestal	812649,65	4,82
Cultivo con sombra	7831042,27	46,48
Cultivo sin sombra	4632109,84	27,50
Suelo descubierto	342503,04	2,03
Tacotal	146513,63	0,87
Uso urbano	3068518,41	18,21
Zona verde arbolada	15907,15	0,09

Temperatura: la temperatura más alta es de 35,88 °C y la más baja de 23,41 °C, en la Figura 3, se observa la distribución de la temperatura dentro del área de estudio, siendo el rango de 28,50 a 30,10 °C el que presenta mayor distribución dentro del área de estudio y el de 32,17 a 35,88 °C el de menor distribución.

Cuadro 2. Cantidad de área de los rangos de temperatura dentro del área de estudio y su porcentaje de área.

Rango de Temperatura	Área (m ²)	Porcentaje de Área (%)
24,41 -26,76 °C	1371241,99	8,22
26,74 -28,49 °C	4710017,69	28,25
28,50 -30,10 °C	5588470,48	32,92
30,11 -32,16 °C	3862913,52	22,75
32,17 -35,88 °C	1310350,65	7,86

Figura 3. Temperaturas presentes en el área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Distribución de la temperatura con respecto a las coberturas de suelo: la cobertura de suelo que presentó una mayor cantidad de área dentro de los rangos de temperatura más altos corresponden al uso urbano y las zonas verdes arboladas, las cuales se encuentran dentro de las zonas urbanas, las cuales poseen la mayor cantidad de su área dentro de los rangos de temperatura de 30,11 a 32,16 °C y 32,17 a 35,88 °C; por otro lado, en cuanto al rango de temperaturas más bajo, presenta una mayor cantidad de área la cobertura forestal y en los rangos siguientes ambos tipos de cultivos. Las relaciones porcentuales entre área y temperatura se pueden observar en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Porcentajes de área presente en cada rango de temperatura, según la cobertura del suelo.

Cobertura del Suelo	Temperatura (°C)	Porcentaje de Área (%)
Cultivos con sombra	24,41-26,76	4,75
	26,74-28,49	36,92
	28,50-30,10	39,61
	30,11-32,16	16,00
	32,17-35,88	2,72
Cultivos sin sombra	24,41-26,76	12,31
	26,74-28,49	32,94
	28,50-30,10	34,82
	30,11-32,16	18,30
	32,17-35,88	1,63
Uso urbano	24,41-26,76	0,31
	26,74-28,49	1,59
	28,50-30,10	16,09
	30,11-32,16	47,49
	32,17-35,88	34,52
Cobertura forestal	24,41-26,76	49,89
	26,74-28,49	23,55
	28,50-30,10	16,94
	30,11-32,16	7,46
	32,17-35,88	2,16

Cobertura del Suelo	Temperatura (°C)	Porcentaje de Área (%)
Suelo descubierto	24,41-26,76	0,59
	26,74-28,49	9,26
	28,50-30,10	30,69
	30,11-32,16	46,46
	32,17-35,88	12,99
Tacotal	24,41-26,76	8,48
	26,74-28,49	55,26
	28,50-30,10	29,91
	30,11-32,16	6,35
	32,17-35,88	0
Zona verde arbolada	24,41-26,76	0
	26,74-28,49	0
	28,50-30,10	0
	30,11-32,16	33,75
	32,17-35,88	66,25

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Los resultados de la investigación permiten determinar por medio de la distribución de temperaturas dos espacios en el área de estudio: aquel que posee temperaturas más elevadas, el cual se denominará *espacio urbano*, y, por otro lado, el que posee temperaturas más bajas denominado *periferia*.

Se observan en el área de estudio variaciones en la temperatura dependiendo del tipo de cobertura del suelo, bajo condiciones naturales sin acciones antrópicas, se podría afirmar que el clima tiene un efecto sobre la distribución de los ecosistemas y de la misma manera, los ecosistemas, por medio de su cobertura pueden afectar los sistemas climáticos (Foley, Heil, Delire, Ramankutty & Snyder, 2003, p.38). Sin embargo, en el caso de Naranjo se observa una matriz de cobertura de suelo bastante modificada por las diferentes actividades humanas, lo cual no dista de lo acaecido en el oeste del Valle Central, donde se ha dado un proceso de crecimiento de las poblaciones que ha causado que se dé un acercamiento entre ellas, provocando diversidad en la matriz de cobertura (Martínez, 2015, p.26).

Al determinar la cobertura del suelo y las temperaturas en el área de estudio, es posible determinar una estrecha relación entre ambas variables.

Esto puede obedecer en parte a las propiedades que posee cada cobertura, así, por ejemplo, la vegetación refleja o absorbe gran parte de la radiación solar, dejando que solo pase una pequeña parte hacia el suelo, y en áreas cubiertas por vegetación se refleja la radiación producida en la noche por los suelos de regreso a este, esta característica y la evapotranspiración son las principales enfriadoras del aire, por otra parte, las características de las construcciones hacen que estas almacenen temperatura que liberan en la noche y calientan el aire, además, la cercanía de los edificios y su forma cambia las corrientes de aire (Ochoa, 1999, p. 104 - 105).

La afirmación anterior queda sustentada en los resultados de la investigación, de manera tal, que hay una diferencia de temperaturas marcadas entre las coberturas que poseen algún tipo de vegetación y aquellas que no, como es en su mayoría el espacio urbano. La cobertura que presenta una mayor relación con las temperaturas bajas corresponde a la cobertura forestal, lo cual concuerda con lo planteado por Ochoa (1999, p.39), que menciona los efectos de la presencia de vegetación en la regulación del clima, disminuyendo las temperaturas del área en la que está presente. Algunas propiedades como la sombra y procesos de evapotranspiración son las encargadas de regular la temperatura del aire, de modo contrario, al sustituirla por coberturas impermeables, que dirigen el agua directamente a alcantarillados, evitando que se evapore y la humedad en el aire regule la temperatura, se origina el aumento de las temperaturas superficiales y atmosféricas (Environmental Protection Agency [EPA], 2009, p.7).

Es necesario considerar que, no solamente es la cobertura el factor influyente en la temperatura, aspectos como: la presencia o ausencia de las nubes, que van a regular el paso de la radiación solar al suelo, las corrientes de viento, que renuevan constantemente el aire presente en la zona y de la humedad presente también afectan. (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2004, p.15).

A pesar de que solamente se contempló analizar la relación cobertura-temperatura, se puede establecer una relación entre el espacio urbano y la periferia, independientemente, de las variables que podrían haber ocasionado el cambio de la temperatura. Ángel, Ramírez & Domínguez (2010, p.181) establecen que las interacciones entre urbano-urbano y urbano-rural determinan aumentos o disminuciones en temperatura, la relación urbano-urbano causa incrementos en la temperatura, por esta razón,

la temperatura se incrementa en el centro de la ciudad y disminuye hacia la periferia. Estas relaciones explican, porque las coberturas de suelo que no presentan una cobertura vegetal densa, pero se encuentran rodeados de usos con coberturas más densas poseen bajas temperaturas.

Aunado a lo anterior, en los resultados también se aprecia que las zonas verdes arboladas dentro del área urbana, en este caso, no parecen tener un efecto regulador del clima, nuevamente Ochoa (1999, p. 39) menciona la ineficiencia en la regulación climática de árboles aislados dentro de espacios urbanos, ya que su efecto desaparece rápidamente por efectos de los movimientos del viento. A pesar de lo anterior, no se deben dejar de hacer esfuerzos por tratar de arborizar las ciudades, ya que un buen plan de arborización que no se quede solo en árboles aislados puede generar muchos beneficios para las ciudades, además de la regulación de temperatura, también mejoran la calidad del aire, mediante la captura de las partículas finas presentes, contribuyen a la reducción del ruido y a la conectividad de espacios naturales dentro y fuera de las ciudades, además de servir como hábitat para especies y mejorar la calidad de vida de las personas (Gutiérrez, 2011, p.4)

Conclusiones

La cobertura del suelo es un factor influyente en los cambios de temperatura del aire y aunque no es el único factor que determina estos cambios, muestra tener un alto grado de importancia en estos, dado que las características de las coberturas pueden influenciar otros factores que los determinan. Por ejemplo, las características de las coberturas vegetales colaboran a la presencia de humedad, que colabora en la regulación de temperatura, y, por el contrario, las características de los materiales de las coberturas urbanas inciden en los aumentos de temperatura.

La distribución de las temperaturas divide el área de estudio en dos: en las zonas urbanas se encuentran las temperaturas mayores y en la periferia se encuentran las temperaturas bajas, esto debido a las relaciones que existen entre los espacios urbano-urbano, el cual favorece los aumentos de temperatura y el urbano-rural, que, por otro lado, contribuye a la disminución de la temperatura.

Las temperaturas menores se encuentran asociadas a las coberturas con algún tipo de vegetación, esto se debe a las características que posee la vegetación como su sombra, evapotranspiración, conservación de la

humedad en el aire, entre otras. Estas características colaboran en la regulación de la temperatura, además de otros beneficios ya mencionados, esta es una de las razones por las que se debe contar con espacios con coberturas con algún tipo de vegetación dentro de las ciudades y no solo árboles aislados, que como ya se mencionó, no causan un efecto significativo en la regulación de temperatura.

Referencias

- Ángel, L., Ramírez, A. & Domínguez, E. (2010). Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 34(131), 173-183
- Casillas, A., García, R., Leyva, O. & González, F. (2014). Detección de la Isla Urbana de Calor mediante Modelado Dinámico en Mexicali, B.C., México. *Información Tecnología*, 25(1), 139-150
- Congedo, L. (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. Recuperado de <https://media.readthedocs.org>.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2009). *Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Environmental Protection Agency, U.S.* Recuperado de <https://www.epa.gov>.
- ESRI. (2013). *ArcGIS Desktop: Release 10.2*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Foley, J., Heil, M., Delire, C., Ramankutty, N. & Snyder, P. (2003). Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Front Ecol Environ*, 2003 1(1), 38-44
- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). (2004). *Meteorología y Climatología: Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004*. Madrid, España: Universidad Nacional De Educación A Distancia FECYT.
- Grimmond, S. (2007). Urbanization and Global Environmental Change: Local Effects of Urban Warming. *Geographical Journal*, 173(1), 83-88
- Gutiérrez, R. (2011). Valor del Arbolado Urbano: La Experiencia de la Municipalidad de Santiago. *Mundo Forestal* 21, 4-7.
- Martínez, T. (2015). *Treinta años de Metamorfosis Urbana Territorial en el Valle Central*. Informe final para: Vigésimoprimer Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (2014). Programa Estado de la Nación. Recuperado de <http://www.estadonacion.or.cr>.

- Mirza, M. (2003). Climate Change and Extreme Weather Events: Can Developing Countries Adapt? *Climate Policy*, 3, 233-248
- Municipalidad de Naranjo. (2012). *Acta de la Sesión Extraordinaria N° 02 del 21 de marzo del 2012*. (Actas de la sesión). Recuperado de <http://www.naranjo.go.cr>.
- Ochoa, J. (1999). *La Vegetación como Instrumento para el Control Microclimático*. (Tesis inédita de doctorado). Unversitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- QGIS Development Team. (2016). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project.
- Rodríguez, N., Pabón, J., Bernal, N. & Martínez, J. (2010). *Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Romero, H., Irrarázaval, F., Opazo, D., Salgado, M. & Smith, P. (2010). Climas Urbanos y Contaminación Atmosférica en Santiago de Chile. *EURE*, 36(109), 35-62
- Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P. & Escobedo, C. (2008). Análisis de la Máxima Intensidad de la Isla de Calor Urbana Nocturna de la Ciudad de Rancagua (Chile) y sus Factores Explicativos. *Revista de Climatología*, 8, 71-84
- United Nations (2009). *World Urbanization Prospects: The 2009 revision*. Recuperado de <http://ipcc-wg2.gov>.
- USGS. (2016). *United States Geological Survey*. Recuperado de <https://www.usgs.gov>.
- Valor, E., Caselles, V., Coll, C., Sánchez, F., Rubio, E., & Sospedra, F. (2000). Análisis Comparativo del Efecto de Isla Térmica de la Ciudad de Valencia con Imágenes TM, MUST y AVHRR. *Revista de Teledetección*, (14), 1-6
- Li X, Chen H, Liao H, Hua W, Sun S, Ma H, Li X, Gao C, Zhu S (2017) Potential effects of land cover change on temperature extremes over Eurasia: current versus historical experiments. *Int. J. Climatol*, 37(1), 59-74

Caracterización Geomorfológica como Propuesta para la Planificación Ambiental y Territorial. Un Ejemplo de Aplicación en Brasil con Perspectiva de Aplicación en Costa Rica

A Geomorphological Characterization as a Proposal for Environmental and Territorial Planning. An Example of Application in Brazil Intended to Be Replicated in Costa Rica

Max Furrier¹
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.8>

RESUMEN

Este trabajo contempla una caracterización geomorfológica como base para la planificación ambiental y territorial en una región costera de Brasil. Desde el punto de vista geomorfológico, el área de estudio se encuentra ubicada sobre las mesetas y tierras bajas costeras, donde predomina la Formación Barreiras y sedimentos del Cuaternario. Esta área posee una grande diversidad pedológica, con diversos usos y ocupaciones. La integración de los datos obtenidos, generados, analizados y discutidos, fueron sintetizados en la plancha de fragilidad de los ambientes naturales y antrópicos que permite visualizar cómo los componentes del medio físico se integran y pueden influenciar en las dinámicas socio-económicas. Esta integración de datos es de fundamental importancia en la planificación ambiental y territorial, principalmente en países en desarrollo como Brasil y Costa Rica, donde en muchas regiones hay pocos datos o los datos son dispersos.

Palabras clave: cartografía geomorfológica, mesetas costeras, plancha de fragilidad.

¹ Profesor Doctor de la Universidade Federal da Paraíba, Brasil. Correo electrónico: max.furrier@gmail.com

Fecha de recepción: 10 de enero de 2018
Fecha de aceptación: 31 de enero de 2017

ABSTRACT

This work contemplates a geomorphological characterization as a basis for environmental and territorial planning in a coastal region of Brazil. From the geomorphological point of view, the study area is located on the plateaus and coastal lowlands, where the Barreiras Formation and Quaternary sediments predominate. This area has a great pedological diversity, with different uses and occupations. The generated, analyzed and discussed data were synthesized using the fragility map of natural and anthropogenic environments; the map allows visualizing how the components of the physical environment are integrated and can influence the socio-economic dynamics. This data integration is of fundamental importance in environmental and territorial planning, mainly in developing countries such as Brazil and Costa Rica, where in many regions there are little data or data are scattered.

Keywords: geomorphological mapping, coastal tableland, fragility map.

Introducción

Las zonas costeras ejercen gran atracción y fascinación, de tal forma que las poblaciones humanas tienden a aumentar su ocupación. Cuando ésta se incrementa, los factores antrópicos se superponen a los fenómenos dinámicos de la naturaleza, agravando las susceptibilidades naturales y la introducción de susceptibilidades inducidas, creando complejas situaciones de crisis de diversos tipos (Suguio *et al.*, 2005). Debido a la complejidad natural y al nivel de intervención humana, la organización del espacio de ambientes costeros y adyacencias propone mayor atención a estas zonas de relieve para el mantenimiento de su equilibrio, manifestando la necesidad de un mayor conocimiento de sus estructuras y de las fuerzas que intervienen en el ajuste de sus formas (Feitosa, 1996).

Las mesetas costeras en zonas litorales, como todo ambiente natural cuando queda libre de intervenciones humanas, presentan desde el punto de vista geomorfológico, características de ambientes de inestabilidad potencial, siendo susceptibles a procesos de origen marino, atmosféricos, endógenos (tectonismo, geoestasia), biológicos y fluviales. Desde el momento en que cualquier ambiente natural comienza la etapa de actividades humanas, se encontrará fuera del equilibrio de los procesos naturales actuantes, tornándose en un ambiente de inestabilidad emergente (Ross, 1994).

Los estudios sobre las zonas costeras y adyacentes vienen aumentando considerablemente en los últimos años, y gradualmente adquieren gran importancia en la planificación ambiental y territorial, principalmente, en áreas donde la intervención humana provoca la destrucción de algún patrimonio o interfiere de modo drástico en los ecosistemas (Ab'Saber; 2000; Hoefel,

1998; Mesquita, 2003; Muehe, 1994). De acuerdo con estas necesidades, se propone un estudio integrado del sur de la costa del Estado de Paraíba y sus áreas adyacentes, en el cual el relieve es la base de la investigación, y de esta forma intentar caracterizar este relieve y sus relaciones con la geología, suelos, clima, vegetación y el uso y ocupación del suelo.

Esta integración de datos, desde los datos litológicos/geológicos, pasando por la interpretación de los mismos y la formulación de una plancha geomorfológica con datos de los suelos y del uso y ocupación de la tierra no es una tarea fácil, principalmente en regiones con un nivel de desarrollo bajo, como sucede en gran parte de Brasil y Costa Rica. Muchos datos están dispersos en servicios geológicos, en servicios geográficos, institutos agrícolas y ambientales. Encontrarlos y utilizar los necesarios para un estudio integrado es una tarea dura, sin embargo, de extrema importancia para esta propuesta holística.

El relieve es escenario de las más variadas actividades humanas. Cada una de las geoformas del relieve, debido a su génesis y a su proceso evolutivo, ofrece a la población en ellas ubicadas, una variedad de beneficios y riesgos, que pueden ser transformados, de acuerdo con el tipo de intervención impuesta por el hombre (Marques, 1994).

La estabilidad del medio físico está íntimamente ligada a la actividad humana y a su grado de intervención. A diferencia de algunas regiones del planeta en las que no se desarrollan actividades humanas como en la Antártida, los ambientes naturales se presentan en un estado de equilibrio dinámico, ofreciendo una mayor o menor fragilidad en función de sus características físicas y morfogenéticas. Desde el momento en que el ser humano empieza a actuar en estos ambientes, el equilibrio dinámico es modificado, trayendo como consecuencia condiciones de fragilidad que son medidas por el grado de intervención humana (Ross, 1996).

El objetivo de la planificación ambiental, según los principios de Santos (2004) es establecer normas para territorios complejos y, para ello, él necesita estar suficientemente ligado a la realidad en sus múltiples aspectos. Tiene que interpretar el medio en relación con su composición. Por esta razón, su diagnóstico busca comprender el medio de forma global, a través del levantamiento de datos y su integración. Muchas veces, hay datos producidos por el servicio geológico que pueden ser útiles a la planificación desde que estos son comprendidos para tales fines.

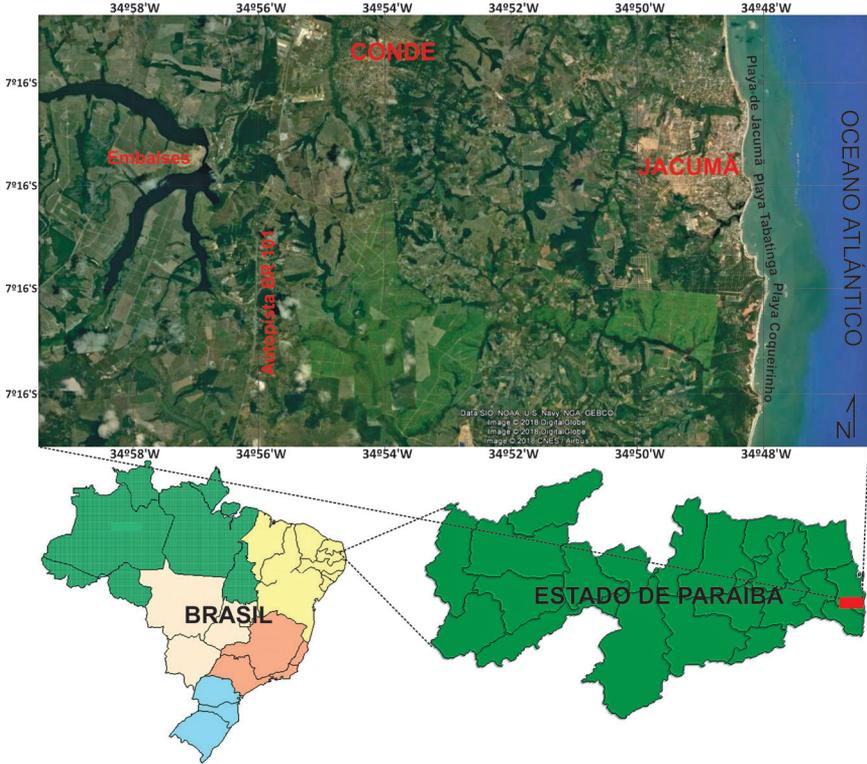
Para estudios integrados del paisaje, los datos de geomorfología se consideran imprescindibles. El análisis del relieve y el mapeo permiten sintetizar la historia de las interacciones dinámicas que ocurren entre el sustrato litológico, la tectónica y las variaciones climáticas (Ross, 1990). El relieve no es solo producto de los procesos superficiales. Tiene una historia geológica que no puede ser renegada.

Por medio del presente trabajo, se busca la suma y la integración de datos físicos y sociales, intentando mostrar el estado actual, proporcionando la integración de los mismos para que puedan servir de base en futuros proyectos de planeación ambiental y territorial, como también, en futuros soportes metodológicos con el intento de su aplicación en Costa Rica.

Localización del área de estudio

El área de estudio está localizada en la parte centro sur del litoral del Estado de Paraíba (Brasil), comprendiendo un área ubicada en las cartas topográficas de Conde y Jacumã, a escala 1:25.000. Esta área está delimitada al norte, por el paralelo 7° 15'00"; al sur, por el paralelo 7° 22'30"; al oeste con el meridiano 35°00' W; y al este, con el Océano Atlántico (Figura 1).

Figura 1. Localización del área de estudio



Fuente: Adaptado de Google Earth, 2017.

Características naturales

0.1. Geología

La zona se emplaza en la Cuenca Sedimentaria Paraíba, la última parte de la plataforma sudamericana separada del continente africano, durante la apertura del Océano Atlántico (Françolin y Szatmari, 1987). La Cuenca Paraíba está clásicamente dividida en subcuencas y el área de estudio se encuentra localizada en la Subcuenca Alhandra.

Sobre la Subcuenca Alhandra se depositó la Formación Barreiras del Mioceno. Esta formación superficial la cubre totalmente, avanzando hacia el oeste, donde cubre parte del basamento cristalino Proterozoico. En el sector extremo oeste del área de estudio, la Formación Barreiras reposa directamente sobre el basamento cristalino precámbrico, y extendiéndose

hacia el Este; esta formación cubre discordantemente las formaciones geológicas cretácicas de la Cuenca Paraíba hasta alcanzar planicies costeras o terminar en acantilados.

El espesor de la Formación Barreiras en el Estado de Paraíba es bastante variable, alcanzando máximos entre 70 y 80 m (Leal e Sá, 1998). Los diferentes espesores actualmente verificados son explicados recientemente con los estudios de la tectónica regional cenozoica, originada por las reactivaciones de las antiguas fallas del basamento cristalino del Proterozoico, debido al constante movimiento de la Placa Sudamericana (Brito Neves *et al.*, 2004).

Depósitos cuaternarios

Los depósitos cuaternarios cubren una fracción considerable del área de estudio. Estos depósitos pueden ser divididos en dos grandes unidades: depósitos marinos/transicionales y depósitos continentales. Los depósitos marinos/transicionales identificados son los siguientes: terrazas marinas del Pleistoceno, terrazas marinas del Holoceno, arrecifes rocosos, depósitos de mangle y arenas de playa; y los depósitos continentales identificados son: depósitos coluviales, conos de deyección, dunas inactivas y depósitos aluviales.

1.2 Geomorfología

El área de estudio está incluida en dos dominios geomorfológicos generales y distintos, cada uno comprende varias unidades geomorfológicas. Los dominios reciben las siguientes denominaciones locales: Mesetas Costeras Bajas y Tierras Bajas Costeras.

Mesetas Costeras Bajas

Las Mesetas Costeras Bajas se encuentran en la macro-compartimentación de las mesetas costeras brasileñas. Este compartimiento geomorfológico es sostenido, predominantemente, por la Formación Barreiras. En general, constituyen unidades geomorfológicas de superficies aplanadas y suavemente inclinadas hacia el este, siendo abruptamente interrumpidas por las incisiones fluviales y por los acantilados marinos esculpidos por la abrasión marina actual y/o pretérita.

La red de drenaje del área de estudio sufre un fuerte control estructural. Las fracturas desencadenadas por los movimientos tectónicos fueron aprovechadas por los procesos lineales de disección con la profundización de los cauces de los cursos de agua. En el área de estudio, se observa un intenso trabajo de disección fluvial responsable de exhumar las formaciones del Grupo Paraíba, generando grandes anfiteatros, algunos bien amplios y otros más encajados. Se percibe cierta alineación de la disección provocada por la erosión regresiva y lineal, aprovechando nítidamente las líneas de fracturas y fallas.

Aunque el tectonismo cada vez explica más la intensificación de los procesos denudacionales que ayudan a esculpir las mesetas costeras, no se pueden dejar atrás los procesos morfoclimáticos que actúan y seguirán actuando de forma intensa, modelando el relieve local. Una estructura describe las características generales del área y los procesos morfoclimáticos que modelan el relieve. Las formas son productos tanto del tectonismo como de los procesos morfoclimáticos pasados y actuales; por lo tanto, es imposible separarlos o incluso medirlos independientemente.

Tierras Bajas Costeras

Son terrenos relativamente planos de baja altitud, formados por sedimentos depositados durante el Cuaternario. Tienen altitudes modestas, generalmente inferiores a 10 m, aunque se pueden presentar altitudes superiores en planicies fluviales más lejanas a la línea de costa. Las Tierras Bajas Costeras están compuestas por diferentes formas que resultan de la acumulación de sedimentos marinos, fluviales y fluvio-marinos. Sus características geomorfológicas se dividen en playas, terrazas y planicies marinas, planicies fluvio-marinas, y planicies y terrazas fluviales.

0.3 Pedología

Debido al clima cálido y húmedo de la región, la mayoría de los suelos presentes en el área, evidencian abundancia de minerales secundarios, principalmente, óxidos de hierro e hidróxido de aluminio, pobres en cationes básicos, sobre todo calcio, magnesio y potasio. Las lluvias, presentes en todos los meses del año, son bastantes concentradas en otoño e invierno, haciendo que grandes volúmenes de agua se infiltren, lixiviando hacia el nivel freático muchos nutrientes del suelo (Lepsch, 2002).

De acuerdo con Paraíba (2004), el área de estudio tiene ocho tipos principales de suelos, todos con baja fertilidad natural, gran concentración de granos de cuarzo y elevada acidez. Estas características físicas y texturas confieren a los suelos una baja resistencia a la erosión, cuando los mismos se encuentran en pendientes con inclinación elevada. La caracterización pedológica del área de estudio es necesaria para la elaboración de la carta de fragilidad de los ambientes naturales y antrópicos, siguiendo la metodología propuesta por Ross (1994), cuyo componente suelo es jerarquizado con respecto a su potencial de erosión.

La distribución de los suelos en el área de estudio está íntimamente relacionada con el relieve local y con la litología. Sobre las mesetas desarrolladas sobre la Formación Barreiras predominan los Argissoles Rojos-Amarillos, muchas veces asociados a los Latosoles Rojos-Amarillos y a los Espodosoles; en las planicies fluviales se desarrollan los Neosoles Flúvicos y Gleysoles; en las planicies fluvio-marinas son encontrados los Suelos de Manglar, y en las planicies marinas se presentan los Neosoles Quatzarénicos.

1.4 Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, que toma como base principal los criterios de temperatura y distribución estacional de precipitación, el área de estudio se encuentra bajo el dominio del clima Tropical Lluvioso, con temporada con menos lluvia en el verano. La ausencia de periodos fríos (temperatura $> 18^{\circ}\text{C}$) es otra característica excepcional de este tipo de clima. El área de estudio presenta gran homogeneidad estacional y espacial de temperatura, que es elevada durante prácticamente todo el año con una media anual de $25,6^{\circ}\text{C}$. La pluviosidad media anual es de 1.750 mm, siendo el mes de junio el más lluvioso, con pluviosidad media de 300 mm, y el mes de noviembre el más seco con 30 mm (Brasil, 1990).

0.4 Vegetación y uso de la tierra

El área de estudio presenta una variada vegetación que refleja las diferentes condiciones ambientales en sus diversos compartimientos morfo-pedológicos. También se evidencia la fuerte acción antrópica sobre todos los tipos de vegetación del área, incluso en algunas zonas las alteraciones son irreversibles, debido a los cortes completos de la madera para

obtención de leña y también para la agroindustria de la caña de azúcar (Etanol), la agricultura de subsistencia y la expansión urbana.

A finales de los años de 1960, el cultivo de caña de azúcar se limitaba a las terrazas y planicies fluviales de los ríos de la región y a algunas zonas con pendientes menos inclinadas en las mesetas. En las partes superiores de las mesetas las condiciones edáficas eran desfavorables (suelos distróficos y arenosos) y, por lo tanto, estaban destinados a los cultivos de subsistencia (Moreira y Targino, 1997). La creación de PROALCOOL, en 1975, apoyado por una fuerte política de incentivos fiscales y financieros, permitió la expansión de la caña de azúcar en las mesetas costeras, rompiendo con la barrera natural impuesta por las condiciones edáficas desfavorables.

El manglar representa la formación más homogénea y uniforme del área de estudio. Este tipo de vegetación se establece en depósitos arcillo-arenosos, ricos en materia orgánica en descomposición, y sujetos a flujos y reflujos de las mareas. Por lo tanto, es un tipo de vegetación adaptada a la salinidad y escasas de oxígeno, que es consumido en el proceso de descomposición de la materia orgánica en durante la deposición constante.

En las fuertes pendientes de los acantilados inactivos o en los depósitos coluviales de sus bases, se encuentra otro tipo de vegetación denominada como Pionera de Acantilado, que es una especie herbácea y arbustiva, que se presenta sobre los sedimentos areno-arcillosos de la Formación Barreiras. Esta especie es un importante indicador de inactividad erosiva intensa y reciente, por consiguiente, su estudio es fundamental para diferenciar los acantilados inactivos de los acantilados activos.

En el área de estudio se encuentra el municipio de Conde, con una población residente de 23.975 habitantes (Brasil, 2016). La ciudad sede está ubicada en el centro del área (Figura 1), pero este municipio posee un distrito costero llamado Jacumã, donde la población es muy variable, debido a la estacionalidad, multiplicando su población en las vacaciones de verano. Además, en toda el área costera se encuentra una forma de ocupación humana como: resorts, condominios, etc.

Fundamentos teórico-metodológicos

Con la preocupación de dar al presente trabajo una estructura rigurosa, en la cual se establezca sistemáticamente un comienzo, un medio y un fin, fue incorporada la propuesta metodológica elaborada

por Libault (1971), que es genérica y aplicable a los diferentes temas de una investigación.

Según Libault (1971), para el desarrollo metodológico se tienen en cuenta cuatro niveles: el nivel compilatorio o característico, que tiene por objetivo recolectar datos; un nivel correlativo, en donde se realizan comparaciones de la información; un nivel semántico, en el cual se realiza la interpretación de los datos seleccionados o correlacionados; y finalmente, un nivel normativo, en donde los resultados se traducen en normas apropiadas a la realidad, la prospectiva y la planeación. Aquí es importante aclarar que solamente una compilación de datos no es una investigación científica, es necesario una correcta integración y correlación entre los mismos, mientras que la adquisición de datos es de extrema importancia.

A principios de los años 1980, la conservación y la preservación de los recursos naturales y el papel del hombre integrado en el medio pasaron a tener una función muy importante en la discusión de la calidad de vida, surgiendo entonces la tendencia de elaborar planificaciones regionales con elementos provenientes del medio natural y antropizado analizados de forma interactiva. Independiente de los objetivos o del lugar planeado, esa estrategia exigía la espacialización de un conjunto amplio de datos que necesitaban ser comparados, superpuestos y evaluados de manera holística (Santos, 2004). Esto se torna aún más importante para áreas extremadamente complejas y deficientes de información, como en muchos sitios de Brasil y Costa Rica.

La planificación es un proceso continuo que involucra la recolección, organización y análisis sistematizados de las informaciones, por medio de procedimientos y métodos, para llegar a decisiones o elecciones acerca de las mejores alternativas para el aprovechamiento de los recursos disponibles. Así, como planear implica identificar, seleccionar y destinar recursos, para que eso sea hecho de manera adecuada es necesario ubicarlos y conocerlos en cantidad y calidad, así como tener claridad sobre los objetivos para los cuales serán dirigidos. En suma, es necesaria alguna forma de espacialización de los recursos presentados por el diagnóstico, así como el conocimiento de los conflictos derivados de su conservación y uso (Slocombe, 1993).

Geomorfología y cartografía geomorfológica

Mescerjakov (1968) establece la clasificación del relieve para el análisis geomorfológico en dos categorías principales: morfoestructura y morfoescultura. La morfoestructura se presenta con diferentes orígenes y edades, en esta clasificación se encuentran los cinturones orogénicos, las depresiones denudacionales, las depresiones tectónicas y las cuencas sedimentarias. Las morfoesculturas conciernen a fases del relieve generadas sobre las morfoestructuras, a través de procesos exógenos, es decir, el relieve es modelado por procesos ambientales que modifican las morfoestructuras, formando sobre ellas las morfoesculturas como las mesetas, las sierras, los cerros, entre otros. Por lo tanto, es una visión geomorfológica con fuerte enfoque geológico.

Ross (1992) propone una metodología para la cartografía geomorfológica, en donde establece dos niveles jerárquicos de clasificación del relieve: un primer taxón o mayor, corresponde a la morfoestructura y un segundo taxón o menor, son las unidades morfoesculturales, generadas a partir de la acción climática y la tectónica reciente a lo largo del tiempo geológico.

Para esta representación cartográfica cada unidad morfoestructural se representa con un color, y cada tonalidad de este color establece una unidad morfoescultural (Figura 2). Cada unidad morfoestructural presenta diferentes formas menores del relieve que difieren en función de su rugosidad topográfica, el índice de disección del relieve, su morfometría, e inclinación de las pendientes.

Se presenta un tercer taxón, dentro de la unidad morfoestructural y de dimensión inferior denominado Patrones de Formas del Relieve (Figura 2), este taxón hace referencia a modificaciones por procesos morfodinámicos actuales que pueden ser percibidos. Estos Patrones de Formas de Relieve pueden ser: formas de acumulación como planicies fluviales o marinas, o formas producidas por procesos denudacionales y tectónicos recientes, como, colinas, mesetas, salto de fallas, entre otros.

Tabla 1. Patrones de Formas del Relieve

FORMAS DE DENUDACIÓN	FORMAS DE ACUMULACIÓN
D – DENUDACIÓN	A – ACUMULACIÓN
Da – Formas agudas	Apf – Formas de planicie fluvial
Dc – Formas convexas	Apm – Formas de planicie marina
Dm – Formas en mesetas	Apl – Formas de planicie lacustre
Dp – Formas de superficies planas	Api – Formas de planicie intermareal (manglar)
De – Formas de escarpes	Ad – Formas de campos de dunas
	Atf – Formas de terrazas fluviales
	Atm – Formas de terrazas marinas

Fuente: Ross (1992)

Para las formas de acumulación, se incorporaron nuevos términos que se agregan a los propuestos por Ross (1992) como formas de acumulación coluvial. Estas adaptaciones fueron necesarias, debido a la escala de trabajo utilizada, puesto que en algunos casos no fue posible separar terrazas fluviales de planicies fluviales, terrazas marinas de planicies marinas, depósitos coluviales de terrazas fluviales. Por lo tanto, se adoptaron nuevas clases de formas: terrazas y planicies marinas (Atpm), formas de depósitos coluviales, terrazas y planicies fluviales (Actpf), formas de depósitos coluviales y terrazas fluviales (Actf). Los patrones de forma de relieve se clasifican de acuerdo con la siguiente matriz, que relaciona en las columnas el grado de incisión de los valles y en las filas la dimensión interfluvial media (Figura 3).

Tabla 2. Matriz de índices de disección del relieve

DIMENSIÓN INTERFLUVIAL MEDIA (clases)	Muy Grande (1) > 1500 m	Grande (2) 1500 a 700 m	Media (3) 700 a 300 m	Pequeña (4) 300 a 100 m	Muy Pequeña (5) < 100 m
INCISIÓN MEDIA DE LOS VALLES (clases)					
Muy Débil (1) (< 20 m)	11	12	13	14	15
Débil (2) (20 a 40 m)	21	22	23	24	25
Medio (3) (40 a 80 m)	31	32	33	34	35
Fuerte (4) (80 a 160 m)	41	42	43	44	45
MuyFuerte (5) (> 160 m)	51	52	53	54	55

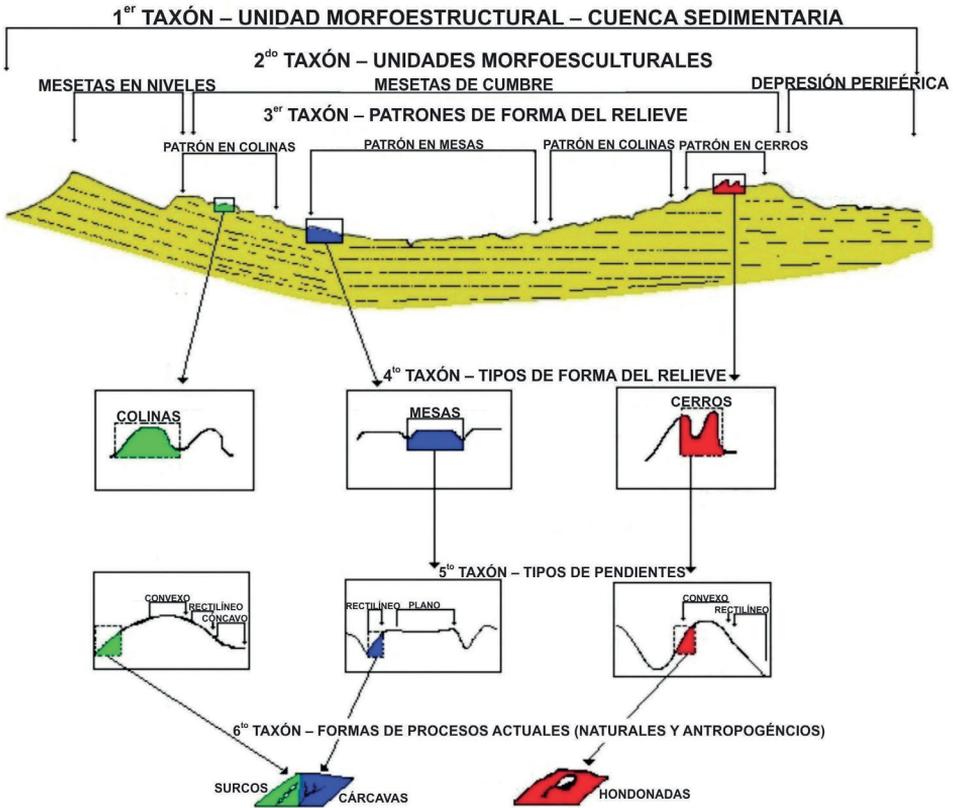
Fuente: Modificado de Ross (1992)

El cuarto taxón se refiere a los tipos de forma del relieve individuales dentro de los Patrones de Forma del Relieve. Estos tipos de forma del relieve pueden ser el resultado de procesos denudacionales, entre éstos, se encuentran las colinas, las lomas, los cerros aislados, y los depósitos de acumulación, como las planicies lacustres, fluviales y marinas aisladas. Este nivel jerárquico tiene similitudes entre sí, tanto en la morfología y morfometría, es decir, en la forma y el tamaño.

El quinto taxón, corresponde a las pendientes o sectores de pendientes que componen los tipos de formas de relieves individuales (Figura 4). Una pendiente o un mismo sector de pendiente es individual por las características geométricas, genéticas y dinámicas; este taxón puede ser representado mediante cartografía a escalas mayores que 1:25.000.

El sexto taxón, en orden descendente, son las formas más pequeñas identificables. Son formas producidas por la erosión y deposición actuales. Como ejemplo de este taxón, se encuentran las formas producidas por agentes naturales como las hondonadas, las cárcavas, cicatrices de movimientos de masas, las barras de arenas actuales y las formas antropogénicas, tales como: corte, rellenos sanitarios, excavaciones y minería, entre otros. (Figura 4). Estos dos últimos taxones no fueron mapeados en este trabajo, debido a que fue necesaria una reducción de la escala para adecuarla a la revista.

Figura 2. Unidades taxonómicas de clasificación del relieve



Fuente: Modificado de Ross (1992).

Interacciones antrópicas en el medio ambiente

Tomando la propuesta elaborada por Tricart (1977) e incrementado algunos criterios y parámetros, Ross (1994) elabora una nueva propuesta de análisis empírico de fragilidad de ambientes naturales y antrópicos. Cuando se implementa esta metodología, se debe tener especial preocupación por su aplicación en la planificación ambiental y territorial, partiendo del principio de que los recursos naturales deben ser utilizados por el hombre de forma racional, siempre respetando sus límites.

Ross (1994) elabora dos modelos empíricos para la evaluación de fragilidad de ambientes naturales y antrópicos, y los denomina respectivamente Unidades Ecodinámicas de Inestabilidad Potencial y Unidades

Ecodinámicas de Inestabilidad Emergente. Las primeras pueden encontrarse en equilibrio y no han sufrido intervención humana, pero pueden entrar en desequilibrio por eventos naturales. Por el contrario, las segundas pueden verse afectadas por intervenciones antrópicas y ser modificadas intensamente.

Para jerarquizar tanto las Unidades Ecodinámicas de Inestabilidad Potencial (UEIP) como las Unidades Ecodinámicas de Inestabilidad Emergente (UEIE), son analizados de forma individualizada cuatro componentes: relieve, suelo, uso y ocupación de la tierra y clima. A cada componente se le asigna un valor que varía de 1 a 5. Estos valores corresponden a los grados de fragilidad de cada componente en comparación con los eventos naturales y las intervenciones humanas.

Como producto se obtienen análisis individualizados de los componentes: relieve, suelo, uso y ocupación de la tierra y clima, con sus respectivas cartas temáticas y datos colectados en campo. A continuación, se realiza la superposición de los datos, obteniendo así la carta de fragilidad de los ambientes naturales y antrópicos. La superposición de las cartas temáticas generará áreas con un valor numérico de cuatro dígitos. Tomando como ejemplo un área cuyo conjunto numérico generado fue 1111, se podrá representar un relieve de disección muy débil (1), Latosol con textura arcillosa (1), cobertura forestal natural (1) y clima con precipitación anual baja y homogénea (1), características que corresponden a una Unidad Ecodinámica de Inestabilidad Potencial muy baja.

Además de ser representada por el conjunto numérico 111, es dada a las Unidades Ecodinámicas de Inestabilidad Potencial las variables del color verde. O sea, verde claro para UEIP alta y verde oscuro para UEIP baja. Para las UEIE es dada las variables de los colores rojo e naranja, que internacionalmente son asociadas a áreas de riesgos. Las UEIE muy altas reciben el tono rojo oscuro y las UEIE el tono naranja claro.

Procedimientos técnicos y operacionales

El área de estudio comprende dos cartas topográficas a escala 1:25.000, con equidistancia entre las curvas de nivel de 10 m, publicadas por la SUDENE, en 1974 (Brasil, 1974). Estas cartas topográficas son las siguientes: carta Jacumã y carta Conde. Se optó por trabajar con cartas topográficas, debido su precisión, ya que fueron elaboradas por el método

de aerotriangulación, que no es más utilizado debido a los altos costos, y poseen una equidistancia entre las curvas de nivel de 10 m.

En una primera fase, se vectorizó todo el contenido de las cartas, principalmente las curvas de nivel para obtener la cartografía final digital con las informaciones necesarias para producir las cartas temáticas básicas, que fueron utilizadas para la elaboración de la plancha geomorfológica, tomando como base la metodología desarrollada por Ross (1992) con adaptaciones de Furrier (2007), y la plancha de Fragilidad de los Ambientes Naturales y Antrópicos (Ross, 1994). Fue utilizado el *software* libre Spring 5.1.2 desarrollado por el *Intituto Nacional de Pesquisas Espaciais* – INPE.

La carta geomorfológica fue elaborada con base en la metodología desarrollada por Ross (1992) y con algunas adaptaciones ya mencionadas. La carta de fragilidad de ambientes naturales y antrópicos fue elaborada siguiendo la metodología desarrollada por Ross (1994), adicionando a ella comportamientos pluviométricos definidos por Spörl (2001) y modificaciones metodológicas propuestas por Furrier (2007).

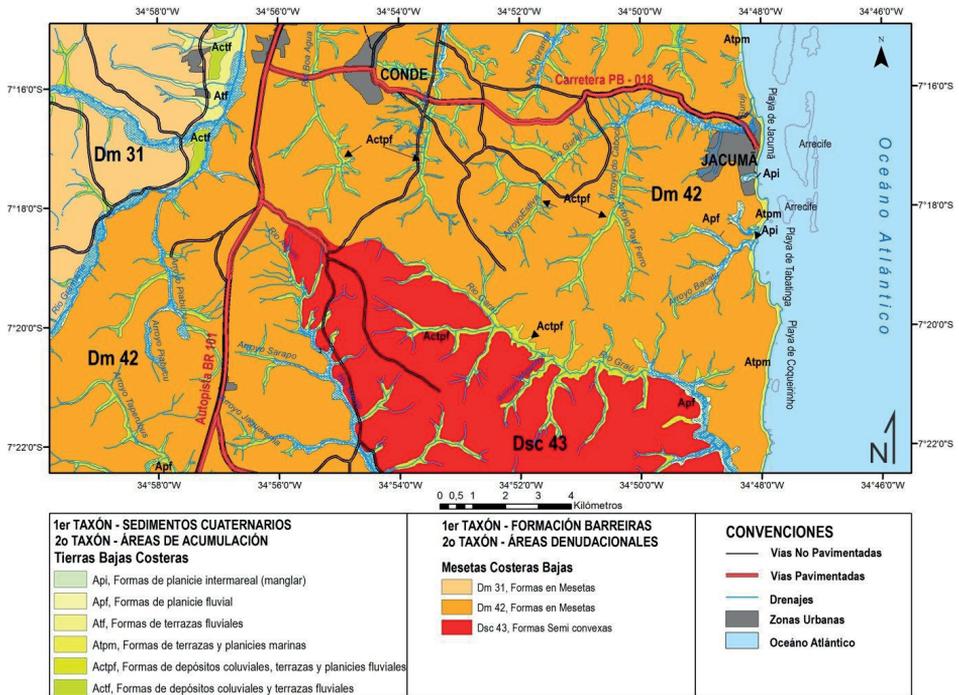
Su elaboración constituyó una sobreposición de informaciones extraídas de la carta geomorfológica, análisis e interpretación de imágenes satelitales para el uso y ocupación de la tierra y datos pedológicos extraídos de Paraíba (2004). Adicionalmente, se incorporaron datos climáticos. Estas informaciones fueron agrupadas en una leyenda integrada, que da soporte a la interpretación de la carta de fragilidad de los ambientes naturales y antrópicos. Así, esta carta es un documento síntesis de la investigación y junto a su leyenda, un excelente banco de datos.

Resultados y discusiones

La configuración del relieve del área expone una disposición de la red de drenaje muy vinculada a la morfoestructura generada por la tectónica reciente (Figura 3). A través de la plancha geomorfológica se observan ríos con sentido norte, cambiando completamente la ya conocida inclinación de la Formación Barreiras en dirección al océano. Esta morfología de la red de drenaje observada en el compartimiento Dm 42, corrobora junto a los estudios recientes, que la tectónica ejerce un papel fundamental en la morfología del relieve brasileño, cambiando conceptos arraigados en el desarrollo del relieve sólo por factores climáticos en la margen continental pasiva.

Además del sentido irregular de los ríos y arroyos, se visualizan fuertes inflexiones en ríos como el Río Graú (Dsc 43/Dm 42) y Río Gurují (Dm42). En este último río ocurre una inflexión fuerte de 90° a 230 m de la línea de costa, ocasionada por una falla normal que obstruye el río y expone a la Formación María Farinha en la playa de Jacumã en la superficie en un nivel de 5 m (Figura 3).

Figura 3. Plancha geomorfológica del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

El Río Aterro está ubicado sobre la línea de falla homónima y su carácter rectilíneo es nítidamente visible. Este río separa dos compartimientos del relieve bien distintos, uno en el que se encuentran la altimetría e inclinación de las pendientes más fuertes (Dsc 43) y otro con forma típica de mesetas (Dm 42), cada uno con su configuración y densidad de la red de drenaje dispareja (Figura 3).

También en contra de la mencionada inclinación de la Formación Barreiras hacia el océano, al oeste del área se encuentra el compartimiento Dm 31, en donde las mesetas son más amplias, pero con las altimetrías más bajas. Este compartimiento se encuentra separado de forma brusca del compartimiento Dm 42 por el Río Gramame, el cual, dentro el área de estudio, fluye hacia el norte, pero después de salir del área sufre una fuerte inflexión de 90° y cambia su sentido hacia el este, en dirección al océano.

La configuración geomorfológica del área tiene una fuerte influencia en la distribución de los diversos usos de la tierra verificados. Las mesetas más amplias y aplanadas encontradas en la parte oeste están prácticamente ocupadas por los cultivos industriales de caña de azúcar, en un sistema intensamente mecanizado, competitivo y fundamental para el mercado capitalista actual.

La urbanización avanza fuertemente sobre las mesetas que proporcionan vista al mar, sobre las cuales se construyen grandes condominios cerrados de estrato socioeconómico alto. Sobre manglares, planicies fluviales y mesetas interiores avanza una urbanización de estrato socioeconómico más bajo. Pequeñas y medianas propiedades rurales, con cultivos temporales y/o perennes, están asentados sobre los compartimientos de relieve más disectados, donde es difícil la intensificación de la mecanización agrícola.

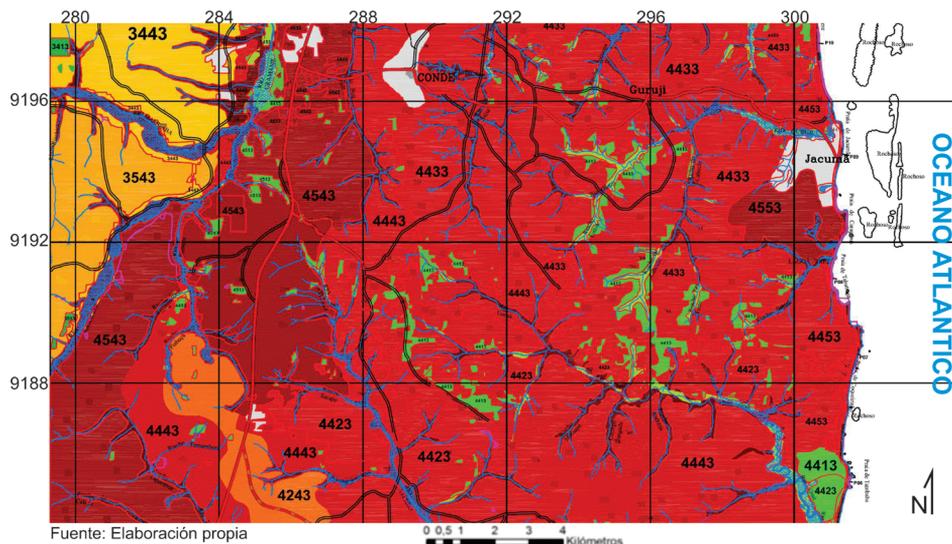
Después de la caracterización de los diversos componentes del medio físico, del uso y ocupación de la tierra, que es un componente humano y económico, y de la síntesis de varias informaciones, fue elaborada la plancha de Fragilidad de los Ambientes Naturales y Antrópicos (Figura 4). Está plancha tiene con base de apoyo principal la plancha geomorfológica elaborada aquí.

Observando la plancha de fragilidad, se visualizan con claridad, las clases verificadas con mayores grados de fragilidad potencial y emergente, de acuerdo con el cruce de información de relieve (1), suelos (2), uso y ocupación de la tierra (3) y el comportamiento pluviométrico (4). La secuencia numérica de componentes naturales sigue este orden en la plancha de fragilidad, y con el apoyo de las tablas integradas al mismo (leyenda), la comprensión se facilita, incluso teniendo un gran número de información.

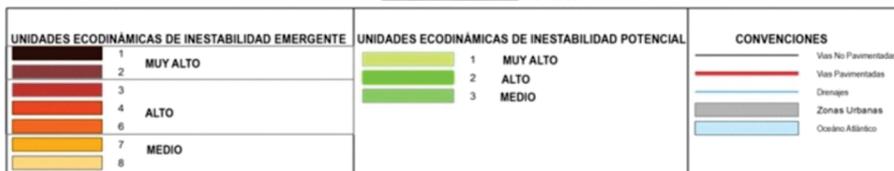
Las Unidades Ecodinámicas de Inestabilidad Potencial (tonos verdes) son verificadas en zonas con vegetación natural o en estado de elevada

regeneración, y están muy restringidas en el área, ocupando pendientes con elevadas inclinaciones, en donde se dificulta la agricultura o en reservas naturales como la Área de Protección Ambiental de Tambaba (APA – Tambaba), en el sur del área. Al cruzar toda la información se obtuvo un conjunto numérico 4412 en su sector norte y 4423 en su sector sur, la diferencia entre los dos sectores se debe a la regeneración de la vegetación natural, siendo esta más expresiva en el sector norte (Figura 4).

Figura 4. Plancha de fragilidad de los ambientes naturales y antrópicos, con los cuadros de los valores (1-Relieve, 2- Suelos, 3- Uso y ocupación de la tierra, 4- Comportamiento Pluviométrico).



Fuente: Elaboración propia



1 CLASES DE FRAGILIDAD BASADAS EN LOS TIPOS DE FORMAS DEL RELIEVE ENCONTRADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

GRADOS DE FRAGILIDAD	TIPOS DE FORMA DEL RELIEVE
1 – MUY DÉBIL	Sin ocurrencia en el área
2 – DÉBIL	Dm 21
3 – MEDIO	Dm 31, Dm 32, Dm 33, Dm 13, Dm 23
4 – FUERTE	Dm 41, Dm 42, Dsc 43, Dc 24, Alf, Actf
5 – MUY FUERTE	Api, Apf, Atom, Actpf

Fuente: Ross (1994)

2 CLASES DE FRAGILIDADES DE LOS TIPOS DE SUELOS ENCONTRADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO EN RELACIÓN CON LA EROSIBILIDAD E INUNDACIÓN

CLASES DE FRAGILIDAD	TIPOS DE SUELOS
1 – MUY BAJA	Sin ocurrencia en el área de estudio.
2 – BAJA	Latosoles rojo-amarillos distróficos.
3 – MEDIA	Argisoles rojo-amarillo distrófico, Argisoles rojo-amarillo eutrófico.
4 – ALTA	Argisoles rojo-amarillo álico (textura grosera), Argisoles rojo-amarillo distrófico (textura grosera), Argisoles rojo-amarillo eutrófico (textura grosera), Suelos aluviales eutróficos.
5 – MUY ALTA	Espodosoles hidromórficos, Gleisuelos distróficos indiscriminados, suelos indiscriminados de manglar, Neosuelos quartarénicos.

Fuente: Ross (1994)

3 CLASES DE PROTECCIÓN POR TIPOS DE USO Y OCUPACIÓN DE LA TIERRA ENCONTRADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

GRADOS DE PROTECCIÓN	TIPOS DE COBERTURA VEGETAL
1 – MUY ALTA	Bosques naturales y/o en avanzado estado de regeneración. Manglares.
2 – ALTA	Formaciones arbustivas naturales con estrato herbáceo denso (cerrado). Formaciones arbustivas densas (bosques secundarios). Cultivos de ciclos largos como el bambú, campos halófilos, hircófilos e hidrófilos.
3 – MEDIA	Cultivos temporales y cultivos permanentes cuando no pueden ser separados debido a la escala adoptada.
4 – BAJA	Caña-de-azúcar y cultivos temporales cortos como algodón.
5 – MUY BAJA	Suelo expuesto y lotes sin infraestructura urbana.

Fuente: Ross (1994)

4 COMPORTAMIENTO PLUVIOMÉTRICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

GRADOS DE IMPACTO	COMPORTAMIENTO
3 – MEDIO	Situación pluviométrica con distribución anual desigual, con periodos secos entre 2 a 3 meses. Pluviosidad media 1.700mm.

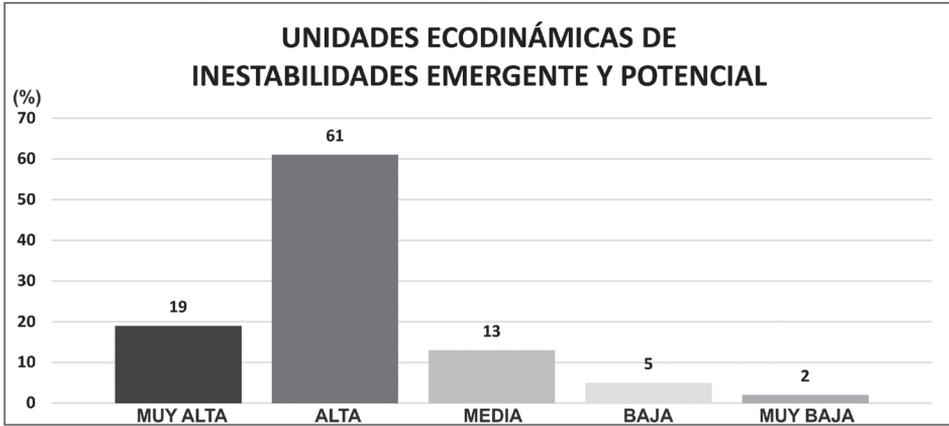
Fuente: Spöri (2001)

Como se puede observar en la plancha de fragilidad, existe un gran predominio de áreas para la Unidades Ecodinámicas de Inestabilidad Emergente (tonos rojos y naranjas) frente a la fuerte actuación antrópica. Al sur del casco urbano de Jacumã fueron verificadas unidades de inestabilidad emergente más fuertes, con un conjunto numérico 4553. Esta área se ubica sobre un relieve Dm 42, Espodosuelos Hidromórficos asociados a Latosoles rojos-amarillentos, suelos expuestos por el avance de la urbanización sin planificación y el comportamiento pluviométrico medio de 1.700 mm/año. Cabe resaltar que, debido a la dimensión reducida del área, alrededor 296 km², solo se verifica un comportamiento pluviométrico de nivel medio en la escala propuesta por Spörl (2001).

Por lo tanto, observando la plancha de fragilidad con su leyenda integrada, se percibe una enorme gama de información de uso práctico, con cada algoritmo asociado a un componente natural o a un tipo de uso de la tierra empleado. Es decir, esta plancha es una síntesis de todo el levantamiento de los componentes naturales y antrópicos verificados. La clasificación de cada componente en su grado de fragilidad es basada en estudios empíricos y el conocimiento general.

Utilizando el *software* libre Spring 5.4.1, fue posible cuantificar el área de cada nivel de inestabilidad potencial e inestabilidad emergente, generando datos concretos sobre cuáles son los niveles más encontrados. Añadiendo las informaciones de la plancha de fragilidad, se obtiene información de utilización práctica, tanto para uso en el ordenamiento territorial como en la planificación ambiental (Figura 5).

Figura 5. Porcentaje de los niveles de inestabilidades emergente y potencial encontradas en el área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Consideraciones generales

La propuesta central del presente trabajo fue presentar una metodología basada en el mapeo geomorfológico y elaborar una caracterización que involucrara una serie de levantamientos cartográficos, así como la búsqueda de datos, muchas veces dispersos en servicios geológicos, geográficos, institutos agrícolas y ambientales. Al mismo tiempo, se percibe que una caracterización total y plena es una tarea imposible; no obstante, a partir de la integración de los datos obtenidos, generados, analizados y discutidos resultó una visión completa del área, en la que es posible visualizar el valor que toman los componentes del medio físico que interactúan, y cómo esa interacción influye en las características socioeconómicas y su espacialización.

La elaboración de una plancha geomorfológica, basada tanto en la morfoestructura como en la morfoescultura, no sólo es un importante instrumento de caracterización del relieve, sino que adicionalmente puede apoyar otras caracterizaciones ulteriores, como suelo, uso y ocupación de la tierra. Además, representa una síntesis geomorfológica descrita, así como un valioso instrumento para investigaciones futuras, tanto en el campo de la geomorfología como en las áreas relacionadas, y finalmente, se presenta como una importante herramienta en estudios ambientales para

la planeación del territorio, planeación ambiental y planes municipales. El relieve es el escenario de todas las actividades sociales.

La caracterización de los componentes del medio físico, con un gran enfoque en la geomorfología desarrollada en este estudio, demuestran qué tan necesario es pensar en el todo y de qué modo ese todo se manifiesta en la realidad y se integra con ella. La comprensión parcial de esta realidad, sin tener una visión global o de conjunto, puede producir resultados insatisfactorios. Así, es necesario para los geomorfólogos, en general, una buena base de datos y conocimientos geológicos, ya que el relieve está sostenido por una geología, muchas veces compleja y desconocida.

La plancha de Fragilidad de los Ambientes Naturales y Antrópicos, con los cuadros de los valores (1-Relieve, 2- Suelos, 3- Uso y ocupación de la tierra, 4- Comportamiento Pluviométrico) muestra ser un documento sintético con las informaciones espaciales y condensadas en un único producto cartográfico. Por lo tanto, se puede decir que es un documento apto para la utilización en la planificación territorial y ambiental, además de ser de extrema utilidad para el ordenamiento territorial, pues indica donde hay áreas con unidades con mayores y menores inestabilidades.

El trabajo terminado demuestra también la cantidad de información que puede ser extraída, obtenida y generada con un mínimo de recursos técnicos posibles, pero con un desarrollo científico adecuado que reúne las diferentes especializaciones que surgen dentro de las más variadas áreas del conocimiento, y pone de manifiesto que una caracterización básica de los componentes de un área geográfica puede ser extremadamente útil a la ciencia y la sociedad. Países en desarrollo como Brasil y Costa Rica deben conocer más sus aspectos naturales de manera holística e integrada, así, esta metodología aquí demostrada podrá, con los ajustes necesarios, ser aplicada también en regiones costeras de Costa Rica.

Referencias

- Ab'Saber, A. N. (2000). Fundamentos da geomorfologia costeira do Brasil atlântico inter e subtropical. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 1(1), 27- 43.
- Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016). *Estimativa Populacional 2016*. Consultado el 25 de mayo de 2016.
- Brasil. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. (1990). *Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Estado da Paraíba*. Recife: SUDENE.
- Brasil. Ministério do Interior. (1974). Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. *Folhas, Jacumã, Conde*, Recife: SUDENE. Escala 1: 25.000.
- Brito Neves, B., Riccomini, C., Fernandes, T. M. G. y Sant'Anna, L. G. O. (2004). Sistema tafrogênico terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: um legado proterozoico. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(1), 127-134.
- Feitosa, A. C. (1996). *Dinâmica dos processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da ilha do Maranhão*, 249f. (Tese Doutorado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP) Rio Claro.
- Françolin, J. B. L. y Szatmari, P. (1987). Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira, *Revista Brasileira de Geociências*, 17(2), 196-207.
- Furrier, M. (2007). *Caracterização geomorfológica e do meio físico da Folha João Pessoa-1:100.000*. 213f. (Teses Doutorado em Geografia Física. Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo). São Paulo.
- Hoefel, F. G. (1998). *Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas: uma Revisão Bibliográfica*. Editora da Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí.
- Leal e Sá (1998). *Levantamento geológico-geomorfológico da Bacia Pernambuco-Paraíba, no trecho compreendido entre Recife-PE e João Pessoa-PB*. 127f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Lepsch, I. F. (2002). *Formação e conservação dos solos*. São Paulo: Oficina de Texto.
- Libault, A. (1971). “Os quatro níveis da pesquisa geográfica” Métodos em questão. São Paulo: *IGEOG-USP*, (1), 1-14.

- Marques, J. S. (1994). Ciência geomorfológica. En: Teixeira A. J. y Cunha S. B. (Org.), *Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 23-50.
- Mescerjakov, J. P. (1968). “Les concepts de morphostructure et de morphosculture: un nouvel instrument de l’analyse géomorphologique”. *Annales de Géographie*, 77, (423), 539-552
- Mesquita, A. R. (2003). Sea-level variations along the Brazilian coast: a short review. *Journal of Coastal Research*, S.I. (35), 21-31.
- Moreira, E. y Targino, I. (1997). *Capítulos de geografia agrária da Paraíba*. João Pessoa: EDUFPA.
- Muehe, D. (1994). *Geomorfologia Costeira*. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. *Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand.
- Paraíba. SUDEMA. (2004). *Mapa pedológico do Estado da Paraíba*, João Pessoa, SUDEMA. Escala: 1:500.000. 1 mapa color.
- Ross, J. L. S. (1990). *Geomorfologia: Ambiente e Planejamento*. Contexto.
- Ross, J. L. S. (1992). O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo, *Revista do Departamento de Geografia*, 6, 17-29.
- Ross, J. L. S. (1994). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP, São Paulo*, 8, Departamento de Geografia, USP, Brasil. 63-74.
- Ross, J. L. S. (1996). Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. En: Teixeira Guerra, A. J. y Cunha, S. B. (Org.). *Geomorfologia e meio ambiente*, (291-336). Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- Slocumbe, D. S. (1993). “Environmental planning, ecosystem Science, and ecosystem approaches for integrating and development”. *Environmental Management*, 17, 289-303.
- Santos, R. F. (2004). *Planejamento Ambiental: teoria e prática*. Oficina de Texto.
- Spörl, C. (2001). *Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari-Mirim, ribeirão do Quartel e ribeirão da Prata*. 160f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

*Max Furrer. A Geomorphological Characterization as a Proposal for Environmental and Territorial Planning.
An Example of Application in Brazil Intended to Be Replicated in Costa Rica*

Suguio, K.; Angulo, R. J.; Carvalho, A. M.; Corrêa, I. C. S.; Tomazelli, L. J.; Willwock, J. A. Vital, H. (2005). Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. En: Souza, C. R.; Suguio, K.; Oliveira, A. M. S.; DE Oliveira, P. E. (Ed.). *Quaternário do Brasil*. (114-129). Ribeirão Preto: Holos, Editora.

Tricart, J. (1977). *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: FIBGE.

Interpretación de la Actividad Sísmica Reciente de la Zona de Interior de Placas en la Península Ibérica, Guadalajara

Interpretation of the Recent Seismic Activity of the Intraplate Zone in the Iberian Peninsula, Guadalajara, Spain

Mario Octavio Cotilla-Rodríguez¹
Diego Córdoba-Barba²
Universidad Complutense de Madrid

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.9>

RESUMEN

La ocurrencia de 130 terremotos (2007-2017) en la zona de interior de placas, de la Península Ibérica, valida la regionalización morfotectónica entorno a la provincia de Guadalajara del año 2004. Estos terremotos están localizados en tres bloques (BG6, BG7, y BG8) del mesobloque más oriental (6.3) dentro del macrobloque Intermedio.

Palabras clave: Guadalajara, morfotectónica, Península Ibérica, sismicidad, terremoto.

1 Doctor en Ciencias Físicas y Profesor del Departamento de Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. Correo electrónico: macot@ucm.es

2 Doctor en Ciencias Físicas y Profesor del Departamento de Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. Correo electrónico: dcordoba@ucm.es

Fecha de recepción: 11 de enero de 2018
Fecha de aceptación: 5 de marzo 2018

ABSTRACT

The occurrence of 130 earthquakes (2007-2017) in the intraplate zone of the Iberian Peninsula validates the morphotectonic regionalization of the province of Guadalajara in 2004. These earthquakes were located in three blocks (BG6, BG7, and BG8) of the eastern-most mesoblock (6.3) included in the intermediate macroblock.

Keywords: Guadalajara, morphotectonics, Iberian Peninsula, seismicity, earthquake.

Introducción

La zona de interior de placas de la Península Ibérica [PI] es un amplio territorio continental (Figura 1). En una parte de él, el Instituto Geográfico Nacional [IGN] registró, en un intervalo temporal de 10 años, 130 terremotos de magnitudes bajas (Ejemplos: Escopete: $M=4,2 / 07.06.2007$ y Yebrá: $M=3,7 / 20.12.2017$; distantes entre sí 7 km). Estos pueblos españoles pertenecen a la provincia de Guadalajara (~83.700 habitantes / 235,51 km²) en la Comunidad de Castilla La Mancha (~2,041 millones de habitantes / 79.463 km²), que se caracteriza por el despoblamiento rural. Ellos están asociados con los 2 terremotos mencionados (los de mayores magnitudes) y tienen los siguientes datos poblacionales: Escopete = 84 habitantes y Yebrá = 571 habitantes.

En Guadalajara (Figura 1), desde su fundación en los siglos VIII-IX, se han producido eventos de baja magnitud, muy pocos perceptibles por la población. Así, se ha asegurado que es un territorio sísmicamente estable.

La aplicación del método morfotectónico de Rantsman (1979), a diferente escala, en la PI ha permitido, a los autores, delimitar elementos lineales y superficiales activos, con sus principales zonas de articulación. Esos resultados resultan significativos porque han mostrado, posteriormente, con la ocurrencia de terremotos en áreas de interior de placas, la validez de su apuesta.

Figura 1.- Esquema de la localización de la Provincia Guadalajara en España.



Aparecen: 1) siglas (O.A. = Océano Atlántico, M.C.A. = Mar Cantábrico, M.M.= Mar Mediterráneo, SC= Montañas del Sistema Central); 2) epicentros (A) círculos mayores: gris= 07.06.2007 y negro= 20.12.2017; B) círculos grises pequeños); 3) círculos grandes con número (áreas epicentrales significativas indicadas por Cotilla y Córdoba, 2004).

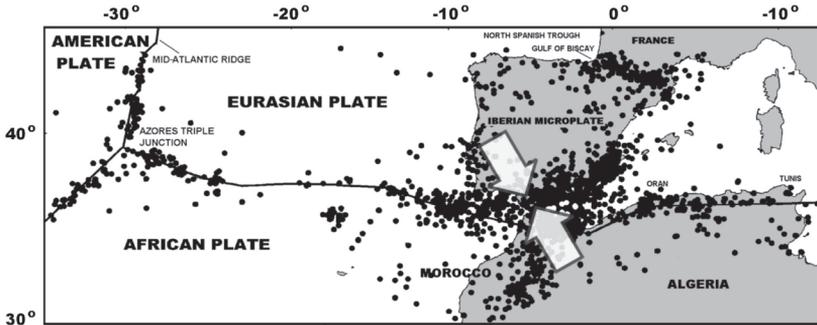
Características de la zona de interior de placas

La PI (España y Portugal) es un megabloque emergido que interactúa, directamente, como parte de la placa Euroasiática con la vecina placa de África (Figura 2B). En ese proceso se generan importantes esfuerzos tectónicos (DeMets *et al.*, 1990; Savostin *et al.*, 1986) que se transmiten, desde el límite de contacto de las placas (Mar Mediterráneo), hacia el interior (Herraiz *et al.*, 2000). Es en el interior de la PI donde se localiza la

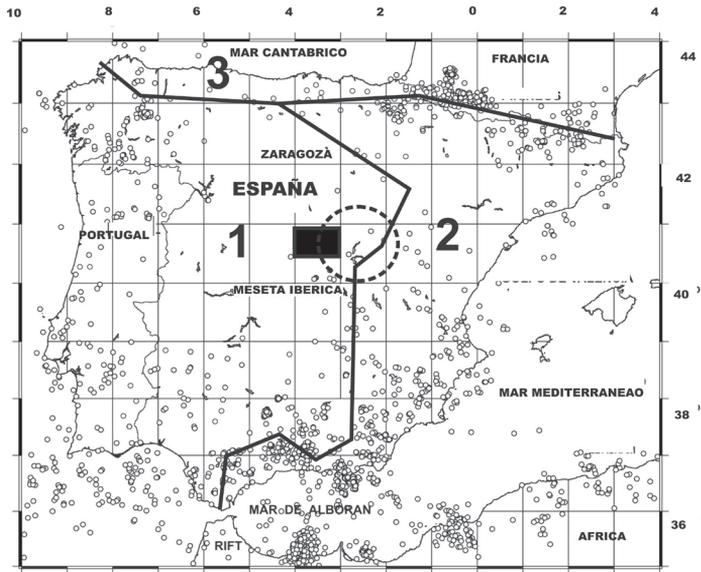
sismicidad de interior de placa. Para el caso de Guadalajara hay una distancia de ~500 km desde la zona de contacto.

Como resultado de la convergencia de placas se aprecian la distribución y la configuración orográfica, así como también la geometría, las disposiciones de las cuencas hidrográficas superficiales de primer orden (Figura 2A), y los cambios estructurales locales (incluidos en un círculo de líneas discontinuas). Estos elementos se relacionan muy bien con la localización de los epicentros de terremotos.

Figura 2.- Marco tectónico regional.



B



A

Figura 2A.- Selección de la sismicidad en la Península Ibérica.

Aparecen: 1) epicentros de terremotos (círculos en blanco); 2) zonas de escurrimiento superficial (1, 2, 3); 3) divisorias principales de primer orden (líneas gruesas negras); 4) área de estudio (rectángulo negro); 5) zona de deformación superficial (círculo con líneas discontinuas).

Figura 2B.- Esquema de la tectónica y sismicidad del límite Europa-África.

Aparecen: 1) Vectores de convergencia (flechas blancas); 2) epicentros (círculos negros).

Los 130 terremotos de la provincia de Guadalajara (IGN, 2017) tienen los rangos de: 1) magnitud (mbLg) (Tabla 1); y 2) profundidad (Tabla 2); mientras que las localidades donde han sido detectados aparecen en la tabla 3. En este intervalo temporal sólo ha habido una serie sísmica (19.10.2017-06.12.2017) con 23 terremotos, en la localidad de Brihuega. La serie cubre un rango de: 1) magnitud / eventos (<1= 8, 1-2= 13, y 2-3= 2); y 2) profundidad (km) / eventos (0-10= 21, y >10= 2). Evidentemente, tales datos son típicos de una región de baja energía. Este pueblo de 296 km² tiene 2.376 habitantes.

Tabla 1. Rangos de magnitud y cantidad de terremotos

Magnitud	Cantidad	Magnitud	Cantidad
4-4,2	1	1,6-1,9	43
3-3,9	1	1,0-1,5	37
2-2,9	27	<1,0	21

Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN), España, 2017.

Tabla 2. Rangos de profundidad y cantidad de terremotos

Profundidad (km)	Cantidad
0-10	84
>10-20	45
>20	1

Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN), España, 2017.

Tabla 3. Localidades donde se han producido más de dos terremotos

Localidad	Cantidad	Localidad	Cantidad
Brihuega	25	Albate de Zorita	2
Barriopedro	7	Argencilla	2
Escopete	6	Angueles del Pedregal	2
Ablanque	4	Campiño de Dueñas	2
Castilnuevo	4	Castejón de Henares	2
Cobeta	3	Cifuentes	2
Escariche	3	Cendejas de la Torre	2
Henche	3	Cifuentes	2
		Horche	2
		Utande	2
		Yebra	2

Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN), España, 2017.

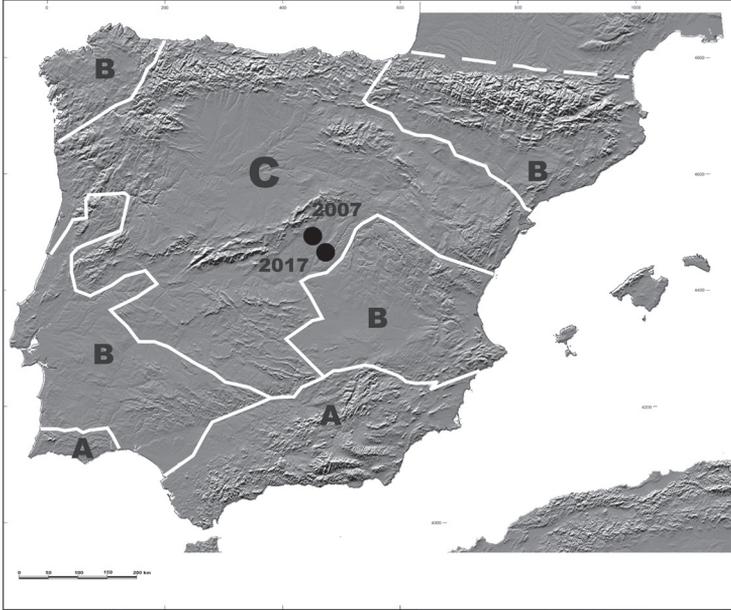
De todos los datos sísmicos de Guadalajara destaca que: 1) el 98 % tiene magnitud inferior a 3,0; 2) el 99 % está en profundidades menores de 20 km; 3) en ningún caso hay soluciones de mecanismos focales, ni rupturas del terreno; 4) los daños en viviendas y objetos constructivos son insignificantes; 5) las distancias (en km) entre las localidades con actividad sísmica es de 5-20; y 6) la agrupación de terremotos en espacio y tiempo es muy significativa en los casos de: A) Yebra con 2 eventos (13.02.2017 y 20.12.2017); B) Escopete con 6 eventos (07.06.2007-09.06.2007, 09.06.2007, y 01.02.2008). Así, es posible sostener que existe en la región un bulbo de deformación tectónico activo de ~20 km de diámetro y profundidad. Esto se corresponde, muy bien, con las características de una zona de interior de placas de baja energía (Cotilla Rodríguez, 2014).

Campbell (1978), Johnston y Kanter (1990) y Hough *et al.* (2003), entre otros, estudiaron la ocurrencia de terremotos en zonas continentales estables, denominadas como de interior de placas. En ese tipo de marco tectónico pueden ocurrir terremotos fuertes (con largos periodos de recurrencia) y también eventos débiles. En el primer grupo están los terremotos: 1) de Charleston (31.08.1886, Estados Unidos de Norteamérica) (Bollinger, 1972; Cotilla, 1995). Ese terremoto tuvo una intensidad sísmica máxima de 10 grados (escala de Mercalli) y produjo 60 muertos; 2) del centro de Italia (24.08.2016 con $M=6,2$ y 250 muertos) (IRIS). Pero estos ejemplos no se corresponden con el caso de Guadalajara en España, que si se aviene a los eventos débiles.

La figura 3 muestra una regionalización sismotectónica de la PI. En ella aparece la zona C ($227 \times 10^3 \text{ km}^2$), la de menores rangos de profundidad (10-40 km) y de magnitud ($\leq 5,0$) de los terremotos, y que es parte de la mencionada zona de interior de placa (Cotilla y Córdoba, 2004). Esa zona C incluye, entre otras, a las localidades de Guadalajara (la de nuestro interés), Madrid, Segovia, y Soria.

Los epicentros de Guadalajara de los años 2007 (Escopete) y 2017 (Yebra) aparecen en la figura 3 y colindan al este con la zona B. Esa zona límite es también la posición aproximada de la localidad de Brihuega, donde se produjo la serie sísmica.

Figura 3.- Zonas sismotectónicas de la Península Ibérica.



Aparecen: 1) las zonas (A, B, y C); 2) límite de las zonas (líneas blancas); 3) círculos negros (epicentros de 2007 y 2017).

Morfotectónica

Investigaciones sobre morfotectónica, con fines sismotectónicos, se pueden localizar en los siguientes trabajos: Alekseevskaya *et al.* (1977); Arsovsky y Hadzievsky (1970); Assinovskaya y Solovyev (1994); Chigariov (1977); Dumistrashko y Lilienberg (1954); Gorshkov *et al.* (2000); Imaeva *et al.* (2011); Nishenko y Singh (1987); Rantsman (1979); y Schenckova *et al.* (1995). Cotilla (1993), Cotilla *et al.* (1991A, B) y González *et al.* (2003) han aplicado, con buenos resultados, esa metodología en Cuba e incluso la adaptaron a las condiciones locales e implementaron un SIG.

En forma resumida se puede asegurar que es factible delimitar alineamientos, unidades superficiales e intersecciones de alineamientos (o nudos) de distintos órdenes y categorías. Para ello, se valoran entre otros: el relieve, la geología y la tectónica, así como la estructura de la corteza. Se considera que las intersecciones de alineamientos son las zonas donde se concentran las principales interacciones.

La metodología de Rantsman (1979) se aplicó en la PI, por primera vez, por Cotilla y Córdoba (2004) (Figura 4). También se empleó para otras zonas y regiones de la Península y se encuentran en: 1) [Galicia] Cotilla y Córdoba (2003); 2) [Asturias] Cotilla *et al.* (2004); 3) [Sistema Central] Cotilla *et al.* (2007B); 4) [Murcia] Cotilla y Córdoba (2009B); 5) [Córdoba y Granada] Cotilla *et al.* (2012); 6) [Cádiz-Málaga] Cotilla y Córdoba (2015A); y 7) [Almería-Jaén] Cotilla y Córdoba (2015B). Para otros lugares, fuera de la PI, se han logrado los siguientes resultados: 1) [La Española] Cotilla *et al.* (2007A); 2) [Jamaica] Cotilla y Córdoba (2009); 3) [Puerto Rico] Cotilla y Córdoba (2010); 4) [Antillas Mayores] Cotilla *et al.* (2017A); y 5) [Puerto Vallarta-Oaxaca, México] Cotilla *et al.* (2017B).

Figure 4.- Mapa morfotectónico simplificado de la Península Ibérica.



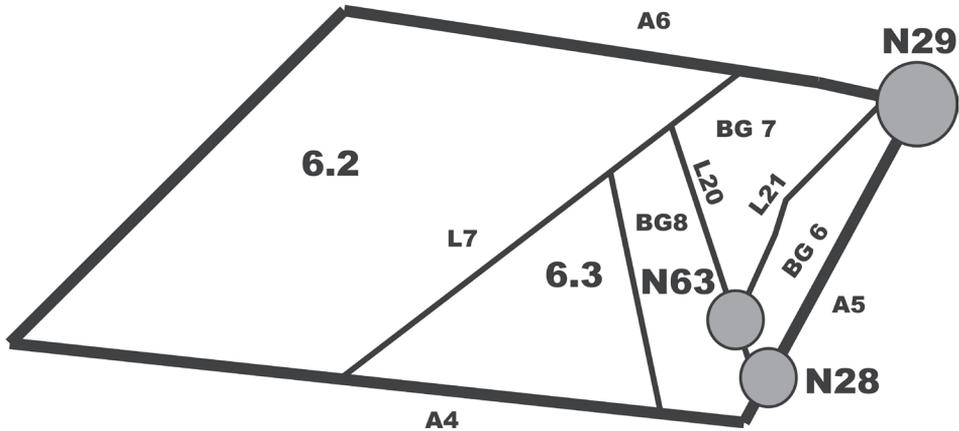
Aparecen indicados en la leyenda de la figura: 1= nudos principales (círculos con números); 2= mesobloques (4.1); 3, 4, 5= alineamientos principales (líneas irregulares de color (negro y blanco)); 6, 7, 8= zonas de levantamientos (muy activos, activos y débiles); 9, 10= zonas de descensos (muy activos y débiles).

Los autores han comprobado, a partir de la posterior ocurrencia de terremotos, que la metodología es eficiente, como demuestran las siguientes publicaciones: Cotilla Rodríguez (2016, 2017); y Cotilla y Córdoba (2011, 2013, 2016).

Discusión y conclusiones

En la figura 6B de Cotilla *et al.* (2007B) se distingue el mesobloque 6.3 que pertenece al macrobloque 6 (Intermedio / $\sim 97 \times 10^3 \text{ km}^2$). El mesobloque (Figura 4) tiene un sistema de 15 bloques, 58 microbloques, y 137 nanobloques. Es decir, las estructuras están muy segmentadas, por lo que la magnitud de sus terremotos es baja. Cotilla y Córdoba (2004) asociaron 20 terremotos a 3 bloques (BG6= 9, BG7= 4, y BG8= 7), adyacentes entre sí (Figura 5). Ellos son los más occidentales del mesobloque, y están localizados en Guadalajara. Además, tienen una marcada cercanía al morfoalineamiento de primer orden A5 (en color blanco, Figura 4) el más activo.

Figure 5.- Esquema de los bloques morfotectónicos en Guadalajara.



Aparecen: 1) los mesobloques (6.2 y 6.3); 2) los bloques (BG6, BG7, y BG8); 3) los alineamientos (A4, A5, A6, L7, L20, y L21); 3) los nudos de alineamientos (N28, N29, y N63).

Los 130 terremotos de Guadalajara están todos en los 3 bloques antes mencionados. La región está en el área de: 1) significativas inflexiones del relieve superficial como muestran los dibujos de los alineamientos (A4, A5, y A6); 2) importantes contrastes de movimientos neotectónicos verticales; y 3) una importante densidad de fracturas. Esta zona, los autores, la habían

identificado como la de mayor deformación intraplaca de la PI. Entonces, se utilizó una selección de terremotos del IGN y de Herraiz *et al.* (2000) con la que se delimitaron 2 zonas activas (Figura 1), entorno a las localidades de: Yebra-Escopete (en el sur) y Tumel (en el noreste). Esta última zona, (indicada con el círculo y el número 1 en la Figura 1) se corresponde con el nudo morfotectónico N29 (de primer orden) sobre los alineamientos A5 y A6, y que también involucra a localidades de Soria y Zaragoza. La primera zona, Yebra-Escopete (indicadas con otro círculo y el número 2 en la Figura 1), está, indiscutiblemente, justificada con la reciente actividad sísmica, y con el nudo N28 (intersección de los alineamientos A5 y L20) de tercer orden. Además, Brihuega aparece incluida en un nudo de 5° orden (N63), conformado por los alineamientos L20 y L21. Todos ellos están incluidos en la zona de deformación superficial, indicada con un círculo (Figura 2A).

Con anterioridad los especialistas Sbar y Sykes (1973), Liu y Zoback (1977), McKenzie y Jackson (1983), Leonov (1995), y LeRoy y Mauffret (1996), entre otros, propusieron la existencia de zonas de deformación intracontinental por la influencia de la convergencia de placas, como es el caso de Guadalajara. La influencia de la colisión de placas y la consecuente transmisión de esfuerzos tectónicos en la corteza, con la asociación de terremotos en el interior continental, se demostró, muy bien, a partir de mediciones estructurales, principalmente, en el ejemplo de Bohemia en la República Checa (Bankwitz *et al.*, 2003). En ese trabajo se apreció que una zona de intersección de fallas se corresponde con una anomalía de la corteza, donde se localizan terremotos. También Zhidkov *et al.* (1975), Backmanov y Rasskazov (2000), y Cotilla Rodríguez (2016, 2017) consideran a las zonas de intersección como las de mayor importancia y donde asumen la concentración de los esfuerzos. En nuestra investigación, la deformación se concreta en un bulbo tectónico activo, como ya se expuso.

Otro bulbo de deformación tectónico activo se definió al NO de España (Comunidad de Galicia), en las vecinas localidades de Sarria - Samos - Becerreá - Triacastela (Cotilla y Córdoba, 2003). En esa zona de interior de placas hay un cruce de fallas con una significativa concentración de epicentros, en un área de 7-20 km. Para su delimitación se aplicó la metodología de Rantsman y emplearon datos similares a los aquí utilizados (como: epicentros de terremotos, series de terremotos, eventos sin solución de mecanismos focales, no rupturas en superficie, etc.).

De acuerdo con Reisner (1980) y Krestnikov (1986) es factible definir el espesor de la capa sismoactiva, estimar las magnitudes máximas posible de los terremotos, y con ello proponer la categoría sismogeneradora (de I a IV niveles) de una estructura. Así, con los datos que disponemos para Guadalajara, se considera que la zona de Yebra-Escopete tiene categoría IV, la menor.

Se concluye entonces, que la actividad sísmica reciente en Guadalajara es de tipo interior de placas y está bien acotada por la regionalización morfotectónica.

Agradecimientos

Los fondos provinieron principalmente de los proyectos: SB97 00134623, HP98-74, TOPOIBERIA (CSD2006/0041), y GR35/10-A/910549. El Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica facilitó las instalaciones. Al Árbitro anónimo por sus opiniones.

Referencias

- Alekseevskaya, M., Gabrielov, A., Gelfand, I., Gvishiani, A. y Rantsman, E. (1977). Formal morphostructural zoning in mountain territories. *J. Geophys.*, 43, 227-233.
- Arsovsky, M. y Hadzievsky, D. (1970). Correlation between neotectonics and the seismicity of Macedonia. *Tectonophysics*, 9, 129-142.
- Assinovskaya, B.A. y Solovyev, S. L. (1994). Definition and description of the sources zone of potencial earthquakes in the Barents Sea. *Physics of the Solid Earth*, 29(8), 664-675.
- Backmanov, D. M. y Rasskazov, A. A. (2000). Recent faults in the junction area between the southern and central Urals. *Geotectonics*, 4, 25-31.
- Bankwitz, P., Schneiderm, G., Kämpf, H. y Bankwitz, E. (2003). Structural characteristics of epicentral areas in Central Europe: study case Cheb Basin (Czech Republic). *Jour. of Geodynamics*, 35, 5-32.
- Bollinger, G. A. (1972). Historical and recent seismic activity in South Carolina. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 62(3), 851-864
- Campbell, D. L. (1978). Investigation of the stress concentration mechanism for intraplate earthquakes. *Geophys. Res. Lett.*, 5, 477-479.
- Chigariov, V. P. (1977). Aspectos teóricos y regionales del análisis morfoestructural. En: *Compendio de la Sociedad Moscovita de*

- Experimentadores de la Naturaleza*. Editorial de la Universidad de Moscú, 12, 85-95.
- Cotilla-Rodríguez, M. O. (2017). Evaluation of recent intraplate seismic activity on Cochinos Bay, Cuba. *Revista Geográfica de América Central*, 58, 195-222.
- Cotilla-Rodríguez, M.O. (2016). The Guane active fault. *Revista Geográfica de América Central*, 57, 159-198.
- Cotilla-Rodríguez, M.O. (2014). Sísmicidad de interior de placas. *Revista Geofísica*, 64, 93-125.
- Cotilla, M. (1995). José Martí, la Sismología y los terremotos en zonas estables. *Revista de Historia de América*, 119, 35-47.
- Cotilla, M.O. (1993). Una caracterización sismotectónica de Cuba. (PhD Tesis, Instituto de Geofísica y Astronomía), Academia de Ciencias de Cuba, 200 p.
- Cotilla, M. y Córdoba, D. (2016). Morphotectonic interpretation of the 23.02.2015 Albacete earthquake, Spain. *Revista Geográfica de América Central*, 57, 223-233.
- Cotilla, M. y Córdoba, D. (2015A). Morfotectónica del segmento Cádiz-Málaga, sur de España. *Revista Geográfica de América Central*, 55, 169-198.
- Cotilla, M.O. y Córdoba, D. (2015B). Delimitación de las unidades morfo-tectónicas en el sector Almería-Jaén, España. *Geología Colombiana*, 38, 99-135.
- Cotilla, M. y Córdoba, D. (2013). El terremoto de Lorca-Murcia, España (2011): Interpretación morfo-tectónica. *Revista Geográfica*, 154, 115-131.
- Cotilla, M.O. y Córdoba, D. (2011). Study of the earthquake of the January 23, 1880, in San Cristóbal, Cuba and the Guane fault. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 47(6), 496-518.
- Cotilla, M.O. y Córdoba, D. (2010). Análisis morfo-tectónico de la isla de Puerto Rico, Caribe. *Revista Geofísica*, 62, 79-126.
- Cotilla, M.O. y Córdoba, D. (2009A). Morphostructural analysis of Jamaica. *Geotectonics*, 43(5), 420-431.
- Cotilla, M.O. y Córdoba, D. (2009B). Morfotectónica de Murcia, España. *Revista Geográfica*, 146, 77-110.

- Cotilla, M.O. y Córdoba, D. (2004). Morphotectonics of the Iberian Peninsula. *Pure appl.geophys.*, 42(4), 589-602.
- Cotilla, M.O. y Córdoba, D. (2003). Caracterización morfotectónica de Galicia, España. *Revista Geofísica*, 58, 5-56.
- Cotilla, M.O., Córdoba, D. y Dulcet, F. (2012). Morphotectonic study of two regions in the Centre-South segment of Spain: Córdoba and Granada. *Geotectonics*, 47(3), 215-240.
- Cotilla, M.O., Córdoba, D. y Calzadilla, M. (2007A). Morphotectonic study of Hispaniola. *Geotectonics*, 41(5), 368-391.
- Cotilla M.O., Córdoba D. y Herraiz M. (2007B). A morphotectonic study of the Central System, Iberian Peninsula. *Russian Geology and Geophysics*, 48(4), 378-387.
- Cotilla, M. O., Córdoba, D. y Herraiz, M. (2004). Main morphotectonic characteristics of Asturias, Spain. *Geofísica Internacional*, 44(1), 65-101.
- Cotilla, M. O., Córdoba, D., y Núñez, D. (2017A). Morphotectonic study of the Greater Antilles. *Geotectonics*, 51(1), 89-104.
- Cotilla, M., Córdoba, D., Núñez, F., Gómez, A., Pinzón, J. I., y Rivera, L. (2017B). Morfotectónica de Jalisco y Oaxaca (1), México. *Revista Geográfica de América Central*, 59, 197-248.
- Cotilla, M., Bankwitz, P., Franzke H. J., Álvarez, L., González, E., Díaz, J.L., Grünthal, G., Pilarski, J. y Arteaga, F. (1991A). Mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 23, 35 p.
- Cotilla, M. O., González, E. C., Franzke, H.J., Díaz J.L., Arteaga, F., y Álvarez, L. (1991B). Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000 *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 22. 37 p. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- DeMets, C., Garden, R.G., Argus, D.F. y Stein, S. (1990). Current plate motions. *Geophysical Journal International*, 101, 425-478.
- Dumistrashko, N.V. y Lilienberg, D. A. (1954). Utilización de los métodos geomorfológicos en las investigaciones sismotectónicas. En: *Trudy Geofizika*, 25, 152 p. Academia de Ciencias de la U.R.S.S., Moscú,
- González, E. C., Cotilla, M.O., Cañete, C.C., Díaz, J. L., Carral, R., y Arteaga, F. (2003). Estudio morfoestructural de Cuba. *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria*, 26 (1), 49-70.

- Gorshkov, A. I., Kuznetsov, I. V., Panza, G. F. y Soloviev, A. A. (2000). Identification of future earthquake sources in the Carpatho-Balkan orogenic belt using morphostructural criteria. *Pure and Applied Geophysics*, 157, 79-95.
- Herraiz, M., De Vicente, G., Lindo, R., Giner, J., Simón, J. L., Gómez-Casado, J. M., Vadillo, O., Rodríguez-Pascuas, M., Cicuendez, J. I., Casas, A., Cabañas, L., Rincón, P., Cortés, M., Ramírez, M. y Lucini, M. (2000). The recent (Upper Miocene to Quaternary) and present tectonic stress distribution in the Iberian Peninsula. *Tectonics*, 19(4), 762-786.
- Hough, S. E., Seeber, L., y Armbruster, J. G. (2003). Intraplate triggered earthquakes: Observations and interpretation. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101(3), 2.212-2.221.
- Imaeva, L. P., Imaev, V. S., y Koz'min, B. M. (2011). Seismotectonic analysis of the Yana-Indigirka segment of the Chersky Zone. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 47(12), 23-36.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN), España. (2017). <http://www.ign.es/web/ign/portal/sis-area-sismicidad>.
- Incorporated Research Institutions for Seismology, (IRIS). University of Portland. <http://www.iris.edu/eartquake>.
- Johnston, A. C. y Kanter, L.R. (1990). Earthquakes in stable continental crust. *Scientific American*, 262(3), 42-49.
- Krestnikov, V. N. (1986). Geological aspects of earthquakes hazard. Proceedings of the UNDRO/URSS/UNESCO/UNDR, Moscú.
- Leonov, Yu, G. (1995). Esfuerzos en la litosfera y geodinámica de interior de placa. *Geotectonika*, 6, 3-22.
- LeRoy, S. D. y Mauffret, A. (1996). Intraplate deformation in the Caribbean region. *J. Geology*, 21(1), 113-122.
- Liu, L. y Zoback, M. D. (1977). Lithospheric strengths and intraplate seismicity in the New Madrid seismic zone. *Tectonics*, 16, 585-595.
- McKenzie, D. P. y Jackson, J. (1983). The relationship between strain rates, crustal thickening, paleomagnetism, finite strain and faults movements within a deforming zone. *Earth Planetary Sc. Lett.*, 65, 182-202.
- Nishenko, S. P. y Singh, S. K. (1987). Conditional probabilities for the recurrence of large and great interplate earthquake along the Mexican subduction zone. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77(6), 2.095-2.114.

- Rantsman, E. Ya. (1979). *Earthquake locations and morphostructure of mountain countries*. Moscú: Editorial Nauka, 172 p.
- Reisner, G. I. (1980). Métodos geológicos de la peligrosidad sísmica. Editorial Nauka, Moscú, 99 p.
- Savostin, L. A., Sibuet, J. C., Zomenshain, L. P., Le Pichon, X. y Roulet, M. J. (1986). Kinematic evolution of the Tethys Belt from the Atlantic Ocean to the Pamir since the Triassic. *Tectonophysics*, 123, 1-35.
- Sbar, L. y Sykes, L. R. (1973). Contemporary compressive stress and seismicity in Eastern North America: An example of intraplate tectonics. *Geological Society of America Bulletin*, 84, 1.861-1.882.
- Schenckova, Z., Schenck, V., Pospissil, C. y Kottnauer, P. (1995). Seismo-geological pattern of transition area between the eastern Alps and the western Carpathians. *Tectonophysics*, 248, 235-245.
- Zhidkov, M. P, Rotvain, I. M. y Sadowskii, A. M. (1975). Forecast of more probable sites for earthquake occurrences. Multiple interceptions of lineaments in the Armenian area. *Vichislitielnaya Seismologiya*, 8, 53-70.

Corralito un Humedal en Vía de Extinción en el Corregimiento de Severá, Municipio de Cereté, Colombia

Corralito: A Wetland in Danger of Extinction in the Village of
Severá, Municipality of Cereté, Colombia

*Jorge Villadiego-Lorduy*¹

Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

*Lilliana Piedra-Castro*²

Universidad Nacional, Costa Rica

*Hernán Tapia-Contreras*³

*Yhonattan Méndez-Nobles*⁴

*Omar Carmelo Díaz-Hernández*⁵

Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.10>

-
- 1 Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Docente investigador del programa de ingeniería sanitaria y ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana. Sede Montería, Colombia. Correo electrónico: Jorge.villadiegol@upb.edu.co
 - 2 Doctora en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Docente investigadora de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, Costa Rica, sede Heredia. Correo electrónico: lilliana.piedra.castro@una.cr
 - 3 Docente investigador del programa de ingeniería civil. Universidad Pontificia Bolivariana. Sede Montería, Colombia. Correo electrónico: Hernan.tapia@upb.edu.co
 - 4 Docente investigador del programa de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana. Sede Montería, Colombia. Correo electrónico: Yhonattan.mendez@upb.edu.co
 - 5 Docente investigador del programa de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana. Sede Montería, Colombia. Correo electrónico: omar.diazh@upb.edu.co

Fecha de recepción: 24 marzo de 2017
Fecha de aceptación: 31 de enero de 2018

RESUMEN

El propósito de este artículo es analizar las condiciones ambientales presentes en el humedal de Corralito, el cual se soportó en el análisis y características de las esferas social, económica y natural, a fin de entender las causas de los eventos físicos, económicos, sociales que expliquen los daños ambientales que ha sufrido en los últimos años. La problemática ambiental existente es el resultado de las presiones de tipo antrópico a la que ha sido sometido, la ausencia de una cultura ambiental y los intereses de los dueños de predios colindantes de apropiarse del espejo de agua lo han llevado a su desequilibrio y degradación. Como resultado del diagnóstico territorial, se identificaron dos problemas ambientales fundamentales: La desecación del humedal y la pérdida de la biodiversidad. Factores como el bajo nivel educativo, las escasas oportunidades de empleo, los pocos ingresos por núcleo familiar y las deficientes condiciones sanitarias no contribuyen al desarrollo sostenible local. Se resalta que un 80% del total de los núcleos familiares entrevistados tienen como actividad económica los oficios varios, y que la construcción de terraplenes y el proceso de parcelación contribuyó desde el año 2000 a una reducción drástica de su área.

Palabras clave: Problemas ambientales, fragmentación del ecosistema, dinámicas territoriales, presiones antrópicas, precarias condiciones socioeconómicas

ABSTRACT

This article aims to analyze the environmental conditions present in the Corralito wetland, whose social, economic, and natural characteristics were considered to understand the causes of the physical, economic, and social events that explain the environmental damage it has suffered from in recent years. The existing environmental problem is the result of anthropogenic pressures to which it has been subjected, the absence of an environmental culture, and the interests of the owners of adjacent properties to appropriate the water mirror that have led to its imbalance and degradation. As a result of the territorial diagnosis, two fundamental environmental problems were identified: the drying of the wetland and the loss of biodiversity. Factors such as low educational level, scarce employment opportunities, low family income and poor sanitary conditions do not contribute to local sustainable development. It is highlighted that 80% of the families interviewed have diverse economic activities and that the construction of embankments and the parceling process contributed, since 2000, to a drastic reduction of the wetland area.

Keywords: environmental problems, ecosystem fragmentation, territorial dynamics, anthropic pressures, precarious socio-economic conditions.

Introducción

Los humedales son ecosistemas que surgen cuando la saturación del terreno por agua produce sustratos hídricos (dominados por procesos anaeróbicos) y permite el establecimiento de biota, principalmente, plantas enraizadas, con adaptaciones para tolerar la anegación (Keddy, 2004); no solo son estaciones vitales en el itinerario del agua: son fuentes de biodiversidad (Instituto Alexander Von Humboldt, 2015), según Castellanos (2001), las ciénagas son los ecosistemas más productivos del mundo. Su característica determinante es la disposición constante o

temporal de agua a lo largo de todo el año, esta situación favorece el desarrollo exitoso de una amplia diversidad de flora, fauna y microorganismos que interactúan en complejas relaciones para mantener un equilibrio ecológico de alta fragilidad.

Por otro lado, la problemática ambiental se ha acelerado y agudizado en las últimas décadas, hoy día la globalización económica impone nuevas pautas para la producción y consumo de recursos. Colombia no es ajena a tal situación, sobre todo para los ecosistemas tipo humedal, donde cada vez se van desecando y deteriorando sus condiciones ambientales. La región Caribe presenta diversos ambientes de aguas saladas y salobres que permiten la presencia, en esta zona, de la mayor variación (variedad) en cuanto a cuerpos de agua costeros del país se refiere, ellos son: ribereños, lacustres, palustres, marinos y estuarinos; de amplias playas arenosas y fondos lodosos. Forman parte de estos ecosistemas la ciénaga Grande del Magdalena, la desembocadura de los ríos Sinú y Atrato y la bahía de Cartagena. La extensión territorial va desde los límites con Panamá hasta los límites con Venezuela (aproximadamente 142.000 km²). Comprende localidades de los departamentos de la Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquía, entre 7°56' y 12°25' latitud Norte y 77°20' y 71°08' longitud Oeste (Rangel et al., 1997).

La ciénaga de Corralito (aproximadamente a 10 msnm) está ubicada sobre la margen izquierda del río Sinú en su cuenca media, 54 km aguas arriba de su desembocadura, en las coordenadas N8°52'39 W75°51'04. Política y administrativamente hace parte del municipio de Cereté, corregimiento de Severá (Colombia). (Figura 1).

Figura 1. Localización de la ciénaga de Corralito



Fuente: Google Earth, 2016.

En el caso del humedal de Corralito, debido a la presión que ejercen sus habitantes, lo están llevando a sus límites ecológicos, lo anterior, originado por la demanda de recursos naturales. Por ello, con el objetivo de estudiar las condiciones ambientales de este ecosistema se desarrolló una valoración ambiental del espejo de agua y su población vecina, a fin de conocer el estado real en que se encuentran. La ausencia de una cultura ambiental que generen acciones positivas por parte de los habitantes hacia este, la construcción de terraplenes, procesos de parcelación, bajos ingresos económicos y nivel de educación son factores que están influyendo en su degradación. Además, se señala que a partir del análisis espacio - temporal para el espejo de agua, se determinó el punto exacto en el tiempo donde se aceleró su deterioro.

Materiales y métodos

El método que se utilizó en el estudio de las condiciones ambientales del humedal de Corralito se soportó en el análisis de información primaria y secundaria. En términos de información secundaria se recopiló reportes de proyectos ambientales desarrollados en el área de estudio (Diagnósticos y planes de manejo ambiental elaborados por la Corporación ambiental de los Valles del Sinú y San Jorge, 2016 y 2018; análisis socioeconómico

ejecutado por Tapia y Pérez, 2016 entre otras investigaciones) y se desarrolló el respectivo análisis de imágenes de satélites tipo Landsat para los años de Enero de 1990, 1996, 2000 y 2015, mediante el software Arcgis 10.3, con el fin de conocer la dinámica espacio temporal que ha sufrido la ciénaga. Para el caso del estudio de la información primaria, se diseñó un instrumento de investigación tipo cuestionario que contenía 14 ítems, se aplicó a una muestra de 44 predios de un total de 70 predios del centro poblado de Severá (Sector Los Chorrillos). Se entrevistó a un representante de cada núcleo familiar existente en la muestra, cuando había más de un núcleo familiar por predio se seleccionaba al azar al individuo a entrevistar del núcleo familiar escogido; con la información primaria se buscó recopilar información de variables socioeconómicas, que permitieran contrastar con la información secundaria analizada, y con las visitas a campo realizadas al ecosistema en mención. Igualmente, para el procesamiento y análisis de la información recolectada de la aplicación del cuestionario se emplearon métodos de estadística descriptiva basada en el cálculo de estimaciones porcentuales. La información del total de predios existentes a la fecha y sobre la cual se trabajó el diseño muestral (Muestreo aleatorio simple) se obtuvo del plano predial del centro poblado del corregimiento (descargado desde el sitio web del Instituto Geográfico Agustín Codazzi en noviembre de 2016). El software con el que se elaboró el análisis estadístico fue R versión 3.0.2. Se asoció como técnica de investigación el trabajo de campo para la verificación de la problemática ambiental existente en el área de estudio, desarrollando las respectivas visitas a la zona en el mes de febrero de 2017.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

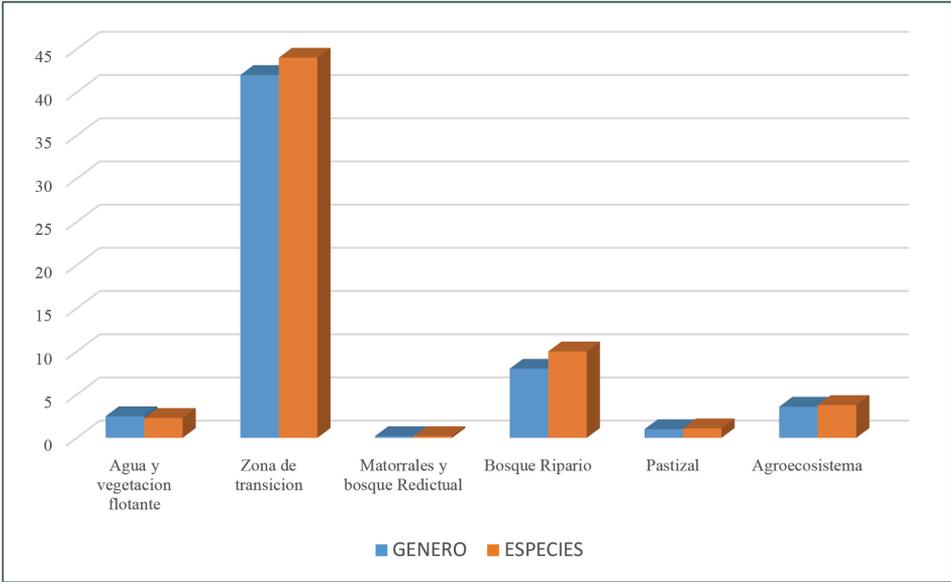
Corralito y sus características físico-bióticas

A nivel general, los suelos de la unidad donde se ubica la Ciénaga de Corralito constituyen un relieve plano y micro relieve ondulado con pendientes usualmente menores a 1 (0-3%). Geomorfológicamente, el humedal se puede caracterizar como una ciénaga dulce, que hace parte de un complejo de zonas inundables y zonas encharcables de carácter permanente y de régimen natural, que están delimitadas al Oeste por los palocauces del valle del Sinú, como son Caño Viejo, Caño Vidrial o Caño Caimanera,

las principales geoformas presentes son basin alto, bajo, delta de explayamiento y manto de desborde. El espejo de agua y su área de influencia se ubican sobre una litología conformada por capas de grava, arena, limo y arcilla depositadas en un ambiente fluvio-lacustre que definen un acuífero discontinuo de extensión local libre a semiconfinado de baja productividad (Corporación de los Valles del Sinú y San Jorge, 2008).

La Corporación de los Valles del Sinú y San Jorge en el Plan De Manejo y Gestión Ambiental de los Humedales Corralito, Martinica, Pantano Largo y Pantano Grande, desarrollado en el 2008, indica que las precipitaciones tienen valores totales anuales que oscilan entre 826 y 1278 mm. Los valores medios mensuales varían entre 11 mm, (Estación Galán), y 197 mm (Estación Cereté), ocurridos durante el mes de agosto. La temperatura media anual varía entre 25.7 y 29.7°C. Los valores más altos de temperatura media mensual se presentan durante los meses de marzo y abril y las más bajas en los meses de octubre a diciembre; sin embargo, la variación de temperatura mensual no supera los 5° C. Para la ciénaga se estima la humedad relativa media multianual en 80.8%, una velocidad de viento media multianual de 1.15 m/s y la evaporación media multianual de 2200 mm/año. Los valores totales anuales de brillo solar son en promedio de 2.710 horas. El mes de mayor brillo solar es enero con 261.1 horas/mes y el de menor es septiembre con 211.3 horas/mes. Según el plan de manejo, la zona del humedal y alrededores se puede clasificar (clasificación de Holdridge) en un clima cálido a semicálido y desde el punto de vista de flora y fauna la cobertura vegetal presenta 6 categorías florísticas enmarcadas en: 1) Agua y vegetación flotante, 2) Zona de transición 3) Matorrales y bosque redictual, 4) Bosque ripario, 5) Pastizal y 6) Agroecosistemas (Gráfico 1).

Gráfico1. Distribución de la diversidad de especies y géneros de vegetación según hábitat



Fuente: Corporación Ambiental de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS, 2008).

Para el ambiente acuático se cuenta con especies vegetales como lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y buchón de agua (*Eichhornia azurea*), en lo referente a la zona transicional, se caracteriza por presentar vegetación capaz de resistir inundaciones de más de un metro de profundidad se cuenta con zarza o dormidera” (*Mimosa pigra*) y “bocachica” (*Thalia geniculata*), Altamisa” (*Ambrosia peruviana*), “Enea o Nea” “Junco” (*Typha angustifolia*), y Pimiento” (*Phyllanthus cf. acuminatus*). En el ambiente terrestre coexisten especies como algarrobillo” o “campano” (*Samanea saman*); le sigue en importancia el “ñipi-ñipi” (*Sapium aucuparium*), el muñeco (*Cordia sp., cf. panamensis*) el “roble rosado” (*Tabebuia rosea*) y el “chengue” (*Erythrina glauca*). Dentro de los árboles subordinados se encuentran el “naranjuelo” (*Crataeva tapia*), el “guácimo” (*Guazuma ulmifolia*) y en menor proporción, el “espino” (*Pithecellobium lanceolatum*) con *Andira inermis*. Dentro de las especies de pastos la especie predominante es gramalote “*Paspalum sp* y *Panicum maximum*, por último, y no menos importante, están las coberturas conformadas por cultivos, ya sea de pancoger

o tecnificados, cuya diversidad está dada por el uso, es decir, coberturas vegetales derivadas de los agroecosistemas. Por otro lado, la fauna que es característica de este tipo de ecosistemas se centra en tres categorías:

1. Herpetofauna conformada por Anura (Ranas y Sapos) con 13 especies, Sauria (reptiles) con 16 especies, Serpentes (serpientes) con 17 especies, testudines (tortugas) con 3 especies y Crocodylia (cocodrilos) con 1 especie.
2. Aves, se encontró un total de 86 especies de Aves, repartidas en 36 familias, 82 géneros; La familia más representativa fue Tyranidae (pequeños pájaros) con la mayor cantidad de especies (10) seguida por la Familia Ardeidae (aves pelicaniformes, garzas) con 8 especies y las familias Accipitridae (aves rapaces, gavilanes), Anátidae (patos) e ictáridae (turpiales) con 5 especies cada una.
3. Mamíferos, la mayor riqueza de especies se concentra en los murciélagos de la familia Phyllostomidae, el ponche o cacó (*Hydrochaeris hydrochaeris*). Los marsupiales didélfidos (*Orden Didelphimorphia*) representan el 7,6% de las especies de mamíferos presentes en el área de estudio. La familia Didelphidae está representada por la chucha o fara (*Didelphis marsupialis*). De los mamíferos carnívoros restantes, continúan presentes el zorro perro (*Cerdocyon thous*) y zorra piemuchacho (*Procyon cancrivorus*), también se cuenta en menor proporción con la presencia monos aulladores (*Alouatta seniculus*).

Hay que aclarar que debido a acelerado proceso de degradación de la ciénaga muchas especies tanto de fauna como flora han desaparecido al no contar con las condiciones mínimas para su subsistencia (Tapia y Pérez, 2016), para la fauna; especies como el venado (*Mazama americana* y *Odocoileus virginianus*) y el zaíno (*Pecari tajacu*) ya han desaparecido, en el caso del armadillo (*Dasypus novemcinctus*) este es muy escaso. Igualmente, ocurrió con grandes gatos (jaguar, panthera onca, y el puma, puma concolor) que fueron parte de la fauna de la región (Corporación de los Valles del Sinú y San Jorge, 2008). Por lo tanto, Corralito ha enfrentado, debido a las presiones de orden antrópico y tal como lo señala Badii et al (2015) un proceso de extinción de especies a nivel local, en la que la

especie deja de existir en un área determinada, aunque sigue viviendo en otro lugar. Este fenómeno también es conocido como extirpación.

Importancia ecológica de Corralito

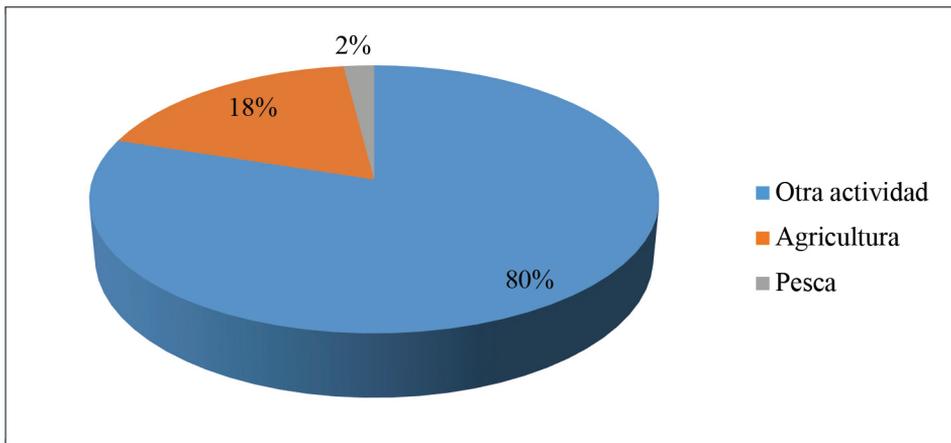
La ciénaga de Corralito, en primera medida es uno de los humedales más representativos del municipio de Cereté, el hecho que este ecosistema de vital importancia para el municipio se encuentre en sus límites de subsistencia por la ignorancia de vecinos, terratenientes de la región y por la falta de autoridad ambiental para el cumplimiento de la normatividad (*El Meridiano de Córdoba*, 2016), ha generado una serie de implicaciones ambientales dentro de las que se señalan:

- Al no existir el humedal, se acaba con el hábitat de muchas especies de animales y plantas que depende de este tipo de ecosistemas. Al alterar su tamaño, hidrología, patrones de vegetación afecta el stock de alimento disponible para comunidades de aves, las cuales tienen como hábitat las ciénagas (Blanco, 1999). Hay que recordar que el régimen hidrológico es reconocido como el principal factor condicionante de las propiedades estructurales y funcionales de los ecosistemas de humedal (Mitch y Gosselink 2000).
- Se prescinde de los servicios ecológicos que presta el cuerpo de agua en sus diferentes escalas territoriales: Local, regional, nacional y global. Los humedales contribuyen a la regulación de los microclimas, sin omitir que son patrimonio de la humanidad, en tal caso no se pueden vender o negociar ni mucho menos apropiarse de los mismos. Igualmente, los humedales aportan a la manutención de la calidad del agua, reteniendo sedimentos y nutrientes, y la remoción de tóxicos, además de brindar una serie de recursos naturales útiles al hombre para desarrollar actividades productivas.
- Al desaparecer Corralito se perdería una importante reserva de agua para la región, comprometiendo las condiciones de vida de las comunidades que se benefician de este espejo de agua. Así mismo, los humedales son el sostén de la cultura de muchos pueblos, en especial de aquellos que tienen arraigada la cultura del agua y lo referente a su gobernanza.

Características socioeconómicas y percepciones de la población vecina del humedal

A partir del análisis de los resultados obtenidos con la aplicación del cuestionario de caracterización socioeconómica de los núcleos familiares entrevistados en el centro poblado del corregimiento de Severá (Sector los chorrillos), se estima que un 80% de las familias viven del rebusque diario, es decir, actividades como el mototaxismo, “un día de jornal”, albañilería, reparaciones, entre otras, son las que le brindan un ingreso económico a las familias, no siendo dichas labores bien remuneradas ni estables. El restante 20% se divide en un 2% dedicado a la pesca y el otro 18% se dedican a actividades como la agricultura (Gráfico 2). Para Boyce (citado por Correa, 2007) las desigualdades sociales y económicas son factores determinantes en la explicación de la calidad ambiental.

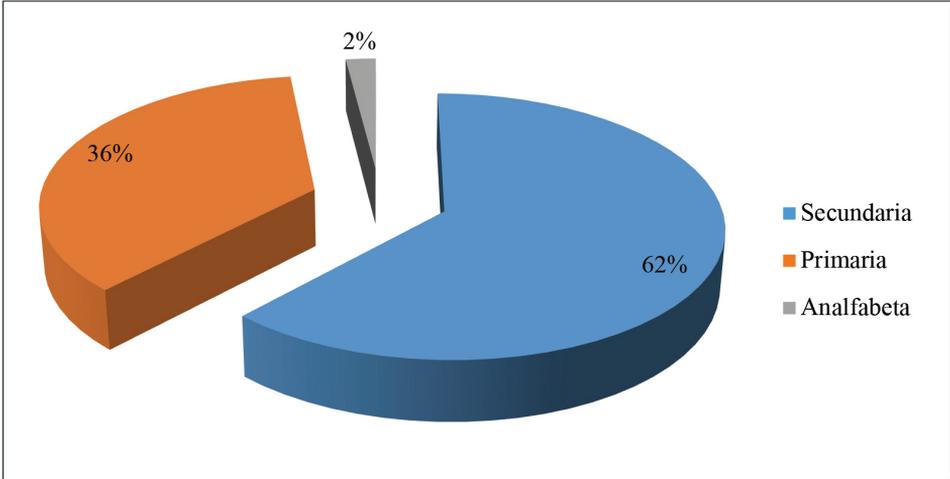
Gráfico 2. Actividad económica del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia producto de análisis estadístico

En términos de educación, es importante destacar que a pesar de la iniciativa del gobierno de aumentar el nivel educativo en Colombia, en muchas zonas del país se presentan altos índices de analfabetismo y la zona de estudio no es la excepción, 62% de los hogares encuestados cuentan con al menos un individuo con estudios secundarios incompletos, un 2% cuentan por lo menos con una persona que no sabe leer ni escribir, y solo un 36% de los entrevistados cursaron estudios de primaria completos (Gráfico 3).

Gráfico 3. Nivel de educación en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia producto de análisis estadístico

En cuanto a la infraestructura se refiere, el 67.9% de la población rural del municipio de Cereté, incluyendo Severá, no ha logrado satisfacer sus necesidades básicas, el corregimiento no cuenta con servicios de alcantarillado ni con el de recolección de basuras, éstas son quemadas o enterradas. El servicio de energía eléctrica tiene una cobertura del 95%. El corregimiento carece del servicio de gas natural, siendo el fogón de leña y la pimpina de gas propano las opciones más viables para la cocción de los alimentos. La cobertura del acueducto es del 60%, su administración está a cargo de una junta comunitaria y el agua es bombeada directamente del río sin ningún tratamiento previo (Corporación Ambiental de los Valles del Sinú y San Jorge, 2008). Referente a las viviendas y los materiales que las conforman, en el área rural las paredes pueden ser de bareque, guadua, madera o zinc y piso de tierra, en el casco urbano las paredes son de bloques con su respectivo repello, y pisos de cemento o baldosa.

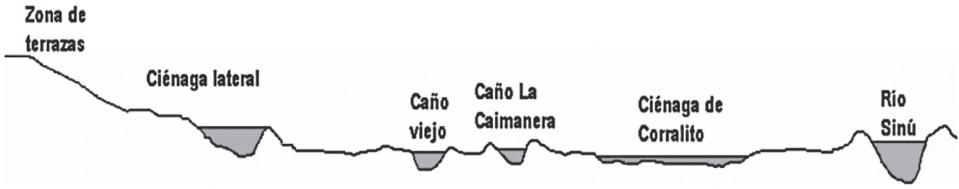
Al respecto de la organización comunitaria en el corregimiento de Severá, al preguntarle a los entrevistados si conocían de alguna organización al interior de la comunidad de carácter no gubernamental que trabajaran de forma articulada por el bienestar local, señalaron las siguientes: Juntas de Acción Comunal, Madres Comunitarias, ASOPAS, AMIPROS, Grupo Deportivo el Chorrillo, Asociación de Aguas de Severá, APROPESCA y ASPROACER.

Por otra parte, en cuanto a las percepciones que tienen los pobladores del humedal, el 100% de los entrevistados para época lluviosa, lo consideran un proveedor de alimento, es decir, suministra frutas y la producción de peces se reanuda por las lluvias y el flujo de agua proveniente como proceso natural por parte del río Sinú. El mismo porcentaje de encuestados en verano, solo lo percibe como un territorio de tránsito para llegar a diferentes lugares. Un 98% de los entrevistados le confieren importancia al humedal como ecosistema vital para la zona, pero la pregunta que surge es si este ecosistema es considerado relevante para las poblaciones vecinas ¿Por qué han permitido su degradación? Prácticamente es muy poco lo que queda de este cuerpo de agua, entonces no existe coherencia entre las respuestas dadas y las acciones de las personas hacia la ciénaga.

Dinámica espacial y problemática ambiental de la ciénaga de Corralito

Para el análisis de los cambios espacio-temporales ocurridos sobre el espejo de agua, se trabajó con una imagen Lansat TM5 y tres imágenes Lansat ETM7, tomadas en el mismo mes de cada año, enero de 1990 (Lansat 5), 1996, 2000 y 2015 con las que se desarrolló mediante el software ARCGIS versión 10.3 el respectivo análisis espacial para cada periodo mencionado. Hacia 1990, el ecosistema presentaba una planicie aluvial donde se daba un proceso de intercambio de aguas entre la ciénaga, los Caños Viejo y la Caimanera (drenaje cercano al espejo de agua) y el río Sinú, es decir, el humedal se encontraba hidráulicamente activo, alrededor del espejo de agua central se contaba con pequeñas ciénagas que servían de área de amortiguamiento, no se apreciaba ningún tipo de fragmentación ecosistémica en la zona producto de actividad antrópica, y el área total del espejo de agua era en ese entonces de 3720 ha. La circulación y energía de la ciénaga era notable con los cuerpos de aguas aledaños, lo cual indicaba la conectividad hídrica y la abundancia de coberturas de agua para las poblaciones aledañas al humedal (figura 2).

Figura 2. Perfil del Valle aluvial que muestra los diferentes reservorios de aguas superficiales.



Fuente: Conservación Internacional, 2008.

Hacia 1996, el área del cuerpo de agua se redujo a 193,7 ha, alterándose su hidrología en términos de taponamiento de caños e interconectividad con el río y la desecación de algunas zonas de amortiguamiento, se perciben algunos procesos de deterioro de la ciénaga asociado a la desecación de las zonas antes mencionadas. En el año 2000 ocurre un cambio drástico en la estructura ecológica del ecosistema, dándose tres fenómenos que alteran el territorio, el primero asociado con la construcción de terraplenes, con un total para ese año de 56 estructuras de este tipo, correspondiente a un total longitudinal de 58,8 Km. El segundo fenómeno, igualmente importante, fue la parcelación de zonas perimetrales de Corralito, aproximadamente se parcelaron 1200 ha. Lo anterior originó un proceso de fragmentación del ecosistema dividiendo los terrenos y el espejo de agua en diversos sectores, perdiendo así comunicación interna y externa el ecosistema en su conjunto. Según García (2011), la fragmentación de ecosistemas está asociado a tres procesos de alteración paisajística: 1) la pérdida progresiva de superficie de hábitat original; 2) la subdivisión creciente del hábitat remanente; y 3) el incremento de la relación perímetro/superficie en dicho hábitat.

Por último, no se puede omitir el cambio de uso del suelo como consecuencia de la parcelación y construcción de terraplenes, se pasó teniendo en cuenta el decreto 3600 de 2007 artículo 1, acerca de la reglamentación de los usos del suelo rural, de un uso de estructura ecológica principal a un uso prohibido, es decir, un uso incompatible con el uso principal de una zona, con los objetivos de conservación ambiental y de planificación ambiental y territorial, y por consiguiente implicación de graves riesgos de tipo ecológico y/o social (Corporación de los Valles del Sinú y San Jorge, 2016). Para el año 2000 el área del espejo de agua era de 98,8 ha,

reduciéndose en un 51% en comparación con el año 1996 y en un 97,5% referente a 1990. En el 2015 se da la desaparición total del espejo de agua (Únicamente se puede apreciar en imágenes una huella hídrica de 9 ha), apareciendo solo en periodos de lluvia, se conserva a lado y lado de los terrenos de la ciénaga cultivos transitorios y vegetación típica del humedal: Enea (*Typha angustifolia*), se da un cambio total del uso del suelo a agropecuario y se han legalizado con escritura pública y matrícula inmobiliaria mucho de los terrenos pertenecientes al humedal (figuras 3 y 4).

Jorge Villadiego-Lorduy, Lilliana Piedra-Castro, Hernán Tapia-Contreras, Yhonattan Méndez-Nobles, Omar Carmelo Díaz-Hernández. Corralito un Humedal en Vía de Extinción en el Corregimiento de Severá, Municipio de Cereté, Colombia

Figura 3. Mosaico de imágenes satelitales para los años 1990, 1996, 2000 y 2015

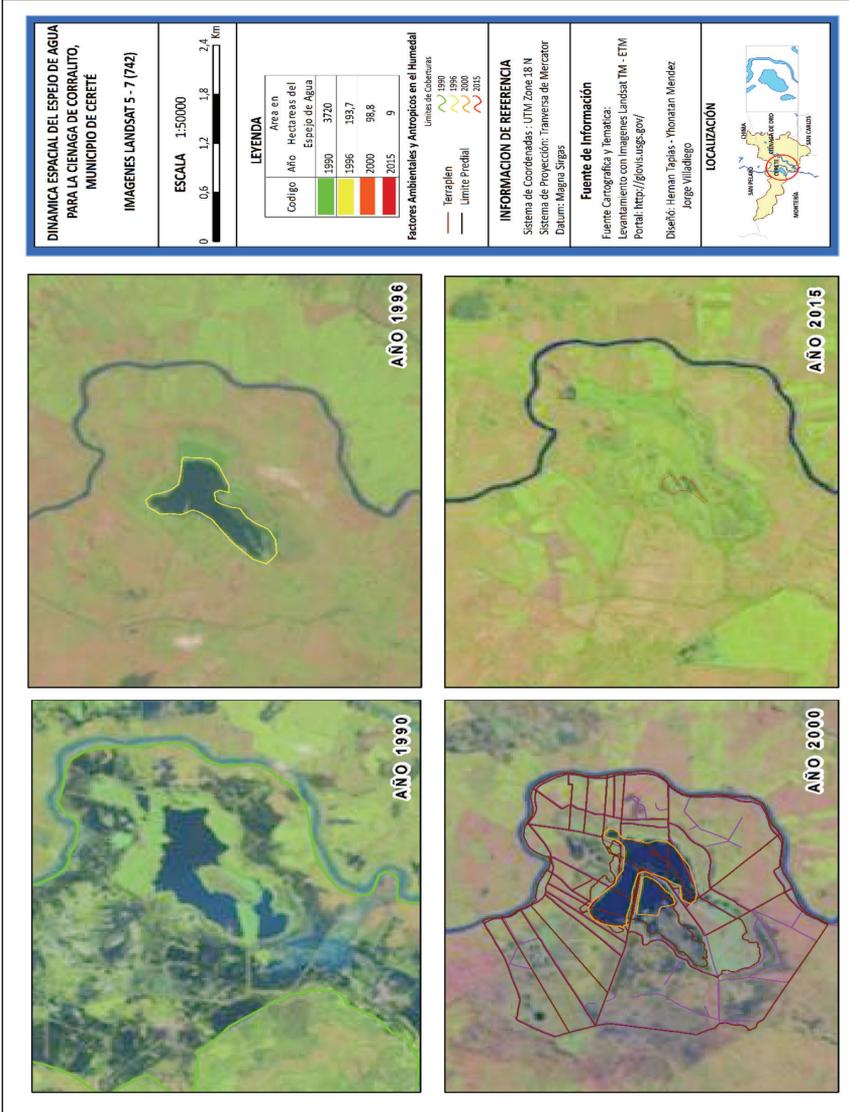
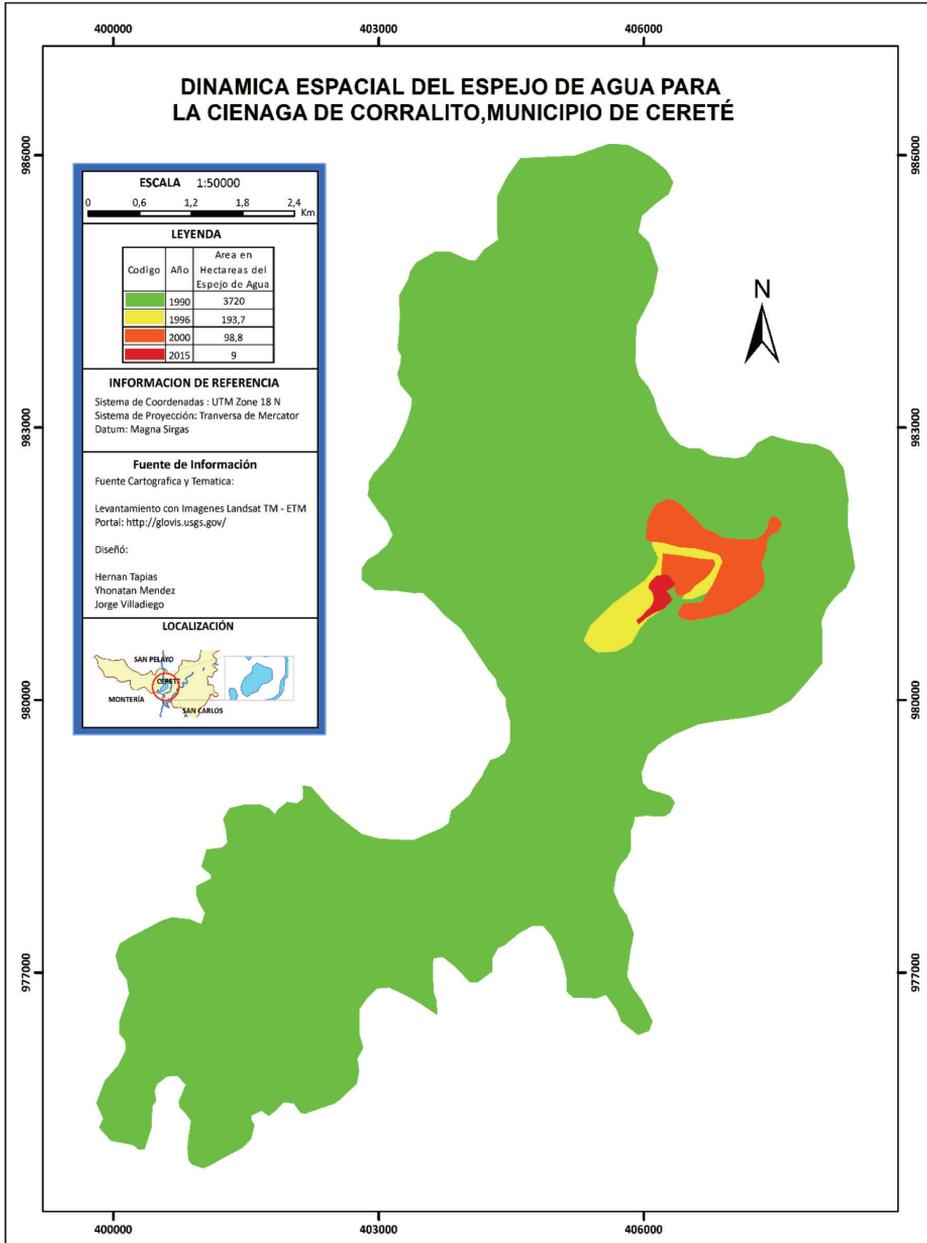


Figura 4. Mapa de dinámica del espejo de agua para los años 1990, 1996, 2000 y 2015



Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de imágenes satelitales Landsat TM

Así mismo, la desecación del humedal se convierte en una de las principales problemáticas ambientales de Corralito, derivada de la construcción de terraplenes y la parcelación de los terrenos (fotos 1 y 2). Seguidamente, la pérdida de la biodiversidad producto de la fragmentación del ecosistema y la caza de especies que todavía se encuentran en la zona, de igual forma, la falta de una cultura ambiental de los vecinos más próximos a esta dificulta su conservación, sin omitir las actividades agrícolas y pecuarias que desarrollan los dueños de las fincas aledañas al humedal (Cuadro 1). Desafortunadamente, para la ciénaga los bosques han sido destruidos, principalmente, para dar lugar a zonas de actividades agropecuarias y para la explotación selectiva de maderables de gran valor comercial o para el consumo de leña, sin que existan áreas de uso combinado productivo-forestal. Como consecuencia de lo anterior, las poblaciones de especies de flora y fauna han disminuido drásticamente mientras que otras ya han desaparecido, de allí que el estado ambiental de la ciénaga sea muy crítico (Corporación Ambiental de los Valles del Sinú y San Jorge, 2008). Hay que recordar que los humedales son extremadamente sensibles a los cambios del medio ambiente terrestre y de su cuenca, y que esos cambios en algunos casos son imposibles de revertir (Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional, 2007).



Foto 1. Terraplén y vegetación de Enea (*Typha angustifolia*)



Foto 2. Terraplén como elemento de fragmentación del humedal

Dentro de los actores involucrados en la problemática ambiental descrita, se tienen actores institucionales como la Corporación ambiental de los Valles del Sinú y San Jorge(CVS), la Policía Ambiental y la Alcaldía de Cereté, como principales actores sociales se encuentran las comunidades vecinas de los humedales, y como actores económicos y de gran relevancia en el deterioro de los humedales se tiene a los agricultores y ganaderos que han ayudado a la extinción del humedal con la construcción de terraplenes para expandir sus predios. Se necesitan actores en el área de estudio, que desde la gestión ambiental y tal como lo propone Rodríguez y Espinosa (2003, p.10) identifiquen la problemática del ambiente, y formulen e implementen políticas dirigidas a su protección.

Cuadro 1. Matriz de problemas ambientales ciénaga de Corralito

MATRIZ DE PROBLEMAS AMBIENTALES				
PROBLEMAS AMBIENTALES	CAUSA	EFEECTO	NIVEL DE IMPORTANCIA	ACTORES
Deseccación del humedal	Eutrofización	Sedimentación del fondo del humedal	Alto	Comunidad, Autoridad ambiental (CVS), Policía ambiental, Alcaldía, Gaderos y agricultores
	Construcción de terraplenes y parcelación	Carencia de interconexión hídrica entre los cuerpos de agua		
		Pérdida de las áreas del humedal		
		Cambio de usos del suelo y transformación del paisaje		
Pérdida de la biodiversidad	Caza indiscriminada y pesca con artes no adecuadas	Destrucción de habitats	Alto	Comunidad, Autoridad ambiental (CVS), Policía ambiental, Alcaldía, Gaderos y agricultores
	Fragmentación del ecosistema			
	Explotación agropecuaria			
	Ausencia de una cultura ambiental			
	Tala de árboles			

Fuente: Elaboración propia derivado de trabajo de campo.

Conclusiones

Con el desarrollo del estudio de las condiciones ambientales del humedal de Corralito se concluye lo siguiente:

- Las características socioeconómicas de la principal población vecina del humedal son críticas, bajos niveles de educación y actividades económicas relacionadas con la informalidad y los bajos ingresos económicos son foco del poco desarrollo local que presenta la zona.
- La infraestructura del corregimiento de Severá en término de cobertura de servicios públicos, excepto el de energía, es mínimo, ausencia del servicio de recolección de basuras, gas y alcantarillado debido a la poca gestión comunitaria y de la administración de turno.
- Desde 1996 se empieza a alterar la hidrología de la ciénaga de Corralito con el taponamiento de caños y desecación de pequeños humedales aledaños al espejo de agua estudiado, pero es en el año 2000

donde se intensifica la construcción de terraplenes, seguida de la parcelación de los terrenos pertenecientes al humedal y se desata la crisis ambiental del humedal.

- Los principales problemas ambientales del humedal se centran, principalmente, en la desecación del humedal por la construcción de terraplenes y procesos de parcelación por parte de los dueños de fincas, y en la pérdida de la biodiversidad y extinción local de algunas especies como efecto del mismo proceso de fragmentación del ecosistema por los factores antes mencionados.
- La poca articulación entre la autoridad ambiental, policía ambiental, alcaldía y comunidad ha brindado los espacios para que terceros (terratinentes) se lucren con el humedal apropiándose y legalizando los terrenos robados al ecosistema.

Recomendaciones

A partir del análisis de las condiciones socioambientales y del proceso de deterioro del humedal de Corralito se realizan las siguientes recomendaciones:

- Generar un modelo de desarrollo sostenible local que responda a las particularidades del territorio y del cual se logren empoderar las comunidades residentes aledañas al humedal convirtiéndose dicho modelo en un pilar para el desarrollo de las mismas.
- Desarrollar procesos de educación ambiental con las comunidades vecinas del humedal y asociar dicho proceso a proyectos económicos y de autogestión de organizaciones comunitarias.
- Comprometer a las autoridades locales, regionales y nacionales con la recuperación del humedal y la declaratoria de área protegida para la conservación de especies y hábitats, además de empezar el proceso de deslinde de los terrenos pertenecientes al humedal.
- Implementar mecanismos y/o estrategias de seguimiento y evaluación para el modelo de desarrollo sostenible local y los procesos de educación ambiental que se adelanten en los territorios de Corralito.

Referencias

- Badii, M. H., Guillen, A., Pérez, G., Aguilar, J., UANL, S. N. D. L. G., & México, N. L. (2015). Extinción de Especies y su Implicación Species Extinction and its Implication. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 10(1), 157-171. Consultado en Mar 10 de 2017. Recuperado de [http://www.spentamexico.org/v10-n1/A11.10\(1\)157-171.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A11.10(1)157-171.pdf)
- Blanco, D. E. (1999). *Los humedales como hábitat de aves acuáticas. Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe-ORCYT-Montevideo-Uruguay, 219-228.
- Castellanos, C. (2001). Los ecosistemas de humedales en Colombia. *Revista Luna Azul*. 13(7):45-56. . Consultado en Mar 20 de 2017. Recuperado de http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul13_4.pdf
- Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Ramsar). (2006). Manual de la convención de Ramsar: Guía a la convención sobre los humedales. Consultado en Mar 15 de 2017.
- Corporación Ambiental de los Valles del Sinú y San Jorge. (2008). *Plan de manejo y gestión ambiental de los humedales Corralito, Martinica, Pantano largo y Pantano Grande*.
- Corporación Ambiental de los Valles del Sinú y San Jorge. (2016). CVS Inició Recuperación de Distrito de Conservación de Suelo Ciénaga de Corralito Cereté. Consultado en enero 23 de 2018. Recuperado de <http://cvs.gov.co/web/cvs-inicio-recuperacion-de-distrito-de-conservacion-de-suelo-cienaga-de-corrallito-cerete/>
- Correa, F. (2007). Crecimiento económico, desigualdad social y medio ambiente: evidencia empírica para América Latina. *Ingenierías*, 6 (1). Consultado en mar 23 de 2017. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242007000100002
- El Meridiano de Córdoba*. (2016). Ciénaga de corralito, un “falso positivo”. Consultado en enero 23 de 2018. Recuperado de <http://www.elmeridiano.co/cienaga-de-corrallito--un-falso-positivo/35997>
- García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Revista Ecosistemas*, 20(2-3). Consultado en marzo 5 de 2017. Recuperado de <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/18>

- Instituto Alexander Von Humboldt. (2015). Colombia anfibia: Un país de humedales. Instituto Humboldt, Editores. ISBN obra impresa: 978-958-8889-48-1 ISBN obra digital: 978-958-8889-47-4
- Keddy, P. A. (2004). *Wetland Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge
- Mitch, W. J. y Gosselink, J. (2000). *Wetlands*. Third Edition. John Wiley and Sons. New York 920pp.
- Rangel, J., Lowy, D. y Aguilar, M. (1997). Distribución de los tipos de vegetación en las regiones naturales de Colombia. En *Colombia Diversidad Biótica II* 383-402. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, B. y Espinosa, G. (2003). Gestión Ambiental en América Latina y el Caribe: Evolución, tendencias y principales prácticas. Consultado en Mar 25 de 2017. Recuperado de http://www.iadb.org/sds/publication/publication_3351_s.htm
- Secretaría de la Convención de Ramsar (2013). Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) (6a. ed.). Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). Recuperado de www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf
- Tapia, H. y Pérez, N. (2016). Diseño de estrategias de educación ambiental para el manejo sostenible de la Ciénaga de Corralito, municipio de Cereté-Córdoba. *Revista Escenarios* 19:42-49. Consultado en enero 23 de 2018. Recuperado de <http://revistas.cecar.edu.co/escenarios/article/view/297>

Propuesta para una Delimitación Geográfica Integral del Manglar de Nosara, Guanacaste, Costa Rica

A Proposal for a Comprehensive Geographical Delimitation of
the Mangrove of Nosara, Guanacaste, Costa Rica

Iván Sanabria-Coto¹

Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica

Milagro Carvajal-Oses²

Universidad Nacional, Costa Rica

Rooel Campos-Rodríguez³

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Paola Solera-Steller⁴

Instituto Tecnológico de Costa Rica

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.11>

-
- 1 Máster en Gestión de Recursos Naturales, geólogo del Instituto Geográfico Nacional del Registro de la Propiedad de Costa Rica. Correo electrónico: isanabria@rnp.go.cr/isanac81@gmail.com
 - 2 Máster en Gestión de Recursos Naturales, académica de la Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Costa Rica en el Programa del Parque Marino del Pacífico. Correo electrónico: milagro.carvajal.oses@una.cr
 - 3 Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo, investigador de la escuela de Agronegocios Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: rocampos@tec.ac.cr
 - 4 Máster en Biotecnología, académica de la Escuela de Biología, Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: psolera@tec.ac.cr

Fecha de recepción: 11 de enero de 2018
Fecha de aceptación: 22 de marzo de 2018

RESUMEN

El estudio de las características del contexto fisiográfico de una región; apoyado con sistemas de información geográfica, insumos de percepción remota, y modelos de elevación digital; permite analizar la distribución horizontal de especies vegetales de un manglar, coadyuvando con su delimitación geográfica. El actual trabajo demuestra que existen potenciales condiciones fisiográficas para la expansión del manglar en Nosara; por lo que su actual delimitación, por medio de mojones, podría ser superada debido a la adaptabilidad vegetal, resultado del futuro incremento del nivel del mar y por ende se recomienda un área geográfica adicional que ejerza una función dentro de los planes maestros costeros como una zona de amortiguamiento, que no solo facilite la migración adaptativa (resiliencia) de las especies vegetales del manglar, sino que permita a su vez crear planes de manejo para el futuro.

Palabras clave: Nosara, manglar, fisiográfico, geomorfología, amortiguamiento

ABSTRACT

Studying the characteristics of the physiographic context of a region, supported with geographic information systems, remote sensing inputs, and digital elevation models, allows to analyze the horizontal distribution of plant species of a mangrove, and this contributes its geographical delimitation. This paper shows that there are potential physiographic conditions for the expansion of the mangrove in Nosara. Thus, its current delimitation, by means of landmarks, could be overcome due to plant adaptability resulting from the future increase in sea level. Therefore, an additional geographical area is recommended to play a role within the coastal master plans as a buffer zone that not only facilitates the adaptive migration (resilience) of the vegetal species of the mangrove but also allows the creation of management plans for the future.

Keywords: Nosara, mangrove, physiographic, geomorphology, buffer zone.

Introducción

Los manglares son ecosistemas costeros que se encuentran en zonas entre mareas de las regiones tropicales y subtropicales. Taxonómicamente, consisten en un grupo diverso de comunidades leñosas pertenecientes a varias familias de angiospermas, no relacionadas entre sí, con adaptaciones especiales a condiciones salinas (Samper-Villarreal y Silva-Benavides, 2015; Benavides-Varela, Samper-Villarreal, Cortés, 2016). Los manglares tienen la capacidad de responder a procesos geomorfológicos y a interacciones continuas con otros ecosistemas contiguos en el mosaico regional, que les permite migrar hacia arriba o abajo desde la zona intermareal. Sin embargo, cuando los paisajes costeros se fragmentan por transformaciones humanas de los entornos regionales y costeros, los manglares son menos autosuficientes (Berger *et al.*, 2008; Valverde, González, Piedra, García, 2016).

Costa Rica tiene importantes áreas de manglar en las costas del Pacífico y Caribe, la mayor parte (99 %) se encuentra en la costa del Pacífico,

principalmente, en el Golfo de Nicoya y en el Golfo Dulce (Zamora-Trejos y Cortés, 2016). Las delimitaciones geográficas de los manglares costarricenses están estrechamente relacionadas con la Zona Pública (ZP), así lo indica el artículo N.º 11 de la Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre (ZMT) N.º 6043 (1977) y, además añade que será el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (IGN) el ente encargado de estas delimitaciones geográficas.

El IGN de acuerdo al Decreto N.º 36 642-MP-MOPT-MINAET (2011), utiliza dos metodologías básicas para realizar las delimitaciones, los mojones que corresponden a estructuras de piedra georreferenciadas que limita la ZP como franja de 50 m a partir de la curva de nivel de 1,5 cm, o utilizando delimitación digital georreferenciada; la cual limita la pleamar ordinaria a partir de coordenadas del sistema de referencia oficial del país.

Específicamente, el manglar Nosara se encuentra identificado en el Mapa de Tipos de Bosque de Costa Rica del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) (2013), y delimitado físicamente (amojonado), como parte de la ZP de la ZMT por parte del IGN (Gaceta Digital N.º 20, 2009). Su actual forma de delimitación impide evaluar la posible adaptabilidad ecológica del manglar ante la respuesta de la creciente en el nivel del mar (Valverde *et al.*, 2016).

El Manglar Nosara, al igual que otros manglares, se caracteriza por su importancia ecológica y económica, su riqueza natural y los servicios ecosistémicos que prestan (Costanza y Folke, 1997; Tuan Vo, Oppelt, Leinenkugel, Kuenzer, 2013; Benavides-Varela *et al.*, 2016). No obstante, son amenazados por la contaminación, la deforestación, la fragmentación, aumento en el nivel del mar y se les está dando otros usos de tierra como agricultura o infraestructura (Giri *et al.*, 2010).

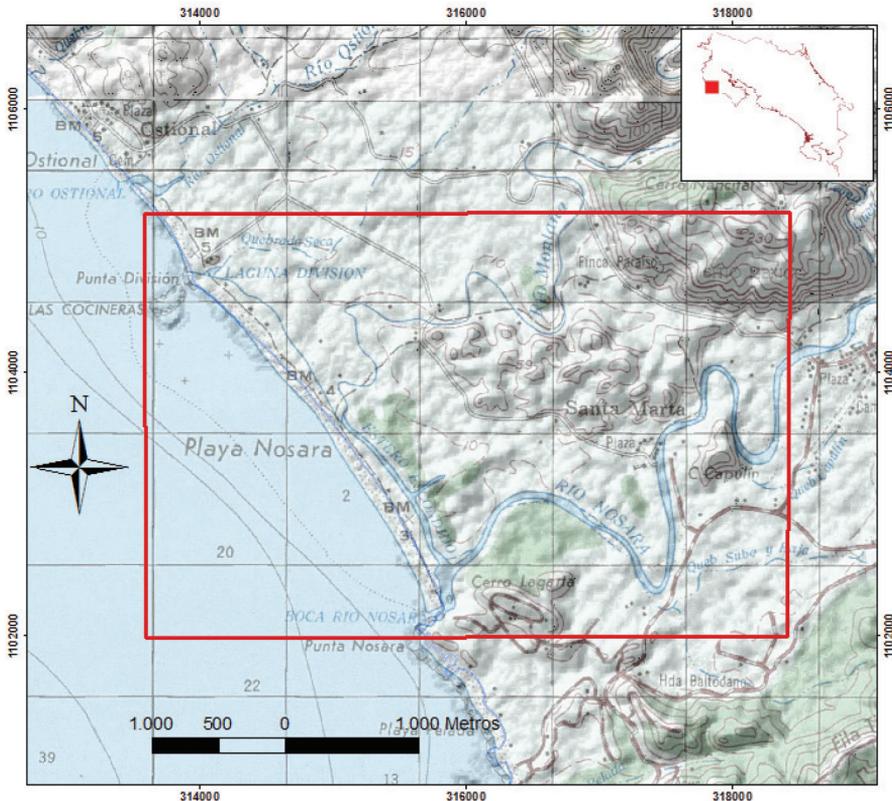
El objetivo de este trabajo consiste en analizar elementos fisiográficos propios del contexto marino/continental que favorecen la adaptación y distribución del manglar de Nosara, permitiendo sentar bases para una delimitación más integrada de los manglares de Costa Rica.

Área de estudio

El área de estudio correspondió a un polígono de 16,4 km² en las cercanías del poblado de Nosara, cantón de Nicoya, provincia de Guanacaste, Pacífico Norte de Costa Rica. Con las coordenadas oficiales CRTM05: 313589-318416 Longitud Oeste y 1102000-1105206 Latitud Norte en la

hoja cartográfica Garza 3045-I escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (Sistema Nacional de Información Territorial, 2017) (Figura 1).

Figura 1. Ubicación del área de estudio (polígono en rojo) para la investigación.



Fuente: Hoja cartográfica Garza 3045-I escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (SNIT, 2017).

El área del Manglar Nosara se caracteriza por poseer un amplio aporte superficial de aguas continentales de ríos y quebradas, siendo el Río Nosara el curso principal del sistema hidrográfico del mismo nombre y se une en la parte baja de la cuenca hidrográfica (área de estudio) con los ríos Montaña y Quebrada Seca. Existen pocas variaciones térmicas durante el año, en las cuales las temperaturas máximas se presentan en los meses de marzo y abril (no más de 30°C) y las mínimas (19°C) entre diciembre y enero (Hernández, 2010b).

Características geológicas y tectónicas generales del área de estudio

El área de estudio se caracteriza por la presencia de sedimentos no consolidados de características cuaternarias (recientes) y de unidades de rocas asociadas con las formaciones geológicas sedimentarias de Santa Teresa, Punta Pelada y Arió (Denyer, Aguilar, Montero, 2014). Cabe señalar, que en periodos intermedios a los eventos sísmicos se ha observado también un progresivo hundimiento costero, lo cual puede también manifestarse por estructuras tectónicas locales con movimiento vertical como, por ejemplo, el “*Pull-Apart*” de Nosara. Importantes estructuras tectónicas asociadas con el área de Nosara están relacionadas con fallas activas o reconocidas como neotectónicas, las cuales por su tipo de deformación reciente provocan cambios evidentes en el terreno (Denyer, Montero, Alvarado, 2009; Denyer *et al.*, 2014; Montero y Denyer, 2014).

En general, el Pacífico Norte se caracteriza por poseer calizas someras, bioclásticas y arrecifales con abundantes rudistas en posición vital, con presencia de poco desarrollo kárstico, principalmente, disolución en la superficie, evidenciado en una topografía irregular (Ulloa, Aguilar, Goicoechea, Ramírez, 2011).

Marco teórico conceptual

Los manglares en función del contexto fisiográfico existente

Las configuraciones de los manglares están determinadas por unidades morfodinámicas, las cuales incluyen tanto los componentes geofísicos y geomórficos del área como el grupo de especies presentes (Schaeffe-Novelli, Cintrón-Morero, Soares, De-Rosa, 2000). Woodroffe *et al.* (2016) añade que estos ecosistemas están limitados a un rango de elevación estrecho con la marea, donde el alcance de tales hábitats intermareales (espacio de alojamiento) están en función de la etapa, madurez y complejidad geomorfológica de un área en particular.

La distribución de los bosques de manglar está influenciada en gran parte por factores como tipo de suelo, pendiente, inundación mareal y esorrentía; donde esas fuerzas ambientales que actúan varían en periodicidad e intensidad (Delgado, Hansel, Jiménez, Day, 2001; Samper-Villarreal y Silva-Benavides, 2015). Así mismo, se pueden sumar otras condiciones como la hidrodinámica, flujos de sedimentos, características orgánicas y

geoquímicas del sustrato; donde los sedimentos que se han acumulado en el contexto geográfico registran aspectos de la historia y la dinámica geomorfológica a más largo plazo (Woodroffe *et al.*, 2016).

En muchos ecosistemas de manglares aún no perturbados, algunos criterios fisiográficos a menudo causan una gran diferenciación en la composición de las especies vegetales y su estructura a través de transectos relativamente cortos (10-100 m); manglares de alta diversidad, como los que se encuentran en las zonas costeras tropicales del norte de Australia, Papua Nueva Guinea e Irian Jaya pueden contener hasta 30 especies diferentes, ampliamente segmentadas en zonas de manglares (Held, Ticehurst, Lymburner, Williams, 2010).

Insumos percepción remota para la investigación del contexto fisiográfico existente en áreas de manglar

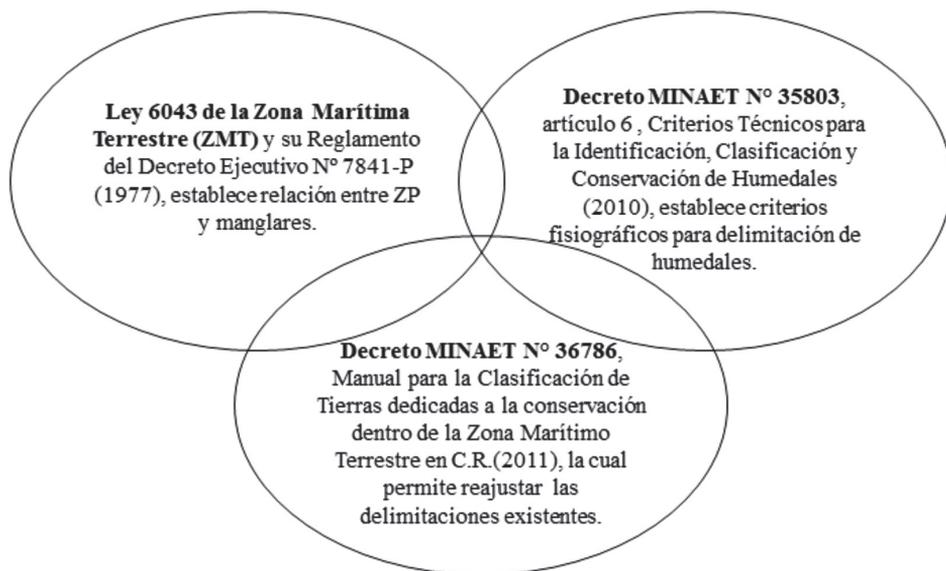
Las herramientas para detección remota ofrecen un mapeo de alta resolución espacial, un alto contenido de información para proporcionar una buena diferenciación de las diversas zonas y tipos de manglar (Held *et al.*, 2010), y permiten analizar cambios en la vegetación a través de un periodo de tiempo (Lee y Yeh, 2009).

Oyola (2009) recomienda el uso de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para la cartografía de zonas húmedas donde los usos de sensores remotos han probado ser útiles en estudios ecológicos, de hidrología y geomorfológicos.

Marco técnico/legal asociado con la identificación de elementos fisiográficos mínimos, para la delimitación de áreas de manglar en Costa Rica

A nivel de Costa Rica existe un marco técnico/legal dedicado a estudios referentes a delimitaciones de las áreas de manglar (Figura 2), el cual permite identificar los aspectos fisiográficos necesarios para las delimitaciones de estos ecosistemas o en su defecto reajustar las existentes.

Figura 2. Marco técnico/legal para elección de criterios fisiográficos mínimos en la delimitación de los manglares.



Marco Metodológico

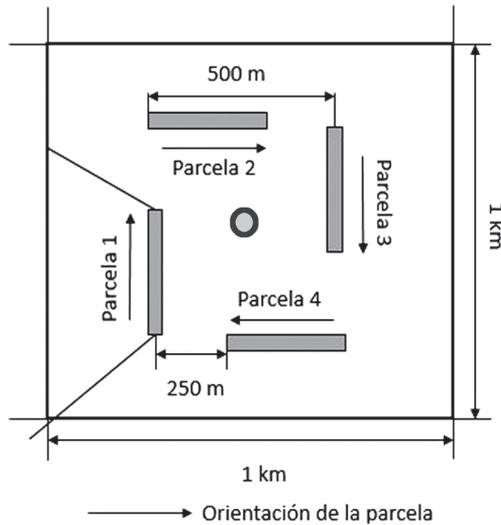
El desarrollo de la investigación se llevó a cabo entre los meses de junio del 2016 a agosto del año 2017. El trabajo se subdividió en tres secciones, primeramente, se recolectó información, basada en trabajo de campo y compilatoria de los elementos fisiográficos necesarios para delimitar el manglar de Nosara, seguidamente, se realizó un análisis; mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) de los insumos de percepción remota de dicha información y, finalmente, se efectuó una validación de campo.

Recolección de información de elementos fisiográficos

Se utilizaron imágenes de fotos aéreas provenientes del Mosaico Proyecto BID-Catastro escala 1:20 000 del año 2007 (SNIT, 2017), y por medio del software Arcgis 10.3 ® se definieron sistemáticamente los sitios de levantamiento de la información correspondiente a los elementos fisiográficos del área seleccionada (Cuadro 1). Para este efecto se adaptó parte de la propuesta metodológica de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) (2004), en la cual se definieron 14 áreas de 1 km x 1 km (1km²), cada una con cuatro parcelas de campo.

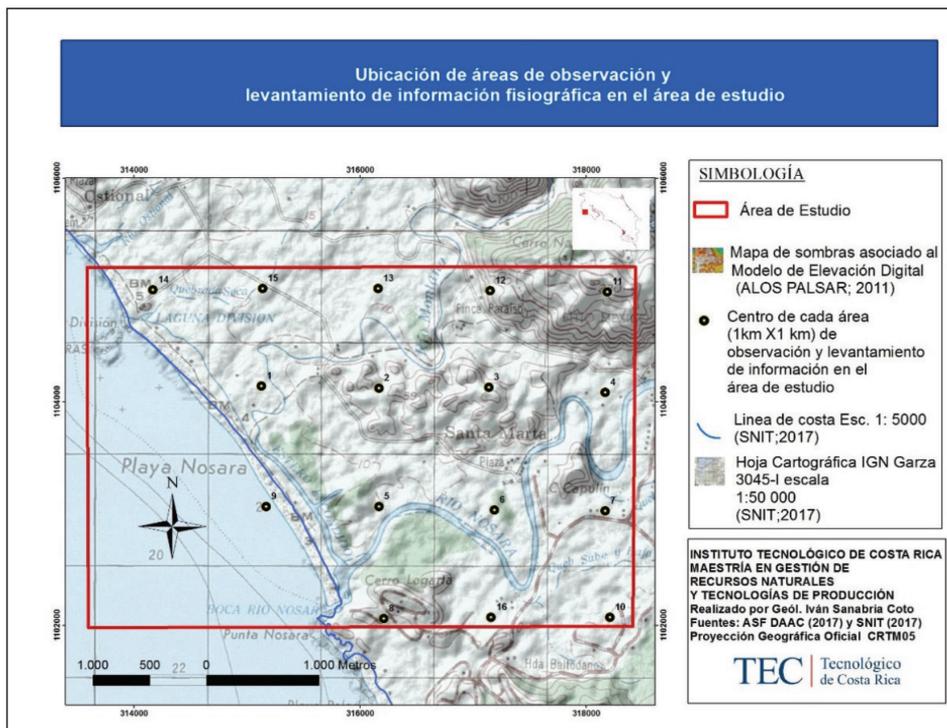
Las parcelas se subdividieron en sub parcelas de 20 m de ancho por 250 m de longitud y se enumeraron del 1 al 4, en el sentido de las agujas del reloj (Figura 3 y 4).

Figura 3. Unidad máxima de levantamiento de 1 Km² sub dividida en cuatro parcelas.



Fuente: Tomado de FAO (2004).

Figura 4. Mapa de las áreas de levantamiento fisiográfico propuestas dentro de la zona de estudio (polígono rojo).



Cuadro 1. Elementos fisiográficos analizados para la propuesta de delimitación del Manglar de Nosara.

Elemento fisiográfico	Metodología
Geología	Se utilizó piqueta y ácido clorhídrico (HCl) para toma de macro-muestras, adicionalmente, se realizó un análisis de características visuales como el color, peso (liviano, normal o pesado), dureza (blando o duro), tamaño (fino, mediano o compacto), orientación de componentes y fracturas del terreno.
Geomorfología	Se realizó una caracterización visual del relieve en general (formas de la corteza terrestre), el tipo de roca, el tamaño de sedimento, la presencia o ausencia de fracturas o pliegues.
Sedimentación	Se analizaron características visuales, de forma general, como el tamaño del sedimento, forma (esfericidad, planeidad), características superficiales (opacas, traslúcidas, pulidas) y la orientación (paralelo, perpendicular).
Erosión	En este apartado se utilizó la metodología de investigación sobre uso de la tierra y dinámica erosión/sedimentación de Hernández (2010a).
Edafología	Se aplicó la clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica de Cubero (2001).
Hidrología	Se utilizó como referencia la hoja cartográfica de Garza 3045-I escala 1:50 000 del IGN (SNIT, 2017).
Observación básica de la vegetación	Mediante una cámara fotográfica digital de marca <i>Sony</i> se recolectaron las imágenes de las especies vegetales de la zona y, posteriormente, se identifican utilizando la información recabada por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (2014).
Relieve topográfico	En este punto se empleó un clinómetro de la marca <i>Suunto</i> para la estimación del ángulo con respecto a la pendiente del relieve de la zona de estudio.
Identificación de áreas de posible inundación	Finalmente, para ello se utilizó como insumo los mapas de la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) (2016).

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la información

Posterior a la investigación de campo y a la compilación de información sobre los elementos del contexto fisiográfico en el área de estudio, se procedió al análisis y procesamiento de los datos mediante SIG, utilizando el software Arcgis 10.3 ®.

La primera parte del proceso consistió en digitalización y georreferenciación del total de la información obtenida, utilizando el sistema oficial de coordenadas CRTM05 para la confección de los mapas. Complementariamente, se utilizaron insumos de percepción remota (Cuadro 2), tales como fotos aéreas, imágenes satelitales, Modelos de Elevación Digital (MEDs) y mapas de pendientes; suministradas por el Departamento de Servicios Digitalizados del Registro Nacional, el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) y el CNE. Se accedieron a repositorios internacionales de la NASA, como el *Alaska Satellite Facility* (Servicio de Satélites de Alaska) para la obtención de capas de información geográfica en formato *raster* ligadas con MEDs, para la obtención de mapas de sombras y pendientes del relieve topográfico para el sitio de estudio. Por último, se utilizaron los formatos vectoriales de las capas compatibles en SIG y realizadas por Ortiz y Montoya (2014). Las fotografías impresas se analizaron por medio de un estereoscopio de la marca Sockisha y se generaron de forma digital anáglifos para su uso con gafas polarizadas mediante el software libre Anaglyph Marker 3D.

El mapa base utilizado incluyó los cambios espaciales históricos (1944-2016) vinculados con algunos de elementos fisiográficos detallados en el cuadro 1. Se utilizó una escala de trabajo de 1:15 000.

Cuadro 2. Insumos de percepción remota usados para el análisis con SIG.

Imágenes Georreferenciadas	Escala	Origen
CAW-11-111 a 113.	1:40 000	Año 1944, Foto aérea del IGN.
VV-HURD-M7/AID 6 1316-1318.	1:30 000	Año 1964, Foto aérea del IGN.
Misión 16 Línea 6 448-451.	1:20 000	Año 1971, Foto aérea del IGN.
Misión 16 Línea 5 402-403.	1:20 000	Año 1971, Foto aérea del IGN.
22901 R-169 Línea 220, 125 y 126.	1:40 000	Año 1981, Foto aérea del IGN.
Imágenes Satelitales I, Legacy Identifier #102001004B37DA00.	-----	2016 imagen de satélite, adquiridas por el IGN a empresa Digital Globe®.
Imágenes Satelitales II.	-----	Años 2004-2015 Imagen de satélite gratuitas de Google Earth®.
Modelos de Elevación digital (MED) # ALPSRP272210180.	Resolución de medio segundo de arco.	Año 2011 ALOS PALSAR de Japan Aerospace Exploration Agency and NASA disponible en ASF DAAC (2017).
Mapa Digital de Zona Pública de la ZMT de Costa Rica (incluye manglares).	----	SNIT (2017)
Mapas de Tipo de Bosque del MINAE 2013.	----	Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA) (2017).

Validación del área de delimitación propuesta para el Manglar de Nosara

Para la escogencia de las áreas de muestreo se adoptó la metodología propuesta por Cintrón y Schaeffe (1984), la cual permite la conformación de transectos de banda que cubren la totalidad del área de interés. Cada transecto se sub dividió en parcelas (*plots*), con áreas mínimas de 100 m² (10 m x 10 m), las parcelas fueron trazadas paralelamente dentro de los ejes de los diferentes transectos. Se analizaron los elementos fisiográficos, anteriormente explicados metodológicamente (Cuadro 1) tanto dentro como fuera de la delimitación base del manglar por parte del IGN (Gaceta digital N.º 20, 2009). Además, se realizaron muestras de suelos/sedimentos y agua. Cada una de las muestras de suelos y/o sedimentos tuvo un contenido de 500 g c/u, usando una profundidad máxima de muestreo de 0-30 cm

(Hernández; 2010a; Samper-Villarreal y Silva-Benavides, 2015; Barrantes y Cerdas, 2015). Las muestras fueron tomadas mediante palines y palas, se almacenaron en bolsas plásticas y seguidamente fueron etiquetadas para su envío al laboratorio. Se recolectó un total de 11 muestras para su respectivo análisis granulométrico y de nombre textural. En cuanto a las muestras de agua (para análisis de la conductividad eléctrica relacionada con su salinidad), se recolectó un total de cinco muestras provenientes de los sitios vinculados con condiciones hidrológicas representativas, tales como muestras intersticiales en el sedimento por perforación, en sedimentos saturados, cauces activos e intermitentes (secos). Las mismas fueron contenidas en recipientes plásticos esterilizados con un volumen de 300 ml.

Resultados

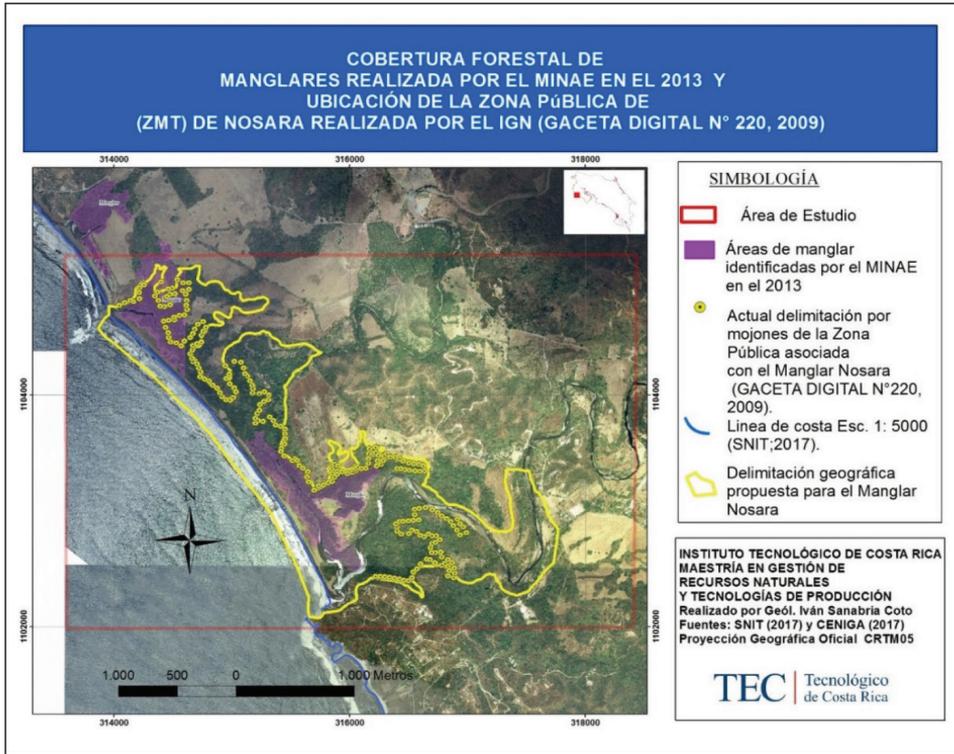
Se logró reconocer al menos tres especies propias de la distribución horizontal vegetal de los manglares en Costa Rica, definidas por Spotila, Marshall, Depew, Prince, Kennedy (2016) para el Pacífico Norte. Las especies identificadas correspondieron a mangle Rojo (*Rhizophora mangle*), Palo de sal (*Avicennia germinans*) y arbustos de Majagua (*Hibiscus pernambucensis*). Adicionalmente, durante el trabajo de campo se comprobó, en algunas parcelas, la existencia de la respectiva delimitación física en concreto (amojonamientos). El siguiente cuadro resume el restante de los elementos fisiográficos hallados en la zona de estudio.

Cuadro 3. Integración de la información fisiográfica.

Elementos fisiográficos investigados	Resumen de la información obtenida en el reconocimiento de campo
Geología	85 % de las muestras analizadas <i>in situ</i> correspondieron a sedimentos y 15 % a rocas de origen sedimentario.
Geomorfología	70% de los elementos geomorfológicos estuvieron asociados a condiciones fluviales.
Tectónica	Se observaron evidencias que respaldan la influencia tectónica activa, especialmente, del Graben de Nosara, como parte de la modelación del relieve topográfico existente. Posee una constante deformación tectónica caracterizada por levantamientos costeros de índole cosísmica.
Erosión/sedimentación	Se apreciaron fuertes indicios de erosión fluvial lateral, especialmente, en la parte de los meandros del Río Nosara, así como las respectivas acumulaciones de sedimentos en zonas de baja energía.
Características edafológicas	El 60% de las características granulométricas correspondían a texturas finas y moderadamente finas, el restante porcentaje de medianas a gruesas.
Hidrología	Se identifican al menos cinco cauces de agua con flujo activo ligados con los siguientes elementos hidrológicos: 1. Río Nosara, 2. Río Montaña, 3. Quebrada Seca, 4. Estero Escondido y 5. Quebrada Sube y Baja, así como de al menos nueve cauces ocasionales en el área de estudio. Además, según el registro de pozos del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA) (2016) hay presencia de niveles freáticos muy someros conforme hay un acercamiento a la línea de costa (de 0,16 a 4 m).
Relieve topográfico	Los análisis de la pendiente en función del relieve mostraron más del 60% del área con relieves planos a ligeramente ondulados (0°- 20°).
Áreas de potencial inundación	Las principales áreas de inundación correspondieron a sectores de bajo relieve topográfico en zonas aledañas a los ríos y con gradientes que oscilan entre 0°- 10°.

La información obtenida de cada elemento fisiográfico se integró mediante SIG, logrando identificar y delimitar un sector o polígono geográfico determinado que integró las condiciones más óptimas para el emplazamiento del Manglar Nosara (Figura 5), la cual cubrió la totalidad de amojonamientos de la Zona Pública (ZMT) realizados por el IGN e incluyó así mismo los sectores con la distribución de especies de manglar determinado por el SINAC (2014).

Figura 5. Propuesta para una delimitación geográfica del manglar de Nosara.



Cabe recalcar que el criterio fundamental para la delimitación de la propuesta radicó en la reconstrucción de las principales evidencias geomorfológicas, las cuales son producto de la sinergia entre los procesos y condiciones vinculadas con el área del manglar. Por tanto, los cambios en la dinámica fluvio/costera determinan las modificaciones espaciales en estos ecosistemas (Woodroffe *et al.*, 2016), en la figura 6, se muestran las morfologías asociadas con cauces activos, ocasionales, meandros abandonados y terrazas fluviales en el área de estudio (desde año 1946-2016). Así mismo, se pueden observar extensas áreas con aportes superficiales de aguas continentales de ríos y quebradas.

Figura 6. Mapa de reconstrucción geomorfológica para el Manglar Nosara.



Durante la validación de la propuesta, la mayor parte del área de delimitación (> 95 %) estuvo asociada con bajos relieves topográficos, patrones hidrográficos con evidentes cambios laterales y con sedimentos no consolidados; además de vegetación de manglar asociada (mangle rojo, mangle negro y arbustos de majagua).

Según la clasificación de los manglares, de acuerdo con la geomorfología regional de Yáñez, Twilley, Lara (1998), en Nosara se identificaron manglares de tipo estuarino y de laguna; y a nivel ecológico, de al menos tres tipos fisiográficos: de borde, ribereño y de cuenca; los cuales mantienen una relación con la zonación existente.

Conforme se avanzó en los transectos, desde la sección externa de la costa a lo interno del continente se observaron cambios texturales macroscópicos en suelos/sedimentos para las muestras recolectadas; producto de la gradación de sedimentos por el aporte marino, cerca de la costa se presentó preponderancia de grano grueso (arenas), mientras que a lo

interno del continente, debido al aporte fluvial de la zona continental, se observaron facies de sedimentos con predominancia de grano más fino, caracterizado por texturas de limos y arcillas.

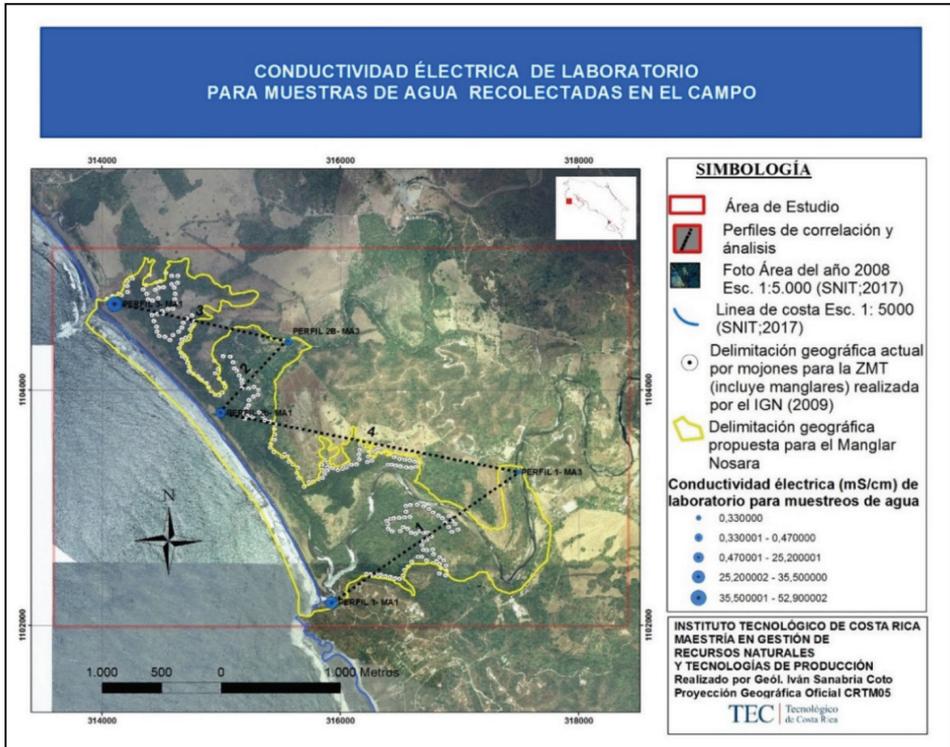
En la figura 7, se muestran los perfiles texturales de suelos, numerados del uno al seis, los cuales están caracterizados, mayoritariamente por sedimentos con texturas de tipo arenosas a arenosas francosas, siendo propios de la parte costera (influencia de mareas) y en menor medida arcillosos, los cuales guardan relación con especies vegetales como *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*. Además, se apreció la predominancia de suelos de tipo Inceptisoles (mayoritariamente) y Alfisoles.

Figura 7. Mapa de nombres texturales (de laboratorio) para muestras de suelos de suelos/sedimentos.



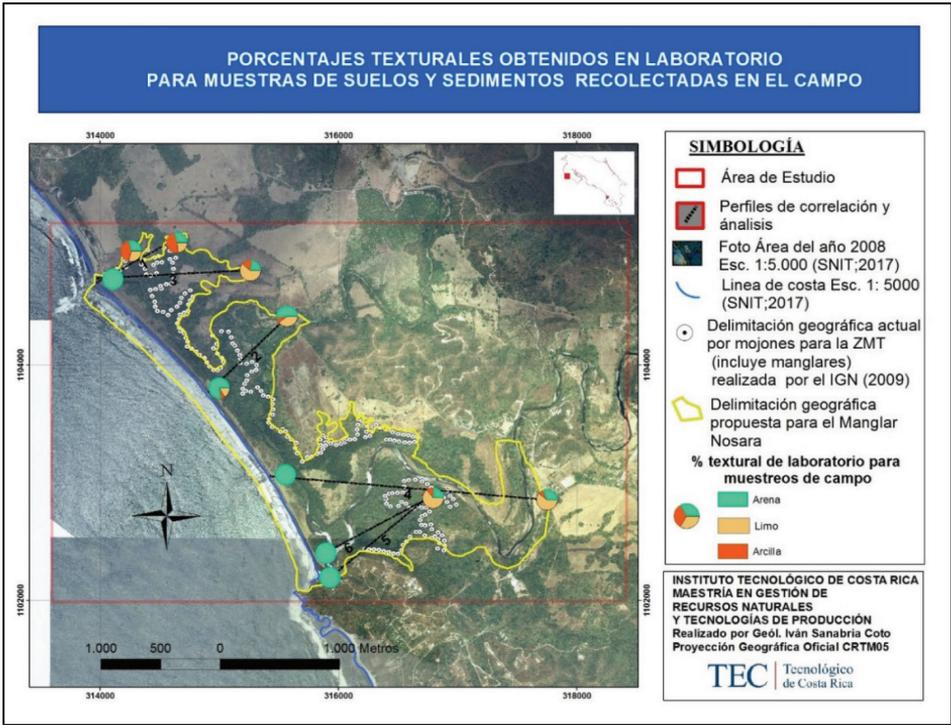
Las mayores conductividades eléctricas correspondieron a 52,9 mS/cm para las muestras más cercanas a la costa y 0,33 mS/cm para las muestras de agua tomadas hacia el continente, esto asociado con un aporte marino que sufre dilución superficial por aguas continentales tierra adentro (Figura 8).

Figura 8. Mapa de conductividades eléctricas para muestras de agua recolectadas.



Finalmente, los suelos/sedimentos muestreados y sus porcentajes granulométricos asociados se correlacionaron con la sedimentación observada producto de cauces ocasionales o intermitentes, así como amplias zonas de inundación identificada, zonas de bajo relieve topográfico y con elementos hidrográficos asociados con el Río Nosara y la Quebrada Montaña (Figura 9).

Figura 9. Correlación entre porcentajes texturales del suelo y la sedimentación.



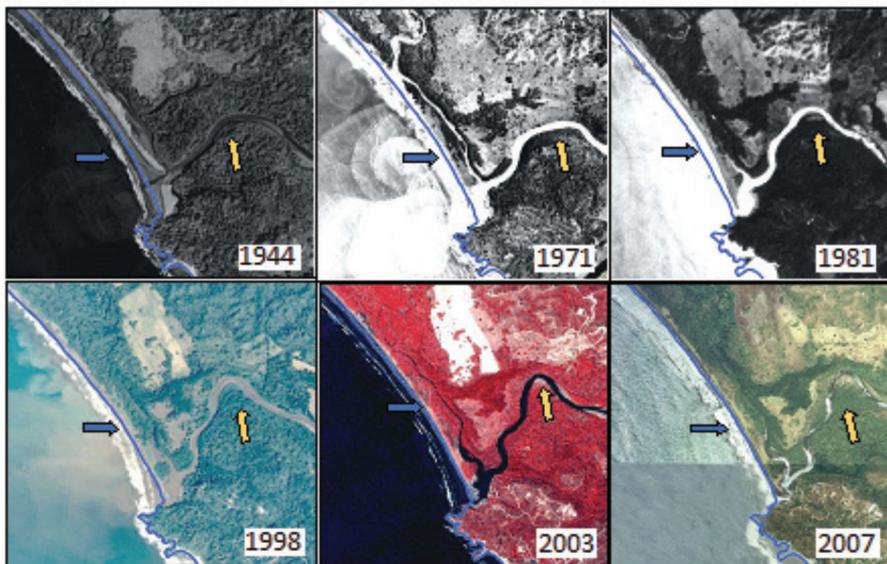
Discusión de resultados

El conocimiento fisiográfico de una región implica, además de la identificación de los principales rasgos del relieve, la explicación de los procesos que intervinieron en su modelado y que le han dado su aspecto actual; desde su origen, esto ha sido reconocido y empleado en países como Colombia, para la clasificación y caracterización de unidades de tierras como primera aproximación al conocimiento de las relaciones que se desarrollan en el espacio geográfico y en el biofísico (Serrato, 2009).

Según Woodroffe *et al.* (2016) existe una clara relación entre las zonas costeras geomorfológicamente activas y las especies de manglar presentes, por lo tanto, los cambios geomorfológicos en el contexto del manglar Nosara; los cuales han incluido tanto variaciones en la línea de costa actual, debido a efectos en la regresión y transgresión marina, como cambios en la dinámica del Río Nosara por modificación meándrica, han

influido directamente en la distribución geográfica vegetal del manglar (Figura 10).

Figura 10. Fotos e imágenes aéreas históricas que muestran las variaciones geomorfológicas en el área de estudio (SNIT, 2017).



Además, en el Manglar Nosara se han desarrollado sectores geológicamente favorables para la acumulación de sedimentos (materiales inconsolidados); no obstante, debido a la profundidad del basamento consolidado y a los contactos laterales rocosos, se podría condicionar o restringir la adaptación de diferentes especies de manglar al sustrato (Denyer *et al.*, 2004).

El área asociada con este manglar posee una constante deformación tectónica caracterizada por levantamientos costeros regionales, además de estructuras tectónicas asociadas con fallas activas, que por su tipo de deformación reciente provocan cambios evidentes en el terreno (Denyer *et al.*, 2009; Denyer *et al.*, 2014; Montero y Denyer, 2014). La existencia de estas estructuras tectónicas incide directamente en posibles alteraciones en la dinámica del factor hidrológico; siendo este último un aspecto fisiográfico fundamental para el establecimiento y permanencia de la distribución de especies vegetales.

Así mismo, el área de estudio al poseer niveles de agua subterránea que se somerizan conforme se aproxima a la costa hace suponer la posible existencia de áreas de manglar con un posible desarrollo “*freatofito*”, asociado con el aporte de aguas subterráneas en sus raíces, la Clasificación y Conservación de Humedales en Costa Rica (2010) indica que la interacción interna del agua en el suelo facilita la saturación hídrica en suelos asociados con humedales, lo cual está relacionado con el emplazamiento de los manglares (Zaldívar, Herrera, Teutli, Hernández, Caamalsosa, 2010). Sumado a lo anterior, hay presencia de zonas inundables que potencia también el aumento de la condición hídrica de los suelos saturados; donde la frecuencia, duración de la inundación y saturación del suelo varía en forma amplia de permanentemente saturado a irregularmente inundado (Hernández, 2010b; Clasificación y Conservación de Humedales, 2010; CNE, 2016). La influencia del agua continental propicia variaciones en la salinidad y se han reportado en áreas aledañas a Nosara salinidades entre 5 y 35 ppt (Brenes, Márquez, Quirós, 2012; SINAC, 2014).

Además, se observó la predominancia de dos clases de suelos clasificados como Inceptisoles y Alfisoles, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por otros autores como Hernández (2010 b) o por Ortiz y Montoya (2014), según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2017), el primer tipo de suelo está asociado a condiciones ligeramente planas o totalmente planas y a sedimentos fluviales.

En cuanto a la erosión fluvial lateral hallada en la zona, lo observado concuerda por lo investigado por Hernández (2010b) en su Modelo de Erosión/Sedimentación (MES) para los años 2004-2006; específicamente, para la parte baja de la Cuenca del Río Nosara.

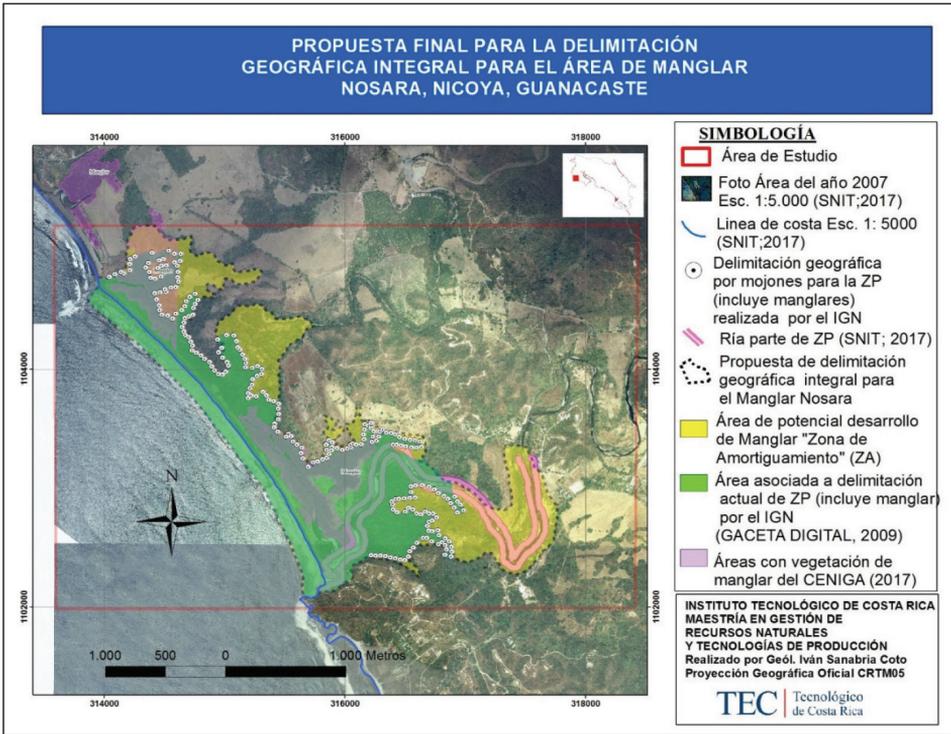
Cabe resaltar, que el *Rizophora mangle* y *Avicennia germinans* son especies caracterizadas por ser colonizadoras de las zonas intermareales (Delgado *et al.*, 2001), en el caso específico de *A. germinans*, al producir pequeños propágulos su posibilidad de dispersión aumenta (Jiménez, 1994), y más si el terreno posee características planas e inundables como en Nosara. Según Cogni, Freitas, Oliveira (2003) *Hibiscus pernambucensis* puede colonizar ambientes distintos, ya sea en bosques arenosos permanentemente secos o en bosques inundados.

A pesar de que la actual delimitación amojonada por parte del IGN (Gaceta Digital N° 20, 2009) incluye parte esencial del manglar, en la actual

investigación se demostró que existen potenciales condiciones fisiográficas para la expansión en la distribución horizontal de especies de mangle en Nosara ; entre las que se puede mencionar cambios del nivel del mar, variaciones en la geomorfología de la costa, fenómenos asociados con el clima, aporte de sedimentos terrígenos hacia la costa y suficiente aporte de agua dulce. Sumado a lo anterior, para Costa Rica existe posibilidad de un aumento en el nivel del mar, con un escenario realista de ascenso de un metro de altura o más para el año 2100, lo que hace prever que los tipos de costa caracterizados, preferentemente, por playas en el frente de llanuras aluviales y marismas (como el área de estudio) serán las más vulnerables; conllevando consecuentes transgresiones de la línea ribereña actual y ampliación de las áreas sujetas a inundación mareal (Valverde *et al.*, 2016).

Por lo tanto, es necesario conformar una zona de amortiguamiento (ZA) (Figura 11) que se sume a la actual delimitación oficial del Manglar Nosara, que pueda ser incluida dentro de los planes maestros costeros del uso de suelo en la ZMT. Cabe resaltar que el concepto de ZA para los manglares de Costa Rica no es nuevo, pues ha sido también mencionado por Benavides *et al.* (2016) para varios manglares de Bahía Culebra y Guanacaste, donde estos autores manifiestan que es conveniente que la protección de los manglares también incluya la protección de áreas de su alrededor, lo cual permitiría reducir impactos futuros.

Figura 11. Propuesta final para una delimitación integral del Manglar de Nosara.



En vista de que las áreas que formarían parte de la ZA del Manglar Nosara podrían estar asociadas con propiedad privada, las regulaciones deben estar enfocadas a la implementación de actividades que guarden estrecha relación con los servicios ecosistémicos compatibles con la conservación de los suelos y la no construcción de infraestructura, que eventualmente dificulte o estrangule la futura adaptación vegetal del manglar; entre los cuales, el artículo 45 de la Ley Orgánica del Ambiente N° 7554 (1995) señala diques, drenajes, rellenos o desecamientos; ante cambios en la geodinámica del área por el aumento del nivel del mar, de orden climático, tectónico, entre otros, del área (Instituto Geofísico de Perú, 2013; SINAC, 2014). Sumado a lo anterior, la Ley Orgánica del Ambiente (1995) señala también que los terrenos adyacentes a humedales deben estar sujetos a limitaciones y restricciones de uso para conservación y uso sostenible del suelo.

Adicionalmente, tanto la identificación de actores claves como de las actividades productivas asociadas corresponden al primer paso para propiciar propuestas de uso sostenible de los servicios ecosistémicos, siendo el factor social relevante en el proceso. Según la Fundación Neotrópica (2013), la sensibilización de la población sobre el tema es el primer paso para recuperar las superficies de manglares, donde primero es importante frenar la pérdida de los manglares por causas antrópicas.

Referencias

- ASF DAAC (2017). *Modelo de Elevación Digital (AP_27221_FBS_F0180_RTI)*. Recuperado de <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>.
- Barrantes, M., Cerdas, A. (2015). Distribución espacial de las especies de mangle y su asociación con los tipos de sedimentos del sustrato, en el sector estuarino del Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica. En: *Revista de Biología Tropical*, 63, 47-60.
- Benavides-Varela, C., Samper-Villarreal, J., Cortés, J. (2016). Cambios en la cobertura de manglares en Bahía Culebra, Pacífico Norte de Costa Rica (1945-2010). En: *Revista de Biología Tropical*, 64(3), 955-964.
- Berger, U., Rivera-Monroy, V., Doyle, T., Dahdouh-Guebas, F., Duke, N., Fontalvo-Herazo, M., Hildenbrandt, H., Koedam, N., Mehlig, M., Piou, C., Twilley, R. (2008). Advances and limitations of individual-based models to analyze and predict dynamics of mangrove forests: A review. En: *Aquatic Botany*, 89, 260-274.
- Brenes, C., Márquez, A., Quirós, W. (2012). Rasgos Hidrográficos y Batimétricos del Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional y Áreas Adyacentes, Guanacaste, Costa Rica. En: *Revista Marino Costero*, 4, 145-156.
- CENIGA (Centro Nacional de Información Geoambiental). (2017). *Mapa de tipos de bosque 2013*. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). Recuperado de <http://ceniga.sinac.go.cr/geonetwork/srv/eng/main.home>.
- Cintrón, G. & Schaeffe, Y. (1984). Methods for studying mangrove. en Snedaker (91-113), E. C., y J. G. Snedaker [Eds.]. *The mangrove ecosystem: Research methods. Monogr. Oceanogr. Methodol.* Estados Unidos y Francia: UNESCO.

- Clasificación y Conservación de Humedales. (2010). Publicado en la GACETA N° 73, del 16 de abril de 2010. Costa Rica.
- Comisión Nacional de Emergencias (CNE). (2016). *Mapas de amenazas naturales para Costa Rica*. Recuperado de <https://www.cne.go.cr/index.php/prevencie-desastres-menuprincipal-93/mapas-de-amenazas>.
- Cogni, R., Freitas, A., Oliveira, P. (2003). Interhabitat differences in ant activity on plant foliage: ants at extrafloral nectaries of *Hibiscus pernambucensis* in sandy and mangrove forests. En: *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 107(2), 125-131.
- Costanza, R. & Folke, C. (1997). *Valuing Ecosystem Services with Efficiency, Fairness and Sustainability as Goals*. Estados Unidos: Island Press.
- Cubero, D. (2001). *Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica*. Ministerio de Agricultura y Ganadería Dirección de Planificación del Uso de la Tierra. San José Costa Rica: Editorial Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Decreto N° 36642-MP-MOPT-MINAET. (2011). Reglamento de Especificaciones para la Delimitación de la Zona Pública de la Zona Marítimo terrestre Publicado en la Gaceta N° 136, del 14 de julio de 2011. Costa Rica.
- Decreto N° 36786-MINAET. (2011). *Manual para la clasificación de tierras dedicadas a la conservación de los recursos naturales dentro de la Zona Marítimo Terrestre en Costa Rica*. Publicado en la Gaceta N° 217, del 11 de noviembre de 2011. Costa Rica.
- Decreto N° 35803-MINAET. (2010). *Criterios técnicos para la identificación, Clasificación y conservación de humedales*. Publicado en la GACETA N° 73, del 16 de abril de 2010. Costa Rica.
- Delgado, P., Hansel, P., Jiménez, J. & Day, J. (2001). The importance of propagule establishment and physical factors in mangrove distributional patterns in a Costa Rican estuary. En: *Aquatic Botany*, 71. 157-178.
- Denyer, P., Aguilar, T. & Montero, W. (2014). *Cartografía geológica de la península de Nicoya, Costa Rica, estratigrafía y tectónica*. Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.

- Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G. (2009). *Atlas tectónico de Costa Rica* (2da ed.). Ed. Univ. Costa Rica: Costa Rica. (p.55).
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2004). Inventario Forestal Nacional Modelo de Manual de Campo. *Documento de trabajo ERF*. 94 E/F/S. Roma.
- Fundación Neotrópica. (2013). *El manglar, un ecosistema para conservar: manual de reforestación*. Recuperado de <http://neotropica.org/wp-content/uploads/2012/08/Manual-de-Reforestacion-Manglar.pdf>. Revisado el 1 de febrero del 2018.
- Gaceta Digital N° 220. (29 de enero, 2009). Instituto Geográfico Nacional Departamento de Geodesia y Topografía. Aviso N.° 2009-16 Zona Marítimo Terrestre: Amojonamiento de Zona Pública entre sectores de Playa Ostional hasta Playa Guiones. La Gaceta Digital Diario Oficial de Costa Rica. Imprenta Nacional de Costa Rica.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., Duke, N. (2010). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. En: *Global Ecology and Biogeography*, 20, 154–159.
- Held, A., Ticehurst, C., Lymburner, L. & Williams, N. (2010). High resolution mapping of tropical mangrove ecosystems using hyperspectral and radar remote sensing. En: *International Journal of Remote Sensing*, 24(13), 2739-2759.
- Hernández, A. (2010 a). Formaciones superficiales y procesos morfodinámicos en la cuenca del Río Nosara. En: *Revista Reflexiones*, 89(2), 39-49.
- Hernández, A. (2010 b). *Desarrollo Geomorfología, uso de la tierra y dinámica erosión/sedimentación como aspectos claves para iniciar la gestión ambiental en la cuenca hidrográfica del río Nosara, Guanacaste, Costa Rica*. (Tesis sometida a la consideración del Programa de Estudios del Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo, para optar por el Grado de Doctor Académico UNED-ITCR-UNA).
- Instituto de Geofísica del Perú. (2013). Identificación de servicios ecosistémicos en el Santuario Nacional los Manglares de Tumbes. *Informe especial Técnico* Recuperado de <http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/477>. Revisado el 1 de febrero del 2018.

- Jiménez, J.A. (1994). *Los manglares del Pacífico Centroamericano*. Editorial Fundación UNA, Heredia, Costa Rica
- Lee, T. & Yeh, H. (2009). Applying remote sensing techniques to monitor shifting wetland vegetation: A case study of Danshui River estuary mangrove communities, Taiwan. En: *Ecological engineering*, 35(4), 487-496.
- Ley N° 7554. (1995). Ley Orgánica del Ambiente. (1995). Publicada en el Diario Oficial La Gaceta N°215, del 13 de noviembre de 1995. Costa Rica.
- Ley N° 6043. (1977). Ley de Zona Marítima Terrestre. Publicada en el Diario Oficial La Gaceta N° 52, del 16 de marzo de 1977. Costa Rica.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2017). *Principales Suelos de Costa Rica*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Recuperado de http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html
- Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones (MINAET). (2013). Mapa de tipos de bosque de Costa. San José, Costa Rica: *Inventario Nacional 88 Forestal*.
- Montero, W. & Denyer, P. (2011). Fallamiento neo tectónico de la península de Nicoya y su relación con el escape tectónico del antearco centroamericano. En: *Revista Geológica de América Central*, 45, 9-52.
- Ortiz, E. & Montoya, C. (2014). *Atlas Digital de Costa Rica 2014* [CD-ROM]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal.
- Oyola, N. (2009). *Identificación de humedales del norte grande de Chile utilizando técnicas geomáticas en imágenes satelitales Landsat*. Universidad de Chile. (Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza). Santiago, Chile.
- Samper-Villarreal, J. & Silva-Benavides, M. (2015). Complejidad estructural de los manglares de Playa Blanca, Escondido y Rincón de Osa, Golfo Dulce, Costa Rica. En: *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 199-208.

- Schaeffe-Novelli, Y., Cintrón-Morero, G., Soares, M. & De-Rosas, T. (2000). Brazilian mangroves. En: *Aquatic ecosystem Health and management*, 3, 561-570.
- Serrato, P. (2009). Clasificación fisiográfica del terreno a partir de la inclusión de nuevos elementos conceptuales. En: *Revista Perspectiva Geográfica*, 14, 181-218.
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENA-RA). (2016). Resumen litológico de los pozos: GA-56, GA-93, GA-246, GA-250, GA-19, GA-116, GA-273, GA-2, GA-1, GA-3 de la base de datos de pozos.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2014). *Diagnóstico para el Plan General de Manejo del Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional*. H. Acevedo y E. Vargas (eds.). Guanacaste, Costa Rica. .
- Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). (2017). Recuperado de <http://www.snitcr.go.cr/>.
- Spotila, J., Marshall, J., Depew, K., Prince, P. & Kennedy, L. (2016). Potential for geologic records of coseismic uplift and megathrust rupture along the Nicoya Peninsula, Costa Rica. En: *Journal of Coastal Research*, 32(2), 387–396.
- Tuan Vo, Q., Oppelt, N., Leinenkugel, P. & Kuenzer, C. (2013). Remote Sensing in Mapping Mangrove Ecosystems — An Object-Based Approach. En: *Remote Sens*, 5, 183-201.
- Ulloa, A., Aguilar, T., Goicoechea, C. & Ramírez, R. (2011). Descripción, clasificación y aspectos geológicos de las zonas kársticas de Costa Rica. En: *Revista Geológica de América Central*, 45, 53-74.
- Valverde, R., González, C., Piedra, L. & García, J. (2016). Vulnerabilidad y adaptabilidad al ascenso del nivel del mar en humedales y poblaciones costeras: el manglar del Humedal Nacional Terraba-Sierpe de Osa, Costa Rica. En: *Revista En Torno a la Prevención*, 16, 7-16.
- Woodroffe, K., Roger, S., Mckee, K., Lovelock, C., Mendelssohn, I. & Saintilan, N. (2016). Mangrove Sedimentation and Response to Relative Sea-Level Rise. En: *Annual Review of Marine Science*, 8, 243-266. DOI: 10.1146/annurev-marine-122414-034025.
- Yáñez, A., Day, J., Twilley, R. & Lara, A. (1998). Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. En: *Madera y Bosques*, 4, (2). 3-19.

Zaldívar, A., Herrera, J., Teutli, H., Hernández, C. & Caamalsosa, R. (2010). Manglares. (138-139). En: Duran R. y M. Méndez (eds.). *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. México: CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.

Zamora-Trejos, P. & Cortés, J. (2009). Los manglares de Costa Rica: el Pacífico norte. En: *Biología Tropical*, 57(3), 473-488.

Dados Espaciais LIDAR (Light Detection and Ranging) na Caracterização Geomorfológica do Campo de Dunas Costeiras de Rio de Fogo, Rio Grande do Norte - Brasil

Light Detection and Ranging in the Geomorphological
Characterization of the Coast Dunes Field of Rio Do Fogo,
Rio Grande Do Norte, Brazil

Datos Espaciales LIDAR en la Caracterización
Geomorfológica del Campo de Dunas Costeras del Río de
Fogo, Río Grande do Norte - Brasil

Márcia Cristina de Souza Matos-Carneiro¹
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasil

Bruno Ferreira²
Universidade Federal de Alagoas, Brasil

Maria das Neves-Gregorio³
Instituto Tecnológico de Pernambuco, Brasil

Gilberto Pessanha⁴
Universidade Federal de São Paulo, Brasil

1 Dra. Pesquisadora do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Unidade Estadual de Pernambuco – e-mail: carmarciaibge@gmail.com

2 Prof. Dr. Pesquisador Professor UFAL/ IGDEMA–Universidade Federal de Alagoas / Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente – e-mail: brunge2005@gmail.com

3 Prof. Dra. Pesquisadora Professora ITEP/ PE–Instituto Tecnológico de Pernambuco/ Mestrado em Tecnologia Ambiental– e-mail: nevesgregorio@hotmail.com

4 Prof. Dr. Pesquisador Professor UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo - Departamento de Ciências do Mar–e-mail: gilberto.unifesp@gmail.com

Dyêgo Lins da Silva⁵

Instituto Tecnológico de Pernambuco, Brasil

Saulo Roberto de Oliveira-Vital⁶

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.12>

RESUMO

O objetivo deste estudo foi compreender a dinâmica da evolução geomorfológica do campo de dunas do Rio do Fogo, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Para tanto, foi elaborado um mapa geomorfológico da área de estudo, cuja base cartográfica (imagens de nuvens de pontos e Modelo Digital do Terreno - MDT) foi originada do mapeamento a laser aerotransportado do sistema LIDAR (*Light Detection and Ranging*) *Airborn*. As imagens geradas pelas nuvens de pontos do sensor de varredura a laser possibilitaram caracterizar a geomorfologia do campo dunar, utilizando-se a conservação e / ou dissecação eólicas presentes na área como critério de classificação, identificando das unidades morfoestruturais e suas respectivas morfoesculturas. Tendo como base o grau de conservação morfológica foram identificados dois conjuntos morfológicos bem distintos: (a) uma Planície de Acumulação Eólica Dunar (PAED) e (b) uma Planície de Acumulação Eólica Retrabalhada (PAER). Esses dois conjuntos morfoesculturais eólicos foram elaborados ao longo do Pleistoceno tardio, com atividade deposicional até a transição para o Holoceno.

Palavras chave: LIDAR, Geomorfologia, Campo de Dunas Rio do Fogo – Brasil.

ABSTRACT

The objective of this study was to understand the dynamics of the geomorphological evolution of the dune field of Rio do Fogo, State of Rio Grande do Norte, Brazil. For that, a geomorphological map of the study area was elaborated, whose cartographic base (Dot Cloud images and Digital Terrain Model - MDT) originated from the airborne laser mapping of the LIDAR (*Light Detection and Ranging*) *Airborn* system. The images generated by the points of the laser scanning sensor were able to characterize the geomorphology of the dune field of the research area, using the wind conservation and / or dissection present in the area as a classification criterion, identifying the morphostructural units and their respective Morphosculptures. Based on the degree of morphological conservation, two very distinct morphological groups were identified: (a) a Dunar Windfall Accumulation Plain; and (b) a Scheduling Windfall Accumulation Plain (PAER). These two morphosculptured Aeolian sets were elaborated along the late Pleistocene, with depositional activity until the transition to the Holocene.

Keywords: LIDAR, Geomorphology, Rio do Fogo Dunes Field – Brazil.

5 Pesquisador Governo do Estado de Pernambuco-Instituto Tecnológico de Pernambuco/ Mestrado de Tecnologia Ambiental – e-mail: dls.pessoal@gmail.com

6 Prof. Dr. Pesquisador Professor UFRN/ CERES–Universidade Federal do Rio Grande do Norte/ Departamento de Geografia do Centro de Ensino do Seridó – e-mail: srovital@gmail.com

Fecha de recepción: 28 de setiembre de 2017

Fecha de aceptación: 16 de febrero de 2018

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue comprender la dinámica de la evolución geomorfológica del campo de dunas del Rio do Fogo, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Para ello, se elaboró un mapa geomorfológico del área de estudio, cuya base cartográfica (imágenes de nubes de puntos y Modelo Digital del Terreno - MDT) fue originada del mapeamiento a láser aerotransportado del sistema LIDAR (Light Detection and Ranging) Airborn. Las imágenes generadas por las nubes de puntos del sensor de barrido láser posibilitar caracterizar la geomorfología del campo dunar, utilizando la conservación y / o disección eólica presentes en el área como criterio de clasificación, identificando de las unidades morfoestructurales y sus respectivas morfoesculturas. (A) una llanura de acumulación eólica Dunar (PAED) y (b) una planicie de acumulación eólica retracada (PAER). Estos dos conjuntos morfoescultura eólicos fueron elaborados a lo largo del Pleistoceno tardío, con actividad depositaria hasta la transición al Holoceno.

Palabras clave: LIDAR, Geomorfología, Campo de Dunas Rio do Fogo - Brasil.

Introdução

A zona costeira é um dos espaços naturais mais dinâmicos do Planeta e de grande valor ambiental. Essas regiões desempenham um importante papel socioeconômico como fonte de recursos (MANSO *et al.*, 2006). O espaço costeiro é modelado e remodelado em escalas temporais e espaciais, tendo como resultado o balanço de sedimentos, as alterações climáticas e as variações do nível do mar, que interagem com a dinâmica costeira, bem como, as atividades e intervenções antrópicas (represamento de rios, dragagem, obras de engenharia, entre outras). Além disso, é um ambiente complexo e sensível, onde ocorrem diversos processos hidrodinâmicos que relacionam os ambientes continentais compostos por desembocaduras fluviais, estuários e deltas, e a dinâmica dos ambientes marinhos, como, ondas, correntes e marés, entre outros; além da intensa ocupação antrópica (Carneiro, 2003).

De acordo com o Capítulo 17 da Agenda 21 (Brasil, 2002), a região costeira corresponde ao ambiente marinho e continental, formado por um conjunto integrado de oceano, mar e zona costeira, componente essencial que possibilita a vida na Terra. A região é formada por ecossistemas de alta relevância ambiental, sendo marcada pela transição entre ambientes terrestres e marinhos, e pelas interações que caracterizam sua fragilidade.

Os ambientes costeiros são áreas de maior intercâmbio de energia da Terra por sua localização da área limítrofe entre o continente e o oceano. As praias e as dunas formam um sistema complexo, e, segundo Viles e Spencer (1995), denomina-se Zona Litorânea Ativa, diferenciando-se pela ação conjunta da intensidade eólica e direção das ondas, que promovem

o transporte e a troca de sedimentos entre os componentes desse sistema. As dunas costeiras proporcionam condições de equilíbrio dinâmico e são de grande relevância do ponto de vista geológico, estabelecendo um defensor natural da ação das ondas e ecológico, pela presença de espécie nativa. As zonas costeiras configuram uma região de intensa energia, caracterizada por frequentes mudanças morfológicas que contribuem para dissipar a energia incidente, protegendo a terra contra a ação erosiva do mar. Quando o processo de transporte nesses ambientes é alterado, seja por ocupação das dunas, construção de edificações, pela destruição da vegetação nativa, ocorre um desequilíbrio no balanço sedimentar e, por conseguinte, da estabilidade da linha de costa, tornando-se vulnerável à ação da erosão costeira (Muehe, 2001).

O litoral potiguar abrange parte das bacias sedimentares Pernambuco-Paraíba e a Potiguar, pertencentes ao conjunto das bacias Mesocenozoica brasileiras, que compõem a Província Costeira e a Margem Continental. Essas bacias têm sua origem relacionada á eventos geotectônicos que determinaram, a partir do Jurássico, a abertura do Oceano Atlântico Sul, e apresentam-se preenchidas por uma sedimentação Mesocenozoica, onde os sedimentos quaternários compreendem importantes depósitos superficiais dessa sequência (Cunha, 2004).

Os processos modificadores das planícies costeiras se ligam à flutuação do nível do mar, ao aporte de sedimentos e aos processos costeiros dominantes (marés, ventos, correntes e ondas) que controlam a morfologia e a distribuição de sedimentos. A faixa costeira do Estado do Rio Grande do Norte é dominada por ondas, fortemente mesotidal e sob ação constante dos ventos alísios (Mabesoone, 1987).

A costa do estado do Rio Grande do Norte perfaz uma extensão de 470 km de litoral, constituída predominantemente por praias arenosas (72%) e falésias ativas (26%) segundo Muehe (2006). A linha de praia atual é quase contínua, sendo interrompida apenas pela presença de rios. As planícies costeiras são de origem quaternária, formando uma unidade geológico-geomorfológica bastante complexa, por serem ambientes de interação de fenômenos continentais e marinhos.

O Plano de Gerenciamento Costeiro do Rio Grande do Norte identificar a fonte (Lei n.º 6.950, de 20 de agosto de 1996) classificou a zona costeira em dois setores. O primeiro, denominado litoral oriental, de direção

norte-sul, situado entre o município de Baía Formosa (limite com a Paraíba) e o município de Touros, com 195 km de extensão, onde se encontra a Formação Barreiras responsável pela existência de uma planície costeira estreita, bastante recortada com presença expressiva de dunas, estuários e manguezais. O município de Rio do Fogo, área da investigação, encontra-se nesse setor. O litoral norte é o segundo setor, de direção leste-oeste, que abrange o trecho localizado entre os municípios de São Miguel do Gostoso e o de Tibau, extremo norte (limite com o estado do Ceará), sendo caracterizados por sedimentos da Formação Barreiras apresentando em forma de falésias, afloramentos cretáceos à beira-mar e recifes arenosos, assim como extenso campo de dunas.

As dunas costeiras se destacam pela importância de atuar na transição entre o ambiente marinho e o meio terrestre, servindo de proteção às transgressões do nível do mar e evitando a contaminação dos aquíferos continentais pela água salgada (Carter, 1988). Essas áreas de acumulação eólica se encontram na costa do Rio Grande do Norte de forma bastante expressiva. Os campos de dunas existentes no litoral potiguar destacam-se pela riqueza de seus tipos e pela exuberância de suas formas; cada uma delas representa importante morfologia do sistema costeiro, necessitando ser mapeadas e monitoradas para subsidiar a preservação e sustentabilidade ambiental.

Um dos principais problemas dos espaços litorâneos ao redor do mundo é a ocupação antrópica das dunas costeiras, processo que desencadeia e intensifica dinâmicas naturais como a erosão costeira. No Brasil, diversas praias têm sofrido processos erosivos, requerendo medidas de recuperação ou contenção (Castro, 1994; Duarte, 2002; Carneiro, 2003; Manso *et al.*, 2006; Gregório, 2009). Entretanto, segundo Nordstrom (2010), apesar de o tema ser bastante abordado nas instituições de pesquisa de todo o mundo, observa-se que as políticas de planejamento e ordenamento territorial, em especial aquelas na esfera da gestão costeira, os conhecimentos adquiridos têm sido pouco incorporados. Daí a importância de caracterizar e entender esses ambientes tão importantes para o equilíbrio ecológico no continente e no mar.

Diante da importância de se entender os ambientes costeiros no Brasil e mais especificamente, os campos de dunas costeiras do estado do Rio Grande do Norte, buscando-se estratégias de fornecer subsídios para sua conservação ambiental é o que se propõem o presente estudo. Para tanto,

foram utilizadas técnicas das Geotecnologias; aliando, manipulação de dados espaciais gerados pelo mapeamento a laser aerotransportável (LIDAR) com GPS (*Global Positions System*) para caracterizar a geomorfologia do campo de dunas de Rio do Fogo, classificando as diversas morfologias que compõem o relevo nessa porção do litoral potiguar.

Área de estudo

A área de estudo localiza-se no campo de dunas do município do Rio do Fogo, situado no litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil (Figura 01). Apresenta uma extensão territorial de 150,262 km², distando 61,1 km de Natal, capital do Estado. O Município apresenta uma população de aproximadamente 10.830,00 habitantes e densidade demográfica de 66,94 hab./km² (IBGE, 2016). A sede do municipal localiza-se nas coordenadas geográficas de latitude 05°16'22"S e longitude 35°22'59"WGr. Limita-se a oeste com o município de Pureza, ao sul com o município de Maxaranguape, a leste com o Oceano Atlântico e ao norte com o município de Touros, conforme ilustra a Figura 1. (Carneiro, 2011).

Praias de Rio do Fogo e Zumbi

O litoral do município de Rio do Fogo perfaz uma extensão de 16 km. A área de estudo localiza-se no município de Rio do Fogo, conforme ilustra a Figura 1; descrita a seguir: Começa na foz do Rio Punaú no Oceano Atlântico, segue por este Rio até a ponte na BR 101. Segue por esta BR 101 até a Rodovia estadual RN 021; segue por esta Rodovia até praia de Rio do Fogo; depois segue a direita pela praia até à foz do Rio Punaú, no Oceano Atlântico. Perfazendo uma área de aproximadamente 35,77 km². O campo de dunas móveis tem uma área de 5,31 km². A escolha desse recorte ambiental se deu em razão de ser área de influência do campo de dunas de Rio do Fogo.

A zona costeira dessa porção do Estado é formada por: planícies, tabuleiros costeiros e campos de dunas. Sendo esses últimos, os elementos predominantes em toda a costa, com exuberantes morfologias dunares ativas e fixas. Entrecortando os depósitos dunares na região, existem pequenas planícies fluviais localizadas nas desembocaduras dos rios e riachos, onde se destaca o Rio Punaú (Carneiro, 2011).

Na Praia do Zumbi, as variações morfodinâmicas refletem mudanças na topografia tridimensional da praia que interferem no comportamento do fluxo aerodinâmico sobre o pós-praia e no potencial de deriva eólica (Short e Hesp, 1982; Davidson-Arnott e Law, 1990). Essa praia apresenta maior mobilidade de sedimentos e morfologia que favorecem velocidades de fluxo laminar sobre o pós-praia e o processo de saltação dos grãos de areia média e fina para o interior do continente. Tais processos possibilitam a manutenção dos depósitos eólicos, dando continuidade aos processos de acumulação dunar.

O rio Punaú é um importante fornecedor das areias, o aporte de areias fluviais pode ser mais intensificado sazonalmente nos períodos climáticos de maior precipitação pluviométrica, esse rio contribui também para o fornecimento de sedimentos do campo de dunas, assim como, os sedimentos que vão ser distribuídos ao longo da faixa costeira do município de Rio do Fogo. Outro fator de contribuição do aporte de sedimentos é a deriva litorânea, principalmente na direção sul para norte (Diniz e Dominguez, 1999).

O volume de sedimentos transportados para o campo de dunas, desde a praia até as dunas primárias, rege-se pela orientação da linha de costa em relação ao vento predominante de SE e pelos fatores que influenciam

o limiar de movimento dos sedimentos e a taxa de transporte das areias, tais como o tamanho das partículas sedimentares, conteúdo de umidade, crostas salinas, forma da praia entre outras (Sherman e Hotta, 1990).

Geologia Regional

A Geologia da parte centro-norte e todo o litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte, de acordo com Cunha (2004), forma-se por rochas e terrenos sedimentares—de formação mais recente—das eras Mesozoica e Cenozoica. Representam-se pela Formação Barreiras, a qual encontra-se recoberta por dunas que se estendem ao longo de toda a costa do estado. Constitui-se em ambientes frágeis quanto ao equilíbrio ecológico, sendo de grande importância para a recarga das águas subterrâneas e alimentação de rios, riachos e lagoas costeiras; calcários da Formação Jandaíra e os arenitos da Formação Açú, onde também se encontram minerais economicamente importantes como petróleo, calcário, argilas, diatomita, feldspato, caulim, entre outros.

Segundo Cunha (2004), repousam sobre esse arcabouço os sedimentos Mesocenoicos, constituindo uma estreita faixa semicontínua, que compõem, de norte a sul, as bacias sedimentares Potiguar e de Pernambuco-Paraíba. Bacias essas cuja gênese é associada ao processo de ruptura do Gondwana, evoluindo para uma fase transicional e, depois para outra fase de oceano aberto, sendo dessa fase os registros aflorantes. Superpostos a essas sequências e em discordância erosiva, ocorrem os sedimentos pliopleistocênicos da Formação Barreiras, que, por sua vez, são recobertos também discordantemente por sedimentos continentais e transicionais mais recentes.

Sistema de mapeamento a LASER - aerotransportado LIDAR

Mapeamentos topográficos planialtimétricos da elevação da superfície da Terra são empregados em diversas aplicações desde operacionais até científicas. As bases cartográficas produzidas auxiliam no conhecimento geológico e geomorfológico. Tais modelos sevem para a individualização e classificação dos conjuntos geológicos e geomorfológicos que compõem a paisagem analisada.

Nos últimos cinquenta anos, a fotografia aérea, e posteriormente os sistemas óticos digitais, passaram a ser usados no mapeamento do relevo

terrestre. Recentemente, surgiu o mapeamento a laser aerotransportado, também conhecido como *Light Detection and Ranging* (LIDAR), como uma tecnologia de alta precisão, notadamente quando o estudo necessita de modelos digitais de elevação com alta densidade de pontos e conseqüentemente alta resolução e precisão.

O mapeamento a laser aerotransportado tem diversas denominações, tais como LIDAR, Mapeamento do Terreno por Laser aerotransportado, Perfilamento a Laser, Laser *Scanner* Aerotransportado, Sistema Laser *Scanner*, Laser *Scanning* entre outras, porém, nesta pesquisa, adotou-se a denominação Mapeamento a Laser Aerotransportado (LIDAR).

A metodologia utilizada, segundo Brandalize (2004), baseia-se no tempo de emissão e recepção do pulso laser uni ou multidirecionais, com densidades de emissão de pulsos que podem superar os 100.000 pulsos por segundo. O Sistema *Light Detection and Ranging* (LIDAR) aerotransportado – *Airborne Laser Scanner* (ALS) – tem três componentes construtivos principais: *Inertial Navigation System* (INS), *Global Positioning System* (GPS) e o sistema de varredura a laser.

O cálculo da posição do ponto é obtido por meio da integração de dados provenientes do GPS e dos adquiridos por sensores inerciais. A medição das distâncias entre o sensor e a superfície é obtida pelo sistema de varredura a laser, que registra e processa a diferença de tempo entre o sinal (pulso laser) emitido pelo sensor e registrado pelo após interagir com o alvo (Rivas E Brito, 2003).

O sistema aerotransportado de laser (ALS) para o mapeamento do terreno – *Airborne Laser Terrain Mapper* (ALTM) – captura coordenadas tridimensionais (X, Y e Z) de pontos sobre uma superfície, além de determinar uma quarta dimensão, para cada ponto, definida como intensidade e representada pela letra I (Brandalize, 2004). A Figura 02 ilustra como um laser *rangefinder* (telêmetro a laser) varre a superfície registrando os pulsos (distâncias) e as respectivas direções (ângulos).

As vantagens no emprego da técnica de mapeamento a laser aerotransportado são resultado de uma análise comparativa entre as técnicas que são capazes de gerar documentos cartográficos similares. A maior vantagem da técnica de mapeamento a laser aerotransportado está na rapidez com os dados são coletados e processados. Com uma massa de dados

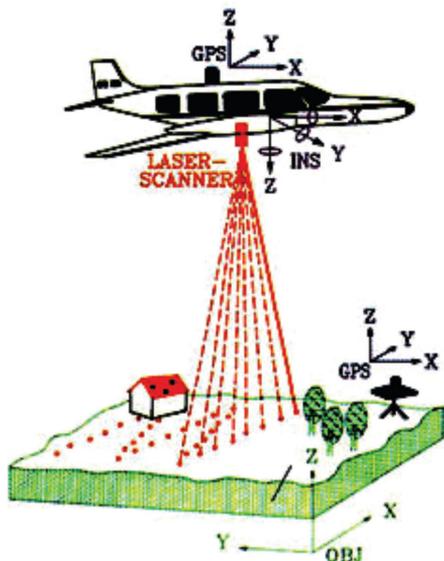
representativa da superfície de interesse processada, obtém-se o Modelo Digital do Terreno. (Carneiro, 2011)

O sistema LIDAR permite a separação dos pulsos emitidos de maneira a posicionar os objetos em seu topo e ao nível do terreno, respectivos e genericamente denominados primeiro retorno (*first pulse*) e último retorno (*last pulse*). Cada pulso emitido pode resultar em diversos retornos como se observa na Figura 03. Cada retorno resulta uma medida de distância entre o sensor e o objeto. Esses sistemas normalmente são programados para gravar o primeiro e o último retorno, os quais possibilitam a construção do modelo digital de elevações (MDE) para o primeiro pulso e do Modelo Digital do Terreno (MDT) para o último pulso.

A técnica de mapeamento a laser aerotransportado possibilita levantar sobre a superfície do terreno uma nuvem de pontos semialeatoriamente distribuídos (Petzold *et al.*, 1999) e gerar, a partir dessa nuvem, uma grade regular de pontos 3D georreferenciados – expressa sob a forma de um *Digital Surface Model* (DSM), *Digital Elevation Model* (DEM) ou *Digital Terrain Model* (DTM) (Carneiro, 2011).

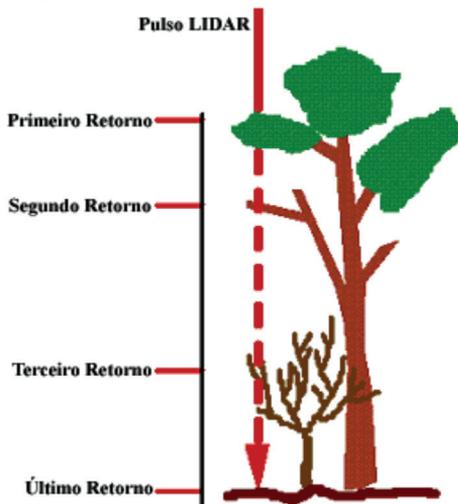
Enquanto a aerofotogrametria opera com sensores passivos que obtêm somente imagens (fotografia aéreas digitais) da superfície do terreno. Por meio de levantamentos terrestres (levantamento planialtimétrico) e de processamento das imagens, é possível obter modelos digitais semelhantes aos obtidos pela técnica de mapeamento a laser aerotransportado. O método tradicionalmente utilizado na geração de MDT é o estereofotogramétrico fundamentado no perfilamento de estereomodelos. Outro método estereofotogramétrico empregado é o por correlação de imagens (também denominado autocorrelação) (Carneiro, 2011).

Figura 2. Sistema LIDAR.



Fonte: Harding, 2002.

Figura 3. Seleção de retornos LIDAR.



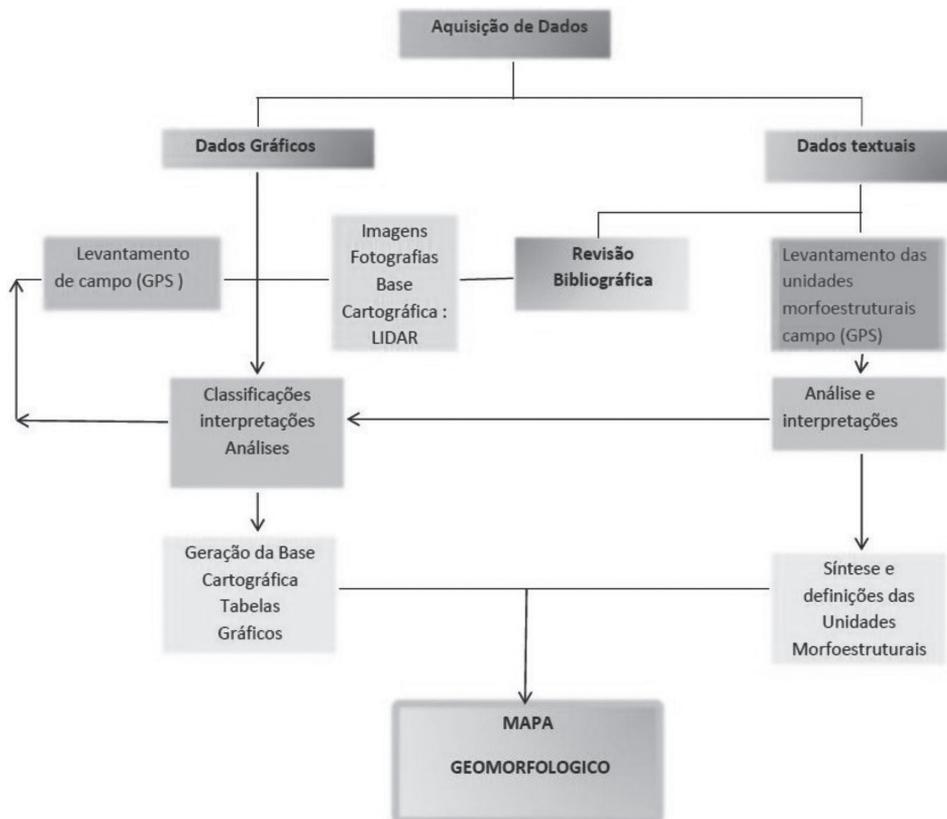
Fonte: Harding, 2002.

O mapeamento a laser aerotransportado – LIDAR – é uma técnica monoscópica, de modo que um único pulso LASER atingindo o solo já é suficiente para que se obtenha a altitude naquele ponto, enquanto pela Fotogrametria, torna-se necessário que o mesmo ponto seja claramente visível em duas fotografias, pelo menos, para se determinar a altitude do terreno, o que é probabilisticamente muito difícil em terrenos recobertos de árvores. O mapeamento a laser opera com excelentes e diferentes resultados em superfícies homogêneas como: desertos, áreas de dunas e geleiras, o que usualmente traz dificuldades durante as medições fotogramétricas pela falta de pontos identificáveis (Carneiro, 2011).

Materiais e Métodos

A metodologia empregada fundamenta-se na integração dos tradicionais métodos analíticos das Geociências com as modernas Tecnologias da Geoinformação, norteando-se de acordo com as recomendações da União Geográfica Internacional (UGI). A Figura 4 apresenta as principais etapas da metodologia da pesquisa.

Figura 4. Esquema da metodologia da pesquisa



Materiais

Os programas e equipamentos utilizados na pesquisa foram cedidos pelo IBGE, Geoid S.A. e Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Nos procedimentos foram utilizados os seguintes programas: (i) Microsoft e AUTOCAD – Programas tipo *Computer Aided Designer* (CAD), que fornece as ferramentas necessárias à digitalização de mapas, plantas, desenhos entre outros por meio da mesa digitalizadora ou da tela; (ii) *ArcView* – Programa Sistema de Informações Geográficas (SIG) que permite geração de mapas, conexão com banco de dados, disponibilidade de uma linguagem de programação, entre outros; (iii) REALM *Survey Suite* (Optech) – *Software* de pós-processamentos dos dados integrados (dados GPS e dados ALTM). Atualmente esse *software* se denomina DASH MAP

REALM; (iv) PRISM (*Ashetech Precision GPS Surveying Software*) é um programa que permite a preparação do processamento e o ajustamento dos dados coletados, bem como processar os dados obtidos em levantamentos cinemáticos ou pseudocinemático; (v) GPSurvey – Programa que possibilita o pós-processamento dos levantamentos GPS, do fabricante TRIMBLE; (vi) ALTM – NAV Planner 2.0.61 – programa utilizado para elaborar o Planejamento do voo; (vii) TerraScan – programa utilizado para filtragem dos pontos (Laser), e o (viii) TERRA Model (Trimble) programa que permite importar dados LIDAR e geração de mapas.

Em relação aos equipamentos, utilizaram-se: dois receptores de *Global Positioning System* (GPS), com duas frequências e 20 canais, e as respectivas antenas; *Airborne Laser Terrain Mapper* 1210 (ALTM); *Arborne Laser Scanning* (ALS); Aeronave Cessna C180; microcomputador e *Notebook*, entre outros.

Método

1. Aquisição de Dados (Gráficos e Texturais)

1.2 Coleta de dados (Bibliográficos, Imagens e Fotografias atuais e pretéritas) e planejamento de campo

O estudo envolveu pesquisa e análise bibliográfica em diversos artigos e documentos científicos (Nacionais e Internacionais); vários trabalhos de campo na área da pesquisa; visitas e entrevista com pesquisadores de diversos órgãos públicos: no Brasil, o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 3.^a Divisão de Levantamento Comando do Exército em Olinda, IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do estado do Rio Grande do Norte), entre outros.

A análise dos documentos cartográficos (cartas topográficas, fotografias aéreas, imagens de satélites, entre outros) atuais e pretéritos, subsidiou o planejamento do voo no que se refere ao georreferenciamento das poligonais da varredura laser.

2. Levantamento de campo

O levantamento LIDAR aerotransportável e o pós-processamento dos dados necessitou de uma base GPS no local do mapeamento, representando

assim a primeira etapa do levantamento. Nesta pesquisa foi definida e ocupada uma estação dentro da área de estudo. Nesse mapeamento a laser, um receptor GPS localizado no Sistema de Medição Inercial (SMI) registrou a posição da aeronave a intervalos fixos. Outro receptor baseado no solo (base GPS) forneceu a correção diferencial para a determinação de posição mais precisa. O DGPS (GPS Diferencial) é um método de refinamento dos dados posicionais derivados do rastreamento GPS por meio da correção de erros inerentes ao processo.

Brandalize (2004) descreve como linha base o uso de dois aparelhos GPS que coletam informações da constelação GPS ao mesmo tempo. Nesse contexto, a linha base é a distância entre o aparelho localizado no solo e o aparelho aerotransportado. De acordo com recomendações do fabricante dos sistemas, a distância entre os aparelhos deve ser inferior a 50km. Outra recomendação é que as bases de solo também devem estar espaçadas em, no máximo, 50 km para garantia da precisão planimétrica dos pontos LASER. Sempre que tal condição não puder ser estabelecida, o uso de um conjunto de bases terrestres é requerido.

Nos levantamentos terrestres, utilizaram-se equipamentos de GPS geodésicos de dupla frequência (L1 e L2) para leituras em sistema de pós-processamento e tempo real (RTK). No transporte de coordenadas, aplicou-se o método de levantamento GPS estático para as estações base GPS.

A base GPS utilizada localiza-se no campo de dunas de Rio do Fogo, dentro do Parque Eólico de Rio do Fogo. Na seleção do local da base GPS, observaram-se as recomendações do fabricante e especificações da norma técnica (IBGE, 1993) quanto à obstrução do sinal GPS, ou seja, as observações GPS requerem a intervisibilidade entre a estação e os satélites.

3. Base Cartográfica

3.1 Planejamento e execução dos voos

No voo, utilizou-se uma aeronave Cessna C180 equipada com Laser Aerotransportado Tecnologia LIDAR, denominado *Airborn Laser Terrain Mapper* (ALTM). O equipamento ALTM emitiu pontos sobre o terreno, encontrando resultados melhor que 1,6 m de equidistância média entre os pontos, para detalhar as principais feições de solo, vegetação, edificações entre outros. A frequência do aerolevanteamento a laser foi de 19Hz. Para

tanto, realizaram-se aerolevantamentos LIDAR em dois momentos: 8 de novembro de 2004 no período de verão.

3.2 Processamento e análise dos dados

O pós-processamento realizou-se mediante um conjunto de programas e equipamentos para os dados coletados, chamados Dados Brutos (*Raw Data*). Os citados dados, referem-se as medidas LASER com os respectivos atributos, dados do GPS aerotransportado e dados da navegação inercial. Além dos dados do levantamento propriamente dito, no instante do processamento, incorporam-se os dados de calibração do sistema e parâmetros como excentricidade da antena GPS em relação ao sensor LASER; ângulos de montagem da plataforma do sensor LASER quando a aeronave está nivelada no solo; posição do sensor LASER em relação ao SMI. A precisão planialtimétrica alcançada foi num intervalo de 15 centímetros.

3.3 Levantamento das unidades morfoestruturais e delimitação das unidades geomorfológicas (análise e interpretações)

Na elaboração da base de dados espaciais por meio da tecnologia de mapeamento a laser aerotransportado (LIDAR), realizou-se o voo pela Empresa Geoid Ltda, patrocinadora desta pesquisa. No levantamento a laser, captaram-se 100.000 pontos/segundos. Para tanto, foi necessária uma filtragem automática da nuvem de pontos LASER com o objetivo de separá-los em pontos que tocaram à superfície terrestre e os pontos que tocaram outros elementos (objetos). Essa filtragem realizou-se pelo programa *TerraScan*, que tem uma ferramenta específica para essa tarefa (*classify – routine – ground*). Essa etapa denomina-se filtragem dos pontos.

A nuvem de pontos coletados em média, 5 pontos/m², definida na filtragem como não pertencente à superfície terrestre, foi separada por meio de planos de informações, ou seja, separando os principais elementos encontrados na área de estudo. Essa etapa se denomina classificação, e tem como objetivo principal auxiliar a encontrar pontos pertencentes à superfície terrestre.

Os pontos selecionados como pertencentes ao solo foram utilizados na elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT). Os demais planos de informações classificados (vegetação, construção entre outras) foram usados para gerar Modelo Digital de Elevação (MDE).

A classificação em MDT e MDE foi realizada por meio de algoritmos específicos; a acurácia desses modelos vincula-se fortemente ao algoritmo utilizado e ao percentual de pontos que retornam do solo. Estudos de Reutebuch *et al.* (2003) comprovam a acurácia de Modelos Digitais de Terreno em áreas até de vegetação densa.

De posse dos dados, LIDAR, foi possível elaborar os Modelos Digitais de Terreno (MDT) e individualizar os conjuntos geomorfológicos e suas morfologias associadas. Para isso, seguindo as recomendações da UGI para mapeamentos geomorfológicos de detalhe, utilizou-se a conservação e/ou dissecação das morfologias eólicas presentes na área como critério de classificação.

Resultados e discussão

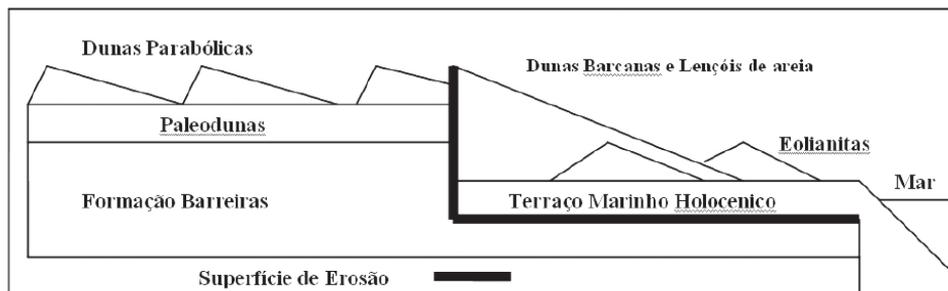
Tendo como base o grau de conservação morfológica, foram identificados dois conjuntos morfológicos bem distintos, uma planície de acumulação eólica dunar e uma planície de acumulação eólica retrabalhada.

Depósitos eólicos

Na costa do Rio Grande do Norte estão presentes várias gerações de dunas, porém é bastante difícil determinar se elas se formaram por um ou vários episódios de formação. Entretanto, Maia (1998) cita que podem ser diferenciadas por uma série de variáveis: a forma, a diferença de coloração, tipo da vegetação e o grau de sedimentação. De acordo com Maia (1998), as relações estratigráficas (Figura 5) diferenciam até três gerações de dunas, enquanto no litoral oeste do Ceará, identificou-se a quarta geração de dunas.

Maia (1998) cita que a geração mais antiga, sem forma designada (paleodunas), encontra-se em contato direto com a Formação Barreiras. Essas paleodunas são formadas por areias quartzosas inconsolidadas, variando de bem a moderadamente selecionadas, com granulometria de fina a média. Enquanto a segunda geração de dunas consiste nas dunas parabólicas inativas, composta de areias quartzosas inconsolidadas, variando de bem a moderadamente selecionada, e granulometria de fina a média.

Figura 5. Relações estratigráficas entre as gerações de dunas.



Fonte: Maia (1998)

Quanto à origem geológica das dunas parabólicas vegetadas no estado do Rio Grande do Norte, segundo Amaral (2000), sua formação começa no Pleistoceno, sob um nível do mar mais baixo que o atual, de forma a possibilitar a existência de uma pista para o transporte dos sedimentos por via eólica. Essas dunas desenvolveram-se sobre a Formação Barreiras, cujo limite continental teria sido equidistante da linha de costa atual, a qual é aproximadamente paralela à quebra da plataforma, limite oceânico máximo da antiga pista de movimentação dos sedimentos. Em um momento qualquer, reativações tectônicas estabeleceram a geometria em mosaico do embasamento, que encaixou os principais vales fluviais, cruzando transversalmente os campos de dunas. Os lençóis de dunas parabólicas continuaram a se formar, tendo o seu limite à barlavento, agora, nos canais fluviais mais importantes. A existência de um período climático mais úmido do que o atual possibilitou o desenvolvimento de uma cobertura vegetal densa que fixou os lençóis de dunas (Amaral, 2000, p.228-229).

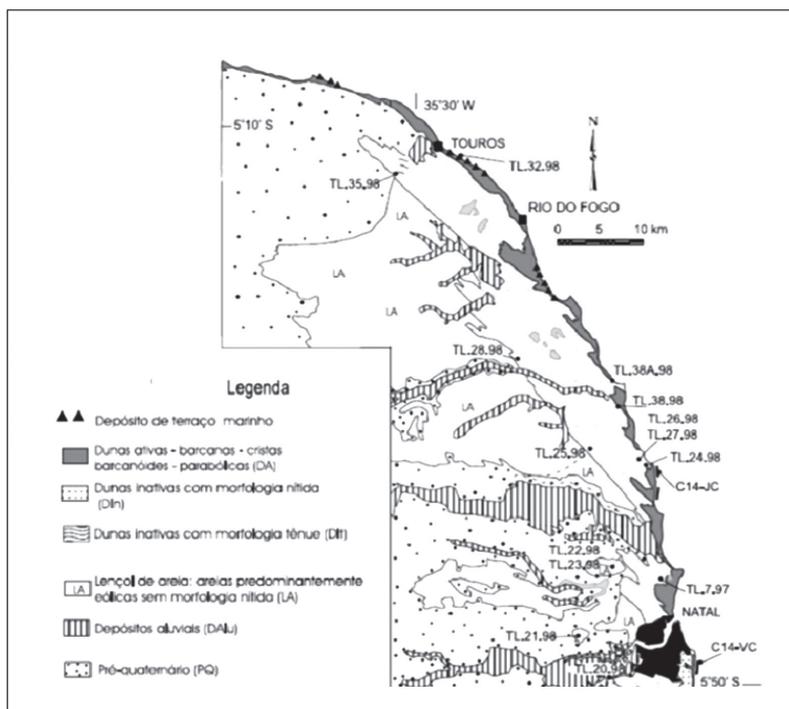
A terceira geração de dunas, de acordo com Maia (1998), compõe-se de sedimentos ricos em bioclastos (eolianitas), formam-se por dunas arenosas cimentadas por carbonato de cálcio e se encontram no litoral do Ceará. Essas dunas podem estar associadas a, no mínimo, 4.000 anos.

A quarta geração de dunas consiste nas dunas ativas, que se associam ao desenvolvimento do litoral atual e penetram no continente até 6 km. Compõem-se predominantemente de quartzo, em grãos de areia arredondados, bem selecionados e de coloração clara. Em alguns trechos, podem-se encontrar restos líticos, minerais pesados e carapaças de organismos marinhos. Essas dunas se localizam entre 600 a 2000 metros de distância

da praia, e migram em cima das gerações anteriores e da Formação Barreiras. Em resumo, as quatro gerações de dunas se associam a flutuações do nível do mar durante Quaternário (Maia, 1998).

Na área de estudo, encontra-se um ecossistema dunar que apresenta as seguintes classificações, segundo o Mapa Geológico do Quaternário Costeiro do Rio Grande do Norte (Figura 6): (1) dunas ativas ou migratórias ou móveis ou recentes: barcanas, cristas barcanóides e parabólicas; (2) dunas inativas ou estacionárias ou fixas ou paleodunas com morfologia tênue (Barreto, 2004). Entretanto, diversos estudos pesquisados – Duarte (2002); Silva (2002); Branco *et al.* (2003); Fracasso (2005) – revelam que, no litoral do Rio Grande do Norte, encontram-se também dunas de blowouts (feições de deflação) ou lobos deposicionais, estrelas, dômicas, frontais (foredunes), longitudinais, reversas, transversais, lençóis de areia (sand sheet), nebkha, coppice e hummock), e zonas interdunares.

Figura 6. Mapa Geológico do Quaternário Costeiro do Rio Grande do Norte



Fonte: Modificada de Barreto et al., 2004.

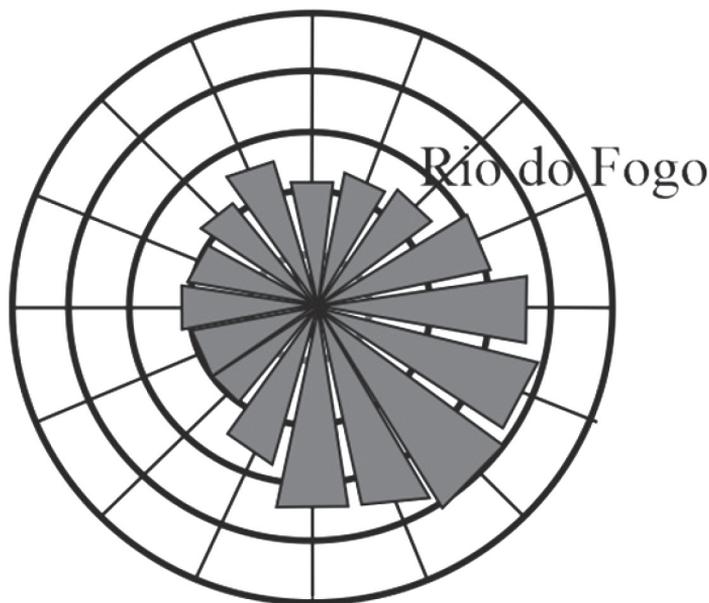
Padrão morfológico e direção atual dos ventos

O vento é um importante agente geológico, bastante eficaz no transporte e deposição de partículas sedimentares. As areias são sopradas pelo vento sem a contribuição de fluxos hídricos, dando origem a depósitos bem selecionados. O transporte se dá por suspensão das partículas finas (0,05mm) e rolamento, grânulos maiores (2,0mm). As partículas maiores são movimentadas pelo impacto de outras partículas em saltação (Suguio, 1980). O resultado dessa movimentação é a formação de campos de dunas.

A formação e fixação desses depósitos arenosos é condicionada por algumas características ambientais bem definidas. O clima não é o único fator responsável pela formação desses pacotes sedimentares, a dinâmica natural dessas áreas está muito ligada à existência de uma área fonte, da falta de competência da cobertura vegetal e da intensa ação do vento frente ao relevo.

Segundo Amarante et al. (2003), o Estado do Rio Grande do Norte está situado numa zona de predomínio dos ventos alísios, resultando em ventos com grande constância e acentuada ocorrência de direções sudeste (Figura 7). Os ventos intensos ocorrem no período que se estende do final da manhã ao meio da tarde. O regime de ventos sobre o Estado do Rio Grande do Norte apresenta uma grande sazonalidade, em geral, com a ocorrência de ventos mais intensos nos meses de final de inverno e primavera (agosto a novembro), e mais brandos nos meses de final de verão e outono (fevereiro a maio).

Figura 7. Rosa dos Ventos de Rio de Fogo



Fonte: Amarante *et al.*, 2003.

Geomorfologia de Rio do Fogo

A região de Rio do fogo apresenta uma geomorfologia relativamente monótona, desenvolvida sobre depósitos neogênicos eólicos. A fonte dessas areias são os terraços marinhos e flúvio-marinhos presentes ao longo da costa. Como embasamento a esses depósitos, afloram rochas sedimentares de idade cretácea, recobertas pela Formação Barreiras (Suguio, 2001; Barreto *et al.* 2004; Muehe, 2006).

Segundo Goldsmith (1978), Reineck e Sing (1980), McKee (1983), as dunas eólicas se formam por acumulações arenosas geralmente assimétricas, ocorrendo isoladamente ou de forma associada, que podem atingir algumas centenas de metros de altura e quilômetros de comprimento. Tem como característica principal a presença de uma face de inclinação suave, formada na direção preferencial do vento (face de barlavento ou *stoss side* ou *windward*) e de outra face, com inclinação mais íngreme, que é a face de sotavento ou *Lee* ou *leeward*. Tais características podem ser observadas nas dunas mapeadas em Rio do Fogo, sobretudo naquela cuja morfologia eólica encontra-se melhor conservadas.

Sherman (1995) afirma que as dunas arenosas ou sistema de dunas representam a integração de uma suíte de processos geomórficos e respostas sedimentares sobre uma extensão particular de tempo e espaço, sendo, portanto, extremamente dinâmico e estando constantemente em processo de mudança. As dunas costeiras representam o resultado da interação de processos marinhos e eólicos, vegetação, pressão humana e a geomorfologia do sistema. Além disso, a forma das dunas (costeiras) obedece a uma série de fatores incluindo o formato da linha de costa, formato da praia, correntes e ondulações (*swell*) dos oceanos, vento predominante, frequência das ressacas e tamanho das partículas de areia. Tais características foram observadas e mapeadas na área estudada, individualizando-se as morfologias conservadas e dissipadas, além dos padrões morfológicos.

As dunas podem ser classificadas por sua dinâmica deposicional e/ou erosional, sendo reconhecidos os seguintes tipos: dunas estacionárias e dunas migratórias (Glennie, 1970; Reineck e Sing, 1980). Na área estudada, esses dois conjuntos foram mapeados, recebendo as nomenclaturas de dunas ativas e inativas, em corroboração com outras referências mais recentes consultadas no decorrer do presente estudo.

De acordo com Pye e Tsoar, (1990), as dunas simples são divididas em três grupos básicos, cada qual com diversas morfologias, sendo ele: (a) aquelas em que seu desenvolvimento se relaciona com a presença de obstáculos topográficos, (b) aquelas que se desenvolvem da própria acumulação; e (c) aquelas cujo desenvolvimento se influencia fortemente pela vegetação (dunas fitogenéticas).

O estudo de Castro (2004) ressalta que o deslocamento anual das dunas é proporcional aos índices pluviométricos registrados na área. Afirma-se, assim, que, quanto maior for o índice pluviométrico, menor será a taxa de deslocamento das dunas. O resultado do estudo citado, ressalta também, que as precipitações pluviométricas na área da pesquisa controlam não somente o deslocamento de dunas, mas também o suprimento de sedimento para o sistema eólico. Na área de estudo, os índices pluviométricos mostram valores elevados, característicos das regiões úmidas da faixa oriental do Nordeste. Tal característica favorece a fixação das dunas, por fixação de uma cobertura vegetal pioneira, restinga, que gradativamente vai possibilitando as características necessárias para a sucessão botânica e consequentemente coberturas vegetacionais mais densas, fixando as morfologias eólicas.

O campo de dunas analisados é composto predominantemente por uma morfologia de um sistema dunar litorâneo. As diversas morfologias eólicas foram identificadas mediante a interpretação das imagens de pontos geradas pelo LIDAR aliada ao Modelo Digital do Terreno. Depois da interpretação, posicionou-se as unidades morfológicas em dois conjuntos morfoesculturais, bem como, suas subunidades morfológicas (Figura 8). Esses conjuntos correspondem: o primeiro conjunto morfoescultural é a Planície de Acumulação Eólica Dunar (PAED) com as unidades morfológicas, (I1) campo de dunas parabólicas ativas – PA; (I2) campo de dunas com morfologia barcanoide dissipada – B; (I3) campo de dunas parabólicas inativas – PI; e (I4) campo de dunas com morfologia dissipada - D. O segundo conjunto morfoescultural compreende a Planície de Acumulação Eólica Retrabalhada (PAER) e suas unidades morfológicas são: (II1) lençóis de areia – L; e (II2) Terraços Marinheiros e Cordões Litorâneos – T.

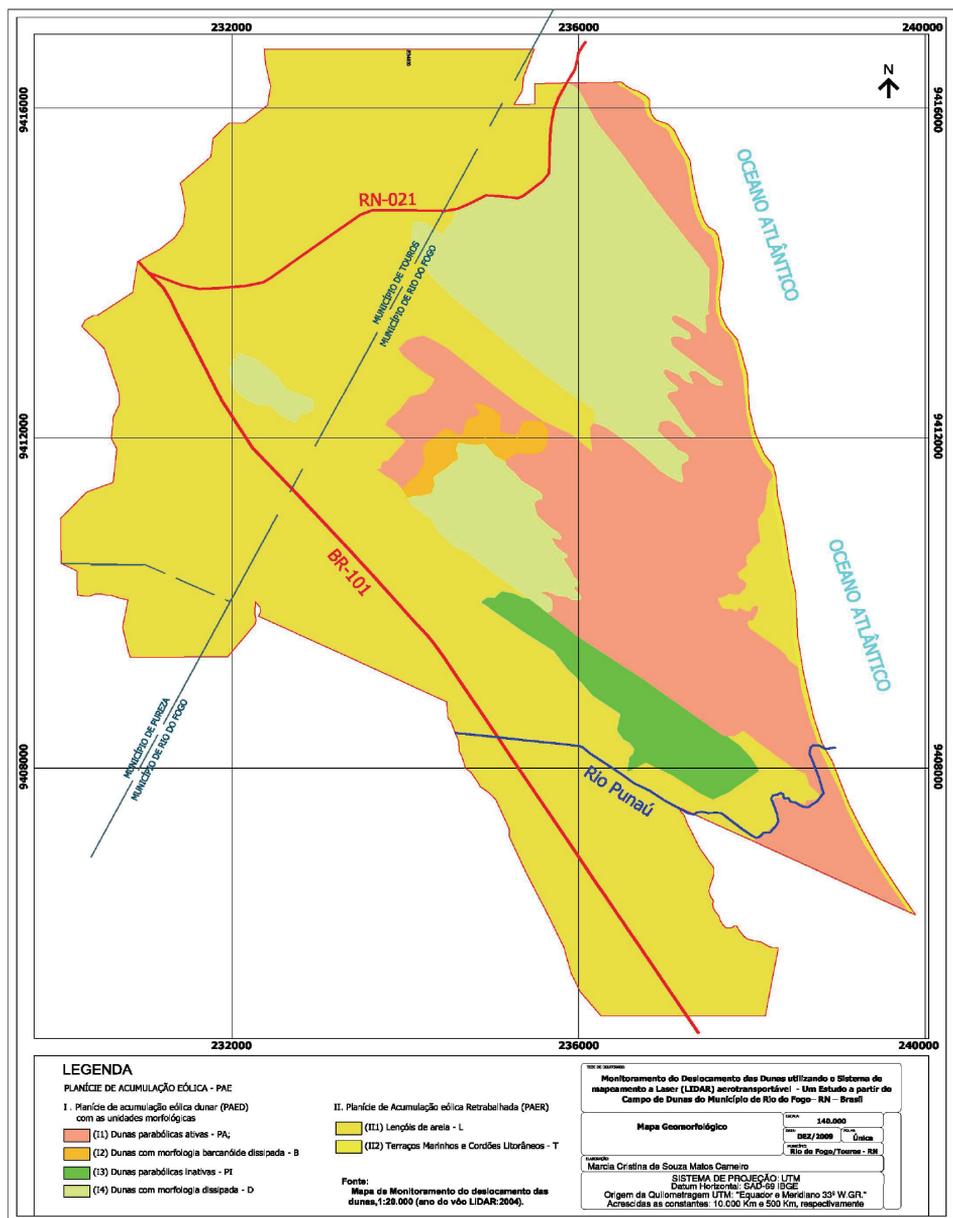
I. Planície de Acumulação Eólica Dunar – PAED

Essa unidade corresponde às morfologias formadas por edifícios dunares distribuídos ao sul da PAE e apresenta 2 conjuntos morfológicos descritos a seguir:

I.1. Dunas Parabólicas Ativas (PA)

As dunas parabólicas ativas, ciclo de movimentação eólica atual, predominam em toda a porção leste da área, adentrando também sua porção centro sul. São caracterizadas por edifícios dunares com altitudes que variam entre 25 e 56 m, com movimentação de material trazido pelo rio Punaú, que costa a porção extremo sul de sua ocorrência, bem como da maior oferta de areias, devido ao rebaixamento do nível do mar durante o Holoceno. Essas morfologias apresentam intensa migração, sendo por vezes barradas ou fixadas por pequenos obstáculos, em sua maioria arbustos da vegetação incipiente que consegue sobreviver as condições ambientais locais. Outro elemento fixador da migração das areias corresponde a edifícios dunares mais antigos, com morfologia parcialmente dissipadas, recobertos por uma vegetação arbustiva mais densa, oferecendo resistência a migração das referidas dunas.

Figura 8. Mapa geomorfológico da Região de Rio do Fogo, litoral norte do Estado do Rio Grande do Norte.



I.2. Dunas Com Morfologia Barcanóide Dissipada (B)

Na porção central da área, observa-se um padrão morfológico bem diferenciado, com edifícios dunares barcanoides (Figura 9). Essas dunas, com morfologia parcialmente dissipada, só foram identificadas nessa porção, da área estudada. Compreendendo formas reliquiaias, evidências de mudança no padrão dos ventos e presença de barreiras de fixação em um período intermediário, entre a formação das morfologias que já estão totalmente dissipadas, mais antigas, e as dunas ativas atuais. Apresentam altimetrias que variam entre 30 e 40 m, pouco expressivas para o conjunto dos terrenos eólicos mapeados.

Figura 9. Duna Barcanóide com morfologia parcialmente dissipada



I.3. Dunas Parabólicas Inativas (PI)

Correspondem a edifícios dunares com fisionomia parabólica ainda nítidas em imagens de satélite e fotografias aéreas, começando a serem atacados pelos processos morfodinâmicos locais, caracterizados pela atividade morfodinâmica denudacional, apresentando parte de sua morfologia original levemente dissecada. Possuem altitudes médias de cerca de

40m em relação ao nível de base circundante e estão distribuídas na parte sul da PAED, na margem esquerda do Rio Punaú.

I.4. Dunas com Morfologia Dissipada (D)

Edifícios dunares muito dissecados pela rede de drenagem e processos morfodinâmicos locais, perdendo parte de suas características morfológicas iniciais. Essas morfologias apresentam altitudes médias entre 20 e 30 m em relação ao nível de base circundante e estão distribuídos na porção central da área, em uma faixa de transição entre o campo de dunas ativas (PA) e o de dunas com morfologia dissipada (D). (Figura 10)

Figura 10. Vista panorâmica da área de contato entre lenções de areia e dunas inativas com morfologia dissipada.



II. Planície de Acumulação Eólica Retrabalhada – PAER

Essa unidade corresponde a uma ampla área arenosa levemente ondulada, formada por morfologias monótonas distribuídas a norte da PAED, cujo conjunto morfológico está descrito a seguir:

II.1. Lençóis de Areia (L) - são amplas superfícies arenosas, com morfologia suave ondulada, distribuídas em todas as porções norte (Figura 11), sul e oeste da PAER, compreendendo mais de 50% de toda a área estudada. O relevo é monótono e com pouca variação altimétrica, formando extensas faixas arenosas aplainadas, recortadas por canais de drenagem efêmeros e de pequena extensão. Nessas áreas se desenvolveu uma vegetação mais densa, diminuindo a eficiência da movimentação eólica, levando à estabilização.

II.2. Terraços Marinheiros e Cordões Arenosos (T) - Os terraços marinhos e cordões arenosos são o resultado da progradação da linha de costa, ora pela maior oferta de areias trazidas pelo rio Punaú, ora pela corrente de deriva litorânea. Outro fator importante foi o rebaixamento do nível do mar durante o Holoceno, resultando em um maior desnivelamento entre os terraços e cordões atuais em relação aqueles mais antigos formados durante o Pleistoceno Tardio. Compreendem extensas faixas arenosas dispostas paralelamente a linha de costa, intercaladas pelo estuário do rio Punaú e por pequenos edifícios dunares de pequena amplitude altimétrica, distribuídos em áreas com maior deposição arenosa e consequente retrabalhamento eólico.

Figura 11. Terraços Marinheiros e cordões arenosos – Praia do Rio do Fogo



Conclusões

O rio Punaú é um importante fornecedor das areias, o aporte de areias fluviais pode ser mais intensificado sazonalmente nos períodos climáticos de maior precipitação pluviométrica, esse rio contribui também para o fornecimento de sedimentos do campo de dunas, assim como, os sedimentos que vão ser distribuídos ao longo da faixa costeira do município de Rio do Fogo. Outro fator de contribuição do aporte de sedimentos é a deriva litorânea, principalmente na direção sul para norte.

Segundo pesquisa de Barreto (2004) os terraços marinhos do litoral do Rio Grande do Norte apresentam dois conjuntos de idades pleistocênicas sendo o mais antigo, com 210.000 – 214.000 anos (Ponta Negra, Barra de Tabatinga e Baía Formosa) e o mais recente, com 120.000 – 114.000 anos (São Bento, Touros, Rio do Fogo-Zumbi). As rochas praias vêm sendo formadas continuamente por todo o este litoral, desde o Holoceno médio até o Presente, mas os corpos mais extensos mostram as idades mais antigas, isto é, entre 5.600 – 7.400 anos cal AP e 4.380 – 5.310 anos cal AP, e podem representar o momento de desaceleração da subida do nível médio dos mares, em escala milenar.

O volume de sedimentos transportados para o campo de dunas, desde a praia até as dunas primárias, rege-se pela orientação da linha de costa em relação ao vento predominante de SE e pelos fatores que influenciam o limiar de movimento dos sedimentos e a taxa de transporte das areias, tais como o tamanho das partículas sedimentares, conteúdo de umidade, crostas salinas, forma da praia entre outras.

A evolução e o desenvolvimento das dunas costeiras dependem da relação entre três variáveis: (I) disponibilidade de sedimentos inconsolidados; (II) atuação do vento com suficiente intensidade; e (III) existência de uma superfície plana e desnuda de vegetação para migração e formação das dunas.

Observa-se que as dunas barcanas móveis mantêm suas características morfológicas após o deslocamento. Isso ocorre em razão do estado de equilíbrio e da natureza tridimensional desse tipo de duna. Essa comprovação da pesquisa de Castro foi observada e confirmada também nesta pesquisa.

No mapa geomorfológico, posicionaram-se as morfologias que compõem a primeira a planície de acumulação eólica dunar e retrabalhada do campo de dunas de Rio do Fogo, em que se conclui que há presença de: (i) campo de dunas parabólicas ativas - PA; (ii) campo de dunas

com morfologia barcanoide dissipada - B; (iii) campo de dunas parabólicas inativas - PI; e (iv) campo de dunas com morfologia dissipada - D. A segunda unidade morfoescultural compreende a Planície de Acumulação Eólica Retrabalhada (PAER) e há presença das unidades morfológicas: (i) Lençóis de Areia - L; e (ii) Terraços Marinhos e Cordões Litorâneos - T.

Em razão da grande fragilidade ambiental encontrada na área do estudo e em todo o litoral potiguar, onde a estratégia de desenvolvimento se direciona à vocação turística do município e à ocupação antrópica, observa-se a necessidade premente de se efetivar a adoção de políticas públicas capazes de mitigar os impactos detectados nesse ecossistema, bem como a aplicação de leis complementares que coibam e regulem o uso do solo na área de dunas e seu entorno, ressaltando que tais medidas deverão ser acompanhadas da elaboração de Planos de Manejo para recuperar as áreas degradadas.

A metodologia utilizada se mostrou bastante satisfatória, contribuindo com diversos dados científicos numa área região ainda muito carente de dados paleoambientais.

As irregularidades topográficas e os terrenos um pouco movimentados em escala local são em grande parte proporcionados pela presença de campos e cordões de dunas, cujas características de permoporosidade impedem que ocorra escoamento superficial direto e otimize o processo de infiltração de águas de chuva. Esse aspecto torna por demais importantes a preservação das dunas, tendo em vista sua característica como unidade hidráulica para que se processe a transferência e recarga dos sistemas aquíferos locais, especialmente o aquífero Barreiras, mais profundo. De forma que propicie a preservação e integridade do abastecimento d'água às futuras gerações, assim como para a manutenção do geossistema local e possibilitando o equilíbrio da cunha salina, cuja preservação deve ser muito mais garantida.

a das dunas.

A existência de uma perfeita correlação inversamente proporcional entre a taxa de migração, e a pluviometria demonstra o expressivo controle climático no desenvolvimento e movimentação das dunas eólicas na região. Pode-se destacar que existe uma importância da leitura dos fenômenos do tipo 'El Niño' e 'La Niña' para seu desenvolvimento.

Conclui-se que, para preservar campo de dunas ativas ou móveis, deve-se elaborar um estudo de análise da evolução histórica e evolutiva

das feições do campo de dunas, subsidiando análise da previsão ambiental futura direcionada na perspectiva da preservação, permitindo sua sustentabilidade para gerações futuras.

Referencias

- Amarante, O. A. C., Lima da Silva, F. J. y Rios Filho, L. G. (2003). *Potencial eólico do Estado do Rio Grande do Norte - Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento COSERN – ANEEL*. Iberdrola Empreendimentos do Brasil/Camargo Shubert. 47p.
- Amaral, R. F. (2000). *Contribuição ao estudo da evolução morfodinâmica do litoral oriental sul do Rio Grande do Norte*, entre Ponta de Búzios e Baía Formosa. Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Ciências, Universidade do Rio Grande do Sul.
- Barreto, A. M. F., Suguio, K., Bezerra, F. H. R., Tatumi, S. H., Yee, H. y Giannini, P. C. F., (2004). *Geologia e geomorfologia do quaternário costeiro do estado do Rio Grande do Norte*. Geologia USP, Série Científica, 4(2): 1-12.
- Branco, M. P. N. C., Lehugeur, L. G. O. y Campos, J. E. G. (2003). Proposta de classificação para as feições eólicas do setor leste da região metropolitana de Fortaleza, Ceará, Brasil. Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará. *Geociências*, 22(2): 162-174.
- Brandalize, M. C. B. (2004). *A qualidade cartográfica dos resultados do laserscanner aerotransportado*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Brasil. (2002). Ministério do Meio Ambiente. *Agenda 21*. Brasília, 2002.
- Carneiro, M. C. S. M. (2011). *Monitoramento das Dunas utilizando o Sistema de mapeamento a Laser (LIDAR) aerotransportável: Um Estudo a partir dos Movimentos das Dunas do Município Rio do Fogo – RN – Brasil*. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Centro de Tecnologia e Geociências / Programa de Pós-Graduação em Geociência. Área de Concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental. Recife, PE.
- Carneiro, M. C. S. M. (2003). *Tecnologias da geoinformação no monitoramento da erosão costeira: um estudo a partir de Olinda*. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Gestão e Políticas Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE- Brasil.

- Carter, R. W.G. (1988). *Coastal enviroment: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coast line*. Academic Press, London.
- Castro, J.W.A. (2001). *Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru, Ceará*. Tese (Doutorado em Geomorfologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Castro, J.W.A. (2004). Transporte de sedimentos e migração de dunas sobre o promotório de Paracuru: litoral setentrional do Nordeste brasileiro. *Boletim do Museu Nacional, Nova série. Geologia*, 72. Rio de Janeiro, Brasil, 617 p.
- Castro, J.W.A. y Alheiros, M. M. (1994). Diagnóstico de risco de erosão na praia de Boa Viagem, Recife, PE. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., Camburiú. *Atas...* SBG, Camburiú, 1: 505-508.
- Cunha, E, M. S. (2004). *Evolução atual do litoral de Natal – RN (Brasil) e suas aplicações à gestão integrada*. Tese de Doutorado. Universitat de Barcelona, Programa de Doctorado de Ciencias del Mar, Departament d'Ecologia, Departament d'Estratigrafia y Paleontologia. Barcelona, Espanha.
- Davidson-Arnott, R. G. D y Law, M. N. (1990). Seasonal patterns and control on sediment supply to coastal foredunes, Long Point, Lake Erie. In: Nordstrom, K. F.; Psuty, N.P.E.; Psuty, N.P. e Carter, R.W.G. *Coastal dunes: form and process*. J. Wiley, Chichester, cap. 9: 177-200.
- Diniz, R. F. y Dominguez, J. M. L. (1999). *Erosão costeira no litoral oriental do Rio Grande do Norte*. Congresso da Abequa, 7. Porto Seguro-BA. *Anais*: CD-ROOM.
- Duarte, M. I. M. (1995). *Mapeamento geológico e geofísico do litoral leste do Rio Grande do Norte: Grande Natal (Área I)*. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, CCE/UFRN, Natal.
- Duarte, R. X. (2002). *Caracterização morfo-sedimentológica e evolução de curto e médio-prazo das praias do Pina, Boa Viagem e Piedade, Recife/Jaboatão dos Guararapes-PE*. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Fracasso, P. (2005). *Sistemas de dunas do Parque das Dunas e Barreira do Inferno, Natal, RN: levantamento geológico/geofísico, elaboração do modelo determinístico e avaliação da vulnerabilidade/suscetibilidade frente às pressões antrópicas*. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação

- em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-Brasil.
- Giannini, P. C. F.. (2004). *Geologia e geomorfologia do Quaternário costeiro do estado do Rio Grande do Norte*. Geologia USP, São Paulo, 4(2), 1-12.
- Glennie, K. W. (1970). Desert sedimentary environments. Elsevier Pub. Co., Amsterdam, *Developments in Sedimentology*, 14, 222 p.
- Goldsmith, V. (1978). Coastal dunes. In: Davis, R. A. (ed). *Coastal sedimentary environments*. New York: Springer-Verlag, 171-235.
- Gregório, M. N. (2009). *Evolução da linha de costa e caracterização da plataforma continental interna adjacente à cidade do Recife – PE*. Tese (Doutorado em) – CTG, Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (1993). *Resolução No5, de 31 de março de 1993, que passou a complementar o capítulo II das especificações e normas para levantamentos geodésicos da R. PR-22/83, e que dispõe sobre Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS: versão preliminar*. Rio de Janeiro.
- Mabesoone, J. M. (1987). *Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, e do seu embasamento: Relatório interno*. UFPE, FINEP/PADCT, 66 p.
- Mabesoone, J. M., Silva, A. C. y Beurlen, K. (1972). Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geociências*, 2(3): 173-188.
- Maia, L. P. (1998). *Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza NE-Brasil: implicaciones para una gestión costera ordenada*. Tesis (Doctorado) Facultad de Geología, Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Manso, V. A. V., Coutinho, P. N., Guerra, N. C. y Soares Júnior, C. F. A. (2006). Pernambuco. In: Muehe, D. (org.), *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF: 179-196.
- McKee, E. D. (1983). Eolian sand bodies of the world. In: Brookfield, M. E. e Ahlbrandt, T. S. (eds.). *Eolian sediments and processes*. Elsevier Pub. Co., Amsterdam, *Developments in Sedimentology*, 38: 1-25.

- Muehe, D. (org.) (2006). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.
- Muehe, D. (2005). Geomorfologia costeira. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. da (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Muehe, D. (2001). O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: Guerra, A. *Geomorfologia do Brasil*. 2.ed., Editora Bertrand do Brasil, Rio de Janeiro, 273-337p.
- Nordstrom, K. F. (2010). *Recuperação de praias e dunas*. Tradução Silvalves. (Oficina de Textos). São Paulo, Brasil, 263 p.
- Prefeitura do Recife. Emlurb, (2003a). *Obras de proteção à praia de Boa Viagem: estudo de impacto ambiental - EIA*, Prefeitura da Cidade do Recife, Secretaria de Serviço Público.
- Prefeitura do Recife. Emlurb (2003b). *Obras de proteção à praia de Boa Viagem: relatório de impacto ambiental-RIMA*, Prefeitura da Cidade do Recife, Secretaria de Serviço Público.
- Pye, K. e Tsoar, H. (1990). Aeolian bedforms. *Aeolian sand and sand dunes*. Cambridge University Press, London, 152-220.
- Reineck, H. E. y Sing, I. B. (1980). *Depositional sedimentary environments*. Springer-Verlag, New York, 549 p.
- Reutebuch, E. S.; McGaughey, R. J.; Andersen, H. & Carson, W.W., (2003). Accuracy of a high-resolution lidar terrain model under a conifer forest canopy. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(5): 527-535.
- Rivas, R. A. N. y Brito, J. L. N. S. (2003). *A tecnologia laser scanning: uma alternativa para o mapeamento topográfico*. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 21., Belo Horizonte, MG. Anais... Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/227-SR25.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2010.
- Sherman, D. J. (1995). Problems of scale in the modeling and interpretation of coastal dunes. *Marine Geology*, 124, 339-349.
- Sherman, D. J. y Hotta, S. (1990). Aeolian sediment transport: theory and measurement. In: Nordstrom, K. F.; Psuty, N. P. e Carter, R. W. G. *Coastal dunes: form and process*. John Wiley. Chichester. cap. 2: p.17-37.
- Suguio, K. (2011). *Quaternário Costeiro do Nordeste Brasileiro*. Porto Alegre, v. 28, 2011.

- Suguio, K., Barreto, A. M. F., Bezerra, F. H. R. (2001). *Barra de Tabatinga and Touros Formations: evidence for pleistocene high sea level stillstands of the Rio Grande do Norte coast*. Pesquisa em Geociências, Porto Alegre, 28, 5 - 12.
- Suguio, K. (1980). *Rochas sedimentares: propriedades, gêneses, importância econômica*. São Paulo, Editora Edgar Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo. 500p.
- Short, A. D. y Hesp, P. A. (1982). Wave beach and dune interactions in southeastern Australia. *Marine Geology*, 48: 259-284.
- Silva, E. A. de J. (2002). *As dunas eólicas de Natal/RN: datação e evolução*. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação, 33 / PPGG. Natal- RN.

Caracterización Espectral y Detección de Flecha Seca en Palma Africana en Puntarenas, Costa Rica¹

Spectral Characterization and Detection of Bud Rot on Oil Palm in Puntarenas, Costa Rica

Rubén Martínez-Barbáchano²

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Gustavo Adolfo Solís-Miranda³

Universidad Nacional, Costa Rica

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.13>

RESUMEN

La agricultura de precisión en las últimas décadas ha visto notables avances técnicos que han permitido un mejor manejo de las explotaciones agrícolas, optimizando recursos e insumos aplicados. En el ámbito de la geomática, los sensores ópticos terrestres han permitido profundizar y ampliar el conocimiento del comportamiento espectral de los cultivos en estudio, con beneficios cada vez mayores en aplicación de tratamientos y prevención de enfermedades y/o plagas. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la palma africana (*Elaeis guineensis* jacq.) por medio de espectro-radiometría de campo, en plantas sanas y afectadas por la flecha seca. El estudio se efectuó entre marzo y mayo de 2016 en fincas de palma africana, ubicadas en Parrita de Puntarenas, Costa Rica. Se utilizó un sensor terrestre hiperespectral con un rango de longitud de onda abarcado de 325 a 1075 nanómetros (espectro visible e infrarrojo cercano). En general, las plantas en condición

1 Este trabajo formó parte del Trabajo Final de Graduación de ambos para optar por el grado de Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Universidad de Costa Rica / Universidad Nacional de Costa Rica.

2 Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Correo electrónico: ruben.martinezbarbachano@ucr.ac.cr

3 Universidad de Costa Rica - Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: gasolism@gmail.com

Fecha de recepción: 7 de diciembre de 2017

Fecha de aceptación: 19 de marzo de 2018

fitosanitaria sana, que además tuvieron un tratamiento de “fertilización+riego”, presentaron las curvas de reflectividad más elevadas, en torno a un 0,7%. La influencia por flecha seca en la curva de reflectancia de las plantas tuvo un mayor peso, en la mayoría de los casos, que el tipo de tratamiento al que están sometidas. Se confirma así la posibilidad de detectar la patología de flecha seca mediante espectroscopía de reflectancia en condiciones de trabajo de campo, objetivo principal de la presente investigación.

Palabras clave: Espectroscopía, teledetección, infrarrojo, reflectancia

ABSTRACT

During the last decades, precision agriculture has observed significant technical progress that has permitted better management of farming, optimizing resources and applied inputs. Within the scope of geomatics, land optical sensors have allowed to expand and increase knowledge on the spectral behavior of the crops under study, providing increased benefits in the application of treatments and pest or disease prevention. The objective of this work was to characterize the African oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.), by means of field radiometry-spectrum, in healthy plants, as well as in plants affected by bud rot. The study was conducted between March and May 2016 in African oil palm farms in Parrita, Puntarenas, Costa Rica. A hyperspectral land sensor, with a 325-1075 nm wavelength range (visible and near-infrared spectrum), was used. In general, plants in healthy phytosanitary condition, which also had a treatment of “fertilization+irrigation”, presented the highest reflectivity curves: around 0.7%. The bud rot influence in the reflectance curve of the plants had, in most cases, a greater weight than the type of treatment to which they are subjected. It thus confirms the possibility of detecting the bud rot pathology through reflectance spectroscopy in conditions of field work, the main goal of this research.

Keywords: Spectroscopy, near infrared, reflectance, land optical sensors.

Introducción

Los sensores remotos y la teledetección aplicados a la gestión de los recursos naturales y el ordenamiento territorial, se sirven de la respuesta obtenida en el espectro electromagnético de las diferentes coberturas (cultivos en este caso). Enfermedades y plagas generan estrés fisiológico y cambios físicos en los cultivos. Dichos cambios producen alteraciones en las propiedades reflectantes del cultivo, observables en su firma espectral. Se trata de una técnica utilizada desde hace mucho tiempo en diferentes campos de la química, para caracterizar las propiedades de diferentes tipos de muestras. Las ventajas demostradas en los últimos años no solamente se relacionan con la precisión de sus determinaciones, sino también con la rapidez en que se hacen (Bloemberger et al., 2007).

La palma africana (*Elaeis guineensis*) es probablemente el cultivo más importante en la Zona Sur del Pacífico de Costa Rica. Genera más de 8000 empleos directos permanentes durante todo el año, además de unos 31 000 indirectos. La vigilancia y el control de plagas que afectan a esta

especie de elevado interés agronómico ha motivado el planteamiento de estrategias técnicas y de coordinación para un manejo integrado del cultivo (MAG, 2007). La “Flecha Seca” o pudrición del cogollo, es una enfermedad que está afectando severamente a la producción de este cultivo, y que ha motivado la aparición de propuestas metodológicas de estudio y prevención de dicha patología, evaluando diversas prácticas agronómicas para mejorar el control sobre la misma.

La pudrición de la flecha y del cogollo son conocidos en Colombia, en el Ecuador (tanto en la vertiente pacífica como en la parte amazónica), en el Perú, en Brasil y en el Pacífico Central y Sur de Costa Rica. El problema se planteó por primera vez en gran escala en 1967, en una plantación comercial en Turbo, en Colombia.

El amarillamiento y el secamiento ocasionado por la flecha son imperceptibles, y en cuanto aparecen estos primeros síntomas de clorosis, la base de las hojas muy jóvenes ya está podrida e invadida por larvas de insectos, bajando profundamente esta pudrición hasta el meristemo, como se aprecia en la figura 1 (Quesada, 2010).

Figura 1. Ejemplar de palma africana (*Elaeis guineensis*) severamente afectada por flecha seca en Parrita, Puntarenas, Costa Rica.



Fuente: Quesada, 2010.

A consecuencia de esta pudrición, una o varias flechas se doblan. En estados avanzados, la pudrición se extiende al meristema apical, bases peciolares y primordios florales (Rivas-Figueroa, 2015).

Los diferentes tipos de cultivo presentan una firma espectral típica, relacionada con características como la fisiología, la estructura del cultivo (geometría) o el tratamiento al que está sometido, entre otras. La proporción de luz incidente que es reflejada, absorbida o transmitida depende de las características de la cobertura del suelo y de la longitud de onda. La firma espectral de un cultivo está condicionada por la presencia de pigmentos, la estructura de la hoja y su contenido en humedad. (Chuvienco-Salinero, 2010)

La espectro-radiometría de campo es básicamente una estimación cuantitativa o medida de radiancia, irradiancia o reflectividad en el campo, es decir, en condiciones de iluminación natural. El desarrollo de esta técnica ha estado muy ligado al de las plataformas aeroespaciales. Es a partir de las décadas de 1960 y 1970, cuando estas tecnologías cobran mayor relevancia, especialmente, cuando se percibe la importancia de obtener medidas precisas en la región del SWIR (infrarrojo medio de onda corta) entre 1100 y 2400 nanómetros, debido a que se descubrió todo el potencial que estas longitudes de onda tenían en el campo de las aplicaciones geológicas (Goetz, Vane, Solomon, Rock, 1985)

El papel que la espectro-radiometría juega en el campo de los sensores remotos viene dado por la ayuda que brinda a la hora de cubrir ciertas limitaciones habituales en teledetección, como son:

- La resolución espectral; ya que en espectroscopía se puede elegir la anchura y localización óptima de las bandas para detectar y caracterizar un objeto o cubierta determinada.
- La resolución espacial requerida para el estudio del fenómeno, ya que se pueden escoger las dimensiones de la superficie o cubierta muestreada.
- Mejor período del año y momento del día para analizar una variable.
- Cuál es la variabilidad espacial y espectral de un objeto o cubierta.

La base fundamental de la espectroscopía es que la radiación sufre modificaciones observables y medibles al interactuar con determinadas coberturas, lo cual depende de su composición química y de sus atributos

físicos/estructurales. Respecto a la composición química, se afirma que la luz incidente en los objetos causa vibración en las moléculas, las cuales absorben energía asociada a una longitud de onda determinada, y refleja otras. Así, se puede estimar la cantidad de unas y otras moléculas (absorbidas, transmitidas o reflejadas) presentes en el objeto o muestra (Botero, 2009).

La espectroscopía de reflectancia proporciona un método alternativo a los análisis de vegetación y suelos, con un elevado número de investigaciones desarrolladas en este campo. Existen estudios que han determinado el contenido de carbono orgánico en el suelo, encontrando, que los espectrómetros de laboratorio y portátiles de campo presentan precisiones similares cuando las condiciones de campo son de poca variabilidad (rugosidad, humedad superficial del suelo y ausencia de vegetación), mientras que los sensores aéreos no presentan condiciones aceptables de precisión en la determinación de este parámetro. Se ha verificado que los sensores espectrales de laboratorio y campo dan estimaciones con precisiones similares a las que brindan los análisis de laboratorio de rutina como el método de Walkley y Black. De hecho, ya se han montado sensores de este tipo sobre tractores como insumo para procesos de agricultura de precisión, y para el mapeo de diferentes características de suelo y cultivos (Stevens et al., 1990).

La reflexión es la forma más importante de la teledetección, y se deriva directamente de la luz solar, principal fuente de iluminación del planeta. El sol ilumina la superficie terrestre y ésta refleja esa energía en función del tipo de cubierta presente sobre ella. Posteriormente, este flujo de energía reflejado es recogido por el sensor, pero entre la superficie y el sensor se interpone la atmósfera que dispersa y absorbe parte de la energía original (Campbell, 2002).

La radiación infrarroja, que comprende el rango del espectro electromagnético entre 780 nm y 2500 nanómetros, fue descubierta por Friedric Wilhelm Herschel en el año 1800. La primera vez que se utilizó espectroscopía de Infrarrojo Cercano fue en la agricultura, en 1964, para determinar el contenido de humedad de los cereales, desde entonces se viene utilizando en la determinación de humedad, proteína y grasa, cantidad de sólidos solubles y cantidad de materia seca en diversos alimentos y productos agrícolas, y más recientemente, con sensores ópticos terrestres. En un principio, se utilizaron para que la aplicación del nitrógeno en cereales se realizase de una manera más racional y eficiente. En las grandes extensiones de cereal de

algunos países, uno de los factores más importantes en la producción es el aporte de nitrógeno, tanto por su correlación directa con la cantidad producida, como por su elevado precio (Botero, 2009).

En el espectro visible (es decir, en el azul/verde/rojo) el comportamiento diferencial de los objetos en distintas longitudes de onda da lugar al color. Por ejemplo, un color azul es así porque refleja una elevada cantidad de energía en esa banda del espectro, y poca en el resto de bandas. O, dicho de otro modo, si absorbe o transmite escasa energía incidente en esa longitud de onda refleja una elevada cantidad en el azul (de 420 a 520 nm) por lo cual, el color observado es azul (Chuvieco-Salineró, 2010).

A partir de medidas de laboratorio, se han podido elaborar curvas de reflectividad espectral para las principales cubiertas terrestres. Algunas de estas tienden a presentar una respuesta uniforme en diferentes longitudes de onda, mientras que otras ofrecen un comportamiento más selectivo (Chuvieco-Salineró, 2010):

- El agua absorbe la mayor parte de la energía que recibe, y este porcentaje es mayor cuanto mayor es la longitud de onda (cuanto más absorbe, menos refleja).
- La vegetación es un caso particular, pues tiene un comportamiento muy cromático. Posee valores bajos de reflectividad en el espectro visible (de 0,4 a 0,7 μm), pero suben en el infrarrojo próximo, y vuelven a decrecer en torno al infrarrojo medio.

Junto a esto, que se denominan firmas espectrales, hay que tomar en cuenta que el flujo de energía que recibe el sensor va a depender no solo de la receptividad del mismo, sino de factores externos como:

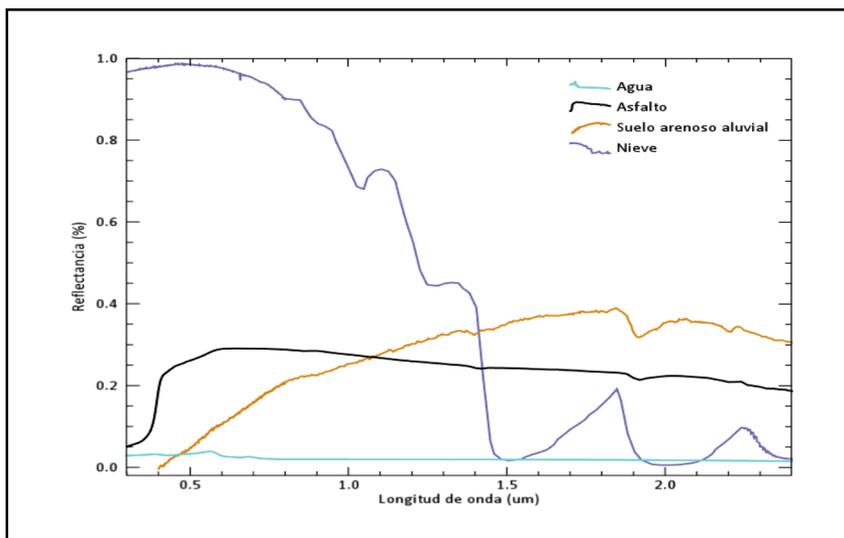
- Las condiciones atmosféricas que afectan la energía que absorben las nubes y la dispersión selectiva en algunas longitudes de onda.
- Tipo de sustrato, fundamentalmente litológico o edáfico, sobre el cual se está observando.
- Geometría de la observación (fundamentalmente rugosidad y textura de la cubierta observada).
- Modificación que el relieve introduce en el ángulo de observación (orientación de laderas y pendientes).

En cualquier caso, el ángulo de elevación del sol y el de observación desempeñarán un papel destacado en la respuesta, finalmente, obtenida por el sensor. Esto significa que un mismo sensor puede recibir valores diferentes de radiancia espectral para una misma cubierta si varían las condiciones de observación o iluminación. De hecho, el comportamiento de una cubierta en el espectro visible está definido no solo por sus características intrínsecas, sino también por factores externos:

- Ángulo de iluminación solar, que dependerá de la fecha del año.
- Modificación que el relieve introduce en el ángulo de observación (orientación de laderas y pendientes).
- Influencia de la atmósfera, principalmente, en energía que absorben las nubes y dispersión selectiva en algunas longitudes de onda (Figura 2).
- Variaciones medioambientales de la cubierta observada (estación o época para la vegetación, grado de homogeneidad de las masas, etc.).
- Naturaleza del sustrato sobre el cual se está observando.

Por tanto, en torno a un comportamiento tipo de una determinada cubierta terrestre (o signatura espectral) existe una cierta variabilidad, que depende de los factores externos anteriormente citados. La reflectividad del suelo desnudo, no obstante, presenta notables diferencias, especialmente entre suelos secos (como el asfalto) y húmedos (aluviales) como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Signaturas espectrales de cuatro cubiertas habituales en Teledetección.



Fuente: Biblioteca espectral del USGS. Spectral Signatures for four common cover types in remote sensing. Source: USGS spectral library.

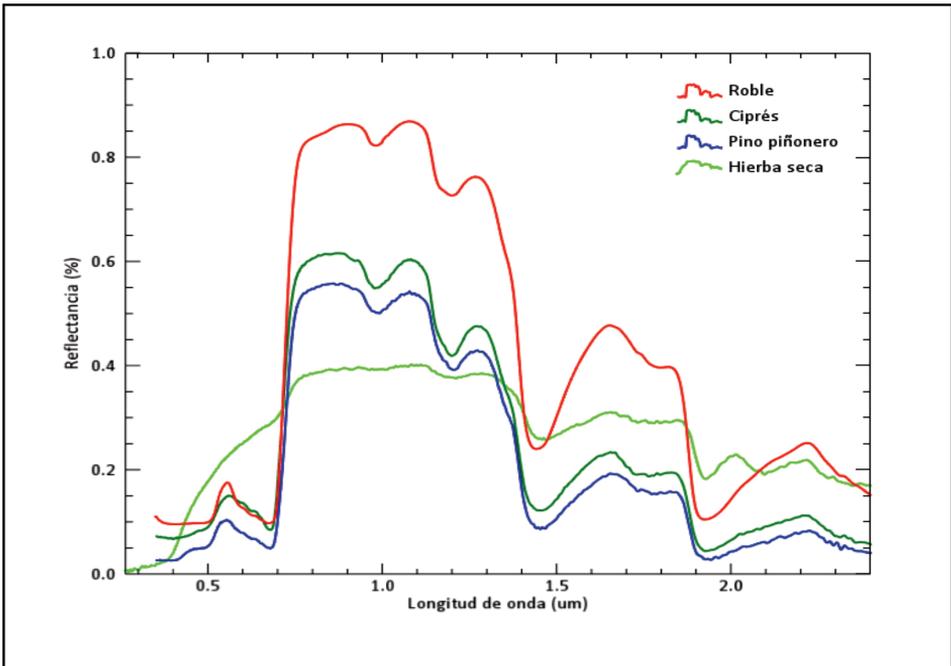
El agua por su parte solo refleja la gama de luz visible del espectro, con una muy escasa reflectancia en el infrarrojo, lo cual permite discriminar fácilmente ésta cubierta de otras superficies, como se observa en la Figura 2.

Con respecto a la vegetación, hay que considerar la propiedad reflectiva de las hojas, que varía en función de la forma de las mismas, su contenido en humedad y el estado fenológico. También hay que considerar las características morfológicas/morfométricas de la planta, como su altura, porte y grado de recubrimiento o densidad. Otro factor es la propia situación topográfica en el entorno de la planta o de la vegetación a estudiar (pendiente, orientación, etc.).

Al tomar en cuenta todos estos factores, el comportamiento típico de la vegetación vigorosa muestra una baja reflectividad en el espectro visible, con un máximo relativo en torno a los 0,55 µm, que es lo que permite percibir la vegetación de color verde. La vegetación sana en el infrarrojo cercano presenta una alta reflectividad, que desciende paulatinamente hacia el infrarrojo medio. (Mather, 2004). Este comportamiento

de la vegetación se relaciona con los pigmentos presentes en las hojas, la estructura del mesófilo, y la cantidad de agua almacenada en las mismas. Todos los pigmentos absorben en la banda del espectro en torno a 0,45 μm , mientras que uno de ellos presenta una segunda banda de absorción en torno a 0,64 μm . (Chuvieco-Salineró, 2010). Entre ambas bandas existe un sector en el cual el efecto absorbente de los pigmentos es menor, y mayor la reflectividad. Dicha banda se corresponde con el verde, y la responsable de ello es la clorofila. Se trata de una característica común a cualquier cubierta vegetal, no obstante, existen diferencias (Mather, 2004). Por ejemplo, a partir de 0,7 μm las coníferas (pinos y cipreses) tienden a presentar una reflectividad menor que las especies de hoja caduca (robles) como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Curvas de reflectividad de varios tipos de vegetación.



Fuente: Biblioteca espectral del USGS. Spectral reflectance curves of some vegetation types. Source: USGS spectral library.

En lo relativo al incremento de la reflectividad en el infrarrojo cercano, parece que se debe a la estructura interna celular de la hoja, que ejerce una elevada influencia. Existe una capa esponjosa en el interior de la hoja, con cavidades que dispersan la mayor parte de la energía incidente en la banda del espectro electromagnético que coincide con el infrarrojo cercano. Por esta razón, en cualquier hoja sana se tendrá una alta o muy alta reflectividad en el infrarrojo cercano, pero muy baja reflectividad en el espectro visible. A partir de 1,4 μm se hace patente el efecto absorbente del agua, por lo que la reflectividad de la vegetación sana se reduce drásticamente en el infrarrojo medio (Chuvieco-Salineró, 2010).

De todo ello, se deduce que el contraste más nítido en la reflectividad espectral de la vegetación sana se produce entre las bandas visibles (muy especialmente el rojo) y el infrarrojo cercano. Se podría por ello enunciar como principio general que a mayor contraste entre dichas bandas (rojo e infrarrojo cercano) mayor será el vigor de la masa vegetal observada, y, por tanto, más fácil será discriminar ésta de otras cubiertas presentes en el mismo lugar (Figura 3). Este principio sirve para construir los Índices de Vegetación (Chuvieco-Salineró, 2010).

Cualquier estrés presente en la vegetación se manifestará en un comportamiento espectral diferente del descrito (descenso del contraste entre rojo e infrarrojo cercano). En el caso de que la hoja esté en estado de senescencia (a punto de caer) pierde clorofila, y por tanto ofrece mayor reflectividad entre las bandas del azul y el rojo (por eso se torna amarilla). Además, cuando la hoja es ya senescente, su estructura celular interna se deteriora, y por ello da una reflectividad más baja en el infrarrojo cercano.

Las deficiencias nutricionales y otras patologías en Palma africana (*Elaeis guineensis*) han sido estudiadas mediante espectrómetros, a nivel de copa o de hoja, demostrando su utilidad en la detección de infecciones por hongos del género *Ganoderma* sp. (Jayaselan et al., 2017).

La presente investigación pretende establecer una base metodológica de obtención de firmas espectrales en campo en el cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis*), para identificar diferentes tipos de tratamiento y patologías como la flecha seca. Se trabaja para ello en las longitudes de onda propias de los estudios de vegetación mediante espectroscopía, dentro del rango que permite el dispositivo FieldSpec® HandHeld 2 de la compañía ASD Inc., que varía, entre 325 y 1075 nanómetros (espectro visible e infrarrojo cercano).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar espectralmente la palma africana (*Elaeis guineensis jacq.*) por medio de espectro-radiometría de campo, en plantas sanas y afectadas por la flecha seca.

Materiales y métodos

Se caracterizó, mediante espectro-radiometría de campo, la respuesta espectral de plantas de tres años de palma africana en fincas experimentales bajo tres condiciones fitosanitarias; niveles de afectación por flecha seca 1 (nivel de afectación leve), 2 (nivel de afectación media) y 3 (nivel de afectación alta). Además, se comparó la respuesta espectral en estado fitosanitario óptimo (sano), o en condición de estrés hídrico. Con base en estos tratamientos, se determinará si existen diferencias en el comportamiento espectral de la planta de palma africana.

La magnitud o parámetro fundamental que sustenta el presente estudio es la reflectancia. Las mediciones de reflectancia se hacen generalmente usando la radiancia, irradiancia o una combinación de ambas. El presente estudio se desarrolló en condiciones de trabajo de campo, y, por tanto, utilizando la radiancia solar para medir reflectancia de una cubierta vegetal, en este caso las hojas de palma africana (*Elaeis guineensis*) en un cultivo experimental bajo condiciones de manejo controladas.

Se utilizó un reflector lambertiano en las mediciones de *iluminación incidente*, dependiente de la radiación solar. El uso de un reflector (generalmente llamado panel de referencia o espectralón) proporciona una correcta estimación de la irradiancia incidente en la superficie muestreada. Dado que la radiancia reflejada por el panel es muy próxima al total de energía incidente en la muestra, dicha lectura es usada en el denominador de la reflectancia, en lugar de la irradiancia. Es decir:

$$\text{Reflectancia} = \frac{\text{energía reflejada por la superficie por reflexión}}{\text{energía incidente en la superficie}}$$

El panel blanco de referencia fue ubicado cerca de los objetos a muestrear (foliolos) y orientado para recibir toda la iluminación incidente; al mismo tiempo, se evitó proyectar cualquier tipo de sombra sobre el panel, así como la posible luz reflejada de objetos circundantes. Utilizando el sol como fuente de iluminación, se colocó el panel blanco de referencia

junto a las muestras medidas y se calibró con cada muestra para que las curvas de reflectancia obtenidas fueran coherentes con la intensidad lumínica del momento de medición.

El panel de referencia ve caer el mismo flujo energético (irradiancia) en su superficie, que el elemento muestreado, y refleja la mayor parte de dicha energía como radiancia. Como usuarios del espectro-radiómetro se puede recoger radiancia del panel directamente, así como radiancia del elemento o superficie muestreada (foliolo de hoja, en este caso). Ello permite el cálculo de reflectancia (de 0 a 1), eliminando el requerimiento de realizar calibraciones radiométricas, propio de las imágenes satelitales.

Para la obtención de firmas espectrales, se midieron 29 plantas de palma africana, de las cuales se obtuvieron aproximadamente veinte foliolos por muestra, cortados de las hojas del dosel (entre las hojas número 1 y 4) que son las más expuestas a la radiación solar, considerando los siguientes criterios:

- Por el tratamiento al que está sometida la plantación. Las mediciones se realizaron sobre cuatro tipos de ensayos diferentes, dentro del bloque de la plantación de palma africana; los bloques de tratamiento fueron los siguientes:
 - Bloque “control”, que se refiere al tratamiento del suelo, que en este caso no incluye ningún tipo de tratamiento edáfico.
 - Bloque “control + rastra”, se refiere a prácticas de arado superficial que contribuyen a una cierta oxigenación y descompactación del suelo.
 - Bloque “fertilización + riego”, que hace referencia a suelo con fertilización orgánica (deshechos vegetales de poda de la propia palma) y riego.
 - Bloque “fertilización” incluye solo fertilización orgánica de suelo como la del caso anterior, pero sin riego.

- Por estado fitosanitario, dado por el criterio agronómico de un especialista del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, que efectúa una evaluación visual del grado de afectación por flecha seca. Los niveles de afectación leve, media o

alta se pueden establecer de acuerdo a la presencia de síntomas iniciales (leve) como deshidratación y clorosis, epinastis (amplitud del ángulo de inserción foliar) que indicaría afectación media y, finalmente, necrosis profunda y generalizada, con síntomas como quemazón de los folíolos de las hojas jóvenes, clorosis y epinastis que indicaría afectación grave (Nieto-Páez, 1996).

Por todo ello, cada firma espectral obtenida es representativa de la particular condición de cada planta, desde el punto de vista fitosanitario, de tratamiento, desarrollo y otros factores (ambientales y edáficos).

Para validar la metodología adoptada se utilizó la herramienta de “leaf clip” o sonda vegetal, con el objetivo de cuantificar y valorar cómo afecta el corte del foliolo a la respuesta reflectiva del mismo. Se obtuvieron dieciséis firmas espectrales de un foliolo de plántula de palma africana durante quince minutos con mediciones cada minuto.

Los datos de reflectancia que se obtuvieron con el sensor óptico terrestre se descargaron e integraron en forma de firmas con el software específico de la compañía ASD ViewSpecPro, que permite graficar los muestreos.

La gran ventaja de este tipo de dispositivos es la sencillez respecto de los factores a tener en cuenta previamente a su uso, comparado con el de las imágenes de satélite. No se requiere, por ejemplo, de complejas correcciones atmosféricas basadas en modelos de transferencia radiativa, ya que se mide directamente en el terreno.

Área geográfica de estudio

Con respecto al contexto geográfico, el mejor desempeño del cultivo en Costa Rica se ha observado en zonas con un clima tropical húmedo, con una precipitación anual entre 2500 y 3500 mm bien distribuidos, sin una estación seca bien definida (precipitación mínima por mes de 125 mm). La temperatura media necesaria está en los ámbitos entre 25 y 27 °C, con una máxima promedio de 29-33 °C, y una mínima promedio de 22-24 °C.

El clima del Pacífico Central presenta cuatro meses de estación seca, cuya precipitación es inferior a los requerimientos de la palma (menos de 199 mm/mes) y cuatro meses en los que la precipitación es excesiva (más de 400 mm/mes, durante los meses de julio a octubre). Por lo tanto, en esta región para la producción comercial de palma se requiere contar con

un buen sistema de avenamiento, para mantener la tabla de agua entre 1,5 m a 3 m bajo la superficie del suelo y hacer riegos suplementarios en los meses más secos.

El trabajo se realizó en la finca experimental de la cooperativa Coopecalifornia, a nombre de Cooperativa de Producción de palma africana California R. L., ubicada en la provincia de Puntarenas (6), cantón de Parrita (9), distrito Parrita (1), cuya área correspondiente es de seis hectáreas. Se aporta a su vez, la imagen de la distribución de las plantas de palma africana dentro de la finca en estudio, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Ubicación de las 29 Palmas Africanas seleccionadas y medidas en campo en Parrita, Puntarenas, Costa Rica.



Fuente: Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR.

Mediciones en campo.

Las mediciones de campo se efectuaron durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo de 2016. Las muestras se toman entre las 8:00 y 12:00 a.m., en condiciones de cielo despejado y un rango de temperaturas

entre los 30 - 35 °C durante las tres mediciones. Todos los individuos de la plantación objeto de estudio poseen una numeración por bloque de tratamiento, y además están georreferenciadas con coordenadas UTM en la proyección oficial de Costa Rica, CRTM05.

Dada la altura de las plantas de palma, superior a los dos metros en la mayoría de los casos, no se pudieron utilizar las técnicas no invasivas propias de la teledetección, que hubieran requerido de una grúa u otro soporte móvil para medir el dosel a cierta altura. Por ello, la obtención de firmas espectrales en hoja se realizó mediante la corta selectiva de los foliolos de las hojas en campo y su posterior colocación en horizontal sobre el suelo, bajo condiciones homogéneas de medición (entre 15 y 20 cm de distancia de los foliolos) con el espectro-radiómetro ASD HandHeld 2 (Figura 5).

Figura 5. Obtención de la firma espectral de Palma africana (*Elaeis guineensis*) a una distancia aproximada de 15 cm, en Parrita, Puntarenas, Costa Rica.



Se midieron los folíolos cortados en el haz, y se utilizó un plástico de color negro colocado por debajo de las muestras con dimensiones de 1 x 1 m, para evitar la contribución de la radiación de cualquier otro tipo de cubierta (suelo), como se muestra en la Figura 5 y 6A. Igualmente, se trabajó con vestimenta de color oscuro para evitar dicha contribución a la reflectancia, que posteriormente, sería difícilmente separable de la señal propia de la cubierta. Con todo ello, se aseguró que la superficie que quedó por debajo de los folíolos era absorbente en todas las longitudes de onda cubiertas por el espectro-radiómetro. Se seleccionaron sistemáticamente veinticinco folíolos de la parte intermedia de la tercera hoja bien formada del ápice hacia la parte baja de cada rama, debido a las características nutricionales de dicha hoja y a su posición perpendicular a la radiación solar. Por otra parte, la medición de la respuesta espectral de los folíolos se realizó inmediatamente después del corte, para evitar la pérdida de humedad del folíolo que provocaría marchitez, y por tanto una disminución de la reflectividad en el infrarrojo cercano (Figura 5).

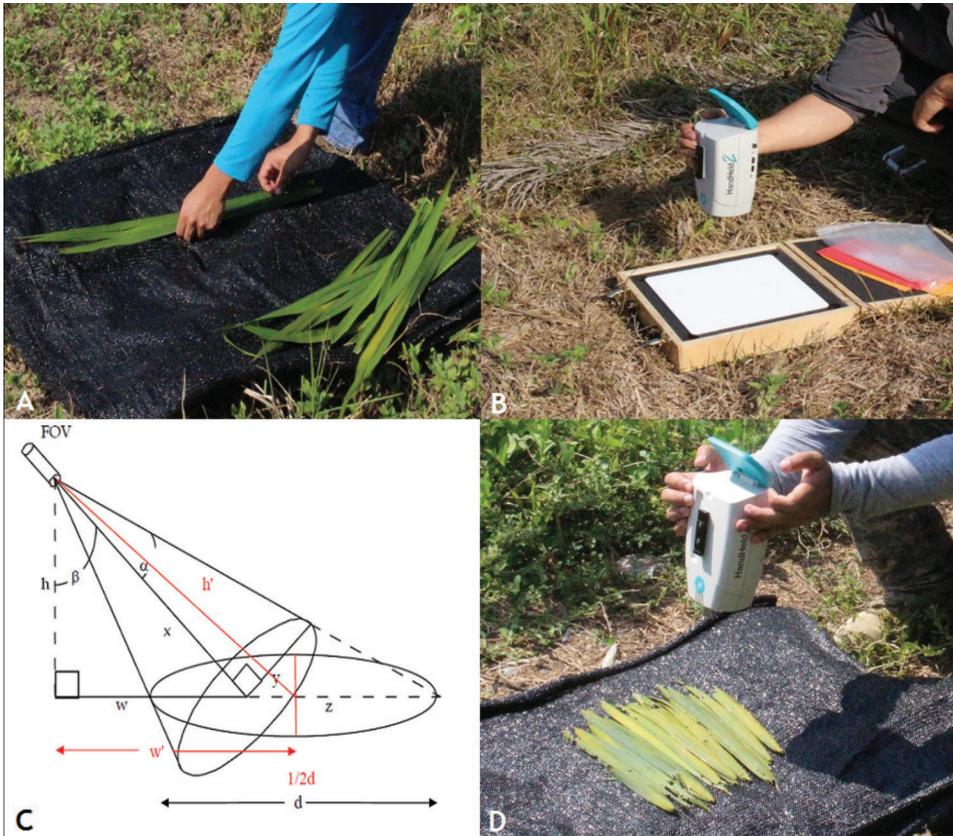
Figura 6. A. Corte y colocación de los foliolos de palma en el zarán en Parrita, Puntarenas, Costa Rica.

B. Calibración y optimización de dispositivo en Parrita, Costa Rica.

C. Relación entre superficie y ángulo de observación según el fabricante.

Fuente: Manual de usuario del FieldSpec HandHeld 2 de ASD.

D. Obtención de firma espectral con el dispositivo en Parrita, Costa Rica.



Antes de cada medición se requirió de un proceso de optimización lumínica y calibración a blanco de máxima reflectancia con el espectroradiómetro (proceso descrito anteriormente) como paso previo a la obtención de la respectiva curva de reflectancia (Figura 6B).

Se realizó una comparación del comportamiento de la curva de reflectancia de los foliolos cortados con respecto a mediciones en hoja sin cortar y en hoja muerta.

Con respecto a la geometría de observación del sensor, se trata de un parámetro dependiente de las indicaciones del fabricante. Según éste, la distancia entre el sensor y la planta se establece en función del FOV (Field of View, o campo de visión), dependiendo de la superficie foliar que determinó la distancia de medición (Figura 6C). Como criterio general se asumió que las mediciones tendrían un ángulo próximo a los 0 grados, en cuyo caso el campo de visión debe ser el doble de la distancia al objeto medido, que en este caso es la superficie abarcada por los foliolos. Es decir, aproximadamente 15-20 cm de distancia al objeto (Figura 6D).

No se acometió un muestreo aleatorio, sino que se siguió un criterio por grados de afectación por flecha seca en planta y por el tipo de tratamiento al que fueron sometidas. En marzo de 2016, se obtuvieron catorce firmas espectrales de los tratamientos “fertilización + riego”, “control” y “control+rastra”. En abril del 2016, se obtuvieron siete firmas espectrales de los tratamientos “fertilización”, “fertilización+riego” y “control”. Finalmente, en mayo de 2016, ocho firmas espectrales de los tratamientos “fertilización”, “control+rastra” y “fertilización+riego” con la distribución espacial mostrada en la Figura 4.

Limitaciones

Las limitaciones del proyecto son de tipo técnico, logístico y ambiental:

- Las firmas espectrales obtenidas tienen el ruido propio de las mediciones en campo, como los picos de absorción del agua, que se incrementan por la elevada humedad atmosférica propia de la zona intertropical.
- La electrónica del sensor (sensibilidad, tiempo de integración, etc.) provoca que el trabajo quede condicionado por la muy escasa durabilidad de las baterías (cuatro pilas alcalinas AA).
- Las limitaciones ambientales se refieren a las condiciones atmosféricas en el momento de los muestreos de campo; cobertura nubosa, lluvias, estado fenológico de la vegetación, hora del día (ángulo solar) y condiciones locales son factores condicionantes de la firma espectral resultante.

Recursos técnicos

Al ser utilizado como un sensor pasivo, el sensor óptico terrestre utiliza la radiación solar reflejada por la cubierta (foliolo de hoja de palma) en el espectro visible e infrarrojo cercano. Por lo tanto, influyen las condiciones atmosféricas y de iluminación del momento de la obtención de la firma espectral. El fabricante no aconseja su uso en condiciones de alta cobertura nubosa.

El SOT que se va a utilizar para el presente estudio va a ser un radiómetro de campo de la compañía ASD (ver figura 7) con manejo integrado y las siguientes características técnicas:

- Rango 325 nm – 1075 nm.
- Velocidad de integración variable.
- Ordenador y teclado integrados. Pantalla VGA color.
- Peso 1,3 kg.
- Memoria interna más de 20 000 espectros.
- Conectividad: 2 puerto USB; 1 puerto mini USB.
- Software propio ara post proceso (RS3 y ViewSpec).
- Accesorios y calibraciones.

Figura 7. Radiómetro de campo “FieldSpec HandHeld 2” de ASD.



Fuente: Manual de Usuario - FieldSpec® HandHeld 2.

Se dispuso de un panel blanco de referencia o espectralón, una pieza fundamental en espectroscopía de campo, ya que permite calibrar el

espectro-radiómetro a las condiciones lumínicas del momento de medición. El espectralón es una pieza elaborada en material blanco de politetrafluoroetileno, reflectante en un 99%, tiene un certificado de calibración vigente.

También se obtuvieron firmas espectrales con el empleo de este dispositivo como un sensor activo, mediante el accesorio “Leaf Clip” o sonda de planta que tiene su propia fuente de energía (lámpara halógena de baja intensidad; 6,5 W) y recoge la respuesta espectral de una hoja a través de un cable de fibra óptica, como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Leaf Clip o sonda de planta del FieldSpec HandHeld 2” de ASD.



Fuente: Manual de Usuario - FieldSpec® HandHeld 2.

La utilización de un sensor óptico terrestre ha demostrado su versatilidad en la detección del estrés hídrico y su relación con la calidad del fruto en determinadas especies cultivadas, como el olivo (*olea europaea*) o el melocotonero (*prunus persica*), “a través de la medición de la reflectancia a nivel de hoja y su relación con el estrés a nivel de copa” (Suárez et al., 2009).

Resultados

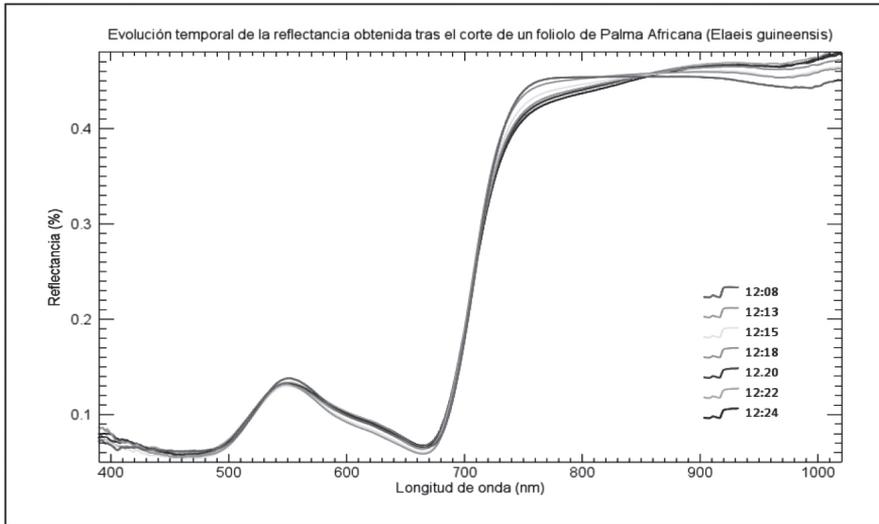
Datos obtenidos en campo

Previamente a las mediciones en campo, se obtuvieron firmas espectrales de un mismo foliolo cada tres minutos, aproximadamente, en

un lapso de dieciséis minutos desde el instante del corte hasta la última medición, con objeto de registrar el efecto fisiológico que el corte tiene en la evolución de la reflectancia del foliolo.

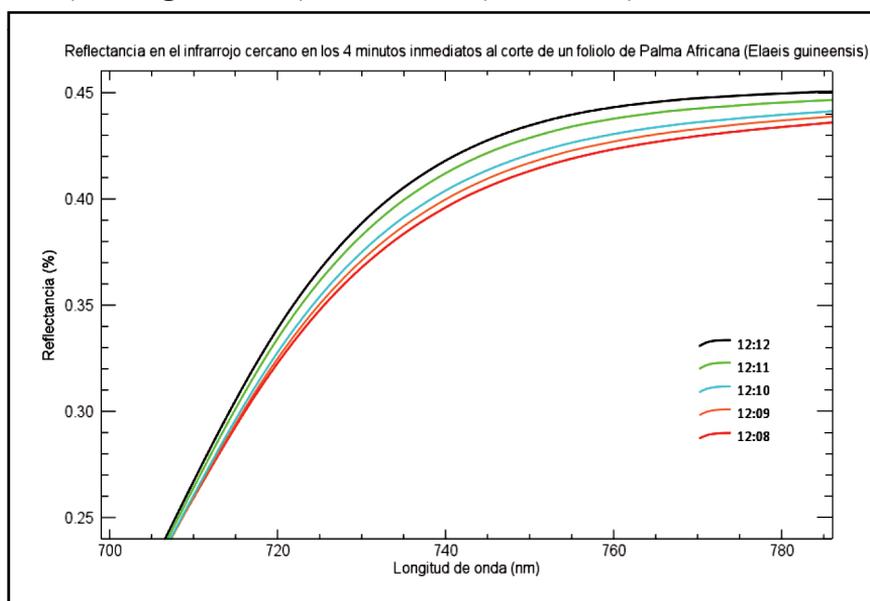
La Figura 9 muestra el efecto que el corte del foliolo produce desde el punto de vista fisiológico y de la respuesta en la curva de reflectancia. Como era previsible, tomando en cuenta la pérdida de humedad como consecuencia del corte, la reflectividad descende entre 700 y 850 nanómetros, pero lo hace tan sólo un 0,05% durante el lapso de 16 minutos desde el momento del corte (efectuado a las 12:08) hasta la última medición (efectuado a las 12:24). La imagen citada ilustra lo expuesto, con un descenso lento pero constante en la reflectividad, con el paso del tiempo, desde el instante del corte y separación del foliolo. Resulta evidente, en este sentido, que la deshidratación de la hoja (a partir de 700 nanómetros) es más rápida que la pérdida de clorofila en el espectro visible (entre 500 y 600 nanómetros). Por otra parte, se observó un incremento de la reflectancia entre 700 y 790 nanómetros (infrarrojo más cercano) en las firmas obtenidas durante los primeros cuatro minutos desde el instante del corte del foliolo.

Figura 9. Evolución temporal de la reflectancia obtenida con sonda vegetal tras el corte de un foliolo de palma africana (*Elaeis guineensis*). Puntarenas (Costa Rica) abril de 2016.



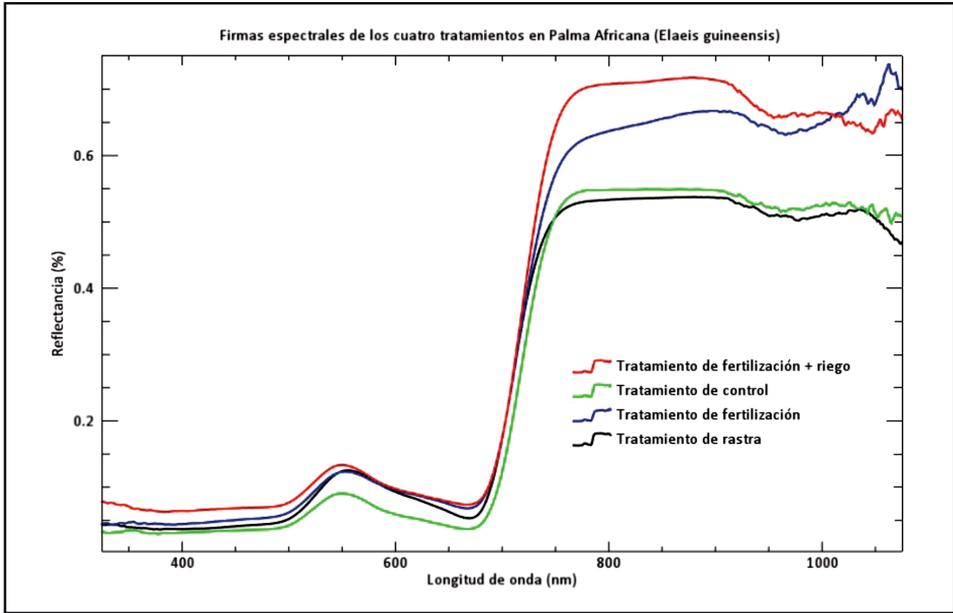
A partir de los 850 nanómetros de longitud de onda, se produce una reacción fisiológica no esperada en los folíolos recién cortados, ya que en los instantes inmediatos al corte, la reflectividad en lugar de descender (cosa que hace a partir de los cuatro minutos) se incrementa muy levemente (Figura 10). Esta mayor reflectividad proporcional al paso del tiempo en los primeros tres o cuatro minutos, probablemente corresponde al calentamiento de la hoja como consecuencia del cierre estomático, lo cual impide la pérdida de energía en forma de calor latente. Ello podría ser una respuesta defensiva de la planta, ya que se comprobó la misma respuesta en otras especies. Dicho experimento sirvió para validar la metodología de corte de folíolos en hoja de palma, ya que la esperable deshidratación y su consiguiente reflejo en la firma espectral no se producen hasta pasados cinco minutos después del corte, a pesar de las elevadas temperaturas (entre 30 y 37 °C).

Figura 10. Incremento reflectivo obtenido con sonda vegetal en los primeros cuatro minutos tras el corte de un folíolo de palma africana (*Elaeis guineensis*). Puntarenas (Costa Rica) abril de 2016.



En la Figura 11 se muestran las cuatro firmas espectrales promediadas de los cuatro tipos de tratamiento de la plantación en estado fitosanitario sano.

Figura 11. Comparación de las firmas espectrales correspondientes a los cuatro tipos de tratamientos de Palma africana (*Elaeis guineensis*). Parrita, Costa Rica (April 2016).



En un primer paso se elaboraron los gráficos de todas las firmas espectrales capturadas en campo, y posteriormente se generaron las curvas suavizadas y la respectiva curva media correspondiente a cada tipo de tratamiento, mediante la utilización de bases B-splines (Ramsay y Silverman, 2005).

El método de suavizado se basa en la siguiente función:

$$G$$
$$x(t) = \sum_{g=1} C_g \Phi_g(t) = \Phi(t)^T C$$

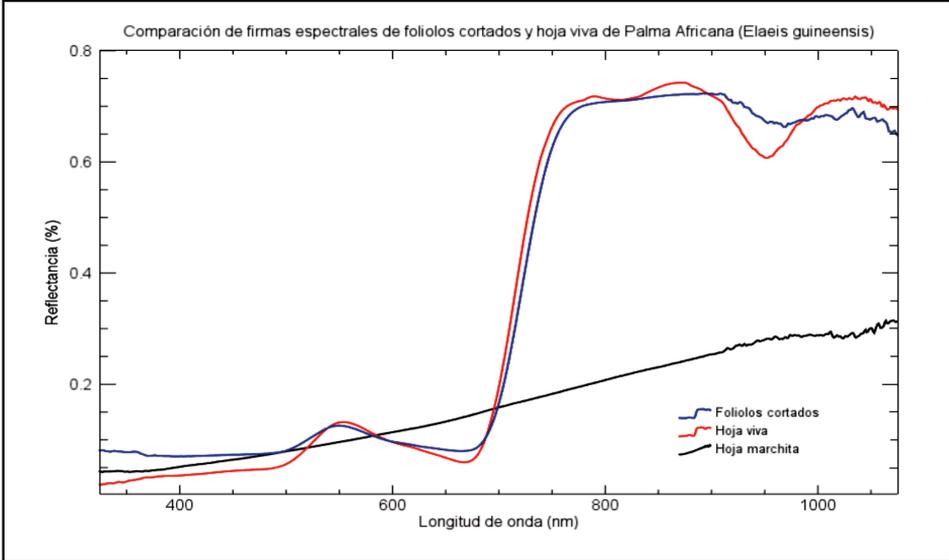
Siendo $\Phi(t) = (\Phi_1(t), \dots, \Phi_G(t))^T$ un vector de funciones de base, $C = (C_1, \dots, C_G)^T$ un vector de coeficientes de base y G el número de funciones de base. Los coeficientes de base fueron calculados a partir del sumatorio de mínimos cuadrados de reflectancia:

$$\frac{G}{\sum_{i=1} (y_i - x(t_i))^2}$$

Existió una marcada diferencia espectral entre los diferentes tipos de tratamiento en planta. Se aprecia claramente que el tratamiento con una mejor respuesta espectral, el de “fertilización + riego” fue seguido del tratamiento “fertilización” (Figura 11). La respuesta reflectiva de las plantas bajo tratamiento de “control” y “rastra” es claramente inferior, lo cual puede relacionarse tanto con el tipo de tratamiento como con el hecho de estar afectadas por flecha seca. Se puede inferir entonces que la afectación por flecha seca genera un descenso en los valores de reflectividad, a pesar del tratamiento al que esté sometido la planta.

Se compararon también tres firmas espectrales representativas de la reflectancia medida en foliolos cortados, en hoja de planta viva y en hoja marchita, con el siguiente resultado.

Figura 12. Comparación de las firmas espectrales correspondientes a las plantas 53 (hoja de palma y foliolos de palma cortados) y una hoja muerta de la planta 59. Comparison of the spectral signatures corresponding to the plant 53 (cut palm leaves and cut palm leaflets) and a dead leaf of the plant 59. Parrita, Costa Rica (April 2016).



Discusión

De la Figura 12, puede deducirse que el espectro del infrarrojo cercano sirve no sólo para estimar la humedad o contenido en clorofila de unos foliolos cortados, sino que midiendo directamente en hoja viva, a una distancia igual a la anterior (15 - 20 cm), la curva de reflectancia refleja la estructura de una hoja de palma, con picos de absorción atmosférica en 820 y 910 nanómetros, relacionados con la estructura típica de una hoja de esta especie, y que difiere claramente del carácter continuo que presenta la curva de reflectancia de los foliolos cortados y agrupados sobre el zarán negro. Por último, el patrón de la curva de reflectancia que presenta la hoja marchita responde al esperado, siendo mucho menos reflectiva y más parecida a la del suelo desnudo.

Las firmas espectrales de campo adquiridas mediante radiómetros se utilizan para calibrar los valores de reflectividad estimados a partir de las imágenes (Escribano-Velasco, 2010). Por ello, las firmas espectrales

obtenidas en hoja resultaron más adecuadas para establecer comparación o clasificación de imágenes satelitales, al incluir aspectos como los picos de absorción del agua o el efecto del albedo en la propia firma, que se manifiestan igualmente en las firmas de imágenes hiperespectrales de sensores como Hymap o Hiperion. Por el contrario, las firmas espectrales obtenidas a partir de foliolos cortados sirven para caracterizar espectralmente una hoja, y son más parecidas a las mediciones que pudieran obtenerse en laboratorio, con condiciones lumínicas estandarizadas y ambiente controlado.

Se puede inferir que las cuatro condiciones fitosanitarias (tratamientos) de la plantación estudiada tienen reflejo en un patrón de respuesta reflectiva identificable (Figura 11), aunque el tratamiento de “fertilización + riego” por sí mismo no se asocia necesariamente con una respuesta de mayor reflectividad debido a que bajo este tratamiento existen plantas enfermas. Dicho de otro modo, las plantas bajo tratamiento de “fertilización + riego” severamente afectadas por flecha seca, tienden a presentar menor reflectancia en el infrarrojo que otras plantas sin tratamiento (“control” y “control + rastra”) que presenten una condición fitosanitaria sana (sin afectación por flecha seca).

Para futuros estudios de caracterización espectral y detección de enfermedades o estrés hídrico en plantas de palma africana, se sugiere disponer de un historial de firmas espectrales desde su estado de plántula hasta la edad máxima. Ello permite realizar un seguimiento histórico de cada planta en sus diferentes edades, y adaptar posibles tratamientos, tomando en consideración la tendencia o patrón cronológico de su respuesta reflectiva.

Si las firmas espectrales obtenidas van a servir para clasificación de imágenes satelitales y comparación con reflectancia a nivel de píxel, se recomienda obtener las firmas espectrales de la planta completa. En cambio, si lo que se busca es una caracterización reflectiva a nivel de hoja, en condiciones de campo, se recomienda obtener la firma espectral de los foliolos. Para mediciones en hoja en condiciones de laboratorio, existe el dispositivo denominado “Leaf Clip” (o sonda de fibra óptica) que aísla la respuesta espectral de la hoja de cualquier efecto atmosférico en la firma. En laboratorio, se controlan las condiciones y geometría de la iluminación para obtener datos independientes estandarizados. Sin embargo, al efectuar mediciones de campo se pueden recopilar datos representativos de la variedad de condiciones ambientales reales en que se encuentran los

materiales estudiados, las cuales son difíciles de simular en laboratorio (Hernández, 2007).

Es importante estandarizar la obtención de las firmas espectrales con un ángulo de medición próximo a 0° (que asegure un FOV de 25°) a una distancia de entre 15 y 25 cm del objeto medido (dependiendo del área del mismo) para reducir la variabilidad que los cambios angulares introducen en la respuesta espectral. Es importante tomar en consideración que al realizar mediciones verticales la proyección de la sombra del sensor y la persona que obtiene la firma deben quedar excluidas tanto del panel blanco de calibración como del objeto muestreado, lo cual se dificulta hacia las horas centrales del día.

Conclusiones

Se concluye entonces que existe un patrón espectral bien definido, relacionado con los diferentes tipos de tratamiento, por un lado, y con el grado de afectación por flecha seca. En general, las plantas en condición fitosanitaria sana, que además tuvieron un tratamiento de “fertilización + riego”, presentaron las curvas de reflectividad más elevadas, en torno a un 0,7 %.

La influencia por flecha seca en la curva de reflectancia de las plantas tuvo un mayor peso, en la mayoría de los casos, que el tipo de tratamiento al que están sometidas. Se verifica así la posibilidad de detectar la patología de flecha seca mediante espectroscopía de reflectancia en condiciones de trabajo de campo. Esto es, especialmente constatable cuando se dispone de un historial de afectación por flecha seca prolongado en el tiempo.

Las observaciones expuestas en las mediciones realizadas en condiciones de laboratorio con “Leaf Clip” o sonda de fibra óptica (Figuras 9 y 10) sirven de base para validar una metodología basada en el corte selectivo y medición de folíolos en condiciones de campo (luz natural), ya que la reflectividad no varió sustancialmente transcurridos los primeros instantes al corte.

Para caracterizar espectralmente un cultivo en condiciones de campo, se requiere de la implementación de una serie de estándares metodológicos en las mediciones, que deberían de tener las siguientes características:

- Desde un punto de vista geométrico en las técnicas de muestreo, idealmente se requieren mediciones nadirales y azimutales cada 10 grados, que recojan toda la variabilidad de ángulos de incidencia solar posibles.

- Desde el punto de vista temporal en los muestreos, para recoger toda la variabilidad espectral dichas mediciones deben de realizarse durante todo el día, al menos entre las 10:00 y las 15:00 (según especificaciones del fabricante).
- Se debe también disponer de muestreos representativos del tratamiento, edad y estado fenológico de las plantas, recogiendo toda su variabilidad.
- La flecha seca es una patología que actualmente se encuentra en estudio. Hay un desconocimiento generalizado acerca de su origen, vector de contagio y sintomatología en especies. Se desconoce si tiene un origen genético, bacteriano o vírico, pero su presencia deja una evidente “huella” espectral en las firmas.

Referencias

- Bloembergen, Siegbahn, K. M. (2007). *Uso de la Espectroscopía*. Quimiláser. España: Universidad Complutense de Madrid.
- Botero, J. (2009). *Determinación del nivel foliar de nutrientes mediante espectroscopía de reflectancia*. (Tesis MSc., Universidad Nacional de Colombia), Colombia.
- Escribano-Velasco, P. (2010). *Integración de técnicas espectrales para la detección y cuantificación de los tipos de cubiertas en ecosistemas áridos. Bases para un programa de seguimiento del P.N. Cabo de Gata-Níjar*. (Tesis Dr., Universidad de Almería), ESP.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG). (2007). *Cadena agroalimentaria del cultivo de palma aceitera en el distrito Chires de Puriscal*. MAG, CRC. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00061.pdf> (consultado ene. 2016).
- Nieto-Paez, L. E. (1996). Síntomas e identificación del agente causal del complejo Pudrición de Cogollo de la palma de aceite, *Elaeis guineensis* Jacq. *Revista Palmas*, 17(2), 57-60.
- Campbell, J.B. (2002). *Introduction to remote sensing*. 3th ed. The Guilford Press, USA.
- Chuvieco-Salineró, E. (2010). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. España: Editorial Ariel.
- Goetz, A.F., Vane, G., Solomon, J. E. & Rock, B.N. (1985). Imaging spectrometry for Earth remote sensing. *Science* 228:1147-1153. doi: 10.1126/science.228.4704.1147

- James-Jayaselas, H.A., Mat-Nawi, N., Wan-Ismail, W.I., Mohamed-Shariff, A.R. Juva-Rajah, V. & Arulandoo, X. (2017). Application of spectroscopy for nutrient prediction of oil palm. *Journal of Experimental Agriculture International*, 15(3), 1-9. Recuperado de http://www.journalrepository.org/media/journals/JEAI_51/2017/Feb/Jayaselan1532017JEAI31502.pdf
- Mather, P. (2004). *Computer processing of remotely-sensed images*. 2nd ed. John Wiley & Sons, GBR.
- Ramsay, J. and Silverman, B.W. (2005). *Functional data analysis*. 2ed. Berlin, GBR: Springer.
- Suárez, L., Zarco-Tejada, P.J., González-Dugo, V., Berni, J. A. J. y Fereres, E. (2009). Detección de estrés hídrico y calidad de fruto en cultivos mediante el índice PRI a partir de imágenes de alta resolución espacial. Agua y desarrollo sostenible. (29-32) En: S. Montecinos-Aranda, y L. Fernández-Formos, editores, *XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*. Asociación Española de Teledetección, 7 Madrid, ESP.



NOTAS Y DOCUMENTOS

NOTES AND DOCUMENTS

NORMAS DE PUBLICACIÓN

PUBLICATION GUIDELINES

1. ADMISIÓN

- Se admiten artículos originales e inéditos relacionados con temáticas y problemas geográficos de índole teórico-metodológica o estudios de caso.
- El autor debe remitir su artículo a la dirección electrónica de la Revista Geográfica de América Central revgeo@una.cr, o a la MSc. Lilliam Quirós Arias (lquiros@una.cr) o la Mag. Consuelo Alfaro Chavarría (calfaro@una.cr).
- Junto con el documento que será sometido a revisión, el autor debe enviar una carta manifestando expresamente que el documento es inédito y original, y que no está en proceso de revisión en otra revista.
- El documento original debe tener las páginas debidamente enumeradas.
- Durante el proceso de evaluación las editoras estarán en constante comunicación con los autores para las respectivas incorporaciones de mejora en el artículo. Una vez que el artículo ha sido aceptado e incorporadas las sugerencias de la evaluación cuando corresponda, una versión final será enviada a los autores para su respectiva aprobación; mismo que será el documento final a incorporar en el número respectivo.

2. NORMAS DE PRESENTACION DE ARTÍCULOS

Los documentos deben ser enviados en español, inglés o portugués, con un resumen no mayor de 10 líneas, en el idioma vernáculo y en inglés, con un máximo de 5 palabras claves en ambos idiomas. Un tamaño máximo de 25 páginas, incluyendo las figuras y la bibliografía.

El texto debe estar en formato Word, escrito con letra Times New Roman 12, a espacio y medio, con 2,5 cm en los márgenes superior e inferior, y 3 cm en los márgenes derecho e izquierdo, en hoja tamaño carta.

Las ilustraciones (mapas, gráficos, fotos, etc.), las tablas y los cuadros (estadísticos) deben ser enumerados según su orden de aparición en el texto (numeración arábica); con formatos para una impresión de buena resolución.

En el caso de los mapas, la impresión puede ser a color, en formato JPG o Tiff, wmf, bmp. Todas las ilustraciones deben ubicarse en el texto y adjuntarse en archivos separados.

Las referencias bibliográficas deben estar citadas en el texto, ordenarse alfabéticamente, y seguir el formato internacional de la American Psychology Association (APA).

El artículo debe contemplar los siguientes elementos: resumen, introducción, área de estudio, características generales, marco teórico-conceptual, marco metodológico, resultados, discusión de resultados y bibliografía.

3. ORDEN DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO

Título: Breve, claro y que corresponda con el contenido. En letras mayúsculas, centrado y en negrita. En el idioma vernáculo y en inglés.

Nombre y apellidos del autor o los autores: justificados hacia la derecha.

Grado académico, lugar, dirección de trabajo y dirección electrónica: en una nota al pie de página y con letra Times New Roman 10.

Resumen en el idioma vernáculo y en inglés: máximo 10 líneas, enunciando los aspectos principales del texto, objetivos de la investigación, metodología y principales hallazgos.

Palabras clave: En el idioma vernáculo y en inglés: máximo 5 palabras.

Texto: El texto inicia con la Introducción (Introducción), diferenciando la jerarquía de títulos y subtítulos utilizando tamaños de letra y uso de la negrita. Con letra Times New Roman a espacio y medio.

Referencias bibliográficas: deben estar citadas en el texto, ordenarse alfabéticamente, y seguir el formato internacional de la American Psychology Association (APA).

4. NOTAS Y CITAS

En lo posible deben reducirse a lo indispensable.

Las notas al pie de página deben tener un fin meramente aclaratorio o explicativo, o bien, aportar información sobre lecturas adicionales para el lector potencial del texto.

En el texto, las citas textuales llevarán entre paréntesis el apellido del autor, año y número de página.

Las citas textuales inferiores a 40 palabras deben ir incluidas en el texto entre comillas.

Las citas textuales superiores a 40 palabras deben ir en un bloque independiente, sin comillas y con sangría de 2,54 cm.

5. BIBLIOGRAFÍA

Dispuesta en orden alfabético, según el apellido del autor. Siguiendo los criterios de la APA.

Ejemplos

Libro:

Gómez, D. M. y Barredo, C. J. I. (2004). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España: RAMA.

Capítulo de un libro:

Santos, M. (2000). *Por una geografía de las redes*. La Naturaleza del Espacio. Barcelona, España: Editorial Ariel. (pp. 221-234)

Revista:

Murai, S. (1999). Libro de trabajo SIG. Volumen 1: Curso básico. En *Revista SELPER*, 15(1), 8-66.

Tesis:

Romero, M. (2004). Análisis de los cambios en la estructura del paisaje de l'alt Empordá, 1951-2001. Tesis doctoral. Escuela de Geografía, Universidad de Girona. España. (pp.320).

Página electrónica:

Mascaraque, S. A. (2003). Índices de causalidad y riesgo de incendios aplicados a espacios naturales protegidos de la comunidad de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de http://oa.upm.es/911/1/PFC_Riesgos_Incendios_Forestales.pdf.

Periódico:

Loaiza, N. V. (24 de enero, 2008). Incendios forestales provocados arrasaron 32.000 hectáreas. La Nación. San José, Costa Rica. (p.5)

6. CUADROS Y TABLAS

Las tablas y los cuadros deben estar enunciados explícitamente en el documento y ubicados dentro del texto, con números arábigos.

7. FIGURAS (gráficos, diagramas, fotografías, etc.)

Deben estar enunciadas explícitamente en el documento y ubicadas dentro del texto.

El tamaño de las figuras podrá ser de hasta 13 cm de ancho por 18 cm de largo, con el objeto de ajustarse al formato de la revista.

Todas deben llevar numeración, título, leyenda y fuente. Deben estar debidamente referidas en el texto.

8. MATERIAL CARTOGRÁFICO: (mapas y planos)

Todos deben llevar numeración, título y fuente. Deben estar debidamente referidos en el texto.

Referencia:

Apellidos, Nombre (autor/es, iniciales o nombre/es completo de los diferentes autores separados por;) o nombre de la entidad responsable. Año de publicación:, Título (en itálica) [Designación del tipo de material por ejemplo: plano]: subtítulo (opcional y en cursiva). Escala numérica. Edición. Lugar de publicación: año.

Ejemplo:

Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Costa Rica). *Istarú*. [Hoja topográfica]. Escala 1:50,000. San José, Edición 2, 1981.

9. DISTRIBUCIÓN

Una vez publicada la revista, los autores recibirán 1 ejemplar. Adicionalmente una vez que la Editorial de la Universidad Nacional aprueba la publicación ésta será dispuesta en formato digital en la página de la revista, en la cual los autores y otros usuarios pueden acceder a esta publicación.

GUIDELINES FOR AUTHORS

1. ADMISSION

- Only Original and Unpublished Documents May be Submitted for Review
- Submitting a Document
- Articles should be submitted by email to the Central American Geographic Magazine at revgeo@una.cr. Articles may also be submitted to the magazine direction-editor, Ms. Lilliam Quiros Arias, MSc., at lquiros@una.cr or to editor Ms. Consuelo Alfaro Chavarría, Mag., at calfaro@una.cr.
- In addition to this document, the author must also submit a letter stating explicitly that the document is new and original, and is not under review by another journal.
- All original articles must be submitted in proper page order and have the pages numbered correctly.
- If, after review, the document is accepted for publication, the author must submit the final document in digital format, with corrections and pages duly numbered. Documents can be articles or notes/documents.

2. ARTICLES

Articles must be related to geographic issues or problems of a theoretical or methodological nature, or a case study.

3. NOTES AND DOCUMENTS

These can be official results of institutions, events, conclusive scientific or professional processes or dynamics or results from a step or process. They can mention plans of study at Universidad Nacional, conclusions of scientific meetings or workshops, summaries of high-impact projects, documents formulating official policy or geographical impact programs, among others. Such submissions should be three to ten pages.

4. RULES FOR SUBMITTING ARTICLES

The documents must be sent electronically by email in Spanish, English or Portuguese with a summary, or abstract, of no more than 10 lines, in the vernacular language or English, with a maximum of five key words in both English and Spanish/Portuguese. Maximum article size should be no more than 25 pages, including figures, graphics and bibliography.

The text must be in Word format, in Times New Roman 12 point type, half space with 2.5cm of margin top and bottom and 3.0cm of margin on the left and right sides.

Include the following elements: introduction, area of study, general characteristics, theoretical and conceptual framework, methodological framework, results, discussion of the results and bibliography.

The illustrations (maps, graphics, photos, etc.), tables and charts, should be numbered in the order that they appear in the text. Maps can be in color or black and white and in jpg, tiff, wmf or bmp format. No gif files, please. All illustrations should be properly placed in the text and submitted in separate files.

Bibliographic references should be cited in the text, ordered alphabetically and follow the international format of the American Psychology Association (APA).

5. ORDER OF PRESENTATION OF THE WORK

Title: Brief, clear and relative to the content, centered in bolded capital letters. Titles should be in both the vernacular and in English. Times New Roman 12pt.

Author: First and last names, right justified. Author's academic/profession credentials, work address and email address should appear as a footnote on page 1. Times New Roman 10pt.

Abstract: The abstract or summary should be submitted in the vernacular and in English. It should be a maximum of 10 lines and clearly summarize the principal aspects of the submission. Times New Roman 10pt

Keywords: Submit both in the vernacular and English. Maximum of five words. Times New Roman 10pt

Text: Begin with the introduction, differentiating the hierarchy of headings with font types and use of bold. Times New Roman 12pt double spaced.

Bibliography: Should be cited in the text and not in footnotes at the bottom of the page.

6. NOTES AND QUOTES

To the extent possible, limit the use of notes. Footnotes should be used solely for clarification or explanatory purposes or to guide the reader to sources of further information.

When quoting directly from another's work, follow the quote with a parenthesis citing the author's last name, year of work and page number.

Quotations of less than 40 words should be included in the text with quotation marks.

Quotations of more than 40 words should be treated as a separate block of text, without quotation marks, and an indentation of 2.54cm.

7. BIBLIOGRAPHY

The bibliography should be arranged in alphabetical order by the author's last name, following the criteria of the APA.

Examples:

Book

Gómez, D. M. y Barredo, C. J. I. (2004). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España: RAMA.

Chapter of Book

Santos, M. (2000). "Por una geografía de las redes". *La Naturaleza del Espacio*. Barcelona, España: Editorial Ariel. (pp. 221-234)

Magazine

Murai, S. (1999). Libro de trabajo SIG. Volumen 1: Curso básico. En: Revista SELPER, Vol. 15, N° 1. (pp. 8-66)

Newspaper

Loaiza, N. V. (24 de enero, 2008). Incendios forestales provocados arrasaron 32.000 hectáreas. La Nación. San José, Costa Rica. (p.5)

Thesis

Romero, M. (2004). Análisis de los cambios en la estructura del paisaje de l'alt Empordá, 1951-2001. Tesis doctoral. Escuela de Geografía, Universidad de Girona. España. (pp.325)

Website:

Mascaraque, S. A. (2003). Índices de causalidad y riesgo de incendios aplicados a espacios naturales protegidos de la comunidad de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado: http://oa.upm.es/911/1/PFC_Riesgos_Incendios_Forestales.pdf.

8. TABLES AND CHARTS

Tables and charts should be stated explicitly in the document and placed within the text using Arabic numerals.

9. FIGURES (Graphics, Diagrams, Photographs, Etc.)

Figures must be explicitly stated in the document and located within the text.

Figures may be up to 13cm wide and 18cm long, in order to conform to the format of the journal.

All figures must include number, title, legend and font and be properly referenced in the text.

10. CARTOGRAPHIC MATERIAL (**Maps and Plans**)

Maps and plans should be numbered, titled and sourced and be properly referenced in the text.

References:

Last name, first name (author/s, initial or name; if many authors, separate by ;) or name of the responsible entity. Year of Publication: Title (in italics) [Designation of the type of material, eg., map]: Subtitle (optional and in italics). Numerical scale. Edition. Place of Publication: year

Example:

Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Costa Rica). Istarú. [Hoja topográfica]. Escala 1:50,000. San José, Edición 2, 1981.

DISTRIBUTION

Once the document is published, authors will receive two complimentary copies of the journal.

SISTEMA DE ARBITRAJE

Los documentos serán sometidos al proceso de juicio de los evaluadores/as externos, mediante el sistema de revisión por pares (*peer review*); quienes emplean la “Guía de criterios para la evaluación de artículos” establecida por la revista, la cual incluye además de las normas formales, la calidad, la pertinencia y el grado del aporte científico de los artículos. Los evaluadores no conocerán el nombre del autor. Los nombres de los evaluadores tampoco serán revelados. Se guarda, de manera explícita, el anonimato y la confidencialidad de estas personas.

Los evaluadores cuentan con un plazo no mayor a 30 días naturales para evaluar y entregar el dictamen pertinente a la secretaría de la Revista.

En caso de que el evaluador no estuviera de acuerdo con la publicación del documento, este será sometido a revisión por parte de un segundo evaluador, cuyo dictamen servirá para tomar una decisión al respecto.

Si el evaluador del documento recomienda correcciones, el autor será el responsable de hacerlas y entregar el documento final en formato digital, en un plazo no mayor a 30 días naturales.

La última decisión para la publicación o rechazo de un documento corresponde al Consejo Editorial de la Revista Geográfica de América Central.

PEER REVIEW PROCESS

All document submissions are subject to the judgment of a team of external evaluators who employ a guide to critical evaluation of journal articles. Documents are judged against a set of standards for quality, relevance and degree of contribution to the field of study. Evaluators will not know the name of the author submitting the document, nor will the author know the names of the evaluators. Evaluators have 30 days to review the document and determine its suitability for publication.

If a document is at first rejected for publication, a second review by different evaluators will be initiated. If the document is rejected again, the rejection is final. If, upon second review, the document is recommended for publication, the document will undergo a final review by a third set of evaluators.

If the evaluators recommend changes to the document, the author will be notified and will have up to 30 days to make the recommended revisions and resubmit the document.

The final decision for publication or rejection of a document rests with the Editorial Board of the Geographic Magazine of Central America.

Esta Revista se imprimió en el año 2018 en el Programa de Publicaciones e Impresiones de la Universidad Nacional; consta de un tiraje de 150 ejemplares, en papel bond y cartulina barnizable.

E-024-18-PUNA

