

CIENCIAS ESPACIALES

Publicación Semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES)
Universidad Nacional Autónoma de Honduras | Volumen 11, Número 1 Primavera, 2018
ISSN 2225-5249 (Impreso), ISSN 2521-5868 (En Línea)



UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE HONDURAS

Ciencias Espaciales

Facultad de Ciencias Espaciales (FACES)
Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)
Tegucigalpa M.D.C., Honduras

Volumen 11, Número 1 Primavera, 2018. ISSN 2225-5249 (impreso); ISSN 2521- 5868 (en línea)

Portada:

Composición de imágenes representando los campos temáticos de la Revista: Astronomía y Astrofísica: Nebulosa de Orión, tomada con Canon T3i 18Mpx, telescopio Meade LX200 8 pulg, autor de la fotografía: Adán Artola y Ricardo Pastrana; Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica: mapa de sitios óptimos para el establecimiento de cosecha de agua, autor: M.Sc. José David Cáceres; Arqueoastronomía y Astronomía Cultural: mascarón del dios solar maya K'in, en uno de los costados del templo Rosalila, Copán Ruinas, Honduras, créditos: Eduardo E. Rodas-Quito; Ciencias Aeronáuticas: egresados del Primer Seminario de Introducción a Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia impartido por el DCA en la Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil (AHAC), desarrollado en Ciudad Universitaria, autor de la fotografía: Lenín Valeriano de la AHAC; fondo: imagen de nebulosa Trífida de Sagitario, ubicada en el centro de la galaxia Vía Láctea, créditos: Bryan Goff.

Directora

M.Sc. Vilma Lorena Ochoa López
(Facultad de Ciencias Espaciales, UNAH)

Edición

Ph.D Yvelice Soraya Castillo
(Astronomía y Astrofísica, UNAH)

Consejo Editorial

Dr. Juan Gregorio Rejas Ayuga
(Universidad Politécnica de Madrid, España)
M. Sc. Alejandro Saravia
(Astronomía y Astrofísica, UNAH)
M.Sc. Yessica Yamileth Sosa Reyes
(Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, UNAH)
M.Sc. Eduardo Rodas
(Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, UNAH)
M.Sc. Alex Matamoros Castro
(Ciencias Aeronáuticas, UNAH)
Celina Michelle Sosa
(Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica)

Consejo Científico

Dr. Jacopo Fritz
(Universidad Nacional Autónoma de México, México)
Dr. Francisco Maza Vásquez
(Universidad de Alcalá, España)
Dr. Stanislaw Iwaniszewski
(Instituto Nacional de Antropología e Historia, México)
Dr. Victor Fernando Gómez
(Universidad Politécnica de Madrid, España)

Edición, Arte y Diagramación

Leorely Reyes, Departamento de Astronomía y Astrofísica FACES
E-mail: leorely.reyes@unah.edu.hn
Amalia Escobar
E-mail: ab.escobargodoy@gmail.com

Contacto

M.Sc. Vilma Lorena Ochoa López
E-mail: lorena.ochoa@unah.edu.hn

Para mayor información:

Página Web:
<http://faces.unah.edu.hn/revistace/>
Correo Electrónico:
revista.cespatiales@unah.edu.hn

*Facultad de Ciencias Espaciales.
El 17 de Abril de 2009, mediante Acuerdo No.
CU-O-043-03-2009, el Consejo Universitario de
la UNAH creó la Facultad de Ciencias Espaciales
en reconocimiento al funcionamiento del Obser-
vatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa
(OACS/UNAH).*

Contenido

Volumen 11, Número 2 Primavera, 2018

Artículo de Fondo	4
Proyección de operaciones aéreas al año 2030 aeródromo de Tela, Atlántida, Honduras <i>Ana Lucía Ulloa Cadalso, Alex Geovanni Matamoros</i>	5
Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica	19
Localización óptima de zonas potenciales para cosecha de agua lluvia mediante criterio booleano en la zona sur de Honduras, año 2017 <i>José Cáceres Coello</i>	20
Análisis de la distribución espacial de los espacios públicos en las ciudades del Distrito Central, Comayagua y Siguatepeque, Honduras, 2017 <i>Celina Michelle Sosa Caballero</i>	34
Análisis de los residuales en el cálculo de velocidades geocéntricas a partir de series de tiempo diarias PPP <i>Jorge Moya Zamora, Sara Bastos Gutiérrez</i>	55
Arqueoastronomía y Astronomía Cultural	76
La astronomía y su impacto en las culturas antiguas - Estudio comparativo de los casos en Egipto y el mundo Maya <i>Eduardo Rodas-Quito</i>	77
Ciencias Aeronáuticas	90
Ensayos con el control autónomo de sistemas aéreos no tripulados tipo cuadricóptero para su aplicación didáctica en la enseñanza aeronáutica <i>Omri Alberto Amaya Carías</i>	91
Notas informativas	112
Revista Ciencias Espaciales, instrucciones a los autores y criterios para el diseño, diagramación y maquetación <i>FACES</i>	113

ARTICULO DE FONDO

Proyección de operaciones aéreas al año 2030 aeródromo de Tela, Atlántida, Honduras

Ana Lucía Ulloa Cadalso
Alex Geovanni Matamoros

Resumen

El presente artículo muestra los principales resultados de una investigación sobre el Aeródromo de la ciudad de Tela, Atlántida, Honduras. Para este trabajo se revisó la situación inicial de dicho Aeródromo, las regulaciones que pueden favorecer o limitar el crecimiento de sus operaciones, así como el plan de ordenamiento territorial del Municipio de Tela. Con la información obtenida se generaron escenarios posibles para la toma de decisiones claves por parte de: inversionistas, el Estado, los miembros de las comunidades de Tela y sus cercanías, la Universidad y otras entidades interesadas en el desarrollo de este Aeródromo. Se tomó en cuenta para la investigación una descripción breve del contexto incluyendo la presencia de líneas aéreas y, un análisis de las estadísticas disponibles de los principales aeródromos de Honduras que operan en condiciones similares. Dentro de las conclusiones del proyecto de investigación se indica que el aeródromo de Tela tiene un buen potencial de aumento de líneas aéreas viajando con destino a la Ciudad de Tela, siempre que confluyan al menos los siguientes elementos: compromiso de colaboración de todos los actores interesados en el desarrollo del aeródromo, divulgación de las bondades de un aeródromo en la ciudad de Tela y promoción de la región de Tela como destino turístico.

Palabras Clave: Aeronáutica, aeródromo de Tela, proyecciones, operaciones aéreas, desarrollo integral.

Abstract

The present article shows the main results of an investigation on the Aerodrome of the city of Tela, Atlántida, Honduras. For this work the initial situation of said aerodrome was reviewed, the regulations that can favor or limit the growth of its operations, as well as the territorial planning plan of the Municipality of Tela. With the information obtained, possible scenarios were generated for key decision-making by investors, the State, members of Tela communities and neighborhoods, the University and other entities interested in the development of this Aerodrome. A brief description of the context including the presence of airlines and an analysis of the statistics available from major airfields in Honduras operating under similar conditions were taken into account for the investigation. The conclusions of the research project indicate that the Tela aerodrome has a good potential to increase airlines traveling to the city of Tela, provided that at least the following elements converge: a commitment of collaboration of all the interested parties in the development of the aerodrome, dissemination of the benefits of an aerodrome in the city of Tela and promotion of the Tela region as a tourist destination.

Keywords: Aeronautics, Tela aerodrome, projections, air operations, integral development.

Ana Lucía Ulloa Cadalso

Honduras, Tegucigalpa M.D.C., Ciudad Universitaria, email: ana.ulloa@unah.edu.hn Máster Gestión Aero-náutica, Departamento de Ciencias Aeronáuticas, Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)

Alex Geovanni Matamoros

Honduras, Tegucigalpa M.D.C., Ciudad Universitaria, email: amatamoros@unah.edu.hn Máster Calidad y Equidad de la Educación Departamento de Ciencias Aeronáuticas, Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)

Fecha de Recepción: 24 de julio del 2017 / **Fecha de Aprobación:** 11 de agosto del 2017

I INTRODUCCIÓN

La Autoridad Aeronáutica de Honduras ofrece estadísticas, no publicadas de manera oficial, de 15 aeródromos distribuidos en distintos departamentos de Honduras (Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil (2016)). Se considera que estos aeródromos¹ podrían ser parte de un sistema aeroportuario nacional concebido para impulsar el desarrollo de todo el País según la vocación productiva, comercial o turística de las distintas regiones. Sin embargo, este sistema todavía no ha sido concebido.

En el caso particular del aeródromo de Tela se encuentra en una ciudad con una clara vocación turística, como lo indican los distintos destinos para hacer turismo de playa, cultural y de montaña. Complementando este escenario el Municipio cuenta con una amplia y variada oferta hotelera. Por lo que respecta a la organización social está en funcionamiento una cámara de comercio y una cámara de turismo interesadas en el desarrollo turístico de la zona, desde el cual se podría catapultar el crecimiento de las operaciones de este aeródromo en coordinación con la Municipalidad que junto con otros inversionistas públicos y privados ha invertido en la recuperación para uso aeronáutico de las instalaciones de la terminal aérea y de la pista de aterrizaje.

El presente artículo se basa en una investigación que considera los aspectos mencionados y los incorpora en el conjunto de elementos necesarios para crear escenarios prospectivos de lo que podría ser hacia el 2030 el aeródromo de Tela. Para llevar a cabo la construcción de estos escenarios fue necesario considerar algunas de las condiciones en las que se encontraban los Aeropuertos Internacionales y los Aeródromos de Honduras; seguidamente se hizo un análisis de elementos geográficos, ecológicos, de la infraestructura hotelera y del ordenamiento territorial correspondientes al Término Municipal de Tela, así como las regulaciones relacionadas con el emplazamiento, la planificación, la construcción y el funcionamiento de los aeródromos según la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) y la Autoridad Aeronáutica Nacional, en este caso la Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil. Considerando lo anterior más la demanda de vuelos hacia y desde la zona y la oferta de vuelos existentes en el Aeródromo de Tela, se llevaron a cabo las estimaciones de escenarios posibles pesimista, tendencial, optimista, definiendo las condiciones que se considera deben cumplirse para que se dé cada uno de esos escenarios.

II ANTECEDENTES

Debido al interés actual del Estado de Honduras en desarrollar nuevos aeródromos, explotación y modificación de Aeropuertos Internacionales en el país, y otras acciones que muestran un apoyo gubernamental en materia aeronáutica² se considera sumamente importante la realización de investigaciones científicas que permitan documentar, identificar y proyectar comportamientos futuros para

¹Se considera Aeródromo, "toda área definida de tierra o de agua que incluye toda sus edificaciones, instalaciones y equipos destinados totalmente a la llegada, partida y movimiento de aeronaves (Art.7 Ley de Aeronáutica Civil).

²El tema aeroportuario ha causado gran revuelo sobre todo por su trascendencia en las noticias nacionales, pero también en lo relacionado con la producción legislativa que viabiliza proyectos del rubro; entre las noticias el ejemplo más relevante ha sido la concesión del aeropuerto de Palmerola, entre la legislación resalta para el caso del aeródromo de Tela, el Decreto Legislativo PCM-07-2014 sobre la alianza público privada para la re-construcción del mencionado aeródromo.

permitir una correcta planificación tanto del Aeródromo como de la zona de influencia.

Durante la investigación base de este artículo, se identificó que no había información relevante sobre el Aeródromo de Tela disponible de forma pública, y que permitiera tener un panorama integral de la planificación estatal en relación al mismo para establecer cómo se relaciona con el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Tela, el interés de nuevas empresas nacionales e internacionales en invertir en zonas aledañas al Aeródromo, el número de vuelos recibidos y similares. Se considera como situación problemática que los involucrados en el desarrollo integral de la Ciudad de Tela en representación de las Autoridades Municipales, de la empresa privada y de la sociedad civil en general, no posean información oportuna, actualizada y veraz sobre su Aeródromo en la situación actual y que sirva de base para la elaboración de planes de desarrollo futuro para esta terminal. Esta situación limita significativamente el desarrollo integral de toda la zona, la cual reúne las condiciones para convertirse en un destino turístico para hondureños y extranjeros.

Para poder entender de manera integral el desarrollo del Aeródromo de Tela es necesario conocer cuantos Aeropuertos y Aeródromos existen en el país, encontrándose que actualmente hay cuatro Aeropuertos Internacionales en Honduras y están bajo contrato de concesión de Aeropuertos de Honduras (INTERAIR-PORTS S.A), siendo efectiva esta concesión desde el año 2001 hasta el año 2020 y que incluye los siguientes aeropuertos: en la Capital del País el Aeropuerto Internacional Toncontín, cerca de la Capital Industrial del País, el Aeropuerto Internacional Ramón Villeda Morales, en la Ciudad Puerto de la Ceiba el Aeropuerto Internacional Golosón y, en la Isla de Roatán el Aeropuerto Internacional Juan Manuel Gálvez. En relación a los Aeródromos, se obtuvo información de la existencia de alrededor de 30 aeródromos distribuidos en 15 de los 18 Departamentos de Honduras (Honduras Travel (2016)) para la investigación base de este artículo se consideraron únicamente 15 que incluyen los aeródromos de: Choluteca (Choluteca), Coyolito (Valle), El Aguacate (Olancho), Enrique Sotocano (Comayagua), Gracias (Lempira), Guanaja (Islas de la Bahía), Puerto Lempira (Gracias a Dios), San Lorenzo (Valle), Santa Bárbara (Santa Bárbara), Tela (Atlántida), Trujillo (Colón), Utila (Islas de la Bahía), Barbareta (Islas de la Bahía) Ocotepeque (Ocotepeque) y Trojes (Yoro). Varios de estos aeródromos, debido a la condición de aislamiento de alguna de sus localidades se constituyen como el medio de transporte idóneo para entrar o salir, es el caso del aeródromo de Puerto Lempira que según las estadísticas de la Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil, durante el año 2015 y hasta febrero de 2016, registró 422 operaciones, más del doble de operaciones de las que registró en el aeródromo de El Aguacate que tuvo 187 operaciones y casi el doble de los que registró el aeródromo de Choluteca, que registró 229 operaciones. El Aeródromo de Tela, que no comparte las condiciones de aislamiento de los Aeródromos anteriores mostró una estadística de 468 operaciones entre enero 2015 y febrero 2016 (Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil (2016)).

Los aeródromos reportados son no controlados a excepción del Aeródromo de Puerto Lempira en Gracias y los Aeropuertos Internacionales; por otra parte, los Aeródromos de los Departamentos de Atlántida, Colón, Comayagua, Lempira, Copán e Islas de la Bahía cuentan con condiciones de pistas de asfalto con una anchura de treinta metros o más, solamente las pistas de Río Amarillo en Santa Rita, Copán y la de la isla de Guanaja no cumplen con el ancho indicado, ya que cuentan con 23 y 18 metros de ancho respectivamente. Este dato podría hacernos pensar en una conectividad de vuelos que pudiera combinar las distintas

opciones turísticas con las que cuenta el país.

II.1 Plan de ordenamiento territorial de tela, consideraciones relacionadas con el aeródromo municipal

El Plan de Ordenamiento Territorial tiene como objetivo evaluar las potencialidades de desarrollo existentes en el municipio de Tela, valorando “las disfuncionalidades territoriales que impiden y/o dificultan un desarrollo armonioso y equilibrado del municipio, para poder establecer lineamientos claros para el desarrollo” (Informes y Proyectos Sociedad Anónima, (INYPISA)). Dentro de este plan la Municipalidad propone elementos de infraestructura como la pavimentación de barrios y colonias, la reubicación de oficinas municipales, entre otras obras; sin embargo, no se menciona de forma explícita la recuperación y mejora del aeródromo de la Ciudad, es de suponer que el tema se pueda incluir dentro del proceso de mejora de imagen urbana que se menciona dentro de las prioridades. Cabe recordar que un aeródromo, cuando se sitúa en el contexto de un destino turístico, se puede considerar de gran importancia; sin embargo, la planificación sugerida no refleja esta importancia, de hecho en el plan se dice que se tiene un aeródromo no operable que cuenta solamente con una pista y que aunque está cercado, “sirve de punto de paso para las colonias y asentamientos ubicados en la porción noroeste de la ciudad”, se concluye diciendo que “No se cuenta con el servicio de transporte (...)por la vía aérea hacia el municipio de Tela”. (Informes y Proyectos Sociedad Anónima (INYPISA) (s.f.)). Dentro de este plan la Municipalidad propone elementos de infraestructura como la pavimentación de barrios y colonias, la reubicación de oficinas municipales, entre otras obras; sin embargo, no se menciona de forma explícita la recuperación y mejora del aeródromo de la Ciudad, es de suponer que el tema se pueda incluir dentro del proceso de mejora de imagen urbana que se menciona dentro de las prioridades. Cabe recordar que un aeródromo, cuando se sitúa en el contexto de un destino turístico, se puede considerar de gran importancia; sin embargo, la planificación sugerida no refleja esta importancia, de hecho en el plan se dice que se tiene un aeródromo no operable que cuenta solamente con una pista y que aunque está cercado, “sirve de punto de paso para las colonias y asentamientos ubicados en la porción noroeste de la ciudad”, se concluye diciendo que “No se cuenta con el servicio de transporte (...)por la vía aérea hacia el municipio de Tela”. (Informes y Proyectos Sociedad Anónima (INYPISA) (s.f.), pag. 165), ya que este Plan fue elaborado antes de la última reconstrucción del aeródromo y por tanto no refleja la importancia que se le está dando luego de su re-inauguración en 2015.

II.2 La asignación de la construcción del aeródromo de Tela

El decreto ejecutivo PCM-007-2014, un fideicomiso a la Comisión para la Promoción de la Alianza Público-Privada (COALIANZA) para el Diseño, Financiamiento, Construcción, Operación y Mantenimiento del Aeródromo en el Municipio de Tela, Departamento de Atlántida, con el fin de “consolidar el desarrollo turístico y económico de la zona norte del Municipio de Tela, y el de su posición como atractivo turístico de talla mundial, y de esta manera, mejorar los ingresos de la población beneficiaria directa e indirecta, así como los ingresos del país, todo esto mediante el mecanismo de alianza público-privada” (Poder Ejecutivo (2014)), indica que para concesionar este Aeródromo, el Concesionario debe desarrollar las siguientes obras: la Pista Aérea debe cumplir con Longitud: 1,200 metros (m); ancho de pista: 26 m (13 m de cada lado); estructura de pavimento con

triple tratamiento asfáltico, Apartadero, Zona de Resistencia al Chorro, Zona Libre de Obstáculos (CWY 120x60 m). En cuanto a la Calle Perimetral: Ancho: 4m; estructura de pavimento con doble tratamiento asfáltico, Plataforma de Avión Comercial, Plataforma de Avión Ligera, Área de Equipos (tanque de combustible, caseta de electrógenos), Estación de Bomberos, Torre de Control, Terminal, Estacionamiento, Cerco Perimetral de Malla Ciclón, Instalación de Servicios para la Operación (agua, energía, telecomunicaciones, entre otros), equipamiento; y todos los elementos que puedan llegar a ser requeridos a fin de lograr que la pista de aterrizaje del Municipio de Tela tenga o alcance las condiciones adecuadas para recibir vuelos internacionales directos. Muchos de los elementos ofrecidos actualmente no se cumplen, lo cual se entiende puesto que la concesión establece que estos elementos podrían variar después de los estudios previos y de la aprobación por parte del Comité Técnico del Fideicomiso. Se concede porque se identifica el problema de falta de infraestructura adecuada para la movilización de turistas y que hace que el turismo de sol y playa en la zona sea escaso afectando a las comunidades. Ante la situación el Gobierno ha ofrecido el Proyecto de Bahía de Tela en el marco de la Estrategia Nacional de Turismo Sostenible, con lo cual se evidencian las intenciones de apoyo a la zona por parte del Estado. Se promete como beneficios el desarrollo turístico del Litoral Atlántico, el incremento de la demanda de servicios turísticos, la atracción de inversión en diversos sectores productivos, adicionales al turismo, la dotación de una vía de acceso rápida y segura hacia el área de Tela especialmente para turistas y convertir el “Proyecto Bahía de Tela” en un destino internacional con acceso directo.

II.3 Plan de gobernanza territorial

Este plan tiene como objetivo general “Generar una base de información de los diferentes aspectos que contribuyen con el desarrollo territorial del municipio de Tela, Atlántida”, entre otros objetivos específicos el plan busca descubrir el potencial de Tela para convertirse en una Ciudad Puerto que funcione como una alternativa logística para Honduras; explorar las posibilidades de expansión geográfica y económica del centro urbano del municipio; generar información para el mejoramiento de los servicios públicos ofrecidos por el Municipio; identificar las capacidades del municipio para atender el desarrollo propuesto; producir información para hacer una zonificación general que permita la gestión del territorio, “Generar información para la consideración de las nuevas dinámicas regionales que se encuentran en gestación para fortalecer la capacidad de respuesta del Municipio de Tela, Atlántida” (Melgar Ceballos (2016))

Se reporta como una acción importante de desarrollo del municipio la apertura del aeródromo de Tela, el cual es considerado “un amplio portal de comunicación con los demás puntos aeroportuarios de Honduras, esto como una estrategia tripartita de desarrollo turístico, entre el sector colonial, cultural y vacacional” (Municipalidad de Tela (2015), pág. 45). Esta acción se sitúa en un contexto en el que se visualiza una plataforma para catapultar económica y culturalmente “el pintoresco municipio de Tela” con un proyecto como el aeródromo que está ligado a un radio de impacto mayor con la posibilidad de mejorar indicadores de impacto como ingresos per cápita, Población Económicamente Activa (PEA) y empleo Informal (ídem).

III METODOLOGÍA

Este artículo se basa en una investigación con Enfoque cualitativo, que utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación (Sampieri Hernandez, Fernandez Collado, y Baptista Lucio (2008)).

Se fundamenta en una perspectiva interpretativa de circunstancias constatadas en situaciones reales y de las percepciones de los profesionales y técnicos entrevistados. Dado que se trata de una indagación cualitativa, no pretende generalizar de manera probabilística los resultados a poblaciones más amplias ni necesariamente obtener muestras representativas. Tuvo un diseño de investigación descriptivo en el que se buscó especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. En tal sentido se describieron tendencias de un grupo o población y de su interacción con el entorno.

Los métodos y técnicas de recolección de datos incluyeron: Revisión bibliográfica (Anexo 14 al Convenio de Chicago de la OACI, Manual de planificación de aeropuertos, Manual de Diseño de Aeródromos, RAC 14 y el RAC 139 entre otros); Revisión Estadística (guías de turistas, páginas web y estadísticas disponibles en la Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil, AHAC); Criterios de Observación: se aplicó una lista de criterios de observación basados en lo establecido por la RAC 139; entrevistas abiertas a personal clave. La información obtenida con los métodos y técnicas anteriormente descritas fueron la base para la Construcción de escenarios.

IV HALLAZGOS

Dentro de la situación actual de los principales aeródromos no controlados de Honduras, al analizar las estadísticas de funcionamiento de los principales aeródromos de Honduras se detalla lo siguiente: se contó con estadísticas de movimientos de catorce (14) Aeródromos no Controlados y un (1) aeródromo controlado, al año 2015 el total de movimientos registrados de los 15 aeródromos reportadas era de 4,577 operaciones, la cantidad representa un 6% de las operaciones registradas para el 2014 en los 4 aeropuertos internacionales, los cuales incluyendo los vuelos comerciales, de carga y de aviación general contabilizaron 79,980 operaciones (Aeropuertos de Honduras, 2015); del conjunto de las operaciones de aeródromos no controlados, al de Tela que cuenta para 2015 con 426 operaciones, le corresponde un 9% de este total, este valor excluye los movimientos a febrero 2016 (42); el Aeródromo no Controlado con mayor número de movimientos totales en el año 2015 fue Utila con 2,503 movimientos, el de Tela ocupa un segundo lugar; sin embargo con sus 426 operaciones, tiene menos de una quinta parte de las operaciones del aeródromo de Utila; el Aeródromo de Tela que luce lejos de su próximo superior, está relativamente cerca de su próximo inferior en términos de operaciones que es el de Puerto Lempira que registra 322 movimientos; el 53% de los 15 aeródromos no controlados de los que se obtuvo información presentaron un total de movimientos anuales en un rango entre los 106 y 200 movimientos por años, rango ampliamente sobrepasado por el aeródromo de Tela; el mes con mayor número de movimientos registrados, considerando los 15 aeródromos no controlados, fue el mes de Mayo con un total de 560 movimientos en el año 2015, de los cuales 50 se dieron en el aeródromo de Tela, es decir un 9%, para ese mismo mes Utila registro 366 operaciones es decir, el 65%; el mes con menor número de movimientos registrados, considerando los 15 aeródromos no controlados, fue el mes de Octubre

con un total de 244 movimientos en el año 2015, de los cuales 33 se dieron en el aeródromo de Tela; el promedio de movimientos mensuales considerando los 15 aeródromos es de 381 movimientos por mes, en cambio el aeródromo de Tela hace un promedio de 36, la décima parte del promedio global. Escenario parecido se muestra al analizar los primeros dos meses del año 2016.

Al analizar las Condiciones actuales del aeródromo de Tela se encontró lo siguiente: el aeródromo está siendo administrado por la municipalidad de Tela (un administrador, un encargado de la vigilancia, un encargado de una estación para reportar las condiciones del clima vía celular y una encargada de una pequeña venta productos para los pasajeros); para el mantenimiento de la pista está asignada una cuadrilla que hace su trabajo periódicamente; se dispone de una terminal con aire acondicionado con un diseño propio de zona costera, que cuenta con baños (hombres y mujeres), un salón pequeño para eventos con grupos no mayores de veinte personas, un mostrador y una oficina desde donde eventualmente se pueden atender trámites de migración. Fuera del edificio cuenta con un parqueo con capacidad para 20 vehículos turismo.

Tras la observación por parte de los investigadores del Aeródromo de Tela se identificó lo siguiente: en cuanto a la terminal aérea: existe un rótulo de identificación del Aeródromo en la entrada a la terminal con la leyenda “Aeropuerto Municipal de Tela, División Municipal Aeroportuaria”, lo que hace se sobreentienda que quien lo administra es la Municipalidad de Tela. Este nombramiento se corresponde en términos generales con lo que el RAC 139 denomina como aeródromo cuando lo identifica como “Área definida de tierra, que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos, destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves”(Dirección General de Aeronáutica Civil (2008); sin embargo, el uso del término aeropuerto, en nuestro contexto nacional como se puede ver en cualquiera de los cuatro aeropuertos internacionales, está referido a una estructura que incluye elementos como torres de control, oficinas permanentes de migración, un sistema de vigilancia de la seguridad aeroportuaria, entre otros, por lo cual se considera que no es propio llamar aeropuerto a las instalaciones visitadas.

En la entrada principal, por el lado tierra, se ubican tres basureros para separación de basura entre orgánica, inorgánica y papel; actualmente la terminal no cuenta con una máquina de rayos x para el control de maletas ni máquinas de rayos x para control de pasajeros; no se identificaron controles de seguridad aeroportuarios, sí cuentan con guardias de seguridad armados pero no capacitados en temas aeroportuarios; la terminal cuenta con baños adecuados, limpios y en excelentes condiciones, con servicio de wifi gratuito para los pasajeros, una pequeña área de espera, counters para dos aerolíneas locales (solamente una de estas se encontraba en operaciones al momento de hacer la investigación).

Dentro de los hallazgos de la investigación que surgen del análisis de opiniones de actores claves para el funcionamiento del Aeródromo de Tela (representantes de la Cámara de Turismo y de la Cámara de Comercio de Tela, de la Municipalidad de Tela, el encargado de la Unidad de Turismo, el Administrador del Aeródromo de Tela, encargado de la Cruz Roja y al encargado de los Bomberos de la Ciudad de Tela) sobre la importancia de este aeródromo para el desarrollo de la Ciudad de Tela se definen las siguientes conclusiones: se encuentra entre los actores entrevistados una disponibilidad a comprometerse con el desarrollo del Aeródromo y en algunos casos un compromiso con el funcionamiento actual del aeródromo relacionándolo con la promoción de la visita de turistas o de otros agentes externos. Ellos indican que el aeródromo debe ser atendido en una perspectiva casi exclusivamente turística, siendo menos perceptible la rela-

ción de éste con el desarrollo económico en general incluyendo la agricultura, industria y el comercio; el personal a cargo de la atención a las emergencias en el aeródromo, no cuentan con la capacitación, ni con el equipamiento necesario para atender las emergencias propias de un aeródromo, por otra parte aunque tienen disponibilidad para ello, no podrían capacitar al personal del aeródromo en atención a emergencias en aeródromos porque ellos mismos no han sido capacitados en este campo; solamente en una de las entrevistas (Cruz Roja) se percibió una motivación hacia el involucramiento vocacional en la aeronáutica. Fuera del grupo de los entrevistados hay un grupo considerable de actores sociales que no conciben el aeródromo como un motor de desarrollo económico del municipio. El principal aliado del desarrollo se encuentra entre los empresarios. Sin embargo, esta disposición a colaborar no ha generado un aporte significativo. Se percibe el aeródromo como una entrada internacional para turistas y para los familiares de la población teleña que vive en los Estados Unidos.

Los actores manejan información de la situación actual del ordenamiento y sobre todo de proyecciones de desarrollo territorial que toman como referente el aeródromo (acceso, ampliación, condiciones de funcionamiento, etc.). En las entrevistas se mencionaron eventos internacionales que han tenido lugar en la Ciudad de Tela, lo cual denota que se está considerando la región como un destino atractivo para turismo de eventos. No se ha promovido el aeródromo como un espacio público accesible y amigable para los pobladores de Tela; la terminal conserva un ambiente que aparenta ser privado.

En relación a la disposición de la Ciudad de Tela para recibir turismo los entrevistados reportan acciones que denotan un proceso de adecuación de la ciudad en términos de infraestructura, facilidades y organización para recibir mejor a los turistas. Sin embargo, no se percibe organicidad en la conducción de dicho proceso; la apertura del aeródromo a vuelos comerciales se percibe como muy favorable para la atracción de turismo de eventos.

En una entrevista realizada a un operador aéreo de vuelos privados y escuela de aviación se obtienen los siguientes hallazgos: el Aeródromo de Tela es considerado sumamente atractivo para llevar a cabo negocios como escuela de entrenamiento de pilotos, vuelos privados remunerados, e incluso paracaidismo lo que le permite aprovechar al máximo tiempo y recursos a un operador que pueda ofrecer estos tres servicios con las certificaciones requeridas.

Al hacer un análisis de la oferta actual de aerolíneas con rutas al aeródromo de Tela y estimación de su comportamiento al año 2030 se encuentra que la Aerolíneas Sosa posee un counter desde el inicio de operaciones del Aeródromo, más no se reporta ni un vuelo comercial realizado; sin embargo, CM Airlines inició sus operaciones de ida y vuelta desde Tegucigalpa-Tela, Tela-Tegucigalpa el 29 de abril del 2016 considerándose el primer vuelo comercial hacia la zona.

V DISCUSIÓN

En base a la información obtenida mediante las distintas técnicas y métodos de recolección de datos se lleva a cabo la discusión y generación de los escenarios prospectivos de las operaciones aéreas en el Aeródromo de Tela, considerando la información proporcionada por la AHAC, sobre las operaciones registradas en los principales aeródromos de Honduras; en este caso se entiende que el 100% de los vuelos registrados corresponden a vuelos privados puesto que la ruta establecida para vuelos ida y vuelta de la única aerolínea local comercial

con operaciones en el Aeródromo de Tela comenzó el 29 de Abril del presente año, como se mencionó anteriormente, y que corresponde a una fecha posterior a los datos utilizados en la investigación base de este artículo.

Combinando datos básicos de tipo cuantitativo e información cuantitativa se establecen tres posibles escenarios para el año 2030, uno pesimista, uno tendencial y uno optimista según se detalla a continuación. Escenario pesimista o en el que las condiciones de los distintos actores relacionados con el desarrollo del aeródromo de Tela y el resto de elementos del contexto sufren algún deterioro en términos de condiciones de servicio, organización de las redes de atención a los viajeros y seguridad ciudadana y dónde, paralelamente la competencia del mencionado aeródromo mejora en alguna medida sus capacidades de servicio. En este escenario se estima un decrecimiento del 5% anual tomando de base el año 2015 y proyectando hasta el 2030, esto podría ocurrir en caso que se cumplieren las condiciones siguientes: Se desarrollan nuevos aeródromos cercanos al Aeródromo de Tela convirtiéndose en competencia directa; entran en funcionamiento nuevas empresas proveedoras de transporte terrestre y marítimo hacia las zonas aledañas al Aeródromo de Tela; los precios de boletos aéreos se vuelven muy elevados para acceder al Aeródromo de Tela; debido a la poca demanda de los vuelos aéreos a este Aeródromo los costos para las aerolíneas se elevan y no es posible continuar con dicha ruta, por lo que se cancelan vuelos comerciales y únicamente se generan movimientos por vuelos privados; las aeronaves de las aerolíneas que actualmente ofrecen el servicio de vuelo hacia y desde el Aeródromo de Tela no cuentan con las condiciones de climatización y otros elementos de confort requeridas por los usuarios, mientras que las utilizadas para viajar a Ceiba o Roatán, sí cuentan con aire acondicionado; no existe ningún incentivo para que vuelos privados aterricen en el Aeródromo de Tela; a su vez se promueve la venta de combustible y demás servicios complementarios para vuelos privados en el Aeropuerto Ramón Villeda Morales de San Pedro Sula, Golosón en la Ceiba o incluso en el Juan Manuel Gálvez de Roatán; los atractivos turísticos de la zona no son explotados de forma correcta; se explota de mejor manera los atractivos turísticos de la Ceiba y Roatán, que manejan atractivos turísticos similares a Tela pero que cuentan con Aeropuertos Internacionales que brindan un mejor servicio que el Aeródromo de Tela; no se le proporciona el mantenimiento necesario a los atractivos turísticos de la zona; los índices de delincuencia en la zona aumentan de forma gradual; no hay interés por parte de las autoridades en promover el Aeródromo de Tela; y, el presupuesto de inversión público no considera al Aeródromo de Tela y no se cuenta con fondos municipales capaces de mantener a dicho Aeródromo en funcionamiento.

El Escenario Tendencial, aquel que proyecta en el tiempo la evolución de la situación encontrada en el aeródromo de Tela en términos de su contexto de competidores en el rubro del transporte, oferta hotelera y turística, escala de precios de servicios turísticos, aerolíneas operando en la zona, atractivos en turismo de eventos, ecológico y cultural; condiciones de seguridad ciudadana, se basa en una estimación de crecimiento del 5% anual tomando de base el año 2015 y proyectando hasta el 2030 considerando que ocurriría lo siguiente: se mantiene el mismo número de aeródromos y aeropuertos cercanos al Aeródromo de Tela, no se desarrollan otros aeródromos cercanos que puedan convertirse en competencia directa; se mantiene el mismo número de proveedores de transporte terrestre y marítima para acceder a la zona y en zonas aledañas. No hay empresas nuevas ni paquetes especiales que afecten la demanda de vuelos aéreos; se mantienen los paquetes hotel-boleto aéreo y se mejoran incluso los precios a los que se ofrece al público así como un precio de boleto aéreo similar al precio de boleto por transporte terrestre, dando el beneficio de una reducción de tiempos de 6 horas (bus) a 45 minutos-1 hora (avión), por lo que la demanda de este tipo de transporte aumenta en forma gradual; se mantiene e incluso aumenta la

demanda de vuelos comerciales al Aeródromo de Tela por lo que se mantienen los horarios y días de rutas hacia y desde el Aeródromo de Tela; con lo anterior las aerolíneas tienen interés en mantener dichas operaciones comerciales adicional a los vuelos privados; las aerolíneas que mantienen ruta definida para el Aeródromo de Tela ofrecen aeronaves que cuentan con las condiciones de climatización y otros elementos de confort requeridas por los usuarios, con lo que se mantiene incluso aumenta la demanda de este servicio al considerar la comodidad y reducción de tiempos de viaje; no existen incentivos especiales en relación a venta de combustible y demás servicios complementarios para vuelos privados en el Aeropuerto Ramón Villeda Morales de San Pedro Sula, Golosón en la Ceiba o incluso en el de Roatán que puedan ser competencia para el Aeródromo de Tela; los atractivos turísticos de la zona son explotados, promocionados, con mantenimiento adecuado, con estrategias de explotación turística efectiva; los índices de delincuencia en la zona se mantienen o en el mejor de los casos se reducen, por lo que Tela continúa siendo un destino turístico de mucho atractivo para nacionales y extranjeros; hay interés por parte de las autoridades en promover el Aeródromo de Tela e incluso se incluye dentro del presupuesto de inversión público.

Por último, en el Escenario Optimista, aquel en el que confluyen circunstancias, evoluciones y condiciones con el potencial de impulsar el crecimiento conceptual, geográfico y económico del aeródromo de Tela en lo que respecta a: mejoramiento de estatus como aeródromo hasta aproximar la propia condición a la de un aeropuerto, crecimiento geográfico del aeródromo en armonía con su entorno, acceso a un porcentaje mayor de los pasajeros viajando hacia y desde la Zona Atlántica de Honduras. En este escenario se estima un crecimiento del 10% anual tomando de base el año 2015 y proyectando hasta el 2030 considerando que ocurre lo siguiente: la Concesionaria realiza cierre del Aeropuerto Golosón de la Ceiba para el transporte de pasajeros, lo que reduce las opciones de transporte aéreo en la zona y aumentando la demanda directa del Aeródromo de Tela; los altos niveles de criminalidad, principalmente el “impuesto de guerra” cobrado al transporte terrestre a nivel nacional continúa incrementándose por lo que el cierre de empresas de transporte terrestre de la zona continúa, reduciendo las opciones para acceder a Tela por tierra y aumentando así el requerimiento de transporte por vía aérea; se crean estrategias de mercadeo y comercialización realmente efectivas entre hoteles-aerolíneas, incorporando al menos el 50% de los principales hoteles de la zona, para ofrecer precios y condiciones más cómodas que si el consumidor llegase por vía terrestre; se mantiene un precio de boleto aéreo similar al precio de boleto por transporte terrestre, dando el beneficio de una reducción de tiempos de 6 horas (bus) a 45 minutos-1 hora (avión), por lo que la demanda de este tipo de transporte aumenta en forma gradual; al crear paquetes efectivos hotel-aerolínea la demanda aumenta y las aerolíneas ofrecen nuevos horarios y días de rutas hacia y desde el Aeródromo de Tela; las aerolíneas que actualmente ofrecen rutas definidas realizan alianzas estratégicas con tour operadoras que promocionen los vuelos de turistas nacionales e internacionales por lo que la demanda aumenta significativamente; las Aerolíneas internacionales se interesan en crear rutas hacia el Aeródromo de Tela; el interés internacional puede ser a través de los campeonatos de Golf internacional que se realizan en el Hotel Indura de Tela; las aerolíneas que mantienen ruta definida para el Aeródromo de Tela ofrecen aeronaves que cuentan con condiciones de climatización y otros elementos de confort superiores a las requeridas por los usuarios; se ofrece a los pasajeros incentivos adicionales como alimentación o dulces típicos de la zona gratuitos, suvenires o similares gratuitos para pasajeros, a entregarse en el avión o incluso al llegar al Aeródromo de Tela, que pueden ser vía costos compartidos con el Ministerio de Turismo, al Alcaldía Municipal de Tela, la Aerolínea y otros; se generan incentivos especiales en

relación a venta de combustible (precios más bajos) y demás servicios complementarios en el Aeródromo de Tela que superan los ofrecidos a vuelos privados en el Aeropuerto Ramón Villeda Morales de San Pedro Sula, Golosón en la Ceiba o incluso en el Juan Manuel Gálvez de Roatán que puedan ser competencia para el Aeródromo de Tela; se realizan estrategias complejas de explotación de los atractivos turísticos de la zona, con presupuestos estatales que permitan la efectiva explotación turística; los índices de delincuencia en la zona se reducen significativamente, siendo conocido como uno de los destinos turísticos más seguros del país y de la región para ser mucho más atractivo para nacionales y extranjeros; hay interés por parte de las autoridades en promover el Aeródromo de Tela e incluso se incluye dentro del presupuesto de inversión público como una de las líneas principales del mismo.

VI CONCLUSIONES

1. Como muestran las estadísticas las pistas disponibles en el país, en su mayoría disponen de espacios suficientes para desarrollarse en sus respectivos contextos geográficos, en un número significativo están construidas con asfalto o concreto y oscilan en dimensiones de anchura y longitud aptas para el aterrizaje de una gama importante de aeronaves; sin embargo, la mayoría se encuentra en franco abandono y aquellas de las que se tiene noticia las autoridades municipales no las consideran de gran importancia dentro de sus planes de desarrollo; adicionalmente, no se dispone de estadísticas suficientes y actualizadas para conocer su situación según información actualizada.
2. En el conjunto de los aeródromos de Honduras el de Tela tiene condiciones que le permiten situarse en una posición privilegiada con respecto a la mayoría de aeródromos activos del País, en tal sentido podría competir en una posición favorable con otros destinos; pero por otra parte al aprovechar sus ventajas generaría un modelo de atención que podría servir como ejemplo a otros aeródromos que funcionan en condiciones similares.
3. No obstante, lo anterior las estadísticas del comportamiento de las operaciones de los aeródromos que reportan actividad en 2015 y 2016, muestran una diferencia significativa entre el número de operaciones de Tela que se coloca en el segundo lugar de los aeropuertos con más operaciones y Utila que ocupa el primer lugar, este último contabilizó en 2015, un total 2,503 operaciones más de cinco veces las operaciones que Tela que reportó 426. El Aeródromo de Utila sostiene esta ventaja bajo distintas perspectivas de análisis; lo cual hace que Tela luzca alejado de su próximo superior y relativamente cerca de su próximo inferior en términos de operaciones que es el de Puerto Lempira que registra 322 movimientos.
4. El aeródromo de Tela es considerado por los actores relacionados con su funcionamiento y potencial desarrollo como un elemento importante para impulsar el mejoramiento del turismo en el Municipio, esta concepción del aeródromo hace que algunos de los actores entrevistados muestren disponibilidad para involucrarse en el mejoramiento de la planificación territorial de toda la ciudad de Tela. Sin embargo, no se dispone de campañas publicitarias efectivas que divulguen las bondades de dicho aeródromo.
5. Se vuelve evidente la falta de formación del personal que atiende o debería atender el aeródromo en los aspectos de seguridad operacional, seguridad de la integridad de las personas y atención al turista. Por lo que el acceso a la seguridad operacional no está lo suficientemente restringido el acceso a la pista, no se dispone de un canal de comunicación formal con las aeronaves, no se cuenta con máquina de rayos x para revisión de equipaje. En

cuanto a la seguridad de los viajeros, ni los bomberos ni los representantes de la cruz roja tenían conocimientos sobre la atención a emergencias propias de un aeródromo; se informó, además, que ninguna de estas dos instituciones había capacitado a los encargados del aeródromo en atención a emergencias, como sí, lo habían hecho con algunas otras instituciones públicas y empresas privadas. Por lo que respecta a la formación para la atención al turismo, no se tuvo noticias de que se estuviera capacitando de forma sistemática a los distintos actores locales encargados de la prestación de servicios turísticos en la zona: taxistas, empleados de hoteles, artesanos, lancheros, guías turísticos, entre otros.

6. La programación de la ampliación de la pista del aeródromo, junto con otras iniciativas reportadas por los entrevistados (planificación del mejoramiento de la infraestructura, organización de gremios que prestan servicios a los turistas, una nueva edición del mapa de la ciudad, el levantamiento de información del movimiento del transporte terrestre y sobre la población propia y sobre los visitantes, entre otros) denotan un proceso de adecuación de la ciudad en términos de infraestructura, facilidades y organización para recibir mejor a los turistas. Sin embargo, no se percibe organicidad en la conducción de dicho proceso.
7. Las regulaciones nacionales e internacionales sobre aeródromos dan cuenta de un rango amplio de aspectos relacionados que incluye la planificación del aeródromo (los pronósticos con fines de planificación, el financiamiento y el control financiero, la evaluación y selección del emplazamiento del aeropuerto, entre otros aspectos), los terrenos y el control medioambiental (mitigación de impactos ambientales, consideraciones sobre las consecuencias ambientales que puede tener una accidente o incidente aeronáutico, carreteras, ferrovías, servicios municipales, viviendas en terrenos aledaños, entre otros) y hasta directrices para la preparación de contratos para consultores y construcción (Organización de la Aviación Civil Internacional (2002)); la atención a todos los aspectos mencionados requeriría una inversión que en el caso del Aeródromo de Tela, comprometería montos que pueden exceder a las posibilidades reales de inversión de la Municipalidad, si no se cuenta con un plan de recuperación de la inversión, en un corto y mediano plazo.
8. Como se ha evidenciado, la mayor parte de los movimientos aéreos registrados en el Aeródromo de Tela corresponden a vuelos de aviación general, corporativa y/o privada, esto debido a que las operaciones itineradas de la aerolínea comercial iniciaron hasta el mes de abril, después de la obtención de los datos para esta investigación; de igual forma se determina que considerando la proyección de movimientos aéreos en los escenarios tendencial y optimista que consideran exclusivamente vuelos privados, estos escenarios pueden ser cubiertos por los vuelos comerciales estimados en caso de mantener la ruta en los horarios que actualmente opera, lo que representaría un posible aumento considerable en el número de movimientos aéreos del Aeródromo de Tela.

VII AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil por facilitar datos estadísticos de los principales aeródromos de Honduras, a la Asociación para el Desarrollo Aeronáutico y Educativo de Honduras (ADAEH) por ofrecer su opinión sobre la optimización del funcionamiento del aeródromo de Tela, a los representantes de la Municipalidad de Tela, Atlántida, quienes relataron importantes testimonios

sobre el funcionamiento real del aeródromo de Tela en una perspectiva comunitaria y, al Msc José Isaac Castellón de la AHAC, por la revisión y oportunas correcciones al presente artículo.

Referencias

- Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil, A. (2016). *Estadísticas no publicadas de aeródromos de honduras*. Tegucigalpa.
- Dirección General de Aeronáutica Civil, D. (2008). *Rac 139*. Tegucigalpa: DGAC.
- Honduras Travel, H. (2016). <http://www.honduras.travel/>. Descargado de <http://www.honduras.travel/es/atlantida/destinos/explorar/refugio-de-vida-silvestre-cuero-y-salado>
- Informes y Proyectos Sociedad Anónima (INYPSA), I. (s.f.). *Documento no publicado. plan de ordenamiento territorial municipio de tela*. Tela, Atlántida.: INYPSA.
- Melgar Ceballos, M. (2016). *Primer informe de consultoría, plan de gobernanza territorial pgt tela 2020*. Tela.
- Municipalidad de Tela, M. (2015). *Plan de gobernanza*. Tela: Municipalidad de Tela.
- Organización de la Aviación Civil Internacional, O. (2002). *Manual de planificación de aeropuertos. doc 9184. parte ii utilización del terreno y control del medio ambiente*. Montreal: OACI.
- Poder Ejecutivo, P. (2014). *Decreto ejecutivo número pcm-007-2014*. Tegucigalpa: La Gaceta.
- Sampieri Hernandez, R., Fernandez Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2008). *Metodología de la investigación. quinta edición*. México: Mc Graw Hill Interamericana Editores.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Localización óptima de zonas potenciales para cosecha de agua lluvia mediante criterio booleano en la zona sur de Honduras, año 2017

José Cáceres Coello

Resumen

En Honduras 137 de los 298 municipios son considerados vulnerables a la sequía según el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (PANLCD) que es el instrumento técnico y estratégico elaborado en el año 2005. La captación de agua de lluvia, también denominada “cosecha de agua”, puede ser una de las soluciones para enfrentar el reto que plantea la baja disponibilidad del líquido en diversas regiones del país. Seis variables en criterio booleano fueron usados en esta investigación para seleccionar los sitios óptimos para la construcción de sistemas de cosecha y conservación de agua dentro del área de estudio. Se seleccionaron cinco municipios como área de estudio, todos en el departamento de Valle, y se encontró que las áreas óptimas para el establecimiento de cosechas de agua en la zona de estudio cubren un área de 3,529 Ha, lo cual representa un 5% del total del área.

Palabras Clave: Ponderación Booleana; Sistemas de Información Geográfica; Cosechas de Agua; Corredor Seco.

Abstract

In Honduras, 137 of the 298 municipalities are considered vulnerable to drought under the National Action Plan to Combat Desertification and Drought (PANLCD), which is the technical and strategic instrument developed in 2005. Rainwater harvesting, also known as “water harvesting”, may be one of the solutions to meet the challenge posed by the low availability of liquid in various regions of the country. Six variables in Boolean criteria were used in this research to select optimal sites for the construction of water harvesting and conservation systems within the study area. Five municipalities were selected as the study area, all in the department of Valle, and it was found that the optimal areas for establishing water harvests in the study area cover an area of 3,529 Ha, which represents 5% of the total area.

Keywords: Boolean weighting; Geographic information systems; Water Harvesting; Dry Corridor.

José Cáceres Coello Facultad de Ciencias Espaciales. Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Edificio K2, Ciudad Universitaria, Tegucigalpa M.D.C. Teléfono: 2216-3034. email: jcaceres@unah.edu.hn

Fecha de Recepción: 20 de agosto del 2018 / **Fecha de Aprobación:** 02 de noviembre del 2018

I INTRODUCCIÓN

En Honduras 137 de los 298 municipios son considerados vulnerables a la sequía según el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (PANLCD) que es el instrumento técnico y estratégico elaborado en el año 2005 (FAO (2014)).

De acuerdo al Informe de Evaluación de Impacto de la Sequía (FAO (2014)), en relación a las pérdidas de granos básicos en el ciclo de primera del 2014, se define que las familias en condiciones de extrema pobreza del Corredor Seco, son las más afectadas, familias que producen para la subsistencia y sin apoyo adicionales para la producción.

Actualmente el Gobierno de Honduras, a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería, tiene planeado desarrollar una fuerte inversión en proyectos de cosecha de agua para mitigar los efectos de la sequía prolongada, sin embargo, la selección de estos sitios no responde a variables de localización espacial, ni se estudia la idoneidad de los sitios seleccionados, por lo cual el desarrollo de este proyecto permitirá la optimización de la inversión pública en este tipo de proyectos, mediante de la identificación y selección de sitios que provean el mayor potencial de captación de agua lluvia (Coello (2004)).

En el año 2015 los problemas derivados por la Sequía en el Corredor Seco Hondureño se han agravado, según un informe de la (FAO (2014)), Honduras está en la lista de cuatro países centroamericanos que urgen ayuda internacional para paliar los efectos derivados por la prolongada canícula. Este es el segundo año consecutivo en que la cosecha de cereales (maíz) de la temporada principal en la región se ha visto afectada negativamente por la grave sequía relacionada con El Niño.

El fenómeno de la sequía es, entre las incertidumbres geográficas, la que ocasiona mayores pérdidas de producción en las regiones sin riego y, en muchas ocasiones, también en las que cuentan con él. La desertificación consiste en una degradación persistente de los ecosistemas de las tierras secas producida por las variaciones climáticas y la actividad del hombre. Las Cosechas de Agua son las captaciones de las aguas pluviales en las quebradas de invierno. Cada sistema implica estudios, diseño y ejecución de las obras hidráulicas y embalses para la captación y almacenamiento de aguas pluviales y líneas de conducción, así como el desarrollo y adopción de sistemas de riego de tipo complementario a nivel de la parcela de cada productor.

La captación de agua de lluvia puede ser una de las soluciones para enfrentar el reto que plantea la baja disponibilidad del líquido en diversas regiones del país donde la escasez de agua para consumo es producto de la falta de infraestructura para almacenamiento y de distribución del agua, la contaminación del agua superficial y subterránea y la ingobernabilidad en la gestión de este sector. Al captar y usar el agua de lluvia, con una tecnológica adecuada se puede contar con alternativas para el abastecimiento de agua a un bajo costo. La captación de agua de lluvia, también denominada “cosecha de agua” consiste en coleccionar el agua de las precipitaciones pluviales en una superficie para su almacenamiento y posterior uso (Coello (2004)).

Para identificar los sitios óptimos para el establecimiento de cosechas de agua en la zona sur del país se abordarán los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar el grado de amenaza a sequía en la zona sur de Honduras.

2. Caracterizar las zonas óptimas para la implementación de cosechas de agua en base a consideraciones binarias.

II ANTECEDENTES

El agua es uno de los recursos naturales más importantes de las regiones áridas del mundo (Allison, 1998) y hay zonas del mundo que tienen una grave escasez de agua. La escasez de agua, tradicionalmente, ha restringido el desarrollo donde el mismo se basa en suministros suficientes, fiables y duraderos en términos de cantidad y calidad (Dottridge y Gibbs (1998))

El Corredor Seco de Honduras se caracteriza por precipitaciones irregulares, además, los períodos de canícula son más extensos, y se intensifican cuando está presente el fenómeno de El Niño, porque se reducen las lluvias entre un 30-40%. En el 79% de los 1,800 casos, dura 2 meses o menos, y solo en los eventos más críticos, la anomalía es aumentada por un déficit de precipitación total anual o se prolonga a todo el período de la postrema (agosto a octubre) (FAO (2014)).

Durante las épocas de sequía la producción de estos cultivos se ve fuertemente afectadas en calidad y cantidad, el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur, ha afectado intensamente con eventos de sequía prolongados, en especial en la región del Pacífico, en la cual, y en gran medida cultiva granos básicos, producción de camarón, ganadería y aves, esta última en menor cantidad. Se puede decir que el fenómeno de El Niño es el mayor causante de pérdidas en el sector agrícola en la región Sur, y Sur-Occidente de Honduras lo que representa un impacto a la economía hondureña.

Sin embargo, vale la pena mencionar que estas pérdidas a pesar de tener como detonante a la sequía son asociadas al mal manejo de los recursos naturales. Así mismo otras amenazas como inundaciones y deslizamientos también son potenciales contribuyentes a estas pérdidas. En el último siglo el país ha sufrido la ocurrencia de 27 huracanes, tormentas tropicales y variados desastres naturales con un aproximado de 4.7 millones de personas afectadas.

Los departamentos de Gracias a Dios, Colón, Atlántida, Cortés y Yoro están mayormente expuestos a desastres por inundaciones. Por otro lado, los departamentos como Valle, Choluteca, La Paz, Comayagua son proclives a sufrir inundaciones pero también sequías, especialmente afectando a los pobres (FAO (2014)).

La búsqueda de nuevos recursos de agua tiene una alta prioridad en el país debido a la situación actual de los recursos hídricos disponibles. Entre estos recursos es la captación de agua por las presas y estanques. Captación de agua se aplica en las regiones áridas y semiáridas donde las precipitaciones son o no suficientes para mantener un buen crecimiento de los cultivos y pastos o cuando, debido a la naturaleza errática de precipitación, el riesgo de fracaso de la cosecha es muy alta (Prinz y Singh (2000)).

Antes de la construcción de nuevos esquemas de recolección de agua, los sitios óptimos para estos esquemas deben ser cuidadosamente seleccionados en base a los parámetros físicos y socio-económicos que caracterizan la zona específica. La capacidad de los SIG para manipular los datos geográficamente referenciados da a los tomadores de decisiones en una excelente herramienta para

elegir los mejores sitios para los esquemas de recolección de agua.

Los aspectos físicos e hidrológicos de la captación de agua se han explorado a través del uso de sistemas de información geográfica (SIG) y el modelado hidrológico en varios estudios. (Srivastava (1996)) mencionó que, para los pequeños embalses de riego, la selección del sitio se basa en consideraciones hidrológicas, topográficas y socioeconómicas. (Vorhauer y Hamlett (1996)) utilizaron un enfoque de SIG para localización de estanques de riego para uso agrícola. Los criterios de selección de sitios utilizados en sus investigaciones incorporan suelo e idoneidad de pendiente, la cobertura del suelo actual y el uso del suelo en la zona. (Nisar Ahamed y Murthy (2008)) desarrollaron un algoritmo basado en SIG para determinar la ubicación de los puntos de venta para las pequeñas cuencas para determinar los posibles emplazamientos para embalses. Los investigadores utilizaron un mapa de drenaje y una rejilla-DEM como entrada. (Baban y Wan Yusof (2003)) desarrolló, aplicó y evaluó un criterio de selección de sitios que incluyeron la hidrología y la hidráulica, la topografía, la geología, la economía, y las implicaciones ambientales para seleccionar los sitios de depósito adecuados a gran escala en ambientes tropicales mediante teledetección y SIG como herramienta de ayuda a los tomadores de decisiones. (Forzieri, Gardenti, Caparrini, y Castelli (2008)) utilizaron los SIG como herramienta para la pre-selección de sitios adecuados para la superficie y pequeñas presas subterráneas en zonas áridas de la región de Kidal, Malí. (Chang y Breeden (2008)) combinaron SIG y evaluación multicriterio difusa para el emplazamiento de vertedero en una región urbana de rápido crecimiento en el Valle del Río Grande Bajo, Texas, EE.UU. (Kallali, Anane, Jellali, y Tarhouni (2007)) utilizaron un análisis multicriterio basado en SIG para los posibles sitios de recarga de acuíferos de aguas residuales en la parte nororiental de Túnez. (Gemitzi, Tsihrintzis, Christou, y Petalas (2007)) utilizaron los SIG en emplazamiento instalaciones de estanques de estabilización para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Grecia. El uso de los SIG para la ubicación de esquema de recolección de agua se ha explorado también por otros investigadores (Ramalingam y Santhakumar (2000)).

Esos investigadores utilizaron los SIG para seleccionar sitios adecuados para esquemas de recolección de agua (estanques y presas) en diferentes partes del mundo. Se han utilizado diferentes capas de SIG, incluyendo el uso del suelo, las carreteras, la topografía y el suelo.

III ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca los municipios de Caridad, Aramecina, Goascorán, Langue y Alianza, del Departamento de Valle (Sur de Honduras), específicamente en la parte baja de la cuenca del Río Goascorán, y cubre un área total de 68,533 hectáreas, lo que representa aproximadamente un 42% de la extensión total del Departamento (Figura 1), y se encuentra habitada por 54,699 habitantes distribuidos en 343 caseríos (2013).

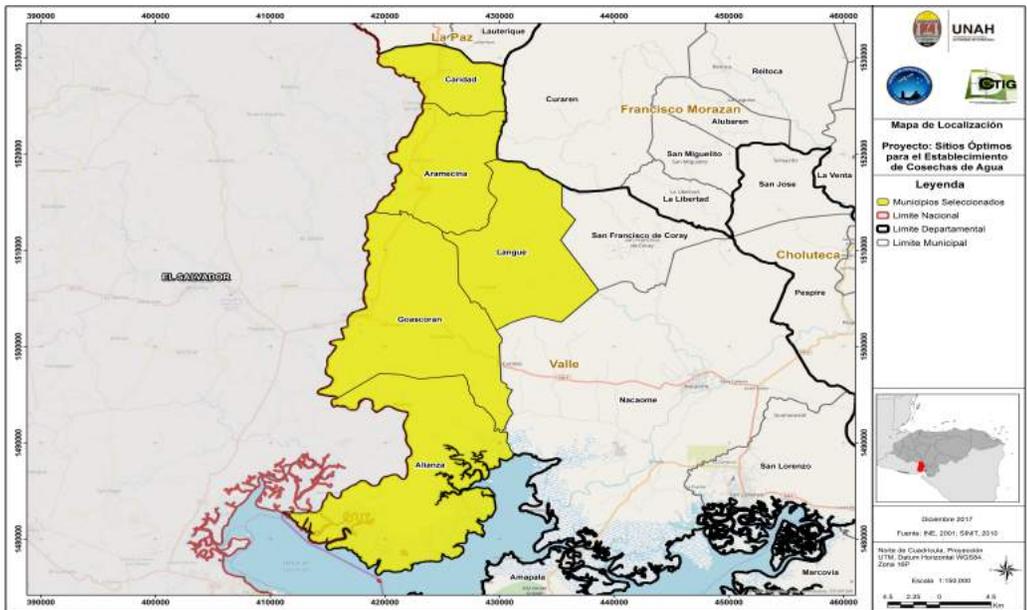


Figura 1: Área de Estudio. Elaboración propia

El tipo de drenaje es dendrítico con mayor densidad en la parte alta y media que definen ocho subcuencas con ríos de gran importancia que conforman la red hídrica de la misma. La cobertura natural vegetal se caracteriza por encontrar rodales de pino en asociación con especies menores como nance, roble y encino en la zona alta de la cuenca, la zona media se caracteriza por el desarrollo de actividades productivas, como ganadería, agricultura y la pesca artesanal. En la zona baja encontramos zonas con pendientes menores al 10% con vegetación característica de bosques xerofíticos caducifolios en la generalidad de las especies.

En la zona baja de la cuenca, la red hídrica está conformada por los ríos Las Pilas, Agua Caliente, y Santa Rosa, que son tributarios del Río Pasaquina, formado por la unión del Río Santa Rosa y Agua Salada y a la vez, el río Pasaquina es tributario del Río Goascorán. El río Guajiniquil hasta su confluencia con el Río Goascorán sirve de Línea Divisoria entre los dos países, de manera que la subcuenca del Río Guajiniquil es la única binacional, pues a ella drenan aguas de los dos territorios. Por lo general, a estos ríos principales se unen pequeños riachuelos y quebradas de menor importancia, los cuales constituyen el sistema de drenaje natural tipo dendrítico, cuyas longitudes en sus cauces varían de 12 a 51 Km.

En la parte baja de la cuenca, las especies vegetales que se encuentran están relacionadas con los sistemas acuáticos, formados por manglares y humedales y vegetación nativa dispersa entre los que se encuentra el quebracho, madre cacao, guanacaste, laurel y almendro de río. Dentro de los manglares tenemos el más común como el *Ryizophora mangle* y *Ryizophora racemosa* comúnmente llamado como mangle colorado. También se pueden observar especies introducidas a orillas de la carretera, siendo ellas el Terebinto, Teca, eucalipto, paraíso, leucaena, mamón, almendro de playa, flor de fuego y cerezo de Belice o carao.

En la actualidad la fauna se encuentra muy escasa, según la percepción de los habitantes es debido a la caza y a la deforestación por quemas agrícolas, sin em-

bargo, los avistamientos de las pocas especies existentes ocurren principalmente durante la noche debido a los hábitos nocturnos de las mismas. En el contexto territorial de la zona de estudio ha sido identificada un área natural protegida, que por la importancia de los recursos naturales que posee, ha sido incluida en los planes de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Es necesario recalcar la importancia de lograr un desarrollo sostenible en la cuenca y específicamente en la parte baja de la misma, para lo cual se vuelve fundamental preservar los ambientes propicios para asegurar la disponibilidad de recursos naturales en el área.

El área protegida encontrada dentro de nuestra zona de estudio es la Bahía de Chismuyo, la cual abarca parte del municipio de Alianza, y la misma comprende un área de aproximadamente 282 Km², en una zona de vida catalogada como bosque húmedo montano bajo. Es un área conformada de rodales de manglares que son el hábitat de reptiles y mamíferos, crustáceos, aves, moluscos y peces. Actualmente se da una expansión y establecimiento de fincas camaroneras, deforestación por uso de madera y leña y expansión ganadera, lo cual genera grandes presiones al área protegida (Moreno Segura, Mondragón Rivera, Cáceres Coello, y Carías Arias (2016)).

IV METODOLOGÍA

El alcance del estudio es la delimitación de zonas óptimas para el desarrollo de proyectos de cosecha de agua en la zona sur de Honduras.

El enfoque del estudio es estrictamente cuantitativo, ya que se pretende cuantificar la cantidad de área adecuada para el desarrollo de proyectos de cosecha de agua. Basado en un tipo de estudio correlacional, mediante la construcción de un modelo espacial multicriterio a partir de las variables seleccionadas para determinar la idoneidad de una zona para captar agua lluvia.

La población del estudio lo conforma el territorio de los municipios, que serán priorizados, pertenecientes al departamento de Valle.

Se presenta a continuación un esquema metodológico que resume las fases del desarrollo del proyecto de investigación

1. **Delimitación concreta y clara de la zona de estudio.**

Se procederá a priorizar los municipios del departamento de Valle más afectados por los eventos de desertificación y sequía y se procederá posteriormente a delimitar el área de estudio.

2. **Formulación de los criterios de localización a ser tenidos en cuenta en el proceso de análisis y resolución del problema. Para ello se realizará una revisión de la literatura sobre la cuestión.**

En base a la revisión bibliográfica se procederá a definir las variables a utilizar para la selección de sitios óptimos para el desarrollo de proyectos de cosecha de agua, así como las posibles fuentes de generación de esa información.

3. **Creación de la base de datos geográfica a utilizar en el análisis posterior.**

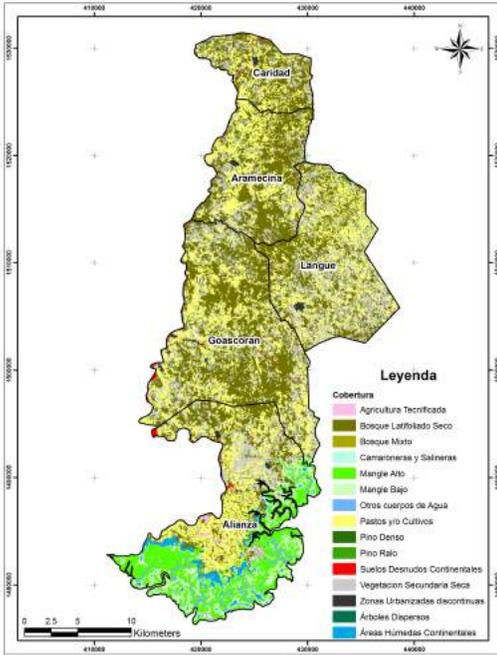
Se procederá a recopilar la información necesaria y a espacializar las variables dentro de una base de datos geográfica que permita el análisis espacial de la misma.

4. **Análisis descriptivo de las variables territoriales planteadas para conocer bien la situación inicial. Diseño y realización de un conjunto cartográfico de todas las variables.**
Se procederá a realizar un análisis descriptivo de la información geográfica recopilada y se procederá a generar la representación cartográfica necesaria, por variable, del área de estudio
5. **Definición de un procedimiento de resolución del problema, basado en la revisión de la literatura, procedimiento que permitirá, mediante técnicas SIG y de evaluación multicriterio, definir las zonas más adecuadas para la localización de las instalaciones hidráulicas necesarias.**
Se procederá a definir un modelo espacial que permita definir la conjugación de diferentes variables para identificar zonas adecuadas para la localización de las instalaciones hidráulicas.
6. **Identificación y análisis detallado de las características de las zonas seleccionadas como más adecuadas. Elaboración de un conjunto cartográfico de los factores de localización y de las diversas soluciones encontradas.**
Basado en criterios mínimos de selección se procederá a aglomerar las zonas óptimas identificadas, basado en tamaños mínimos requeridos para satisfacer necesidades en base a población, para identificar, seleccionar y cartografiar las zonas óptimas.

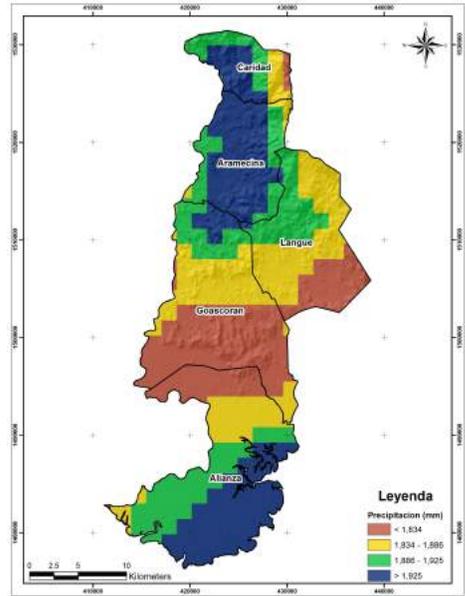
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área de estudio seleccionada se basó en previos estudios realizados en la zona del corredor seco, específicamente en cinco municipios de la cuenca baja del Río Goascorán, pertenecientes al departamento de Valle (Figura 1). Estos municipios fueron clasificados como sequía moderada según el índice de sequía de Palmer. El área de estudio abarca los municipios de Caridad, Aramecina, Langue, Goascorán y Alianza, y cubre un área total de 68,533 hectáreas y se encuentra habitada por 54,699 habitantes distribuidos en 343 caseríos (2013).

La cobertura forestal (Figura 2) en el área de estudio se compone principalmente de bosque latifoliado seco (34%), pastos y/o cultivos (30%), vegetación secundaria seca (18%), entre otros. Las precipitaciones varían de 1,780 a 2,060 mm anuales (Figura 3), encontrándose las mayores precipitaciones en la parte norte del área de estudio y en el sur en la zona costera. La elevación de la zona de estudio varía de cero en la zona costera localizada al sur del área de estudio hasta los 1,260 m.s.n.m. en la parte norte (Figura 4) La dirección del flujo de agua superficial es hacia el sur, siguiendo la pendiente natural del terreno (Figura 5).

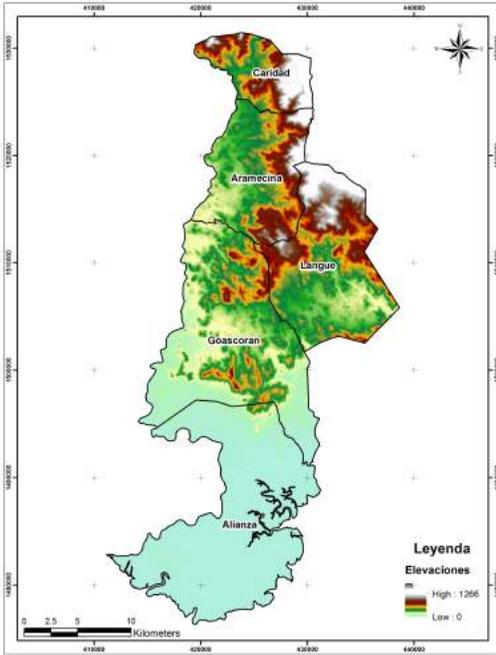


(a) Figura 2: Cobertura Forestal. Elaboración propia

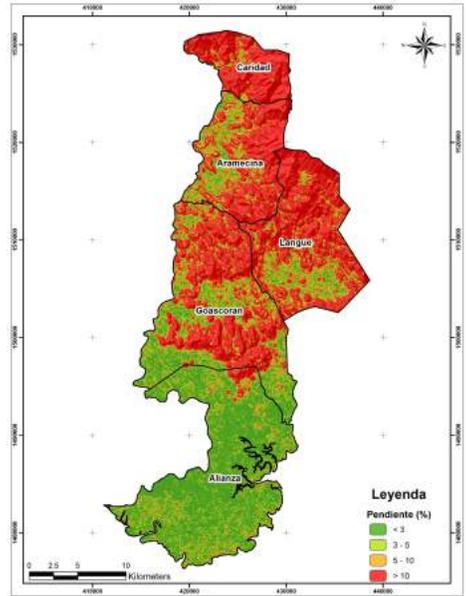


(b) Figura 3: Precipitaciones. Elaboración propia

Seis criterios en ponderación binaria fueron usados en esta investigación para seleccionar los sitios óptimos para la construcción de sistemas de cosecha de agua dentro del área de estudio. Estos criterios incluyen, precipitación anual, pendiente (%), distancia a cuerpos de agua, cobertura del suelo, distancias a centros urbanos y distancia a red vial, (Shatnawi (2016)) tal y como se muestra en la Tabla 1.



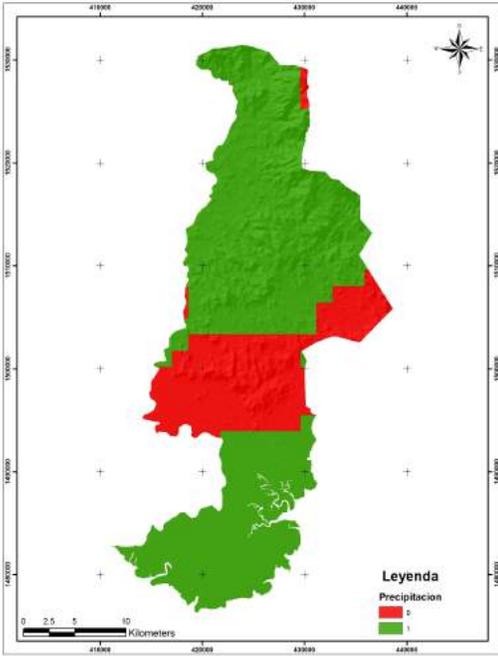
(a) Figura 4: Elevaciones. Elaboración propia



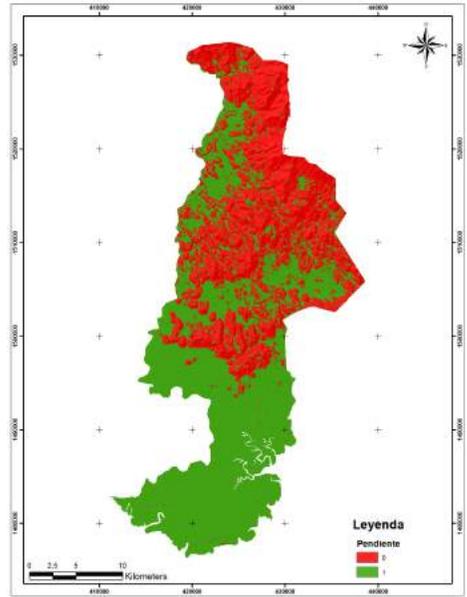
(b) Figura 5: Pendientes. Elaboración propia

Tabla 1: Pesos, Rangos y Ponderación de los seis criterios utilizados. Elaboración propia

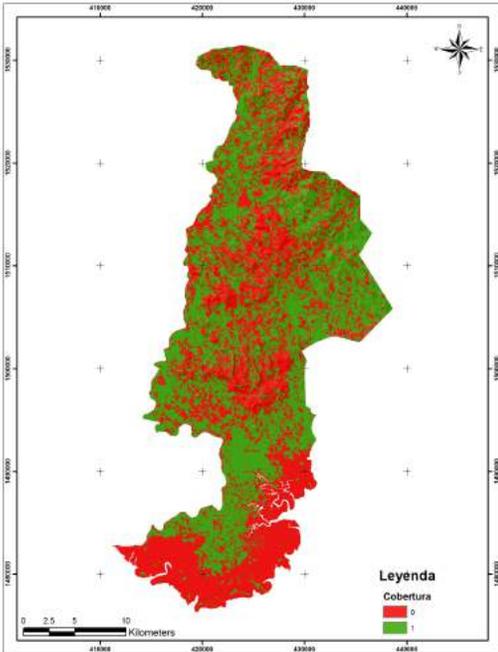
Parámetros	Rangos	Ponderación
Precipitación anual (mm)	< 1,886	0
	> 1,886	1
Pendiente (%)	> 5	0
	< 5	1
Cobertura del suelo	Bosque latifoliado seco, bosque mixto, pino denso, pino rolo, mangle alto, mangle bajo, otros cuerpos de agua, camaroneras y salineras, Agricultura tecnificada, zonas urbanizadas discontinuas	0
	Pastos y/o cultivos, árboles dispersos, Vegetación secundaria seca, suelos desnudos, áreas húmedas	1
Distancia a cauces (m)	> 1000	0
	< 1,000	1
Distancia a centros poblados (m)	> 1500	0
	< 1500	1
Distancia a red vial (m)	> 1000	0
	< 1000	1



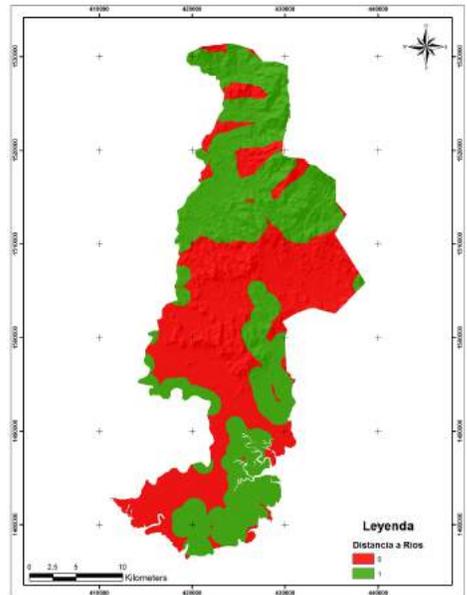
(a) Figura 6: Precipitación Anual. Elaboración propia



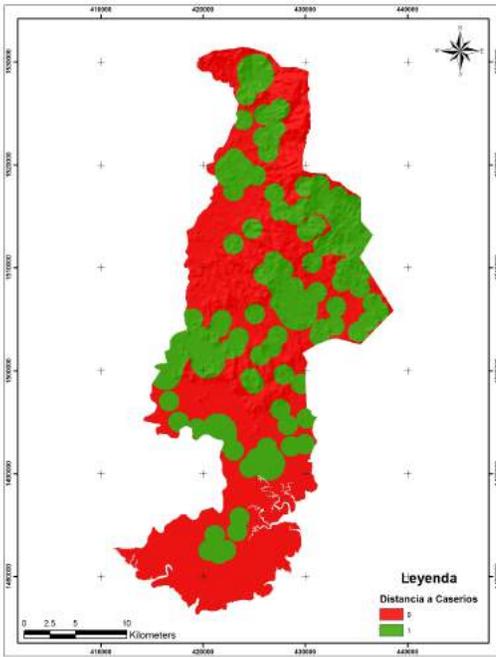
(b) Figura 7: Pendientes. Elaboración propia



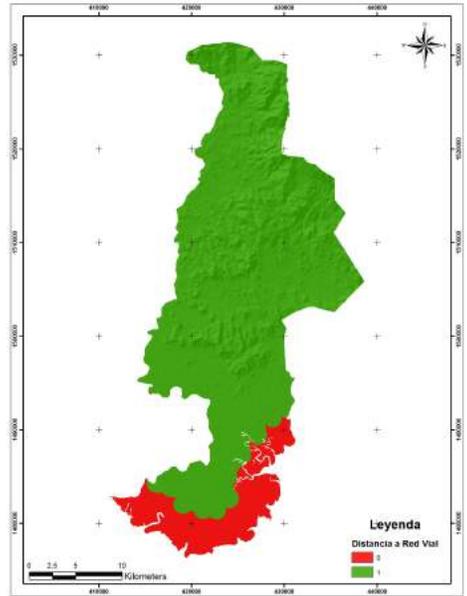
(a) Figura 8: Cobertura del Suelo. Elaboración propia



(b) Figura 9: Distancia a Cauces. Elaboración propia



(a) Figura 10: Distancia a Centros Poblados. Elaboración propia



(b) Figura 11: Distancia a Red Vial. Elaboración propia

Los criterios utilizados fueron implementados utilizando programas especializados en el manejo de información geográfica, mediante el cual se utilizaron procesos de reclasificación para definir la ponderación pertinente para cada categoría. En las Figura 6 a Figura 11, se muestran los resultados obtenidos al realizar los procesos de reclasificación.

En esta investigación, se encontró que el valor mínimo calculado por el método de ponderación booleana fue de 0, mientras que el máximo fue de 1. En base a los valores obtenidos se definieron dos categorías, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación del Nivel de Adecuación y el Resultado Final del método WLC. Fuente: Elaboración propia

Clase	0	1	Total
Nivel de Adecuación	No adecuado	Adecuado	
Área (ha)	64,998.08	3,529.28	68,527.36
% del Total del Área	94.85	5.15	100

Se encontró que las áreas óptimas para el establecimiento de cosechas de agua en la zona de estudio cubren un área de 3,529.28 Ha (Figura 12), lo cual representa un 5.1% del total del área (Al-Adamat, 2008), mientras que las áreas restantes se clasifican como No Adecuado (94.85%).

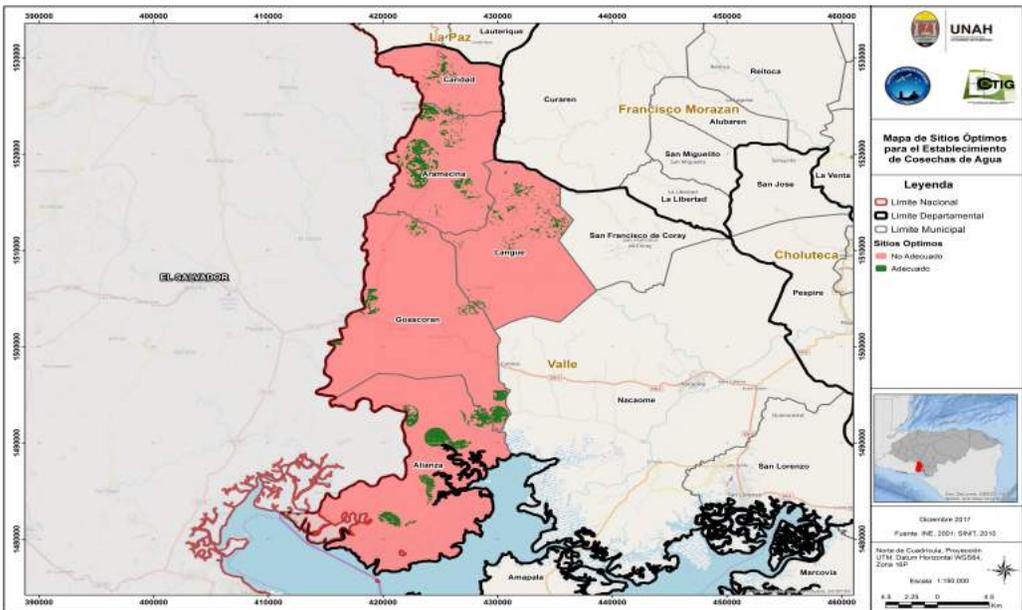


Figura 7: Mapa de Localización de Sitios Óptimos. Elaboración propia

VI CONCLUSIONES

El corredor seco de Honduras, específicamente los municipios seleccionados pertenecientes al Departamento de Valle, es catalogado como una zona muy seca y con escasez de agua, sin embargo, tal y como se ha encontrado en este estudio, las precipitaciones de la zona son considerables, por lo cual se evidencia

una falta de infraestructura para retener y aprovechar sosteniblemente el recurso agua de la zona. Los proyectos de cosecha de agua han sido utilizados en zonas donde no se posee infraestructura de gran envergadura, como alternativas viables para aprovechar las precipitaciones de la zona.

En esta investigación se han utilizados varias técnicas de análisis espacial para seleccionar los sitios óptimos para el establecimiento de cosechas de agua en los municipios de Caridad, Aramecina, Goascorán, Langué y Alianza.

El método de Combinación Lineal Ponderada (WLC), con enfoque binario, se aplicó sobre seis criterios espaciales resultando en la identificación de un 5% del total del área de estudio (3,529.28 Ha) con un potencial alto para la construcción de cosechas de agua.

En conclusión, esta investigación demostró las poderosas capacidades de los SIG en el manejo de datos digitales para seleccionar los sitios óptimos para las cosechas de agua en la cuenca baja del Río Goascorán. El corredor seco, con sus recursos hídricos limitados, tiene una necesidad de implementar herramientas científicas que ayuden a los tomadores de decisiones, en diversos niveles gubernamentales, a combatir la escasez de agua, ahorrando dinero y tiempo para explorar áreas para la selección de sitios óptimos para cosechas de agua.

Por último, se recomienda que los organismos gubernamentales utilicen el SIG para seleccionar los sitios óptimos para los proyectos de cosecha de agua en todo el país. Asimismo, se recomienda que la metodología adoptada en esta investigación se desarrolle a través de la integración de los conocimientos indígenas que puedan conducir a una mejor selección del sitio. Además, se recomienda llevar a cabo trabajos de campo en los sitios seleccionados para una investigación más profunda para asegurarse de que los sitios seleccionados no estén en conflicto con otros usos de la tierra que no se muestran al investigador a través de los datos SIG disponibles.

Referencias

- Baban, S., y Wan Yusof, K. (2003). *Modelling optimum sites for locating reservoirs in tropical environments*. doi: 10.1023/A:1023066705226
- Chang, G., N. B. and Parvathinathan, y Breeden, J. B. (2008). *Combining gis with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. research support, non-u.s. gov't*. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.01.011
- Coello, J. C. (2004). *Localización óptima de zonas potenciales para cosecha de agua lluvia en la zona sur de honduras, año 2016*. doi: <http://dx.doi.org/10.5377/ce.v10i1.5819>
- Dottridge, J., y Gibbs, B. (1998). *Arid land resources and their management, jordan desert margin*. FAO. (2014). *Aplan de acción nacional de lucha contra la desertificación (pan-lcd) 2014-2022*. Honduras.
- Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F., y Castelli, F. (2008). *methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of kidal, mali*. doi: 10.1016/j.pce.2007.04.014
- Gemitzi, A., Tsihrintzis, V. A., Christou, O., y Petalas, C. (2007). *Use of gis in siting stabilization pond facilities for domestic wastewater treatment. research support, non-u.s. gov't*. doi: 10.1016/j.jenvman.2005.12.022
- Kallali, H., Anane, M., Jellali, S., y Tarhouni, J. (2007). *Gis-based multi-criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites*. doi: 10.1016/j.desal.2006.11.016
- Moreno Segura, E., Mondragón Rivera, C., Cáceres Coello, J., y Carias Arias, A. (2016). *dentificación de riesgos por desastres naturales en las cuencas hidrográficas matasnillo (panamá) y goascorán (honduras), y su relación con el cambio climático utilizando tecnologías de información geográfica*. doi: <http://dx.doi.org/10.5377/ce.v9i1.3126>

- Nisar Ahamed, K., T. R. and Gopal Rao, y Murthy, J. S. R. (2008). *Automatic extraction of tank outlets in a sub-watershed using digital elevation models*. doi: 10.1016/S0378-3774(02)00047-1.
- Prinz, D., y Singh, A. K. (2000). *Water resources in arid regions and their sustainable management*. *annals of arid lands*.
- Ramalingam, M., y Santhakumar, A. R. (2000). *Case study on artificial recharge using remote sensing and gis*. Retrieved 11/26/2015. Descargado de <http://geospatialworld.net/Paper/Application/ArticleView.aspx?aid=1276>
- Shatnawi, G. (2016). *Determine the best sites for water harvesting projects (dams & hafirs) in northeastern badia using gis applications*. Unpublished M.Sc. thesis, Al Al-Bayt University, Mafrq.
- Srivastava, R. (1996). *Methodology for optimizing design of integrated tank irrigation system*. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496(1996)122:6(394)
- Vorhauer, C., y Hamlett, J. (1996). *Gis; a tool for siting small farm ponds*. Cartagena . Bogotá. Colombia.

Análisis de la distribución espacial de los espacios públicos en las ciudades del Distrito Central, Comayagua y Siguatepeque, Honduras, 2017

Celina Michelle Sosa Caballero

Resumen

La identificación del patrón de distribución de los espacios públicos en las ciudades se analiza en el proyecto de investigación "Análisis Comparativo de la Distribución Espacial de los Espacios Públicos en las Ciudades del Distrito Central, Comayagua y Siguatepeque, Honduras". Para cumplir con el objetivo de la investigación, metodológicamente se han utilizado las herramientas de los sistemas de información geográfica para realizar un análisis y conocer las similitudes y diferencias que existen entre la distribución espacial de los espacios públicos de las ciudades en estudio. El resultado produjo que la distribución espacial de los espacios públicos en las tres ciudades presenta similitud en la categoría de infraestructura deportiva y recreativa, y diferencia en la categoría cultural.

Palabras Clave: Espacios Públicos, Patrones de distribución Geoespacial, Sistemas de Información Geográfica.

Abstract

The identification of the pattern of distribution of public spaces in cities is analyzed in the research project "Comparative Analysis of the Spatial Distribution of Public Spaces in the Cities of the Central District, Comayagua and Siguatepeque, Honduras". To realize the objective of the research, methodologically the tools of the geographic information systems have been used to carry out an analysis to know the similarities and differences that exist between the spatial distribution of the public spaces of the cities under study. The result produced of the public spaces in the three cities presents similarity in the category of sports and recreational infrastructure, and difference in the cultural category.

Keywords: Public spaces, Geospatial distribution patterns, Geographic Information Systems.

Celina Michelle Sosa Caballero

Honduras, Tegucigalpa M.D.C., Ciudad Universitaria, email: sosacelina@yahoo.com, Máster en Ordenamiento y Gestión del Territorio, Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, Facultad de Ciencias Espaciales. Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Fecha de Recepción: 6 de agosto del 2018 / **Fecha de Aprobación:** 2 de noviembre del 2018

I INTRODUCCIÓN

La Agenda 21 Cultural en el tema de cultura, sostenibilidad y territorio define los espacios públicos como: “espacios de cultura”. Así mismo, entre los principios de la Agenda de Ordenamiento Territorial del Consejo Centroamericano de Vivienda y Asentamientos Humanos –CCVAH- (2010), se contempla la calidad del espacio público y se definen de la siguiente manera: “los espacios públicos son elementos esenciales para la vida, dinamismo, identidad y cultura de un asentamiento humano, razón por lo que éstos deben ser diseñados y ubicados de forma que respondan a estas funciones. Deben articularse funcionalmente con la vivienda entre otros espacios, integrándose de tal forma que no se conviertan en lugares propicios para afectar la seguridad ciudadana” (CCVAH (2018)).

Los espacios públicos son tradicionalmente definidos como satisfactores de necesidades de recreación, ocio y culturales, y parte esencial en el desarrollo físico y emocional de las personas. Los municipios de Honduras forman parte de la iniciativa de la Agenda 21 Cultural, en la cual se declara el compromiso de “promover la existencia de los espacios públicos de la ciudad; fomentar su uso como lugares culturales de relación y convivencia y promover la preocupación por la estética de los espacios públicos y en los equipamientos colectivos” (Ciudades y Gobiernos Locales Unidos (2004)).

Entre los años del 2013 al 2016 se realizaron investigaciones sobre la distribución espacial de espacios públicos en las ciudades del Distrito Central, Comayagua y Siguatepeque, con los cuales, por primera vez en Honduras, se logran elaborar mapas de su distribución geoespacial, además del análisis de la concentración y dispersión de la infraestructura de dichos espacios en relación con el centro y las zonas residenciales para cada una de las ciudades estudiadas.¹

Una vez concluidos los estudios por ciudad, se ha valorado la oportunidad de avanzar analíticamente al proponer un estudio comparativo del comportamiento observado en cada una de las ciudades, que permita discutir sobre la posibilidad de encontrar un sólo patrón de distribución espacial de las infraestructuras de espacios públicos o si cada ciudad tiene una lógica particular de uso de suelo en cuanto a estos espacios. Obteniendo como resultado la identificación de similitudes en la categoría de infraestructura deportiva y recreativa, y diferencia en la categoría cultural.

II ANTECEDENTES

Varios estudios sobre espacios públicos siguen la recomendación de la Organización Mundial de la Salud, en el sentido de que ciudades deben de tener como mínimo, de entre $10m^2$ a $15m^2$ de área verde por habitante, dispersados equitativamente en relación a la población (CAT-MED. (2018)).

En Europa, en la etapa de desindustrialización, la integración europea, la migración internacional, la globalización económica y el cambio climático, a los espacios públicos se les ve como apoyo a estos procesos (Madanipour y Degros

¹Sosa Caballero, C. M. (2014). Distribución Geoespacial de los Espacios Públicos en el Distrito Central de Honduras. Sosa Caballero, C. M. (2016). Distribución Geoespacial de los Espacios Públicos en la Ciudad de Comayagua, Honduras. Sosa Caballero, C. M. (2016). Distribución de los Espacios Públicos en la Ciudad de Siguatepeque para el Análisis del Equilibrio Territorial de la Oferta Cultural y Recreativa de la Ciudad. Tegucigalpa, Honduras sin publicar.

(2014)).

En Latinoamérica, actualmente se le da una gran importancia a la recuperación o construcción de espacios públicos, por tratarse de un lugar de esparcimiento y convivencia.

Esta es una de las razones por las cuales hay estudios que enfatizan sobre la recuperación de los citados espacios: Colombia, Venezuela, Chile y México son algunos de los países que han tratado el tema. Algunos de los estudios destacan lo siguiente:

- El estudio de Espació Público y Calidad Urbana en Pereira Visión de una Nueva Ciudad (Colombia), menciona que habitar una ciudad no solo consiste en obtener una propiedad de espacio privado, sino que, en una estructura adecuada de espacio público se observa el complemento necesario de sentido individual de habitar y es por esta razón que se debe de pensar y realizar intervención destinada a la mejora de la calidad de vida en el hábitat construido, para asegurar la existencia de una sociedad más equilibrada e incluyente (Bolívar Galvis (2012)).
- El estudio denominado El Uso Social del Espacio Público y su Vínculo con El Sistema Integrado de Transporte Masivo. Caso: Cartagena (Colombia), prioriza en la formulación de proyectos sobre la recuperación de los espacios públicos, porque contienen un alto impacto sobre el bienestar y la vida comunitaria de las poblaciones (Gonzales Saboya, Suarez, y Yori (2009)).
- En el estudio identificado como Proceso de Recuperación de Espacios Públicos de Municipio de Tuluá, Reubicación de Poblaciones de Vendedores Informales (Colombia), destacan la importancia al objetivo de la construcción de espacios como son plazas, zonas verdes, etc. Además, también enfatizan en la recuperación de los espacios abandonados, logrando que la gente se responsabilice de mantenerlos en buen estado y los use adecuadamente (Duarte, Aristizabal Valencia, y Carvajal Zapata (2008)).
- El estudio, Prevención Situacional del Delito en espacios Públicos Urbanos: Rol del Gobierno Local (Chile), plantea que para logra evitar los delitos en los espacios públicos urbanos, el gobierno local debe de tener un rol principal por ser una entidad política responsable de la toma de decisiones relacionadas al nivel territorial, pero esta función, el gobierno local, debe de realizarlo en conjunto con las comunidades que en él habitan (Salazar (s.f.)).
- El estudio, La Recuperación del Espacio Público para la Sociabilidad Ciudadana (Venezuela), considera que un espacio público recuperado tiene que cumplir con la condición de ser un espacio para la sociedad, favoreciendo un ambiente adecuado para que las personas puedan realizar actividades que inciten a su evolución psicosocial, como ser, participar, recrearse, culturizarse y llegar a una plenitud espiritual (Rangel Mora (2002)).
- El estudio, Espacios Públicos en la Frontera: Estudio Comparativo Ciudad Juárez Chihuahua - El Paso Texas (México – Estado Unidos), se realiza a partir de la perspectiva de una frontera como es el caso de Ciudad Juárez Chihuahua y El Paso Texas. Donde se busca identificar los factores que alteran la morfología urbana de las dos ciudades en relación con la configuración de sus espacios públicos analizando sus usos y características, pero siempre teniendo en cuenta el factor de ser ciudades fronterizas (Gutiérrez (2010)).

De los estudios mencionados anteriormente, se destaca la postura de que al recuperar o construir espacios públicos, se puede generar un impacto de bienestar

social, por ser un lugar de encuentro de diversos actores y cumplir la función de intercambio. También se resalta la importancia de los gobiernos locales en asegurar la existencia de estos espacios para la convivencia ciudadana.

En Honduras, En la Ley Marco del Desarrollo de la Juventud Decreto Número 260 - 2005, define sobre los derechos que tienen los jóvenes de tener un lugar donde puedan realizar actividades recreativas y de ocio. Estos artículos son: Artículo 6 y 13, promover una vida saludable e integral a través de la educación, la ciencia, la tecnología, el arte y la cultura general; el deporte, el ejercicio físico y otras actividades de sana recreación; los jóvenes tienen derecho a un nivel de vida digno y que la familia, la escuela, los órganos estatales y las organizaciones sociales promuevan la educación, la capacidad creativa, la cultura, el deporte y la recreación de los jóvenes (Congreso Nacional de Honduras. (2006)).

En el Reglamento General de la Ley de Municipalidades Acuerdo Número 018-93 en el Artículo 207 define: para la construcción, reconstrucción o modernización de plazas, parques jardines de recreo y canchas deportivas es de interés social decretar la expropiación de predios urbanos (Congreso Nacional de Honduras. (1993)).

III METODOLOGÍA

III.1 El Alcance del Estudio

El alcance del estudio es de tipo comparativo, analizando los patrones de distribución identificados en cada ciudad de estudio para identificar similitudes y diferencias.

III.2 Profundidad del Estudio

La investigación es cuantitativa; pues se procesan datos espaciales, clasificados y analizados cuantitativamente, se extraen patrones de distribución espacial, para ser comparados entre las ciudades de estudio.

III.3 Temporalidad del Estudio

El estudio es de corte transversal porque se realizó en un punto determinado en el tiempo para el año 2017.

III.4 Unidad de Análisis y Población del Estudio

La Población de análisis son las ciudades del Distrito Central, Comayagua y Siguatepeque y la unidad de análisis son los patrones de distribución espacial de las infraestructuras culturales, deportivas y recreativas de las ciudades.

III.5 Clasificación de las Bases de Datos Existentes por Ciudad

Se clasificaron las diferentes bases de datos de las infraestructuras de los espacios públicos en las categorías cultural, deportiva y recreativa para cada una de las ciudades.

III.6 Análisis de la Información

Mediante el uso de herramientas SIG se definió el patrón para cada una de las ciudades y con análisis espacial se determinó la similitud y/o la diferencia de patrones entre las ciudades en estudio.

IV Resultados

IV.1 Características de la Infraestructura de Espacios Públicos de la Ciudad del Distrito Central

En la ciudad del Distrito Central existe un total de 374 infraestructuras para la oferta deportiva, cultural y recreativa de la ciudad, el 81% de la infraestructura es deportiva, el 10.7% es cultural y el 8.3% es recreativa (ver figura 1).

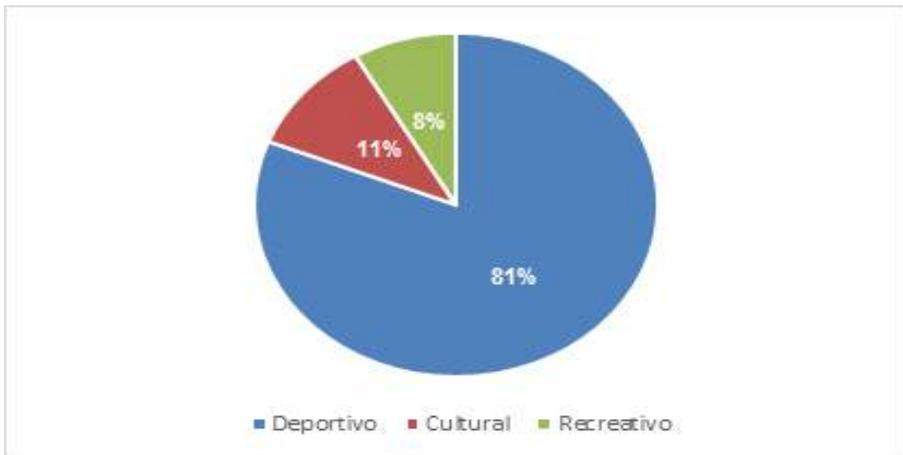


Figura 1: Distribución Porcentual de Espacios Públicos en la Ciudad del Distrito Central. Fuente: elaboración propia, (Sosa Caballero (2014)).

IV.2 Características de la Infraestructura de Espacios Públicos de la Ciudad de Comayagua

En la ciudad de Comayagua existe un total de 59 infraestructuras para la oferta deportiva, cultural y recreativa de la ciudad, el 64.4% de la infraestructura es deportiva, el 20.3% es cultural y el 15.3% es recreativo (ver figura 2).

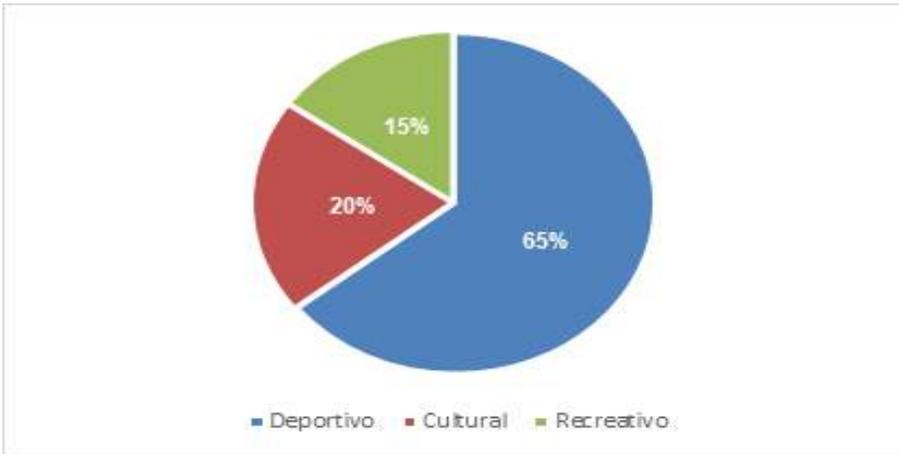


Figura 2: Distribución Porcentual de Espacios Públicos en la Ciudad de Comayagua. Fuente: elaboración propia, (Sosa Caballero (2016b)).

IV.3 Características de la Infraestructura de Espacios Públicos de la Ciudad de Siguatepeque

En la ciudad de Siguatepeque existe un total de 58 infraestructuras para la oferta deportiva, cultural y recreativa de la ciudad, el 75.9% de la infraestructura es deportiva, el 8.6% es cultural y el 15.5% es recreativo (ver figura 3).

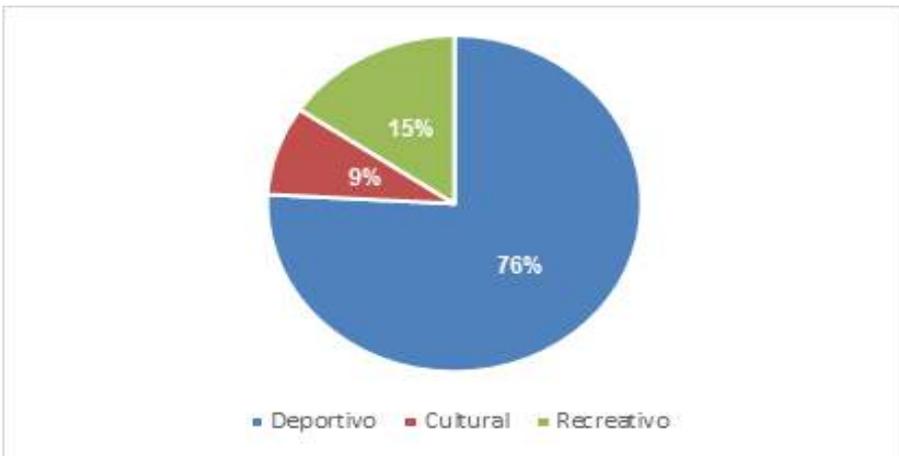


Figura 3: Distribución Porcentual de Espacios Públicos en la de Siguatepeque. Fuente: elaboración propia, (Sosa Caballero (2016a)).

IV.4 Patrón de Distribución Espacial de Espacios Públicos en las Tres Ciudades

Las ciudades en estudio con relación a la infraestructura deportiva poseen más instalaciones para las categorías de canchas de fútbol de colonia o barrio, canchas de futbolito privado y canchas de baloncesto (ver figura 4).

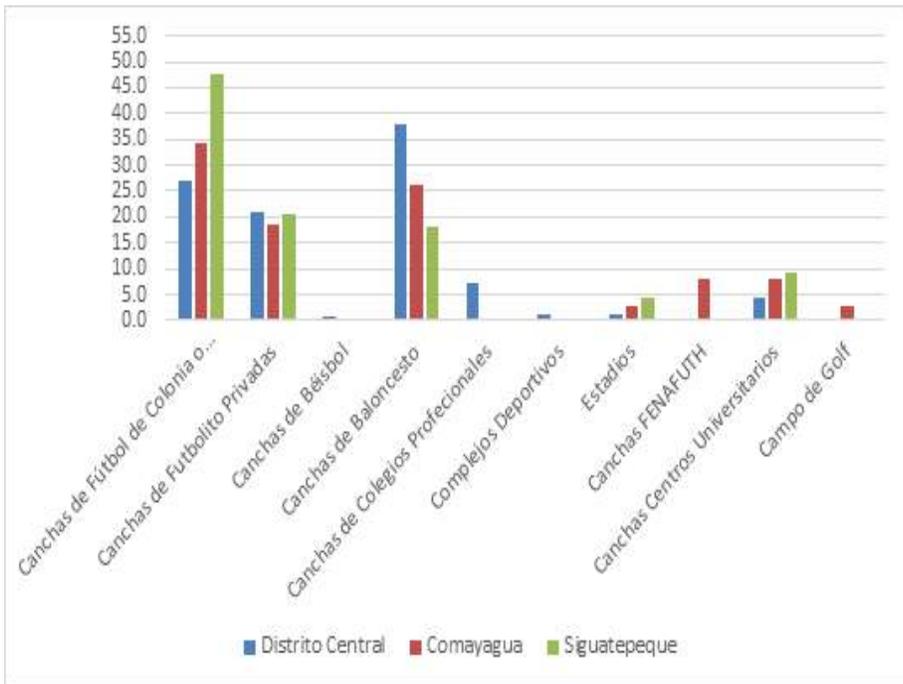


Figura 4: Comparación de la Infraestructura Deportiva en las Tres Ciudades. Fuente: elaboración propia.

La distribución espacial de las infraestructuras deportivas, las ciudades poseen un patrón similar de distribución de las instalaciones por toda la ciudad (ver figuras 5, 6 y 7).

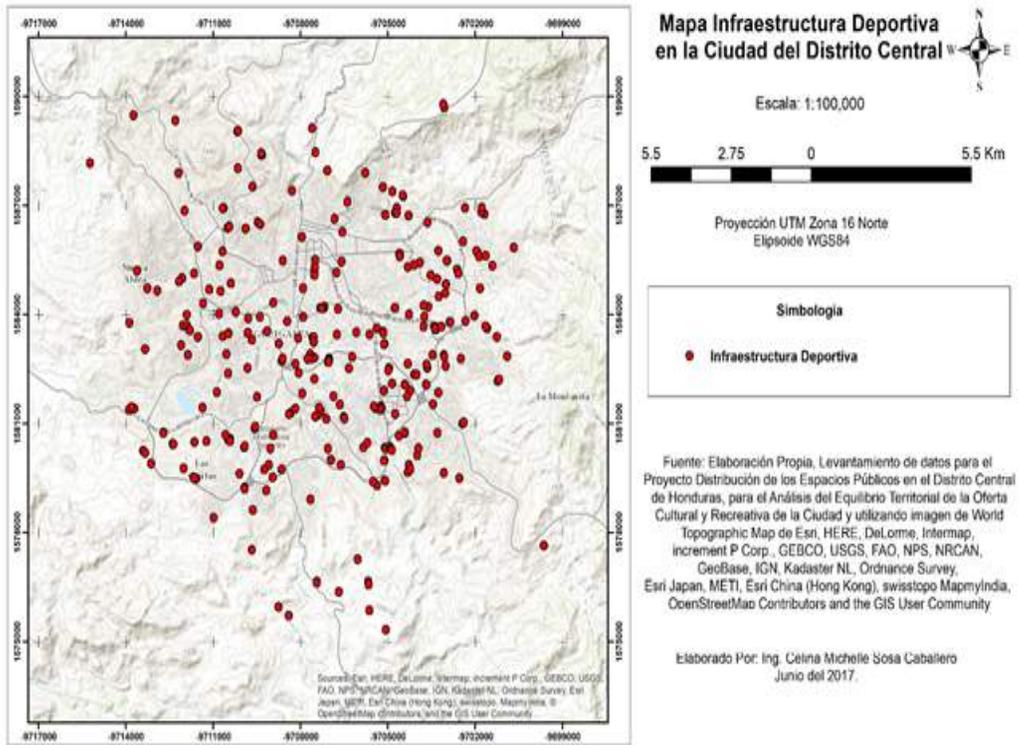


Figura 5: Mapa de Ubicación Infraestructura Deportiva en la Ciudad del Distrito Central.

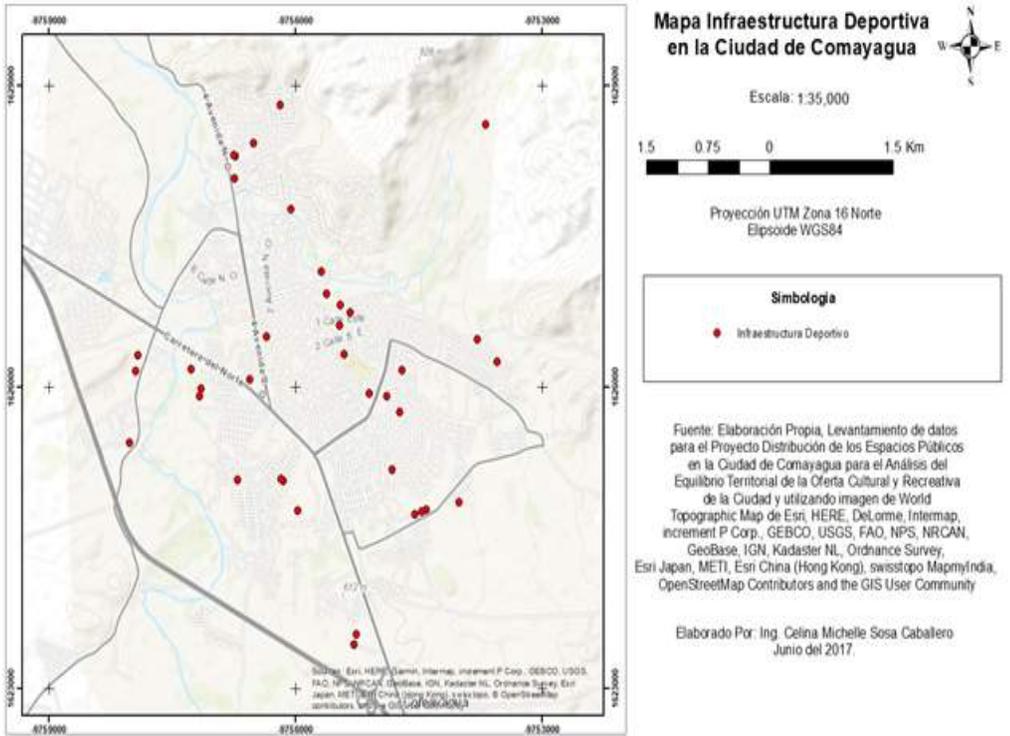


Figura 6: Mapa de Ubicación Infraestructura Deportiva en la Ciudad de Comayagua.

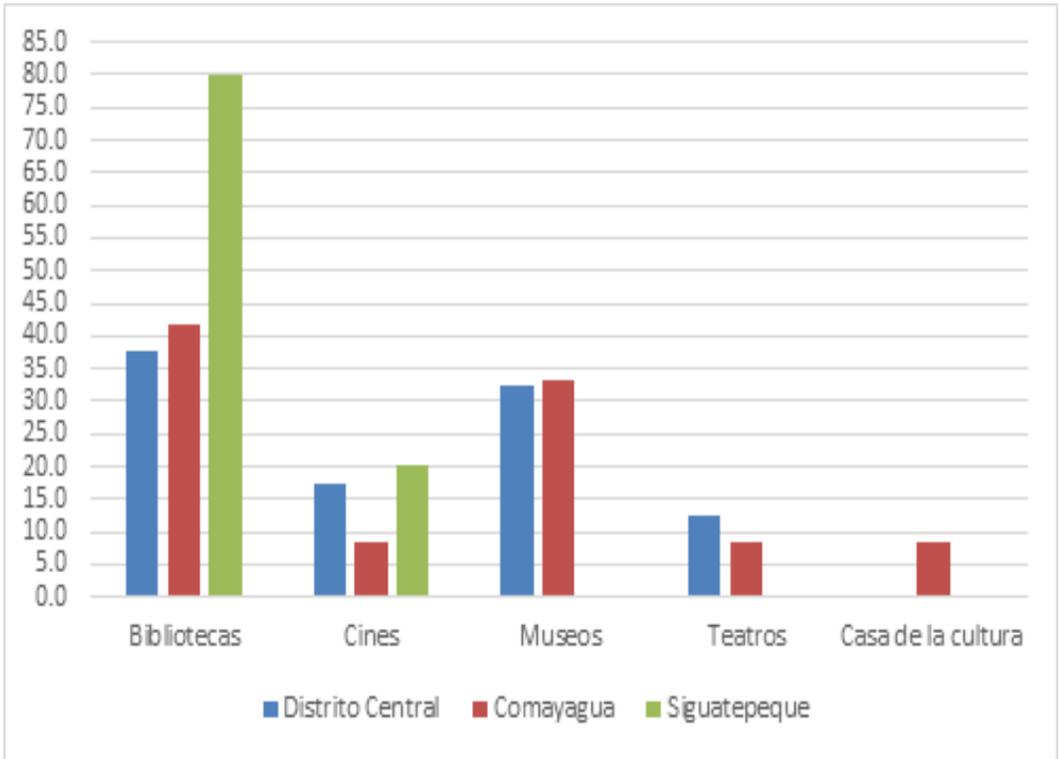


Figura 8: Comparación de la Infraestructura Cultural en las Tres Ciudades. Fuente: elaboración propia.

La distribución espacial de la infraestructura cultural, en las ciudades del Distrito Central y Comayagua tiene un patrón similar en la concentración de la infraestructura cultural en el centro de cada una de las ciudades (ver figuras 9, 10 y 11). Mientras que en la ciudad de Siguatepeque se observa solamente cinco instalaciones para infraestructura cultural frente a las 40 y 12 instalaciones de este tipo de infraestructura observada para la ciudad del Distrito Central y la de Comayagua respectivamente.

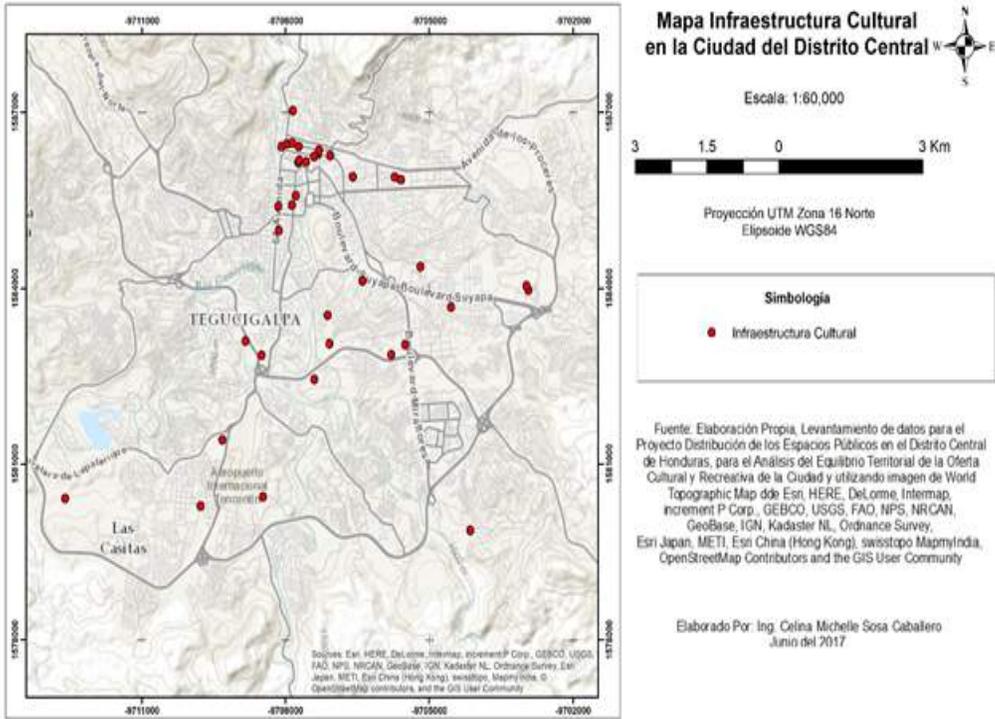


Figura 9: Mapa de Ubicación Infraestructura Cultural en la Ciudad del Distrito Central.

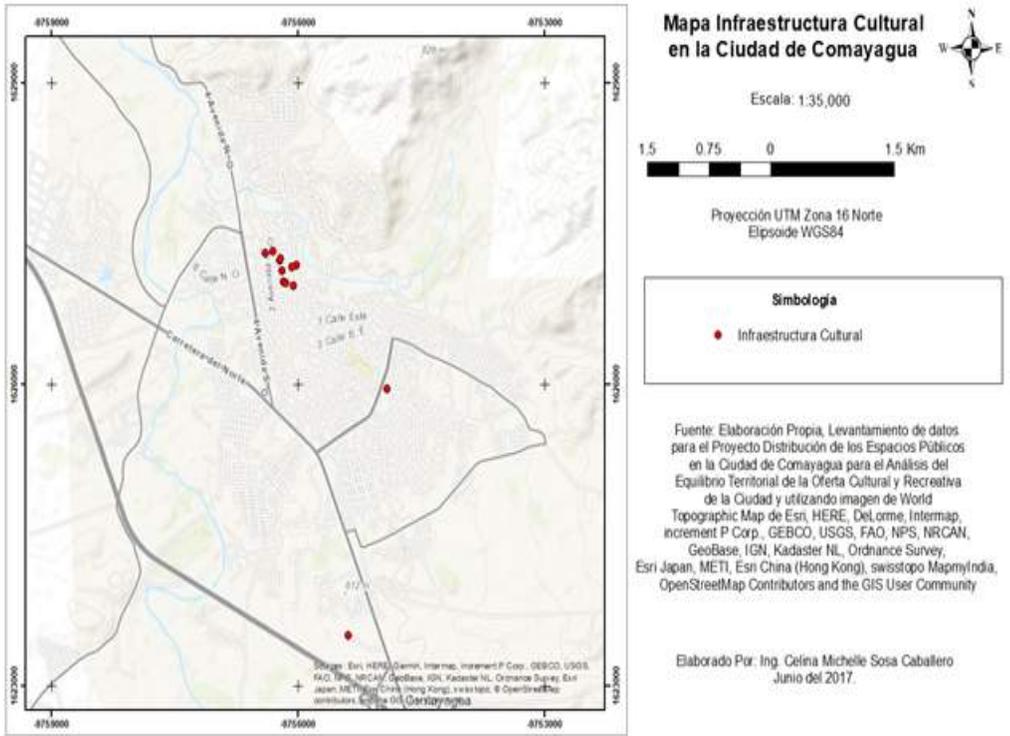


Figura 10: Mapa de Ubicación Infraestructura Cultural en la Ciudad de Comayagua.

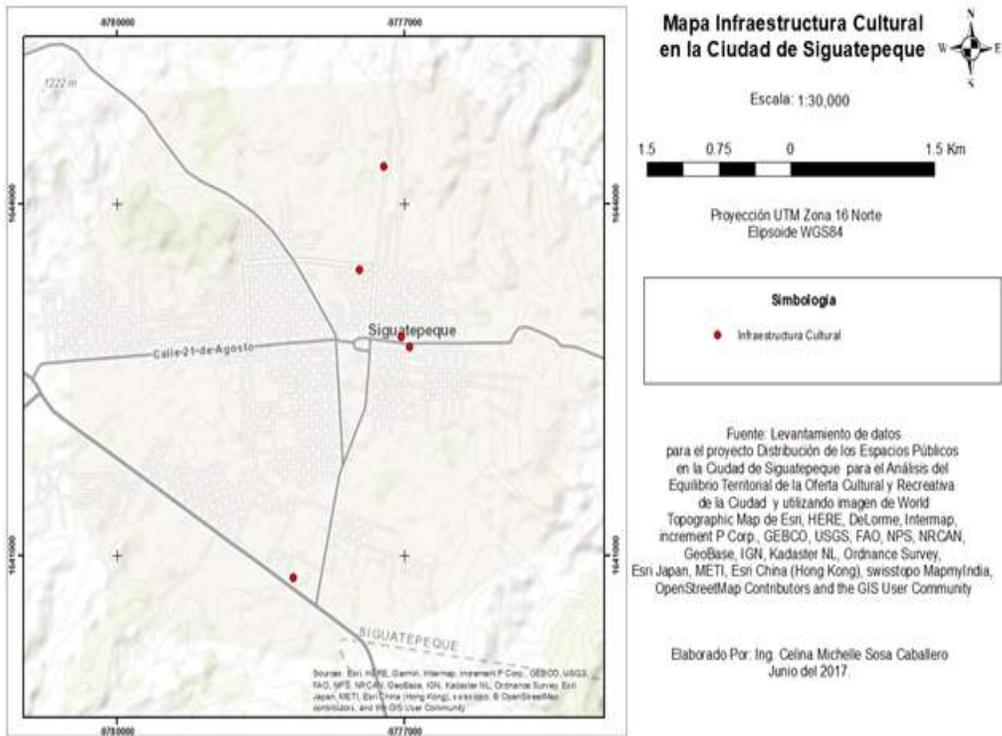


Figura 11: Mapa de Ubicación Infraestructura Cultural en la Ciudad de Siguatepeque.

Respecto a la infraestructura recreativa en las ciudades objeto estudio se observa que sobresalen los parques y plazas (ver figura 12).

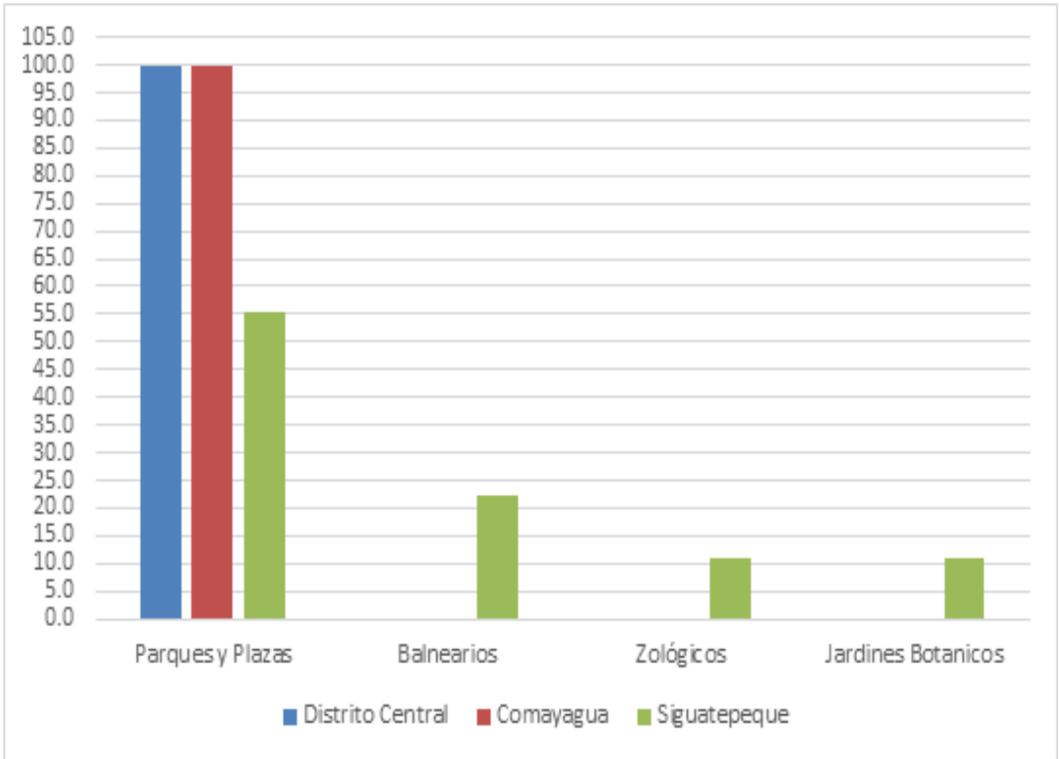


Figura 12: Comparación de la Infraestructura Recreativa en las Tres Ciudades. Fuente: elaboración propia.

En relación con la distribución espacial de la infraestructura recreativa, las tres ciudades tienen un patrón similar caracterizado por la concentración de instalaciones en el centro de cada ciudad y unas pocas instalaciones distribuidas en el resto de las mismas (ver figuras 13, 14 y 15).

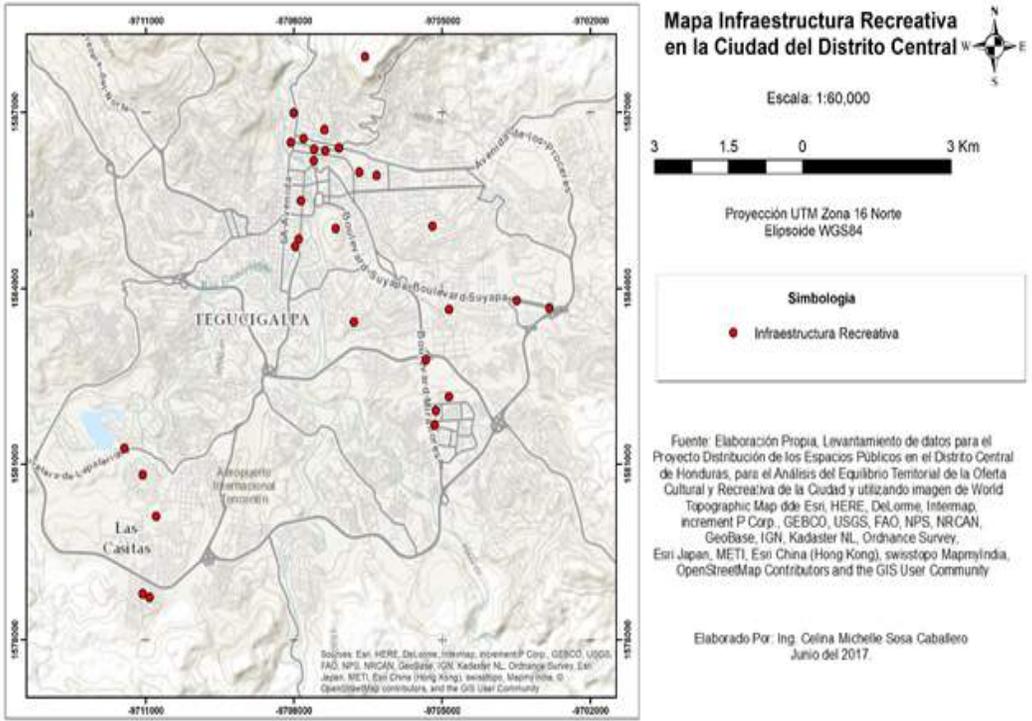


Figura 13: Mapa de Ubicación Infraestructura Recreativa en la Ciudad del Distrito Central.

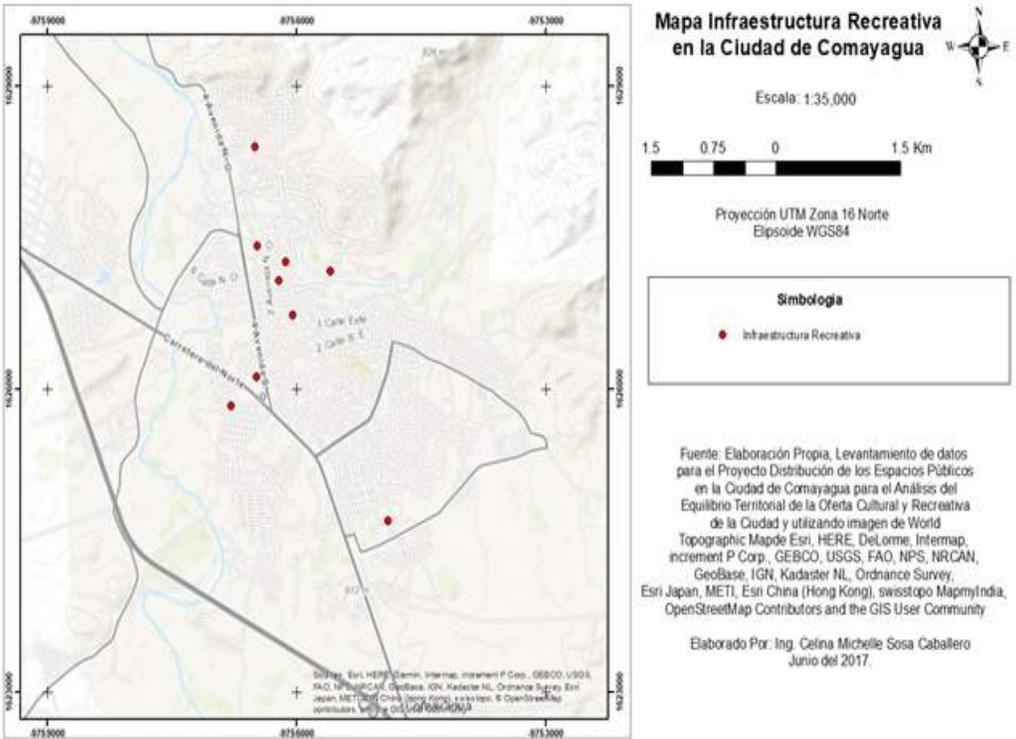


Figura 14: Mapa de Ubicación Infraestructura Recreativa en la Ciudad de Comayagua.

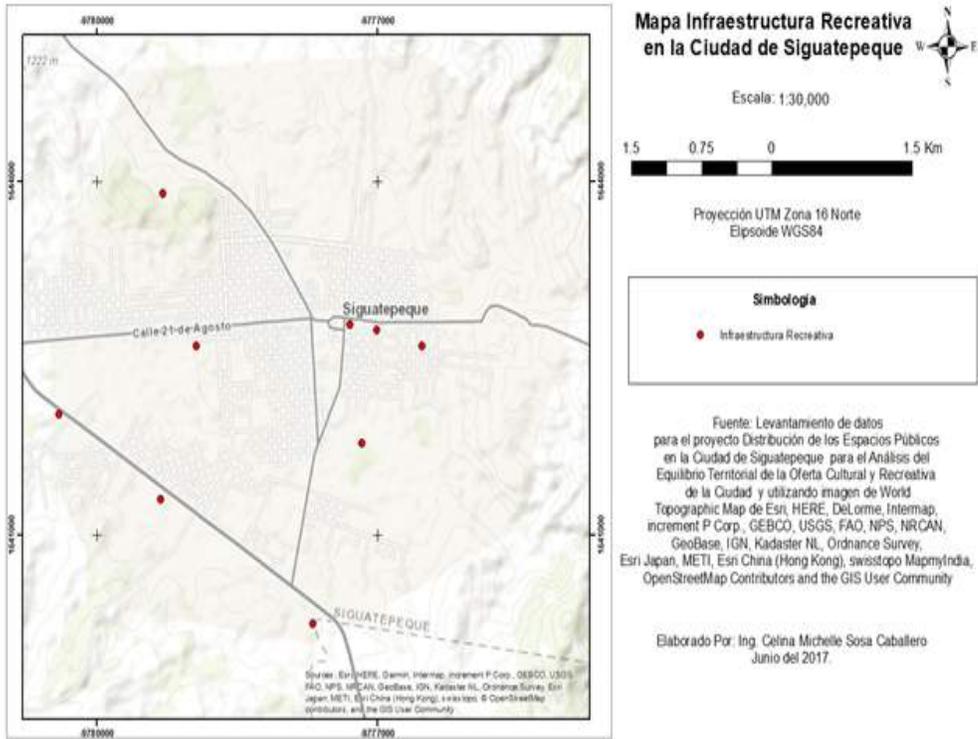


Figura 15: Mapa de Ubicación Infraestructura Recreativa en la Ciudad de Siguatepeque.

IV.5 Relación de Área de Espacios Públicos de Ciudades en Estudio frente al Parámetro de la Organización Mundial de la Salud

Al hacer la relación de las ciudades en estudio con el parámetro recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de un mínimo de 10^2 de área verde por habitante dispersado equitativamente en relación a la población (CAT-MED. (2018)), la ciudad del Distrito Central representa el 47%, la ciudad de Comayagua el 20% y la ciudad de Siguatepeque representa el 151% (ver figura 16).



Figura 16: Distribución en Porcentajes en Relación de las Área de Espacios Públicos de Ciudades en Estudio frente al Parámetro de la OMS. Fuente: elaboración propia.

V CONCLUSIONES

Una primera tendencia es el patrón de distribución espacial de la infraestructura deportiva; una segunda tendencia es el patrón de concentración espacial de la infraestructura cultural y recreativa.

La distribución espacial de los espacios públicos en las tres ciudades presenta similitud en la categoría de infraestructura deportiva y recreativa, y diferencia en la categoría cultural.

Con el estudio “Análisis de la Distribución Espacial de los Espacios Públicos en las Ciudades del Distrito Central, Comayagua y Siguatepeque, Honduras” se espera sea una contribución para investigadores interesados en el tema y sirva de referencia para los tomadores de decisiones de las ciudades estudiadas.

Referencias

Bolivar Galvis, A. M. (2012). *Espacio público y calidad urbana en pereira visión de una nueva ciudad*. Pereira, Colombia: Universidad Católica de Pereira, Facultad de Arquitectura y Diseño Industrial .

- CAT-MED. (2018). Zonas verdes y Áreas de esparcimiento. *Plataforma para modelos urbanos sostenibles*. Descargado de <http://www.catmed.eu/dic/es/50/zonas-verdes-y-areas-de-esparcimiento>
- CCVAH. (2018). *Agenda de ordenamiento territorial del concejo centroamericano de vivienda y asentamientos humanos*. El Salvador.
- Ciudades y Gobiernos Locales Unidos, c. (2004). *Comisión de cultura, agenda 21 de la cultura*. Barcelona, España..
- Congreso Nacional de Honduras., c. (1993). *Reglamento general de la ley de municipalidades*. Tegucigalpa, Honduras..
- Congreso Nacional de Honduras., c. (2006). *Ley marco para el desarrollo integral de la juventud*. Tegucigalpa, Honduras..
- Duarte, T., Aristizabal Valencia, M. A., y Carvajal Zapata, R. (2008). *Proceso de recuperación de espacios públicos del Municipio de Tula - reubicación de población de vendedores informales*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Industrial.
- Gonzales Saboya, S. C., Suarez, G., y Yori, C. M. (2009). *El uso social del espacio público y sus vínculos con el sistema integrado de transporte masivo*. Cartagena . Bogotá. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Arquitectura y Diseño Maestría en Planeación Urbana y Regional.
- Gutiérrez, L. (2010). *Espacios públicos en la frontera: Estudio comparativo Ciudad Juárez Chihuahua - El Paso Texas*. Guadalajara Jalisco, México.
- Madanipour, S., A.and Knierbein, y Degros, A. (2014). *Políticas para el espacio público en las ciudades europeas*.
- Rangel Mora, M. (2002). *La recuperación del espacio público para la sociabilidad ciudadana*. Venezuela: Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura y Arte, Programa del Posgrado Desarrollo Urbano Local.
- Salazar, F. (s.f.) *La prevención situacional del delito en espacios públicos urbanos: Rol del gobierno local. seguridad y violencia*. Desafíos para la Ciudadanía.,
- Sosa Caballero, C. M. (2014). *Distribución geoespacial de los espacios públicos en el Distrito Central de Honduras*.
- Sosa Caballero, C. M. (2016a). *Distribución de los espacios públicos en la ciudad de Siguatepeque para el análisis del equilibrio territorial de la oferta cultural y recreativa de la ciudad*. Tegucigalpa, Honduras: sin publicar.
- Sosa Caballero, C. M. (2016b). *Distribución geoespacial de los espacios públicos en la ciudad de Comayagua, Honduras*.

Analisis de los residuales en el calculo de velocidades geocentricas a partir de series de tiempo diarias PPP

Jorge Moya Zamora
Sara Bastos Gutiérrez

Resumen

El procesamiento de observaciones GNSS en línea ha venido en aumento en los últimos años. Diferentes servicios como el ofrecido por el Canadian Space Reference System (CSRS), bajo la modalidad de Posicionamiento Puntal Preciso (PPP), brinda la posibilidad de conocer de una manera rápida y efectiva la posición tridimensional a partir de un archivo rinex. Aprovechando estos resultados, se procesaron archivos diarios por un periodo de 2,5 años y para 10 estaciones GNSS de Costa Rica integradas al Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS). Las coordenadas geocéntricas derivadas del procesamiento PPP en línea, se consideraron como vectores de observaciones para la estimación de sus velocidades (Moya et al, 2017). No obstante, previamente se programó e implementó una prueba estadística denominada test de errores groseros (Pelzer, 1985) para la estimación de potenciales observaciones atípicas. Esta prueba es usada frecuentemente en el análisis de redes geodésicas (Knight et al, 2010), sin embargo, ahora se aplicó en el modelo lineal de cálculo de velocidades. El proceso de ajuste para el cálculo de las velocidades se hizo de manera iterativa por estación y por coordenada, excluyendo las observaciones groseras marcadas por el test en cada proceso. En promedio esta prueba detectó una serie de observaciones con residuos que variaron entre los -50 mm y los 40 mm en sus tres componentes. Finalmente con las velocidades depuradas de errores groseros se validaron respecto a la solución multianual SIR15P01 de SIRGAS, tomando como a la época de referencia 2017,0. Las diferencias promedio entre ambas determinaciones fueron de ± 15 mm.

Palabras Clave: Test de errores groseros, velocidades, GNSS, SIRGAS

Abstract

The online processing of GNSS observations has been increasing in recent years. Different services such as the one offered by the Canadian Space Reference System (CSRS), under the Precise Point Positioning (PPP) modality, offers the possibility of knowing in a fast and effective way the three-dimensional position from a rinex file. Taking advantage of these results, daily files were processed for a period of 2.5 years and for 10 GNSS stations in Costa Rica which are integrated into the Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS). The geocentric coordinates derived from the on-line PPP processing were considered as observation vectors for the estimation of their velocities (Moya et al, 2017). However, a statistical test called the outliers test (Pelzer, 1985) was previously programmed and implemented for the estimation of potential atypical observations. This test is frequently used in the analysis of geodetic networks (Knight

et al, 2010), however, it was now applied in the linear velocity calculation model. The adjustment process for the calculation of velocities was done iteratively per station and per coordinate, excluding the outlier observations marked by the test in each process. On average, this test detected a series of observations with residuals ranging from -50 mm to 40 mm in its three components. Finally, with the purified velocities of outliers, they were validated with respect to the SIRGAS multiannual solution SIR15P01, taking as reference time 2017.0. The average differences between the two determinations were ± 15 mm.

Keywords: Outliers test, velocity, GNSS, SIRGAS

Jorge Moya Zamora

Costa Rica, Escuela de Ingeniería Topográfica,
Centro Nacional de Procesamiento de Datos
GNSS, Universidad de Costa Rica, Dr.Ing. email:
jorge.moya.zamora@una.cr

Sara Bastos Gutiérrez

Costa Rica, Escuela de Ingeniería Topográfica, Centro
Nacional de Procesamiento de Datos GNSS,
Universidad de Costa Rica, M.Sc. Ing. email: sa-
ra.bastos.gutierrez@una.cr

Fecha de Recepción: 19 de octubre de 2018 / **Fecha de Aprobación:** 16 de noviembre de 2018

I INTRODUCCIÓN

El cálculo de la variabilidad temporal de una estación GNSS se determina considerando como observaciones sus propias coordenadas geocéntricas. Por ejemplo, en el cálculo de las velocidades de las estaciones de operación continua GNSS de la red SIRGAS-CON, se tiene como principal insumo las coordenadas derivadas del procesamiento científico semanal. Este tipo de procesamiento reúne una serie de modelos y algoritmos que garantizan una alta exactitud en las coordenadas de las estaciones (SIRGAS (2018)).

Actualmente existen diversas posibilidades en línea que brindan resultados de coordenadas de forma sumamente rápida. Estos resultados, aunque de momento no alcanzan la exactitud obtenida por métodos más rigurosos, son altamente confiables y utilizables debido en gran parte a la eficiencia de los diferentes algoritmos y modelos utilizados, así como en la calidad de los parámetros de una serie archivos adicionales usados en el cálculo.

Aprovechando la rapidez y acceso libre a estos servicios, se presentan los resultados que se obtuvieron al considerar como vectores de observaciones originales, las coordenadas geocéntricas calculadas con el Canadian Space Reference System (CSRS) en la modalidad de Posicionamiento de Punto Preciso (PPP) como insumo para el cálculo de velocidades geocéntricas de un grupo de estaciones GNSS de Costa Rica. El modelo lineal de velocidades fue ampliado para incluir el test de errores groseros, el cual hace una evaluación estadística de los residuales de las observaciones posterior al proceso de ajuste.

II 2. Principio del ajuste de observaciones

En el caso de la geodesia, se trabaja con muchas observaciones convencionales o satélites que serán usadas para la determinación de las coordenadas de una serie puntos. Estos conjuntos de puntos son llamados redes geodésicas y generalmente, si se cuenta con una estructura geométrica correctamente diseñada y sobre la cual se tenga control de las mediciones, el cálculo de las coordenadas de los vértices y de otra serie de parámetros se hace por medio de un ajuste de observaciones por mínimos cuadrados.

Si se realizan n observaciones o mediciones en el campo para calcular un total de u incógnitas (coordenadas de los puntos) se puede aplicar un ajuste de observaciones por mínimos cuadrados. El modelo matemático de este algoritmo consta de dos partes fundamentales: el modelo funcional que relaciona las n -observaciones de campo L con las u -incógnitas o parámetros a determinar X por medio de una serie de funciones F . Y el modelo estocástico, que toma en cuenta los pesos de las observaciones dispuestos en la matriz P (Pelzer (1985)), (Niemeier (2002)), (Kuang (1996)) y (Perović (2005)). Matricialmente las dos partes del modelo matemático se presenta en el conjunto de ecuaciones (1).

$$\left. \begin{aligned} \hat{L}_{n,1} &= F \left(\hat{X}_{n,1} \right) \\ P_{n,n} &= Q_{n,n}^{-1} \quad ; \quad \sigma_0^2 Q_{n,n} = \sum_{ll} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Donde:

- \hat{L} : Vector de observaciones ajustadas.
- \hat{X} : Vector de incógnitas ajustadas
- Σ_{jj} : Matriz de variación-covarianza de las observaciones originales
- Q_{jj} : Matriz de factores y cofactores de las observaciones originales
- σ_0^2 : Varianza a priori de la unidad de pesos
- P: Matriz de pesos de las observaciones originales

El modelo funcional expresado en (1) es teórico y parte de los valores verdaderos de las incógnitas, sin embargo, para mantener la consistencia en el sistema toman las observaciones ajustadas, las cuales son las observaciones originales a las que se les ha aplicado pequeñas correcciones que siguen el principio de mínimos cuadrados. Además, las funciones consideradas en el vector F relacionan las observaciones de campo con las incógnitas. Estas funciones deben linealizarse, para lo cual se parte de un valor aproximado para las incógnitas \hat{x} permitiendo descartar los términos de segundo orden en la linealización. Los coeficientes respectivos se agrupan en la matriz de configuración o matriz de diseño A como se expresa en (2).

$$A_{n,u} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{X_1} & \frac{\partial F_1}{X_2} & \frac{\partial F_1}{X_3} & \dots & \frac{\partial F_1}{X_u} \\ \frac{\partial F_2}{X_1} & \frac{\partial F_2}{X_2} & \frac{\partial F_2}{X_3} & \dots & \frac{\partial F_2}{X_u} \\ \frac{\partial F_3}{X_1} & \frac{\partial F_3}{X_2} & \frac{\partial F_3}{X_3} & \dots & \frac{\partial F_3}{X_u} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_n}{X_1} & \frac{\partial F_n}{X_2} & \frac{\partial F_n}{X_3} & \dots & \frac{\partial F_n}{X_u} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Finalmente se introduce un vector de observaciones reducidas l y el vector de incógnitas reducidas ajustadas \hat{x} que junto con el vector de residuos o correcciones v se plantea el modelo funcional linealizado del ajuste de observaciones como se representa en (3).

$$l_{n,l} + v_{n,l} = A_{n,u,1} \hat{x}_{n,u,1} \quad (3)$$

Donde:

- l: Vector de observaciones reducidas
- v: Vector de residuos
- A: Matriz de configuración
- \hat{x} : Vector de observaciones reducidas ajustadas

La solución del sistema está basado en el principio de mínimos cuadrados y se representa en el conjunto de ecuaciones (4):

$$\left. \begin{aligned} \hat{x}_{u,1} &= Q_{u,u}^{-1} l_{u,1} \\ Q_{u,u} &= (A_{u,n}^T P_{n,n} A_{u,n})^{-1} \\ n_{u,l} &= A_{u,n}^T P_{n,n} l_{n,1} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Donde:

- $Q_{\hat{X}\hat{X}}$: Matriz de factores y cofactores de las incógnitas ajustadas

n : Vector de términos independientes

Conociendo el vector de incógnitas reducidas, se calcula el vector de residuos con (3) y posteriormente los vectores de incógnitas ajustadas y de observaciones ajustadas de la siguiente manera:

$$\left. \begin{aligned} \hat{X}_{u,1} &= \overset{0}{X}_{u,1} + \hat{x}_{u,1} \\ \hat{L}_{n,1} &= L_{n,1} + v_{n,1} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

III El test de errores groseros en redes geodésicas

Se consideran como errores groseros aquellos que se originan en una equivocación, un error en el proceso de medición o en la transmisión o elaboración de datos referentes a las observaciones originales. No son errores de carácter sistemático, ni son errores accidentales, casuales o aleatorios, aunque pueden estar afectados de ese tipo de componente. Los errores groseros afectan todo el conjunto de mediciones, se propagan y eventualmente se diluyen, lo que hace difícil su localización. La teoría de errores excluye a los errores de este tipo, dejando solamente los errores inherentes a las observaciones para su tratamiento.

En el proceso de ajuste de observaciones por mínimos cuadrados, se hace un tratamiento a los residuales de las observaciones para comprobar o descartar la influencia de potenciales errores groseros que afecten los resultados finales, partiendo del principio de que cualquiera las observaciones puede estar afectadas de errores groseros y que solamente una (Pelzer (1985)) y (Niemeier (2002)). El test está diseñado de forma que en caso de localizar varias observaciones atípicas debe ser capaz de encontrar la de mayor error grosero.

La deducción completa del test se puede consultar en Pelzer (1985). Sin embargo, de manera general se parte del modelo funcional linealizado del algoritmo de ajuste de observaciones descrito en (3), el cual se amplía sumando una incógnita adicional llamada $\hat{\Delta}_j$ que será precisamente el error grosero que afecta a la observación j como se representa en el conjunto de ecuaciones (6).

$$\left. \begin{aligned} \hat{l} &= l + v = A\hat{x} \\ \hat{l} &= L + v = \begin{bmatrix} A & e_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{\Delta}_j \end{bmatrix} \\ e_j^T &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & \dots & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Se plantea la hipótesis nula H_0 asumiendo que el error $\hat{\Delta}_j$ será nulo y la hipótesis alternativa H_A en la que error grosero será diferente de cero. A partir de las correspondientes matrices de cofactores de las observaciones originales (1) y de las observaciones ajustadas, se deduce los valores para la j -ésima observación

como se expresa en el conjunto de ecuaciones (7).

$$\left. \begin{aligned} Q_{vv} &= Q_{ll} - Q_{\hat{l}\hat{l}} \\ q_{v_j} &= q_{l_j} - q_{\hat{l}_j} \\ &\vdots \\ q_{v_j} &= \frac{\sigma_j^2}{\sigma_0^2} - \frac{S_j^2}{S_0^2} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Donde:

Q_{vv} : Matriz de cofactores de los residuos v

Q_{ll} : Matriz de factores y cofactores de las observaciones originales

$Q_{\hat{l}\hat{l}}$: Matriz de cofactores de las observaciones ajustadas

σ_j^2 : Varianza teórica de la j -ésima observación

S_j^2 : Varianza empírica de la j -ésima observación

A partir de estos valores se determina el residuo normalizado con la ecuación (8) en función de su desviación estándar normalizada y de los grados de libertad f del ajuste con la ecuación (9). Este resultado será el valor de prueba o estadístico t que se someterá a las hipótesis del test.

$$\bar{v}_j = \frac{|V_j|}{\bar{s}_0 \sqrt{q_{v_i}}} = t \quad (8)$$

$$\bar{s}_0 = \sqrt{\frac{1}{f-1} \left(f s_0^2 - \frac{v_j^2}{q_{v_i}} \right)} \quad (9)$$

Finalmente la comparación del valor de prueba o estadístico t se hace con el cuantil de la distribución T-Student. Si el valor del estadístico t es estrictamente mayor que el valor del cuantil, la hipótesis nula se rechazará implicando que la j -ésima observación está afectada de algún elemento que produce una perturbación en el modelo matemático. Si por el contrario, el valor del estadístico es menor o igual que el cuantil de la distribución, la hipótesis nula se aceptará evidenciando que la observación no está afectada de error estadísticamente. El cuantil se calcula con la relación (10), donde α es el nivel de incertidumbre dado generalmente para un 5%. El lector no debe confundir el estadístico t con el cuantil de la distribución T-Student denominado también como t .

$$\left. \begin{aligned} &t_{f-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \\ \frac{\bar{a}}{2} &= 1 - \sqrt[n]{1 - \frac{\alpha}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

IV Modelo lineal de velocidades

Los detalles de la formulación completa del modelo lineal para la estimación de velocidades de la estaciones GNSS a partir de sus coordenadas geocéntricas

se puede consultar por ejemplo en s. Moya J. and Bastos y Rivas (2014). La realización de los marcos de referencia actualmente está dada por las coordenadas X_0 , Y_0 , Z_0 para una época fija t_0 y sus variaciones lineales en el tiempo dX/dt , dY/dt , dZ/dt y las coordenadas del vector X de una época t_i se extrapolan por medio de la relación (11).

$$\left. \begin{aligned} X(t_i) &= X_0 + \frac{dX}{dt}(t_i - t_0) \\ X_0^T &= [X_0 \quad Y_0 \quad Z_0] \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Las velocidades así determinadas siguen un modelo lineal, que no corresponde exactamente con el comportamiento real de muchas de las estaciones, que pueden estar afectadas eventualmente de otras fuentes externas de carácter físico (s. Moya J. and Bastos y Rivas (2014)). El tiempo requerido para la estimación de la velocidad de una estación GNSS de operación continua debe ser de al menos dos años, de manera que se puedan contemplar los posible efectos de carácter cíclico como por ejemplo cargas por lluvia o nieve entre otras.

V La red de estaciones GNSS de operación continua

Se tomaron un total de 10 estaciones GNSS de la red SIRGAS-CON de Costa Rica, las cuales son procesadas semanalmente por tres centro de procesamiento SIRGAS diferentes, siendo uno de ellos, el Centro Nacional de Procesamiento de Datos GNSS (CNPDG) de la Universidad Nacional en Costa Rica. En la figura 1 se presenta la ubicación de las estaciones consideradas.

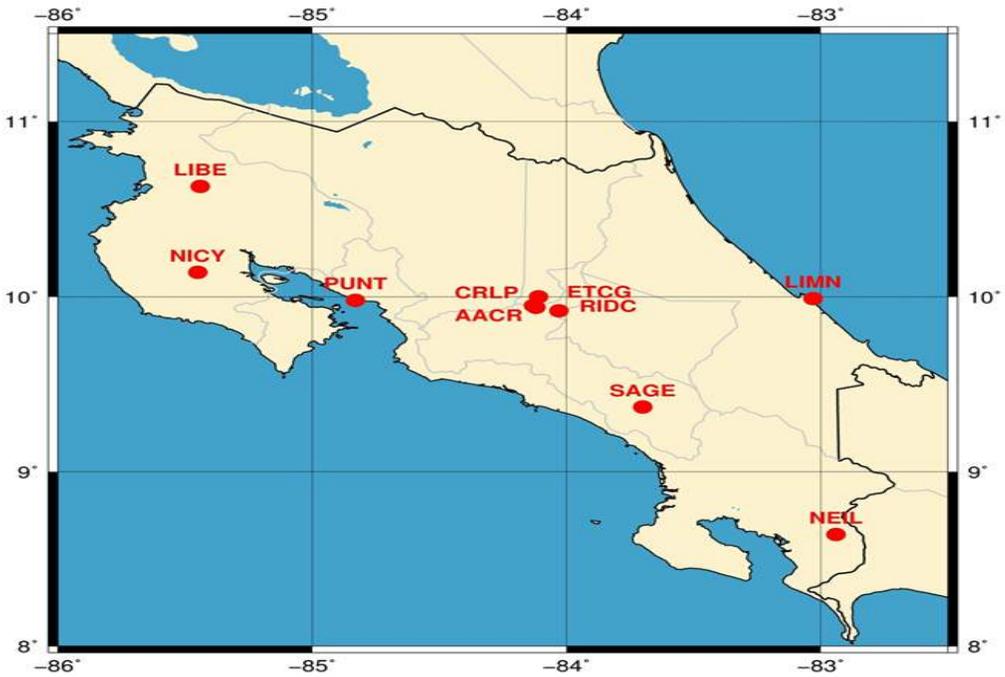


Figura 1: Ubicación de las estaciones GNSS de operación continua de Costa Rica que están integradas a la red SIRGAS-CON

Para la investigación se tomó como un periodo de observación comprendido entre el 27 de julio de 2014 (semana GPS 1803) y el 7 de enero de 2017 (semana GPS 1930). Lo anterior representa un total de 896 días de datos, que corresponden a 127 semanas para 2,44 años. En la tabla 1 se resume la cantidad de archivos procesados por año y por estación.

Tabla 1: Cantidad de días procesados por año para cada una de las estaciones consideradas.

EST	2014	2015	2016	2017	EST	2014	2015	2016	2017
AACR	133	325	354	7	NEIL	156	334	260	7
CRLP	0	67	330	7	NICY	155	362	111	0
ETCG	122	312	337	7	PUNT	147	335	318	2
LIBE	157	358	320	7	RIDC	156	312	348	7
LIMN	158	359	163	7	SAGE	158	347	355	7

Los archivos de observación de las 10 estaciones de la red SIRGAS de Costa Rica fueron facilitados por el CNPDG. Este laboratorio es el centro oficial de procesamiento para SIRGAS de Costa Rica y realiza la descarga diaria de estos archivos en formato rinex de 24 horas, los cuales fueron previamente editados a registros cada 30 segundos y contemplando mediciones GPS.

El procesamiento de los archivos de manera de obtener las coordenadas geocéntricas se hizo bajo la modalidad PPP (Alves Costa, Silva, Moura, Gende, y

Brunini (2009)) y (Mireault, Tétreault, Lahaye, Hèroux, y Kouba (2008)) y usando la herramienta CSRS la cual está disponible de manera gratuita en línea en la siguiente dirección de internet:

<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/tools-applications/10925#ppp> La configuración de la herramienta CSRS se hizo siguiendo el mismo procedimiento descrito por Moya et al (2017), es decir usando como referencia geodésica el ITRF y modalidad de procesamiento estático. Luego de que los archivos rinex son procesados por el CSRS, los resultados son enviados vía correo electrónico a una dirección previamente elegida.

VI Implementación del test de errores groseros

El modelo lineal de velocidades asumido para la descripción de la cinemática de las estaciones consideradas fue programado en lenguaje de MatLab. Esta rutina calcula la velocidad de una estación GNSS en sus componentes geocéntricas $[X \ Y \ Z]^T$ a partir de los valores de sus respectivas coordenadas y la época a la cual fueron determinadas. La rutina es denominada como VelMIC (s. Moya J. and Bastos y Rivas (2014)).

Se hizo un ampliación de esta rutina, primeramente haciendo un cálculo individual de las velocidades, es decir por componentes independientes. Esto es válido ya que aunque en el resultado del procesamiento PPP en línea se brinda una estimación de las covarianzas entre los resultados, éstos no se incluyeron en el archivo original de datos. Adicionalmente, se incorporó ahora la posibilidad de elegir el modelo estocástico para las observaciones independientes, es decir, las coordenadas X, Y y Z. Una muestra de la salida de la rutina en su primera corrida se puede ver en la figura 2 donde el algoritmo está aplicado a la coordenada X de la estación AACR y se nota en color rojo al final, el resultado del test de errores groseros.

```

ARCHIVO A PROCESAR                : AACRALL.XLSX
COORDENADA X=3 Y=4 Z=5           : 3
DIGITE LA ÉPOCA DE REFERENCIA    : 2017
DIGITE EL ERROR [m] DE LAS COORDENADAS X : 1
DIGITE EL VALOR DE SIGMA CERO APRIORI : 1
Observaciones                    n   : 819
Incógnitas                       u   : 2
Grados de libertad               f   : 817
Sigma aposteriori                 s0X : 0.00457
Límite inferior                   li  : 0.00436
Límite superior                   ls  : 0.00480
Al 95% el ajuste se RECHAZA

RESULTADO DEL AJUSTE
Xo      644009.03333 m
ERROR   0.00031 m
VX      0.01200 m/a
ERROR   0.00022 m/a
Cuantil T Student                 : 4.190
Cantidad de errores groseros      : 1
Error grosero en la observación : 135

RESULTADO DEL TEST DE ERRORES GROSEROS COORDENADA X
n      ti      vi      vnx      egi
-----
135   2015.01  19.57  4.34    1
    
```

Figura 2: Captura de pantalla de la rutina VelMIC ampliada con el test de errores groseros para la coordenada X de la estación AACR

La metodología aplicada en esta parte consistió en fundamentalmente en los siguientes pasos:

1. Un primer ajuste para la estimación de la velocidad en primer instancia, contemplando una matriz de pesos identidad para las observaciones y los valores del test de errores groseros que demuestran una perturbación en el modelo matemático del ajuste y en este caso en el modelo matemático del ajuste y en este caso en el modelo lineal de velocidades (s. Moya J.and Bastos y Rivas (2014)) y (J. Moya, Núñez, y Cubero (2017)).
2. Posteriormente y dependiendo de cantidad de errores groseros detectados en cada una de la coordenadas de la estación, se hizo un proceso iterativo, en el cual se fueron descartando las observaciones que el test marcó como groseras.
3. Seguidamente, se hizo el posterior equilibrio de varianzas de acuerdo con los resultados del test global del ajuste que no identificara observaciones groseras.
4. Finalmente, el valor asumido como velocidad final para estación fue la obtenida de este ajuste, es decir, el cual está libre de perturbaciones (errores groseros).

VII RESULTADOS

En la tabla 2 se resumen la cantidad de datos efectivamente procesados por estación, así como los resultados del ajuste de observaciones directas en [mm] aplicado a las diferencias de coordenadas para cada una de las coordenadas geocéntricas. Las X en las columnas número 3, 6 y 9 corresponden con el valor ajustado, se denominan como X para estar en concordancia con la nomenclatura clásica.

Tabla 2: Cantidad de días procesados y resultados del ajuste de observaciones directas aplicado a las diferencias de coordenadas geocéntricas.

EST.	Días	Coordenada X			Coordenada Y			Coordenada Z		
		\bar{X}	s_0	s_x	\bar{X}	s_0	s_x	\bar{X}	s_0	s_x
AACR	819	13.29	9.72	0.34	-2.20	16.44	0.57	20.08	11.75	0.41
CRLP	404	7.74	7.19	0.36	7.62	8.57	0.43	14.02	7.22	0.36
ETCG	778	12.50	7.91	0.28	6.88	8.98	0.32	19.94	13.24	0.47
LIBE	842	1.71	5.54	0.19	9.66	9.27	0.32	11.06	9.44	0.33
LIMN	687	16.23	9.28	0.35	12.25	11.93	0.46	2.83	7.00	0.27
NEIL	757	24.37	15.51	0.56	20.49	10.39	0.38	20.69	15.25	0.55
NICY	628	2.55	5.21	0.21	4.58	7.71	0.31	6.33	7.32	0.29
PUNT	802	15.25	8.46	0.30	13.55	8.70	0.31	16.10	10.58	0.37
RIDC	823	11.85	8.75	0.30	10.01	9.64	0.34	17.51	13.47	0.47
SAGE	867	26.00	16.71	0.57	5.18	9.93	0.34	26.69	17.50	0.59

Adicionalmente, se calcularon los intervalos de confianza en [mm] de los valores ajustados cuyos resultados se presentan en la tabla 3.

Tabla 3: Intervalos de confianza para los valores ajustados de diferencias de coordenadas geocéntricas.

EST.	Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior
	a	b	a	b	a	b
AACR	12.63	13.96	-3.33	-1.08	19.28	20.89
CRLP	7.04	8.46	6.79	8.46	13.32	14.73
ETCG	11.95	13.06	6.25	7.51	19.01	20.87
LIBE	1.33	2.08	9.03	10.29	10.42	11.69
LIMN	15.54	16.93	11.36	13.15	2.31	3.35
NEIL	23.27	25.48	19.75	21.23	19.61	21.78
NICY	2.14	2.96	3.97	5.18	5.75	6.90
PUNT	14.67	15.84	12.94	14.15	15.37	16.84
RIDC	11.25	12.44	9.35	10.67	16.59	18.43
SAGE	24.88	27.11	4.51	5.84	25.53	27.86

El proceso de equilibrio de varianzas se hizo para evaluar adecuadamente los resultados de las componentes de velocidad. En la tabla 4 se presentan los resultados, en la columna Error grosero se cuantifican la totalidad de los errores detectados en cada uno de los ajustes. El valor cero (0) representa que no hubo error grosero. La columna final vi indica es el valor del residuo en la observación correspondiente.

Tabla 4: Resultados de los procesos de ajuste iterativos con la aplicación del test de errores groseros.

AACR	X	1	819	NO PASA	1	0,00460	1	135	+19,57	
		2	818	NO PASA	1	0,00450	0			
		3	818	PASA	1	1,00410	0			
	Y	1	819	NO PASA	1	0,01400	0			
		2	819	PASA	1	0,99820	0			
	Z	1	819	NO PASA	1	0,00410	0			
		2	819	PASA	1	1,03039	0			
	CRLP	X	1	404	NO PASA	1	0,00465	1	313	-18,51
			2	403	NO PASA	1	0,00456	0		
3			403	PASA	1	1,01346	0			
Y		1	404	NO PASA	1	0,00840	0			
		2	404	PASA	1	0,99276	0			
Z		1	404	NO PASA	1	0,00363	0			
		2	404	PASA	1	1,00746	0			
ETCG		X	1	778	NO PASA	1	0,00444	2	105	21,97
									314	-20,30
	2		776	NO PASA	1	0,00431	0			
	3		776	PASA	1	0,95860	0			
	Y	1	778	NO PASA	1	0,00868	2	122	-36,93	
								189	44,90	
		2	776	NO PASA	1	0,00844	0			
	Z	3	776	PASA	1	0,99241	0			
		1	778	NO PASA	1	0,0037	0			
		2	778	PASA	1	1,00114	0			
LIBE	X	1	842	NO PASA	1	0,00463	1	746	25,41	
		2	841	NO PASA	1	0,00455	0			
		3	841	PASA	1	1,01079	0			
	Y	1	842	NO PASA	1	0,00921	1	426	-39,93	
		2	841	NO PASA	1	0,00911	0			
		3	841	PASA	1	1,01271	0			
	Z	1	842	NO PASA	1	0,00357	2	388	-16,26	
								504	-17,76	
		2	840	NO PASA	1	0,00347	0			
		3	840	PASA	1	0,99175				

LIMN	X	1	687	NO PASA	1	0,00562	4	263	23,72
								267	-27,93
								291	-26,38
								511	-25,94
		2	683	NO PASA	1	0,00527	0		
		3	683	PASA	1	0,99404	0		
	Y	1	687	NO PASA	1	0,01052	3	47	48,13
								158	51,15
								507	-43,32
		2	684	NO PASA	1	0,01006	1	160	42,21
		3	683	NO PASA	1	0,00993	0		
		4	683	PASA	1	0,9933	0		
	Z	1	687	NO PASA	1	0,0043	2	46	-18,84
								547	-19,36
		2	685	NO PASA	1	0,00424	1	545	-19,33
3		684	NO PASA	1	0,00418	0			
4		684	PASA	1	1,04407	0			
NEIL	X	1	757	NO PASA	1	0,00511	1	754	41,43
		2	756	NO PASA	1	0,00489	0		
		3	756	PASA	1	0,97733	0		
	Y	1	757	NO PASA	1	0,00847	1	726	-35,00
		2	756	NO PASA	1	0,00838	0		
		3	756	PASA	1	0,99785	0		
	Z	1	757	NO PASA	1	0,00393	1	754	40,74
		2	756	NO PASA	1	0,00364	0		
		3	756	PASA	1	1,01097	0		
NICY	X	1	628	NO PASA	1	0,0043	0		
		2	628	PASA	1	0,9994	0		
	Y	1	628	NO PASA	1	0,0077	0		
		2	628	PASA	1	0,96241	0		
	Z	1	628	NO PASA	1	0,00424	0		
		2	628	PASA	1	1,00911	0		

PUNT	X	1	802	NO PASA	1	0,00474	0		
		2	802	PASA	1	1,00824	0		
	Y	1	802	NO PASA	1	0,00870	2	169	-47,95
								600	36,38
		2	800	NO PASA	1	0,00845	0		
	Z	3	800	PASA	1	0,99389	0		
		1	802	NO PASA	1	0,00366	1	715	-15,41
		2	801	NO PASA	1	0,00362	1		
	RIDC	X	3	801	PASA	1	1,00587	0	
1			823	NO PASA	1	0,0048	3	121	31,48
								461	20,51
								612	-23,60
2			820	NO PASA	1	0,00455	1	666	-18,88
3			819	NO PASA	1	0,00451	1		
Y		4	819	PASA	1	1,00162	1		
		1	823	NO PASA	1	0,00921	1	156	40,61
								808	38,83
		2	821	NO PASA	1	0,00901	0		
Z		3	821	PASA	1	1,00152	0		
		1	823	NO PASA	1	0,00349	0		
SAGE	X	2	823	PASA	1	0,99624	0		
		1	867	NO PASA	1	0,00505	1	78	22,17
		2	866	NO PASA	1	0,00500	0		
	Y	3	866	PASA	1	0,99944	0		
		1	867	NO PASA	1	0,00872	1	362	-42,32
		2	866	NO PASA	1	0,00861	0		
	Z	3	866	PASA	1	1,00069	0		
		1	867	NO PASA	1	0,00341	0		
	2	867	PASA	1	1,00157	0			

Luego de la aplicación del test de errores groseros y la adecuación de los pesos de las observaciones, se determinó el valor de las coordenadas y velocidades de referencia,

estimadas para la época 2017,0, datum ITRF2008 que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5: Coordenadas de referencia y velocidades referidas a la época 2017,0, marco ITRF2008 calculadas con base en el procesamiento PPP en línea

EST.	Coordenada(m)		Error(m)	Velocidad(m/a)		Error(m)
AACR	Xo	644009.03300	0.00030	VX	0.01196	0.00022
	Yo	-6251064.24790	0.00094	VY	0.01214	0.00068
	Zo	1093780.92460	0.00028	VZ	0.01540	0.00020
CRLP	Xo	643206.60991	0.00043	VX	0.01515	0.00063
	Yo	-6250876.40150	0.00080	VY	0.00437	0.00120
	Zo	1095086.10533	0.00034	VZ	0.01738	0.00050
ETCG	Xo	645208.32969	0.00029	VX	0.00927	0.00022
	Yo	-6249842.13405	0.00058	VY	0.00329	0.00043
	Zo	1100399.63955	0.00025	VZ	0.01806	0.00019
LIBE	Xo	498678.63208	0.00032	VX	0.00438	0.00022
	Yo	-6249679.84934	0.00064	VY	-0.00157	0.00044
	Zo	1168903.06527	0.00024	VZ	0.01237	0.00017
LIMN	Xo	762717.32096	0.00056	VX	0.01295	0.00035
	Yo	-6235556.48838	0.00106	VY	0.00944	0.00067
	Zo	1099500.45327	0.00044	VZ	0.00975	0.00028
NEIL	Xo	774610.33862	0.00039	VX	0.02197	0.00027
	Yo	-6258471.53581	0.00067	VY	0.00885	0.00045
	Zo	952303.07282	0.00029	VZ	0.02211	0.00020
NICY	Xo	497630.83718	0.00056	VX	0.00591	0.00034
	Yo	-6259516.91910	0.00100	VY	-0.00108	0.00061
	Zo	1115789.54328	0.00055	VZ	0.01193	0.00034
PUNT	Xo	565870.32568	0.00034	VX	0.00992	0.00024
	Yo	-6256745.20065	0.00060	VY	-0.00015	0.00042
	Zo	1098060.82868	0.00026	VZ	0.01403	0.00018
RIDC	Xo	651566.60857	0.00031	VX	0.00993	0.00022
	Yo	-6250735.94941	0.00061	VY	0.00395	0.00043
	Zo	1091707.79246	0.00024	VZ	0.01790	0.00017
SAGE	Xo	690230.87419	0.00034	VX	0.02241	0.00024
	Yo	-6256292.38755	0.00058	VY	0.00672	0.00041
	Zo	1032020.69213	0.00023	VZ	0.02421	0.00016

A manera de ejemplo de la salida gráfica de la rutina, se presenta en la figura 3 la serie temporal PPP y la velocidad lineal en las componentes X, Y, Z de las estaciones ETCG y SAGE ubicadas en el sector central y sur del país respectivamente

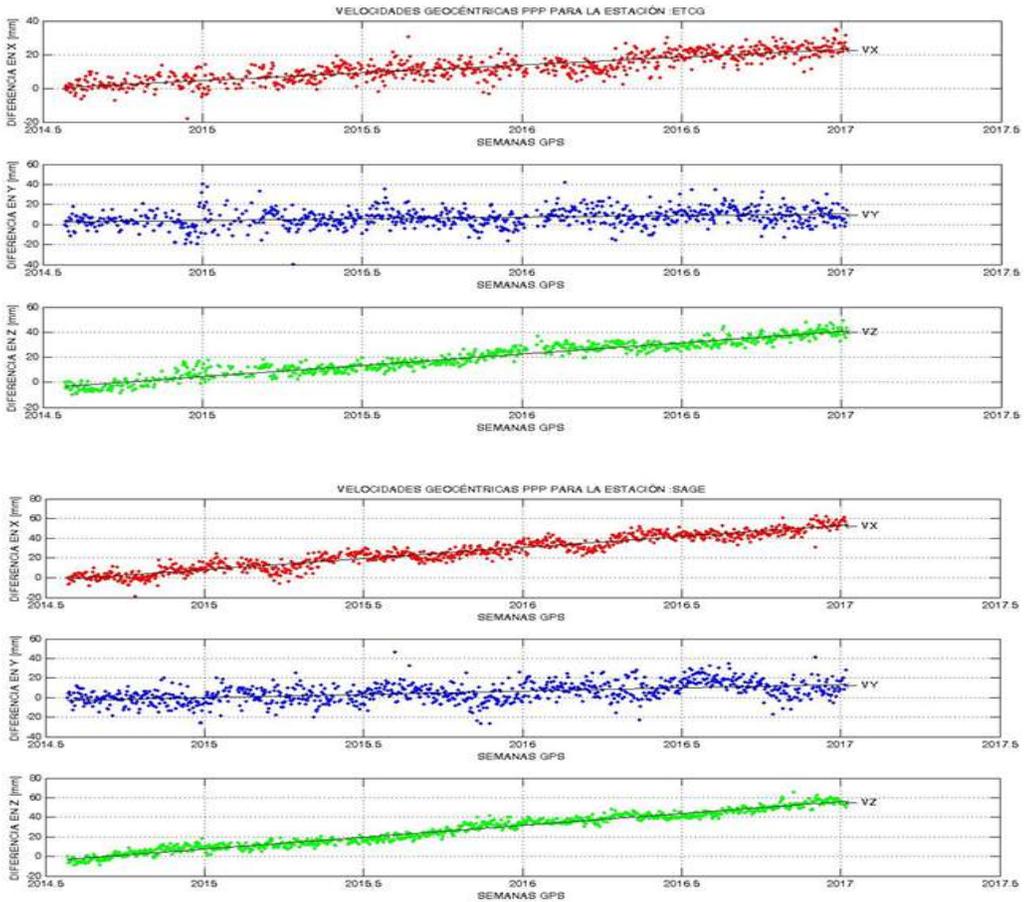


Figura 3: Series temporales PPP. En la parte superior la estación ETCG y en la inferior la estación SAGE

Los resultados en las velocidades se compararon con los datos publicados por el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) en la solución multianual denominada SIR15P01 reducidas a la época 2013,0 (SIRGAS, 2017). En la tabla 6, se presentan los resultados al calcular las coordenadas geocéntricas de las estaciones usando los valores oficiales de SIRGAS extrapolados a la época 2017,0 y determinando las respectivas diferencias de coordenadas.

Tabla 6: Diferencias de coordenadas geocéntricas producto de la extrapolación de la solución SIR15P01 a la época 2017.0

EST	Solución SIR15P01. Época 2013,0		Solución SIR15P01. Época 2017,0		
		Coordenada(m)	Velocidad(m/a)	Coordenada(m)	Diferencias(mm)
AACR	Xo	644008.993	7.15	644009.02185	11.2
	Yo	-6251064.284	6.97	-6251064.25575	7.9
	Zo	1093780.865	13.94	1093780.92086	3.7
ETCG	Xo	645208.293	10.56	645208.33560	-5.9
	Yo	-6249842.152	4.26	-6249842.13476	0.7
	Zo	1100399.575	17.74	1100399.64567	-6.1
LIBE	Xo	498678.620	-0.38	498678.61875	13.3
	Yo	-6249679.845	-1.42	-6249679.85018	0.8
	Zo	1168903.035	2.18	1168903.04386	21.4
LIMN	Xo	762717.256	17.49	762717.32546	-4.5
	Yo	-6235556.524	8.2	-6235556.49120	2.8
	Zo	1099500.424	4.81	1099500.44331	10.0
NEIL	Xo	774610.248	21.56	774610.33469	3.9
	Yo	-6258471.572	10.54	-6258471.52975	-6.1
	Zo	952302.985	22.41	952303.07416	-1.3
NICY	Xo	497630.829	-4.93	497630.80884	28.3
	Yo	-6259516.912	-1.78	-6259516.91892	-0.2
	Zo	1115789.529	-5.79	1115789.50632	37.0
PUNT	Xo	565870.292	4.43	565870.31018	15.5
	Yo	-6256745.203	1.01	-6256745.19923	-1.4
	Zo	1098060.879	6.04	1098060.90346	-74.8
RIDC	Xo	651566.569	7.47	651566.59917	9.4
	Yo	-6250735.963	3.18	-6250735.95008	0.7
	Zo	1091707.726	15.96	1091707.78982	2.6
SAGE	Xo	690230.786	20.36	690230.86744	6.8
	Yo	-6256292.416	8.15	-6256292.38308	-4.5
	Zo	1032020.601	22.27	1032020.68962	2.5

VIII ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las series de datos se trabajaron en diferencias de coordenadas geocéntricas cuyos valores promedio y de variabilidad demostraron que para la coordenada X, el promedio de las diferencias estuvo entre 1,71 mm (LIBE) y 26,0 mm (SAGE). Para la coordenada Y, las diferencias extremas fueron de -2,20 mm (AACR) y 20,49 mm (NEIL) y finalmente para la coordenada Z, los valores fueron de 2,83 mm (LIMN) y 26,69 mm (SAGE). Igualmente, la dispersión de las diferencias fue entre 8 mm y 15 mm en la coordenada X, entre 9 mm y 16 mm en la coordenada Y y en la coordenada Z entre 7 mm y 17 mm como valores promedios.

En cuanto al error del valor ajustado el promedio para la coordenada X estuvo entre 0,19 mm y 0,56 mm, mientras que para la coordenada Y entre 0,30 mm a 0,57 mm y para la coordenada Z, los valores estuvieron entre 0,30 mm a 0,59 mm. Los límites inferior y superior de los intervalos de confianza para los promedio de diferencias de coordenadas geocéntricas se presentan en la tabla 3, y se nota como en promedio el rango estuvo entre 1 mm y 3 mm, representando intervalos pequeños debido a la gran cantidad de datos y garantizando en principio que eventuales observaciones atípicas sean fáciles de detectar.

En cuanto a la aplicación del test de errores groseros mediante la rutina VeIMIC, los resultados demostraron que para:

- Estación AACR, se tuvo un total de una sola observación grosera en la coordenada X, la cual presentó un residuo de casi 20 mm. En el caso de las coordenadas Y y Z no se detectaron observaciones groseras según los resultados del test y se estimó que los valores originales de coordenadas deberían asumirse con un error inicial de 5 mm en la coordenada X, 14 mm en la coordenada Y y 4 mm en la coordenada Z.
- Estación CRLP, se tuvo una sola observación grosera en la coordenada X con un residuo de unos -19 mm. No hubo errores groseros en las otras dos coordenadas y la estimación de errores iniciales para las observaciones de esta estación son de 5 mm en la coordenada X, 8 mm y 4 mm en la coordenada Z.
- Estación ETCG presentó dos observaciones marcadas como groseras en la coordenada Y con residuos de -37 mm y 45 mm. Las observaciones correspondientes a las coordenadas X y Z no presentaron errores groseros y la estimación de errores iniciales fue de 4 mm en la coordenada X, 8 mm en la coordenada Y y 4 mm en la coordenada Z.
- Estación LIBE presentó 4 observaciones groseras según el test. Una observación en el vector de coordenadas X, una en el vector de coordenadas Y y dos en el vector de las observaciones para Z. Los residuos fueron respectivamente en promedio de 25 mm, -40 mm, -16 mm y -18 mm. Posteriormente la estimación de errores iniciales para las observaciones brindó resultados de 5 mm en la coordenada X, de 9 mm en la coordenada Y y de 4 mm en la coordenada Z.
- Estación LIMN presentó un total de 4 observaciones groseras en la coordenada X con residuos promedio de 24 mm, -28 mm, -26 mm, -25 mm, de 4 en la coordenada Y con valores de 48 mm, 51 mm, -43 mm, 42 mm y dos observaciones en la coordenada Z con residuos de -19 mm y -19 mm. La estimación de errores iniciales para las observaciones de esta estación fueron de 5 mm en la coordenada X, de 10 mm en la coordenada Y y de 4 mm en la coordenada Z.
- Estación NEIL tuvo un total de 3 observaciones groseras, una en cada coordenada con valores de residuo de 41 mm, -35 mm y 41 mm respectivamente para las coordenadas X, Y, Z. Los errores iniciales estimados fueron de 5 mm en la coordenada X, 8 mm en la coordenada Y y 4 mm en la coordenada Z.

- Estación NICY no presentó errores groseros en los vectores de observaciones según los resultados del test. La posterior estimación de errores iniciales fue de 4 mm, 8 mm y 4 mm para las coordenadas X, Y y Z
- Estación PUNT presentó tres errores groseros según los resultados del test, uno en cada coordenada con residuos de -48 mm, 37 mm y -15 mm respectivamente. Los errores iniciales estimados fueron de 5 mm en la coordenada X, de 8 mm en la coordenada Y y 4 mm en la coordenada Z respectivamente.
- Estación RIDC presentó un total de 3 observaciones groseras en la coordenada X con residuos de 20 mm, -24 mm y -19 mm. En la coordenada Y se detectaron 2 observaciones groseras con un residuos de 41 mm y 39 mm. La coordenada Z no presentó observaciones groseras. La estimación de errores iniciales fue de 5 mm en la coordenada X, de 9 mm en la coordenada Y y de 4 mm en la coordenada Z.
- Estación SAGE solamente presentó una observación grosera con un residuo de 42 mm detectado en la coordenada X; las otras dos coordenadas no presentaron errores groseros según los resultados del test y la estimación inicial de los errores para las observaciones fue de 5 mm para las observaciones en la coordenada X, de 9 mm para las observaciones de la coordenada Y y de 4 mm en las observaciones de la coordenada Z.

En total, luego de los ajustes parciales se detectaron un total de 35 observaciones groseras cuyos residuos promediales estuvieron entre -40 mm y 40 mm. La coordenada que presentó mayor número de observaciones groseras fue la X con un total de 15 observaciones; mientras que las coordenadas Y y Z presentaron un total de 13 y 7 observaciones groseras respectivamente.

La validación de los velocidades resultantes derivadas de los datos procesados por PPP (ver tabla 5) se hizo por medio de la solución SIRGAS SIR15P01, reducidos a la época de referencia 2013,0. Se usaron las velocidades y las coordenadas de referencia de esta solución y se extrapolaron a la época 2017,0. Los resultados de esta comparación se presentan en tabla 6 en el cual se muestra un valor de diferencia para la coordenada X entre -6,0 mm y 28 mm. Para la coordenada Y se tuvo valores de diferencias entre -6 mm y 8 mm y para la coordenada Z entre -75 mm y 37 mm. De los valores anteriores se determinaron las diferencias promedio en las coordenadas los cuales son de 11 mm para la coordenada X, de 1 mm en la coordenada Y y de -19 mm en la coordenada Z, lo cual representa un excelente consistencia de la solución de PPP respecto a la solución SIR15P01. Se encontró una consistencia en las coordenadas X y Z de unos 15 mm en valor absoluto y de prácticamente nula en la coordenada Y la cual corresponde a la altura en un sistema topocéntrico. Esto puede deberse a que esta coordenada presenta generalmente una mayor variabilidad en los datos.

El test de errores groseros programado en lenguaje de MatLab, quizás es una primera buena aproximación para la detección de valores atípicos en los conjuntos de datos ya que realiza la comparación sobre los residuos de las observaciones los cuales siguen el principio de mínimos cuadrados y se calculan con base en los datos y los pesos de las observaciones, por lo que este residuo representa un mejor parámetro para la comparación en lugar del dato inicial. Sin embargo, a pesar de que el test de errores groseros implementado en este estudio logró detectar algunos datos atípicos, éstos no constituyen realmente una diferencia significativa en el cálculo final de las velocidades, debido a la gran cantidad de observaciones originales.

Referencias

Alves Costa, S., Silva, A. D., Moura, N. J. D., Gende, M., y Brunini, C. (2009). *Differential and precise point positioning in the south american region with ionosphere maps. observing our changing earth*. International Association of Geodesy Symposia 133.

- Kuang, S. (1996). *Tgeodetic network analysis and optimal design*. Estados Unidos de América. ISBN 0-9668162-0-X.: Concepts and Applications.
- Mireault, Y., Tétreault, P., Lahaye, F., Héroux, P., y Kouba, J. (2008). *Online precise point positioning. a new, timely service from natural resources canada*. GPS World.
- Moya, J., Núñez, C., y Cubero, J. (2017). *Usando la red de estaciones sirgas de costa rica para la cuantificación de las discrepancias respecto de un procesamiento ppp en línea*. Revista de Ingeniería. Universidad de Costa Rica. 39-55, ISSN: 2215-2652.
- Moya, s., J.and Bastos, y Rivas, M. J. (2014). *Cálculo, mediante la aplicación del algoritmo de ajuste por mínimos cuadrados, de los componentes de velocidad para estaciones gnss continuas*. Revista UNICIENCIA. Universidad Nacional.
- Niemeier, W. (2002). *Ausgleichsrechnung*. Alemania: Walter De Gruyter.
- Pelzer, H. (1985). *Geodätische netze in lands-und ingenieurvermessung ii*. Hannover, Alemania.
- Perović, G. (2005). *Least squares*. ISBN: 86-907409-0-2. Belgrado, Serbia: University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- SIRGAS. (2018). *Sistema de referencia geocéntrico para las américas*. Autor. Descargado de <http://www.sirgas.org>

ARQUEOASTRONOMÍA Y ASTRONOMÍA CULTURAL

La astronomía y su impacto en las culturas antiguas - Estudio comparativo de los casos en Egipto y el mundo Maya

Eduardo Rodas-Quito

Resumen

En las culturas antiguas, los mitos jugaron un papel muy importante para crear un sentido de orden y de identidad en las mismas, al relatar el origen del orden natural percibido y al mismo tiempo justificar el orden social y vital en el que las culturas se desenvolvían. Se estudian los mitos de la creación de dos de las grandes culturas del pasado, la maya y la egipcia, realizando un análisis de las mismas utilizando como herramienta básica la metodología planteada por Antropología Cultural, identificando en ambas algunos aspectos que dan a conocer cómo los miembros de dichas culturas concibieron el pensamiento de sus dioses al momento de la creación, desde sus perspectivas geográficas, concepciones que de algún modo, puede haberles condicionado en la forma de dar culto a los dioses, de rendirles tributo, ofrendas y/o sacrificios y en última instancia, en el destino final de sus respectivas civilizaciones.

Palabras Clave: Antropología Estructural, Mitología, Egipto, Mayas

Abstract

In ancient cultures, myths had a very important role when creating a sense of order and identity in them, by narrating the origin of the perceived natural order and at the same time, justifying the social and vital order in which cultures developed. We study the myths of the creation of two great cultures from the past, the Maya and the Egyptian, analyzing them by using as basic tool the methodology proposed by Cultural Anthropology, identifying in both of them, aspects that reveal how the members of these cultures, from their geographical perspectives, conceived the way of thinking of their gods at the moment of creation, conceptions that somehow, may have conditioned them into the way they worshiped the gods, payed them tributes, offerings and / or sacrifices and, perhaps, how their civilizations met their ultimate fate.

Keywords: Structural Anthropology, Mythology, Egypt, Mayas

Eduardo Rodas-Quito Honduras, Tegucigalpa M.D.C., Ciudad Universitaria, email: eduardo.rodas@unah.edu.hn, Máster en Astronomía y Astrofísica, Departamento de Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)

Fecha de Recepción: 20 de junio del 2018 / **Fecha de Aprobación:** 31 de octubre del 2018

I INTRODUCCIÓN

Se presentan las investigaciones realizadas sobre las culturas maya y egipcia, cuyo propósito es el de evaluar el impacto de los fenómenos astronómicos así como del entorno geográfico en el desarrollo de diversos rasgos característicos de las culturas antes mencionadas. Entre algunos de estos rasgos culturales tenemos los rituales funerarios, construcción de estructuras monumentales y creencias relacionadas con la vida espiritual posterior a la terrenal (Krupp (1994)).

El presente trabajo se enfoca principalmente en un rasgo cultural cuya importancia ha sido determinante en toda cultura: el mito, que no es más que una historia ocurrida en tiempos inmemoriales por medio de la cual las culturas tratan de explicar los diversos fenómenos de la naturaleza o el origen de tradiciones que se practicaron a lo largo de la existencia de las culturas. Se pone especial énfasis en aquellos mitos que explican las cosmogonías de los pueblos maya y egipcio. Al realizar un estudio de este tipo, se busca identificar el alcance que el conocimiento astronómico tuvo sobre la creación de estos rasgos culturales y hasta qué punto el entorno geográfico, social y ambiental influyó para que dichos rasgos evolucionaran de la forma que lo hicieron.

Para este trabajo se utiliza la metodología desarrollada por el antropólogo Claude Lévy-Strauss, la que él llamo Antropología Estructural. Gracias a ella se pueden encontrar elementos o componentes que explican diversas formas de ver el mundo por parte de las culturas que son de interés del investigador. Dichos componentes de las mitologías, si se clasifican adecuadamente, dan un atisbo al pensamiento de la cultura que las generó y/o las conserva como parte de sus tradiciones y sistema de creencias (Lévi-Strauss (1985)). Otro enfoque que aporta elementos interesantes para el estudio de culturas antiguas es la utilizada por el investigador John Campbell, quien en su sistema de enseñanza de la mitología comparada, realizaba estudios en etapas, entre ellas: una inicial en la que se clasifican los mitos primitivos en varias categorías, analizando diversas historias de pueblos originarios y cazadores, según su región, y posteriormente incorporando una visión generalizadora de los temas de los mitos, en las que otras disciplinas entran en juego, como la sicología y la historia (Campbell (2013)).

Para una mejor capacidad de análisis, en el estudio se incorporan métodos desarrollados por especialistas de la historia de las religiones, uno de cuyos máximos exponentes fue el mitólogo Mircea Eliade, quien en su compilación "Metodología de la Historia de las Religiones" aporta diversos elementos que resultan muy útiles para el estudio que se presenta en este artículo (Eliade y Kitagawa (1996)).

Como ya se mencionó, con la metodología antes descrita se obtienen detalles de los mitos de las culturas maya y egipcia que permiten la identificación de rasgos en ambas culturas que permitieron la creación de tradiciones, rituales y creencias religiosas, cuyo origen esté basado en fenómenos celestes.

II METODOLOGÍA

La metodología está basada en la investigación documental, en la que se busca la información pertinente en documentos tales como artículos de revistas especializadas, informes de investigación de trabajos realizados sobre las culturas de interés y libros de texto que incluyan como parte de su contenido el alcance y objetos de estudio que se buscan investigar en el presente trabajo. Con esta información se construyó un cuadro que detalla los diferentes rasgos culturales de

las dos civilizaciones que son objeto de estudio: la maya y la egipcia. Dichos rasgos culturales se agruparán de acuerdo al fenómeno astronómico al que hagan referencia. Una vez elaborado este cuadro comparativo, se procedió a estudiar en detalle las mitologías, creencias o rituales relacionados a los mismos, con los que se espera identificar patrones que revelen mecanismos o procesos mentales que, puestos en el contexto social, geográfico y temporal de las civilizaciones que les crearon, puedan ayudar a conocer cómo la interacción entre estos elementos define aspectos o rasgos característicos de la creación y evolución de tradiciones, creencias y rituales presentes en las culturas maya y egipcia. Para el estudio documental se consultaron artículos científicos, así como libros especializados en las áreas de Astronomía Cultural, Antropología e Historia y Psicología, dado el carácter interdisciplinario de este tipo de estudios realizados en el marco de la Astronomía Cultural, en la que se vuelve necesario el concurso de varias áreas del conocimiento humano para poder comprender los diversos aspectos culturales de civilizaciones cuya visión del cosmos era integral, es decir, se conjuntaban diversos aspectos (religión, salud, mitologías, observación de fenómenos naturales) que hoy consideramos independientes entre sí. En el desarrollo de la investigación y análisis de los elementos que componen las mitologías de origen astronómico en las culturas maya y egipcia, se hace uso en primer lugar de la metodología desarrollada por el antropólogo Claude Lévi-Strauss, quien en su obra "Antropología Estructural" enumera los pasos necesarios para el análisis de mitologías (Lévi-Strauss (1985)):

- a) Se aíslan dentro de cada mitología historias cortas que forman parte de la mitología bajo estudio, a las cuales llama "mitemas".
- b) Se buscan relaciones entre mitemas, las cuales son generalmente opuestas una de otra, en el sentido de positivo vs. negativo, héroe vs. antihéroe, etc.
- c) Se organizan estos mitemas en dos dimensiones:
 - i. Horizontalmente se organizan de forma sincrónica (es decir, como se van sucediendo en el tiempo).
 - ii. Verticalmente se organizan de forma diacrónica (no se organizan necesariamente según suceden en el tiempo, sino que se buscan "parear" mitemas cuyas historias relatadas sean de la misma naturaleza).
- d) Se identifican las relaciones existentes de forma vertical y al mismo tiempo las relaciones existentes de forma horizontal en el cuadro elaborado según el inciso anterior.

Con el método antes descrito, se identifican "haces" de relaciones, como las llama Lévi-Strauss, las que constituyen las verdaderas unidades constitutivas de los mitos y en donde se rastrearán los orígenes de los mismos en fenómenos astronómicos visibles desde el sitio donde se desarrollaron las culturas bajo estudio. Una vez identificados estos haces de relaciones, se hace un análisis con ayuda de las disciplinas de la psicología, historia y geografía para una identificación más probable del origen astronómico de estos mitemas, así como del cuerpo astronómico que le originó.

III RESULTADOS

Se analizaron dos mitos, uno de la cultura maya y el otro de la cultura egipcia. Ambos tienen que ver con las historias de la creación, desde el punto de vista

particular de cada una de estas culturas. A continuación, una descripción de cómo se aplicó la metodología del inciso anterior.

- i **Mito de la creación maya** El mito de la creación más difundido, desde el punto de vista de la cultura maya, es el que se describe en el Popol Vuh, un documento escrito en idioma maya kiché, cuyo original tiene un paradero desconocido al día de hoy. Se cree que dicho original fue elaborado por un indio maya alrededor del siglo XVI, quien habría aprendido la escritura traída por los españoles y transcribió las historias del Popol Vuh contadas por algún anciano de su pueblo. Posteriormente, este documento fue traducido y escrito en las lenguas castellana y maya kiché por Fray Francisco Ximénez, cura doctrinero en el pueblo de Santo Tomás Chichicastenango. Sin embargo, el documento original de donde lo tradujo desapareció y solo se cuenta con la versión de fray Ximénez. Posteriormente varios estudiosos han hecho sus propias versiones traducidas del documento escrito en maya por fray Ximénez, cada una adaptándolas a sus propias lenguas en términos más ajustados a la época histórica en que realizaron dichas traducciones. La versión utilizada para el análisis propuesto corresponde a la del guatemalteco Adrián Recinos, quien la elaboró en el año 1947 (Recinos (1947)).

Se procede a descomponer el mito en sus mitemas (organizados de la forma descrita en la sección 2. (Metodología), los que se detallan a continuación:

Mitema 1

“Sólo el Creador, el Formador, Tepeu, Gucumatz, los progenitores estaban en el agua rodeados de claridad. Llegó aquí entonces la palabra, vinieron juntos Tepeu y Gucumatz, en la oscuridad, en la noche y hablaron entre sí Tepeu y Gucumatz. Hablaron pues, consultando entre sí y meditando, se pusieron de acuerdo, juntaron sus palabras y su pensamiento [...] entonces dispusieron la creación y crecimiento de los árboles y los bejucos y el nacimiento de la vida y la creación del hombre.”

Mitema 2

“Entonces vinieron juntos Tepeu y Gucumatz [...] ¡Hágase así, que se llene el vacío! ¡Que esta agua se retire y desocupe el espacio, que surja la tierra y que se afirme! [...] ¡Que aclare, que amanezca en el cielo y en la tierra! Así dijeron. Como la niebla, como la nube y como una polvareda fue la creación, cuando surgieron del agua las montañas, y al instante crecieron las montañas [...] se realizó la formación de las montañas y los valles y al instante brotaron juntos los cipresales y pinares en la superficie.”

Mitema 3

“Y dijeron los Progenitores: ¿Sólo silencio e inmovilidad habrá bajo los árboles y los bejucos? Conviene que en lo sucesivo haya quien los guarde. Así dijeron cuando meditaron y hablaron en seguida.”

Mitema 4

“Al punto fueron creados los venados y las aves. En seguida les repartieron sus moradas a los venados y a las aves [...] Y estando terminada la creación de todos los cuadrúpedos y las aves, les fue dicho por el creador y formador y los Progenitores: Hablad, gritad, gorgear, llamad [...] decid, pues, vuestros nombres, alabadnos a nosotros, vuestra madre, vuestro padre; [...] ¡hablad, invocadnos, adoradnos!, les dijeron.”

Mitema 5

“[...] no se pudo conseguir que hablaran como los hombres, solo chillaban, cacareaban y graznaban, no se manifestó la forma en su lenguaje y cada uno gritaba de manera diferente.”

Mitema 6

“Entonces se les dijo: Seréis cambiados porque no se ha conseguido que habléis. Hemos cambiado de parecer [...] Vosotros aceptad vuestro destino: vuestras carnes serán trituradas. Así será. Esta será vuestra suerte.”

Mitema 7

“Probemos ahora a hacer unos seres obedientes, respetuosos, que nos sustenten y alimenten. Así dijeron. Entonces fue la creación y la formación. De tierra, de lodo hicieron la carne del hombre.”

Mitema 8

“Pero vieron que no estaba bien, porque se deshacía, estaba blando, no tenía movimiento [...] Al principio hablaba, pero no tenía entendimiento. Rápidamente se humedeció dentro del agua y no se pudo sostener.”

Mitema 9

“Entonces desbarataron y deshicieron su obra y creación”

Mitema 10

“Y en seguida dijeron: ¿Cómo haremos para perfeccionar, para que salgan bien nuestros adoradores, nuestros invocadores?”

Mitema 11

Y dijeron Hurakán, Tepeu y Gucumatz cuando le hablaron el Agorero, al formador, que son los adivinos: [...] Entrad, pues, en consulta, abuela, abuelo, nuestra abuela, nuestro abuelo, Ixpiyacoc, Ixmucané, haced que aclare, que amanezca, que seamos invocados, que seamos adorados, que seamos recordados por el hombre creado, por el hombre formado, por el hombre mortal, haced que así se haga. [...] y comenzando la adivinación, dijeron así: ¡Juntaos, acoplaos! ¡Hablad, que os oigamos, decid, declarad si conviene que se junte la madera y sea labrada por el Creador y el Formador, y si éste [el hombre de madera] es el que nos ha de sustentar y alimentar cuando aclare, cuando amanezca! Y al instante fueron hechos los muñecos labrados en madera. Se parecían al hombre, hablaban como el hombre y poblaron la superficie de la tierra.”

Mitema 12

“Existieron y se multiplicaron; tuvieron hijas, tuvieron hijos los muñecos de palo”.

Mitema 13

“Pero no tenían alma, ni entendimiento, no se acordaban de su Creador, de su Formador; caminaban sin rumbo y andaban a gatas”.

Mitema 14

“En seguida fueron aniquilados, destruidos y desechos los muñecos de palo y recibieron la muerte. Una inundación fue producida por el Corazón del Cielo”.

Mitema 15

“De tzité se hizo la carne del hombre, pero cuando la mujer fue labrada por el Creador y el Formador, se hizo de espadaña la carne de la mujer.”

Mitema 16

“Pero no pensaban, no hablaban con su Creador y su Formador, que los habían hecho, que los habían creado”

Mitema 17

“Y por esta razón fueron muertos, fueron anegados. Una resina abundante vino del Cielo.[...] Y esto fue para castigarlos, porque no habían pensado en su madre, ni en su padre, el Corazón del Cielo, llamado Hurakán”

Mitema 18

“Y dijeron los Progenitores, los Creadores y Formadores, que se llaman Tepeu y Gucumatz: Ha llegado el tiempo del amanecer, de que se termine la obra y que aparezcan los que nos han de sustentar y nutrir, [...] que aparezca el hombre, la humanidad sobre la superficie de la tierra. Se juntaron, llegaron y celebraron consejo en la oscuridad y en la noche; luego buscaron y discutieron y aquí reflexionaron y pensaron. De esta manera salieron a luz claramente sus decisiones y encontraron y descubrieron lo que debía entrar en la carne del hombre. Poco faltaba para que el sol la luna y las estrellas aparecieran sobre los Creadores y Formadores. A continuación entraron en pláticas acerca de la creación y la formación de nuestra primera madre y padre.”

Mitema 19

“De maíz amarillo y maíz blanco se hizo su carne [...] únicamente masa de maíz entró en la carne de nuestros padres, los cuatro hombres que fueron creados [...] fueron dotados de inteligencia, vieron y al punto se extendió su vista, alcanzaron a conocer todo lo que hay sobre el mundo [...] No nacieron de mujer, ni fueron engendrados por el Creador y el Formador, por los Progenitores. Sólo por un prodigio, por obra del encantamiento fueron creados y formados [...] fueron dotados de inteligencia, vieron y al punto se extendió su vista [...] cuando miraban, al instante veían a su alrededor y contemplaban en torno a ellos la bóveda del cielo y la faz redonda de la tierra [...] grande era su sabiduría.”

Mitema 20

“Entonces les preguntaron el Creador y el Formador: [...] ¡Mirad, pues! ¡Contemplad el mundo, ved si aparecen las montañas y los valles! ¡Probad, pues, a ver! Les dijeron”.

Mitema 21:

“Dieron las gracias al Creador y al Formador: ¡En verdad os damos las gracias dos y tres veces! [...] Acabaron de conocerlo todo y examinaron los cuatro rincones y los cuatro puntos de la bóveda del cielo y de la faz de la tierra. Pero el Creador y el Formador no oyeron esto con gusto”.

Mitema 22:

“No está bien lo que dicen nuestras criaturas, nuestras obras; todo lo saben, lo grande y lo pequeño, dijeron. [...] ¿Acaso no son por su naturaleza simples criaturas y hechuras [nuestras]? ¿Han de ser ellos también dioses? [...] Refinemos un poco sus deseos, pues no está bien lo que vemos.”

Mitema 23:

“Entonces el Corazón del Cielo les echó un vaho sobre los ojos, los cuales se empañaron como cuando se sopla sobre la luna de un espejo [...] así fue destruida su sabiduría y todos los conocimientos de los cuatro hombres, origen y principio de la raza quiché. Así fueron creados y formados nuestros abuelos, nuestros padres, por el Corazón del Cielo, el Corazón de la Tierra.”

Mitema 24:

“Entonces existieron también sus esposas y fueron hechas sus mujeres. Dios mismo las hizo cuidadosamente [...] ellos engendraron a los hombres, a las tribus pequeñas y a las tribus grandes y fueron el origen de nosotros, la gente del quiché”

Una vez descompuesto el mito de la creación en mitemas, se identifican las ideas centrales de cada una de ellas, las que se pueden clasificar en:

- Ideas relacionadas con la actividad (o inactividad) de seres divinos
- Ideas relacionadas con la actividad de criaturas, las cuales pueden ser agradables o desagradables a los seres divinos

Organizándolos según estas ideas centrales, designando cada mitema con la letra M seguida del número correspondiente al orden en que se clasificó previamente, se obtiene la Tabla 1, que se muestra a continuación:

Tabla 1: Clasificación de los mitemas componentes del mito de creación en el Popol Vuh

Existencia y meditación de los dioses	Acciones de los dioses	Acciones de las criaturas, que son agradables a los dioses	Acciones de las criaturas, que son desagradables a los dioses
M1	M2		
M3	M4		M5
M6	M7		M8
	M9		
M10	M11	M12	M13
	M14		
	M15		M16
	M17		
M18	M19		
M20			M21
M22	M23		
	M24		

ii. **Mito de la creación egipcio**

Dentro de la mitología egipcia, existieron una variedad de mitos que explicaban el origen del Universo, lo que dependía de la ciudad de donde

proviniera. El mito que se analiza es el de la ciudad conocida por los griegos como Heliópolis (o Iunnu, que significa pilar en egipcio antiguo), dado que incorpora elementos que se relacionan con el campo de estudio de la arqueoastronomía. Se cree que su formulación original ocurrió en tiempos predinásticos (antes del 3,100 a.C.) siendo transmitidos por tradición oral desde esa época hasta su aparición en los Textos de las Pirámides, dentro de la pirámide del faraón de la V dinastía, Wenis o Unis, (alrededor del 2,400 a.C.) en el Reino Antiguo (Belmonte (1999)). Los mitemas identificados se designan con la letra E, seguida del número correlativo según su aparición en el mito, de acuerdo al recuento de (Belmonte (1979)):

Mitema E1:

“No existía el cielo, no existía la Tierra, no habían sido creadas las cosas de la tierra ni las criaturas rastreras que yo levanté del Nu[n], desde su estado de inactividad”

Mitema E2:

“No encontré un lugar donde pudiera reposar, hice un lugar en mi corazón y senté las bases en Maa y a todo le di atributos, a todo.”

Mitema E3:

Yo estaba solo, porque no había escupido en la forma de Shu ni había emitido a Tefnut, ni existía nadie que trabajara conmigo.”

Mitema E4:

“Senté las bases en mi corazón por mi propia voluntad y llegaron a la existencia una multitud de cosas a partir de sus nacimientos.”

Mitema E5:

“Yo mismo me uní a mi mano apretada y me uní a mí mismo en un abrazo con mi sombra, sembré la semilla en mi boca por mi propia voluntad.”

Mitema E6:

“Envié [aire?] en la forma de Shu, envié humedad en la forma de Tefnut”

Mitema E7:

“Y dijo mi padre Nu[n]: “Ellos debilitan a mi ojo, porque [después de mucho tiempo] de que procedieron de mí, luego de que me convertí en tres dioses a partir de uno solo [...] lloré sobre ellos y surgieron hombres y mujeres de las lágrimas que salieron de mi ojo, el cual enfureció en contra mía al saber que había puesto otro ojo en su lugar. Por tanto, le di el poder y esplendor que yo había creado. Y luego de darle su lugar en mi rostro, le hice que gobernara la tierra en toda su extensión.”

Mitema E8:

“Y luego aparecí en la forma de las plantas, todos los animales rastreros, y todas las cosas que llegaron a existir.”

Mitema E9:

“[Luego] di a luz a Shu y Tefnut y Geb y Nut. Geb y Nut [dieron a luz] a Osiris, Horus, Seth, Isis y Neftis a partir del vientre, uno tras otro y ellos procrean y se multiplican en esta tierra.”

Analizando los mitemas en busca de las ideas centrales, se observa que todos ellos, excepto en el 7, los enunciados se expresan en primera persona e indican también la acción o inacción de quien está narrando la historia (en este caso,

se trata del dios Ra – el Sol cenital). La inacción se expresa en los mitemas 1 al 3. Su acción se expresa en los mitemas 4, 5, 6, 8 y 9. Otro aspecto que se puede identificar en este mito es que la creación se distinguen dos niveles: la creación de seres divinos y la creación de seres terrenales, comunes y corrientes. Siguiendo estos criterios, los mitemas se organizan como se presenta en la Tabla 2:

Tabla 2: Clasificación de los mitemas componentes del mito de la creación egipcio

Inacción por parte del dios creador Ra	Acción por parte del dios creador Ra	
E1	E4	
E2	E5	
E3	Seres Divinos	Seres Terrenales
	E6	E7
		E8
	E9	

IV ANALISIS DE RESULTADOS

Se analizaron los mitemas con el fin de encontrar las ideas centrales, tal como descrito en la metodología y se comenta como sigue:

Mayas: En las primeras dos columnas de la Tabla 1, se registra lo relacionado con los dioses, mientras que el siguiente par de columnas se relacionan con las criaturas que surgen por la voluntad de dichos dioses. Las ideas contrapuestas en cada caso tienen que ver con acciones o no acciones de estos seres, analizándose por tipo a continuación:

- **Dioses:** Se observa que éstos tienen dos estados en oposición uno respecto del otro: la primera columna se refiere a un estado reflexivo de los dioses, en el que están pasivos, sin realizar actividades de ningún tipo. En la segunda columna, por el contrario, se aprecia la acción de los dioses, que en esta mitología abarca principalmente actividades de creación (de la tierra, las plantas, animales y las diferentes clases de hombre) o de desprecio y destrucción (primero para los animales y luego para los diferentes hombres de cada creación, a excepción de los de la cuarta creación, que en lugar de ser destruidos fueron “degradados” en cuanto a sus capacidades). Es mayor el número de estados activos de los dioses que los pasivos, lo que se explica por la gran importancia de sus acciones (establecer el Cosmos y sus habitantes).
- **Criaturas:** Su papel se logra identificar no como de protagonistas de su propia historia, sino como seres que están a merced de la voluntad de los dioses y cuyo único propósito es el dar alabanzas a la grandeza de dichos dioses. Quienes no cumplan con este requisito, no son del agrado de los dioses y por tanto no merecen la existencia y son destruidos.

Se observa cómo la actividad creadora se limita únicamente a la de los seres terrenales. Los dioses creadores ya existen en un mundo (¿espiritual?) y a partir de allí, por medios no descritos en el mito, ellos primero toman decisiones y luego acciones sobre crear o destruir a los seres terrenales. Es de hacer notar que estos dioses creadores, a pesar de tener estos grandes poderes de crear o destruir, no son infinitamente sabios. Esto se manifiesta por dos hechos: en primer lugar, el no haber podido crear un ser que les adorara, en la primera creación, sino que hubo que repetir varias veces este proceso, hasta que lograron crear un ser que fue demasiado perfecto, casi un dios, por lo que hubieron de rectificar y “ajustar” las capacidades de esta criatura para que no fuera a creer que también era como un dios. En segundo lugar, los dioses, a pesar de gozar de dicha cualidad de dioses, necesitaron de ayuda para su actividad creadora, como se narra en el mitema 11: “[...] Entrad, pues, en consulta, abuela, abuelo, nuestra abuela, nuestro abuelo, Ixpiyacoc, Ixmucané, haced que aclare, que amanezca, que seamos invocados, que seamos adorados, que seamos recordados por el hombre creado, por el hombre formado, por el hombre mortal, haced que así se haga”. De modo que los dioses les rogaron a Ixpiyacoc e Ixmucané que les concedieran este deseo. Se identifican, por tanto, diferenciación entre los dioses, unos poderosos pero faltos de sabiduría, y otros sabios pero sin la energía o la magia necesaria para llevar a cabo la creación.

Hasta aquí, los astros no han tenido mayor relevancia en el mito maya, únicamente sirve como punto de referencia el amanecer (causado por el Sol), que en este caso vendría a ser el momento en que se debe culminar la creación, especialmente del ser que llenaría la necesidad de los dioses de ser adorados e invocados. A partir de esta relación, no es de extrañar que los mayas utilizaran los fenómenos celestes como referentes de momentos importantes de la sociedad: salidas y puestas del Sol en los solsticios y la observación del día del paso del Sol por el cenit, por citar algunos ejemplos.

Egipcios: En dos momentos de inacción (mitemas 2 y 3), Ra manifiesta una insatisfacción al no poder hallar dónde reposar ni quien le ayudara, así como un sentimiento de soledad. A causa de estos sentimientos, se puede concluir que Ra decide emprender la creación de todas las cosas, empezando con los dioses. Primero son Shu y Tefnut, a partir de la “autofecundación” de Ra. De estos dos dioses surgen los demás del panteón egipcio. A modo de resumen, en el mitema 8 se presenta a Ra (es decir, el Sol) como el padre de todas las cosas “que llegaron a existir”. El mitema 7 se sale de este orden y se refiere, en primer lugar, a una tercera persona: el Nun u océano primordial, a través de quien Ra emite una especie de lamento y al mismo tiempo una justificación sobre el porqué del gobierno de una de sus partes sobre la creación: uno de sus ojos. Es este ojo el que crea a la Humanidad, cuando se dice en el mito que “lloré sobre ellos y surgieron hombres y mujeres de las lágrimas que salieron de mi ojo, el cual enfureció en contra mía al saber que había puesto otro ojo en su lugar”. De modo que la fecundidad de Ra, el dios solar por excelencia, se extiende a todas sus partes, en este caso el ojo que llora.

Por tanto, en la creación egipcia se identifican dos formas diferentes en que ésta se lleva a cabo:

- La creación de seres con consciencia (dioses y seres humanos) que ha ocurrido a partir de emisiones de fluidos de Ra: en los textos de las pirámides se dice explícitamente que Shu y Tefnut fueron escupidos por Ra (Lull (2006)), mientras que en el mitema 7 se menciona que la Humanidad ha surgido de las lágrimas de su ojo.
- Por otro lado, las demás cosas: plantas, animales rastreros y otros, no surgen de emisiones de Ra, sino que son más bien sus “encarnaciones”, como

dice el mitema 8, es decir, los seres sin una conciencia propia vendrían a ser partes o manifestaciones de este dios, por lo que la creación, fuera de los dioses y los humanos, estaría compuesta en su totalidad por elementos componentes del Sol.

IV.1 Comparación entre los mitos de la creación maya y egipcia:

Se observan dos puntos de vista muy diferentes de cómo el mundo alcanzó el orden percibido. En la sociedad maya, que se desarrolló en las selvas tropicales de Mesoamérica, los astros no tienen un protagonismo en la creación del mundo, sino que fueron dioses pre existentes los que crearon el cosmos y tienen influencia únicamente en el mundo material, no en el inmaterial (o espiritual). Si se toma en cuenta que en esta parte del mundo la mayor parte del tiempo el cielo está oculto a los ojos de sus habitantes, ya sea porque está nublado debido a su clima tropical o por la cobertura del bosque nublado en gran parte de la región, no es de extrañar que sólo se haga una distinción entre la claridad y la oscuridad, tal como se perciben el día y la noche desde selvas tropicales y bosques húmedos. Por otro lado, en la sociedad egipcia, que se desarrolla en una región donde la mayor parte del año los cielos están claros y no hay bosques que los cubran de la vista de los habitantes de la región, el protagonista principal es el Sol, del cual surge toda la creación (tanto material como inmaterial). De sus fluidos (que se podrían asociar al rocío de la mañana y al Río Nilo mismo) surge la vida, en forma de los seres humanos (en la tierra) y de los diferentes dioses del panteón egipcio (en el mundo espiritual y quienes rigen cada parte surgida del dios Sol, manifestada como elementos naturales sin conciencia). El Sol, en su forma de Ra, es quien comanda y dirige toda la creación, pensamiento que se deriva del hecho de vivir en el desierto, donde el Sol está siempre presente la mayor parte del año y la vida sobre la tierra gira alrededor de los ciclos percibidos en el movimiento aparente de dicho astro.

Conclusión

Del análisis realizado en la sección anterior se pueden derivar algunas conclusiones interesantes relativas a la cosmovisión y cosmogonía de las civilizaciones maya y egipcia:

1. El medio ambiente juega un papel importante para la formación y desarrollo de las culturas. En el caso de los mayas, debido al lugar donde surge (bosque nublado tropical, selva con cobertura boscosa muy cerrada), ellos manifiestan su visión de la creación en un mundo que solo distingue la claridad de la oscuridad, sin astros que cumplan funciones claras en su cosmogonía. Por otro lado, en el caso de los egipcios, el Sol, un astro omnipresente en el ambiente del desierto, es el ser primordial de donde surge toda la vida.
2. El papel de la magia es muy diferente en cada cosmogonía estudiada. Para los mayas, se deduce de este análisis que la magia debe ser muy importante, ya que no se explica de ninguna forma cómo surgen las cosas creadas, sino que su aparición es gracias a la voluntad de los dioses involucrados. En el caso de la cultura egipcia, se da una explicación más detallada del surgimiento de lo creado, en el que atribuyen al ser creador (el Sol) y sus criaturas, fenómenos biológicos de los que surge todo lo creado.

3. El alcance de los seres creadores es diferente en ambas culturas. Los dioses mayas solo actúan en el mundo material. Los dioses egipcios actúan tanto en el mundo espiritual como material.
4. Las personalidades y capacidades de los dioses de ambas culturas son también diferentes: los dioses mayas dudan, se equivocan y manifiestan actitudes muy humanas, el dios solar de los egipcios actúa con seguridad de lo que hace y quiere con cada una de sus acciones.

A partir de lo aquí planteado, se podrían continuar estudios que traten de relacionar estas cosmovisiones con las actitudes de los miembros de ambas culturas hacia sus dioses: ¿creerían los mayas que podían influenciar a sus dioses inseguros, mientras los egipcios no lo creyeron así? ¿Estos enfoques tendrían algún tipo de influencia sobre sus rituales y los propósitos hacia los cuales éstos estaban encaminados? Estas son preguntas interesantes que valdría la pena examinar en más profundidad en futuros estudios sobre el tema.

Referencias

- Belmonte, J. (1979). *Las leyes del cielo*. New York: Harper Collins Publishers.
- Belmonte, J. (1999). *Las leyes del cielo*. Madrid: Ediciones Temas de Hoy, S.A.
- Campbell, J. (2013). *Comparative mythology as an introduction to cross cultural studies*. The Joseph Campbell Foundation.
- Eliade, M., y Kitagawa, J. E. (1996). *Theory of knowledge*. Barcelona: Esparsa.
- Krupp, E. (1994). *Echoes of the ancient skies – the astronomy of lost civilizations*. Estados Unidos: Dover Publications, Inc.
- Lull, J. (2006). *La astronomía en el antiguo egipto*. Valencia, España: Universitat de València.
- Lévi-Strauss, C. (1985). *La estructura de los mitos (ed.)*, *Antropología Estructural*. Barcelona: Ediciones Paidós.
- Recinos, A. (1947). *Popol vuh: Las antiguas historias del quiché*. México: Fondo de Cultura Económico.

CIENCIAS AERONÁUTICAS

Ensayos con el control autónomo de sistemas aéreos no tripulados tipo cuadricóptero para su aplicación didáctica en la enseñanza aeronáutica

Omri Alberto Amaya Carias

Resumen

El propósito de este artículo es presentar los resultados de una investigación en el área del control de una aeronave no tripulada, siendo la orientación al área específica del uso en temas de didáctica educativa. Los usos de hardware y software específicos utilizados en esta investigación, ambos de código abierto, dan una oportunidad de desarrollo en el tema educativo en el campo aeronáutico, pretendiendo de esta manera utilizarlos como plataforma para enseñanza demostrativa. La metodología se explica en el artículo, buscando la posibilidad de explorar nuevas líneas de investigación indagando en el contexto hondureño temas trabajados en otros países o aportando nuevos temas o nuevas perspectivas de estudio. Se propone como problema de estudio el poco conocimiento en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) acerca de las aeronaves no tripuladas y sus aplicaciones con equipamiento para distintas funciones con potencial para ser utilizados en contextos pedagógicos y para la experimentación en otros campos. Se concluye que este primer acercamiento al tema de vehículos aéreos no tripulados abre para el Departamento de Ciencias Aeronáuticas (DCA) un amplio campo de investigación desde el cual se pueden hacer importantes aportaciones para aplicaciones innovadoras necesarias y oportunas en la enseñanza, la investigación, el desarrollo económico y la recreación.

Palabras Clave: educación aeronáutica, aeronave no tripulada, drone, programación.

Abstract

The purpose of this article is to present the results of an investigation in the area of control of an unmanned aircraft, being the orientation to the specific area of use in educational didactic subjects. The specific hardware and software specifics used in this study, both of open source, give an opportunity to development in the educational field in aeronautics, intending in this way to use them as platform for demonstrative teaching. The methodology is explained in the article, looking for the possibility of exploring new lines of research by searching in the Honduran context topics worked on in other countries or contributing new topics or new study perspectives. It is proposed as a study problem the lack of knowledge in the Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) of unmanned aircraft and their applications with equipment for different functions with potential to be used in pedagogical contexts and for experimentation in other fields. It is concluded that this first approach to the issue of aerial vehicles opens for Departamento de Ciencias Aeronáuticas (DCA) a wide field of research from which important contributions can be made for the necessary and timely innovative applications in teaching, research, economic development and recreation.

Keywords: aeronautical education, unmanned aircraft, drone, programming.

Omri Alberto Amaya Carias Honduras, Tegucigalpa M.D.C., Ciudad Universitaria, email:omri.amaya@unah.edu.hn Máster en Ordenamiento y Gestión del Territorio, Departamento de Ciencias Aeronáuticas, Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras,

Fecha de Recepción: 24 de julio de 2017 / **Fecha de Aprobación:** 11 de Agosto de 2017

I INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una amplia variedad de aplicaciones para aeronaves no tripuladas, dependiendo de las capacidades intrínsecas de desempeño y del equipamiento con el que se pueden complementar en condición de plataforma, sus usos pueden ir desde el reconocimiento de áreas geográficas hasta el uso bélico-militar, pasando por la detección de minerales, la cobertura de eventos sociales, tomas cinematográficas, controles policiales, manejo de bosques, apoyo de reportes noticiosos y hasta entregas a domicilio.

Un interés que atrae fuertemente la atención del (DCA) lo constituyen las diversas aplicaciones que pueden tener las aeronaves no tripuladas para fines didácticos. Como en otras condiciones y para otros fines lo podría hacer un túnel de viento, un “dron” puede mostrar en un ambiente experimental las cuatro fuerzas que propician el vuelo de cualquier aeronave, además sería un objeto de estudio adecuado para modelar maniobras de aeronaves en pleno vuelo, simular aterrizajes y despegues, mostrar a escala las distancias que deben mantener las aeronaves con respecto al suelo, con respecto a distintos obstáculos y con respecto a otras aeronaves, entre otros muchos ejercicios.

El proceso investigativo definió los antecedentes, presentando así la problemática a analizar, con sus objetivos y fases del proceso de investigación. Posteriormente se presentan los resultados de la investigación, El primero lo conforman las anotaciones de una entrevista y de un conjunto de pruebas realizadas con una persona experimentada en temas de drones que posee varios de ellos, incluyendo el software y los instrumentos de control remoto; de este primer producto se deriva la descripción detallada de un proceso de pruebas. En un segundo resultado se reportan las prácticas realizadas por el investigador en el ambiente virtual de un curso en línea denominado “Navigation for Flying Robots”, lo relevante de estos ejercicios fue la elaboración de varias rutinas de maniobras en un lenguaje de programación que fueron probadas en dicha página. Por último se realizó una serie de prácticas para probar la vinculación entre el vehículo AR.Drone 2.0 y la computadora, a través del interfaz que vincula las dos partes, definido como Autoflight.

El artículo de esta investigación finaliza con los apartados de Bibliografía, que enuncia los documentos o referencias consultadas.

II DATOS Y METODOLOGÍA

II.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo propone el desarrollo y generación de un ambiente de robótica aplicada a aeronaves no tripuladas, investigación que viene a desarrollar un espacio necesario en Honduras, específicamente en la UNAH, dado el compromiso de dicha institución en el desarrollo e innovación tecnológico en el país. Por lo que la problemática a plantear es:

Dado que en la actualidad existen diferentes aplicaciones y usos de vehículos con la capacidad de desempeñar tareas cada vez más complejas, lo cual puede llevarse a cabo al incorporar cámaras y distintas clases de sensores a los prototipos para llevar a cabo misiones de reconocimiento, fotogrametría y vigilancia; se constata la necesidad de conocer los sistemas de control autónomo de las aeronaves no tripuladas. Dicho análisis se llevará a cabo con un vehículo con

una configuración lo suficientemente estable durante el vuelo, para poder emplearlo posteriormente como referente a tomar en cuenta en la construcción de aeronaves; en este caso particular se hará uso del software Autoflight en procesos de práctica y simulación en el dron AR. Drone 2.0. como punto de inicio.

II.2 Los Datos

La presente investigación utilizará prevalentemente datos cualitativos, relacionados con secuencias y tipos de movimientos realizados por el vehículo aéreo no tripulado, la obtención de los datos para la manipulación de la variable se fundamentará en: el programa Autoflight, el lenguaje Python, el AR. Drone 2.0 y Windows 7 de 64 bits. Por todo lo anterior se definen:

- Variable dependiente: modificaciones la secuencia de comandos Python a ser utilizados en Autoscript del programa Autoflight de acuerdo a la precisión del dron en las prácticas realizadas respondiendo a órdenes establecidas a través de dichos comandos y,
- Variable independiente: Diseño y características del AR. Drone 2.0.

II.2.1 Inicios de la Aviación No Tripulada

La aviación no tripulada tuvo sus comienzos en los modelos construidos y volados por inventores como Cayley, Stringfellow, Du Tempel y otros pioneros de la aviación, que fueron previos a sus propios intentos de desarrollar aeronaves tripuladas a lo largo de la primera mitad del siglo XIX. Estos modelos sirvieron como bancos de pruebas tecnológicos para el posterior desarrollo de modelos de mayor tamaño con piloto a bordo y, en este sentido, fueron los precursores de la aviación tripulada.

El término vehículo aéreo no tripulado (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) se hizo común en los años 90 para describir a las aeronaves robóticas y reemplazó el término “vehículo aéreo pilotado remotamente” (Remotely Piloted Vehicle, RPV), el cual fue utilizado durante la guerra de Vietnam y posteriormente. El documento “Joint Publication 1-02, Department of Defense Dictionary” editado por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos define UAV como: “Un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo a un operador humano, utiliza las fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación, puede volar autónomamente o ser tripulado de forma remota, que puede ser fungible o recuperable, y que puede transportar una carga útil letal o no. No se consideran UAV a los misiles balísticos o semibalísticos, misiles crucero y proyectiles de artillería”.

Merece la pena prestar atención al acrónimo RPAS (Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia por sus siglas en inglés). En el año 2011 la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), organismo especializado de las Naciones Unidas para la aviación civil y del cual Honduras forma parte al haber suscrito el Convenio de Chicago en 1944, publicó su Circular 328 en la cual por primera vez reconoce a las aeronaves no tripuladas como aeronaves, con todo lo que ello trae consigo, y de entre todas las posibles tipologías escoge a las que se pilotan de manera remota para ser consideradas como aptas para la aviación civil, y no otros tipos (como podrían ser las autónomas). Así se han acuñado los términos que a continuación se detallan, y que tienen hoy en día una validez y aplicación internacional y casi única en todos los ámbitos. Estos términos son:

- Aeronave pilotada remotamente (Remotely-Piloted Aircraft, RPA): una aeronave en la que el piloto al mando no está a bordo;
- Sistema de aeronave pilotada remotamente (Remotely-Piloted Aircraft System, RPAS): un conjunto de elementos configurables formados por un RPA, su estación de pilotaje remoto asociada (RPS—Remote Pilot Station), el sistema requerido de enlace de mando y control y cualquier otro elemento requerido en cualquier punto durante la operación de vuelo.

El resto de los acrónimos no definidos se corresponden con:

- UMA = Unmanned Aircraft;
- APV = Automatically Piloted Vehicle;
- UTA = Unmanned Tactical Aircraft;
- UCAV = Unmanned Combat Air Vehicle;
- ROA = Remotely Operated Aircraft.

Aunque las aeronaves no tripuladas han llevado a cabo operaciones comerciales tan variadas como agricultura de precisión o cinematografía, su uso militar se ha concentrado abrumadoramente en una aplicación: reconocimiento. De manera que el término UAV o UAS (sistemas de aeronaves no tripulados; unmanned aerial system) se ha convertido virtualmente en un sinónimo de dicha aplicación (FENERCOM (2015)).

II.2.2 Vehículos Aéreos No Tripulados.

Definición: Un vehículo aéreo no tripulado (VANT, o UAV por sus siglas en inglés) es, como ya se indicó anteriormente, un aparato volador que no contiene un piloto en su interior, bien porque está siendo pilotado por control remoto o bien porque tiene en su programación todo lo necesario para llevar a cabo sus instrucciones sin intervención humana.

En un principio fueron diseñados para el ámbito militar, ya que se podía aprovechar al máximo el hecho de que carecía de un operador físicamente en la aeronave. Así, se podían efectuar operaciones de entrada en espacios aéreos peligrosos. Además, a parte de la ventaja de la seguridad, tenemos que el volumen necesario que necesita el aparato es mucho menor que el que necesita uno que deba albergar una persona, lo que repercute también en una mejor maniobrabilidad.

No obstante no todo es perfecto, y tantas ventajas no podían esconder menos desventajas. A medida que avanzamos en la era tecnológica damos más autonomía a las máquinas para quitarle trabajo a los humanos, lo que a priori parece perfecto, pero hay que tener en cuenta que aún tiene que pasar mucho tiempo hasta que una máquina pueda tener el mismo juicio que una persona. Si ya no es por ética, pensemos en la cantidad de hackers que hay por el mundo, y si pueden conseguir entrar a los lugares más seguros de internet, ¿muy difícil les será acceder al control de aeronaves no tripuladas militares? El VANT más antiguo del que se tiene constancia se desarrolló al final de la primera guerra mundial, y su utilidad era simplemente la de entrenar a los operarios de la artillería antiaérea.

No obstante, hasta el final del siglo XX no empiezan a aparecer DRONES que pueden operar con total autonomía controlados sólo por radio.

II.2.3 Tipos de Vehículos Aéreos No Tripulados

En cuanto a la clasificación de los UAV podemos efectuarla conforme a tres criterios: su misión, su techo y alcance máximo y su morfología.

En cuanto a su misión distinguimos los siguientes tipos:

1. Blanco (Target): Como el primer UAV desarrollado al final de la primera guerra mundial, se utilizan para simular objetivos voladores.
2. Reconocimiento: Se encargan de obtener y enviar información militar, como por ejemplo imágenes aéreas de una base militar enemiga. En este tipo destacan los MUAV (Micro Vehículo Aéreo No Tripulado por sus siglas en inglés) en forma de avión o helicóptero.
3. Combate (UCAV): Los sustitutos de los pilotos de combate en misiones que pueden resultar muy peligrosas.
4. Logística: Diseñados simplemente para llevar carga.
5. Investigación y Desarrollo: Para probar los nuevos sistemas que están en investigación y desarrollo.
6. UAV comerciales y civiles: Los más conocidos y que se pueden conseguir fácilmente por internet. Para su uso civil y como entrenamiento.

En cuanto a su altura y alcance máximo en la Tabla 1 se pueden ver su clasificación.

Tabla 1: Descripción de los Vehículos Aéreos No Tripulados según Clasificación de la OTAN en Septiembre del 2009 (Ministerio de Defensa de España (2009))

Categoría	Acrónimo	Alcance máx. (m)	Altitud máx. (m)	Carga máx. (kg)
Micro	Micro	<10	250	<5
Mini	Mini	<10	300	<30
Alcance Cercano	CR	10-30	3000	150
Alcance corto	SR	30-70	3000	200
Alcance medio	MR	70-200	5000	1250
Altitud baja	LADP	>250	9000	350
Autonomía media	MRE	>500	8000	1250
Autonomía alta Altitud baja	LALE	>500	3000	>30
Autonomía media Altitud media	MALE	>500	14000	1500
Autonomía media Altitud alta	HALE	>2000	20000	12000
Estratosférico	STRATO	>2000	30000	ND
EXO-Estratosférico	EXO	ND	>30000	ND

En cuanto a su morfología distinguimos 5 tipos:

1. Ala Rotatoria: una morfología mundialmente conocida, con un rotor en la parte superior y uno de cola para compensar el par del rotor que lo haría girar sin dar vueltas. Tiene una alta maniobrabilidad y puede quedarse en vuelo estacionario y volar verticalmente.
2. Ala Fija: su morfología se presenta por dos alas horizontales en torno al fuselaje que lo dotan de la sustentación necesaria al ir a una determinada velocidad por diferencia de presiones. Puede ir a altas velocidades y llevar cargas elevadas, pero no tiene la posibilidad del vuelo estacionario ni tiene tanta maniobrabilidad como un helicóptero.
3. Dirigibles: mundialmente conocidos también durante la segunda guerra mundial, estos aparatos vuelan por un principio muy básico de diferencia de densidades.
4. Multirrotores: parecidos a los helicópteros, pero tienen varios rotores verticales en puntos equidistantes del centro horizontalmente, y variando las velocidades de giro de cada uno de los motores se consigue una maniobrabilidad sorprendente. Esto hace que sean las estrellas de los vuelos en interior, pero no son aptos para volar a grandes altitudes (El UAV objeto de este proyecto se incluye en esta categoría).

5. Híbrido: vehículo aéreo no tripulado UAV híbrido entre avión y helicóptero, lo que históricamente se ha dado a llamar convertible. Esta aeronave pretende aunar las ventajas de operación de las aeronaves de ala fija (aviones) con las de ala rotatoria (helicóptero).

II.2.4 El Cuadricóptero: Parrot AR.Drone 2.0

El Parrot AR.Drone es un vehículo aéreo no tripulado radio controlado de uso recreativo civil. Funciona propulsado por cuatro motores eléctrico en configuración cuadricóptero y es similar en su estructura básica y aerodinámica a otros modelos radio controlados, pero se diferencia de todos ellos en que cuenta con un microprocesador y una serie de sensores entre los cuales se incluyen dos cámaras que le permiten captar lo que ocurre a su alrededor, más un conector Wi-Fi Integrado que da la posibilidad de vincularse a dispositivos móviles personales con sistemas operativos IOS, Android o Linux. Es decir, es posible un control directo del cuadricóptero desde un dispositivo móvil, mientras se reciben a la vez imágenes y datos de telemetría que los sensores del AR.Drone receptan.

Este cuadricóptero se usa en universidades y centros de investigación para precisamente probar prototipos o algoritmos en proyectos de robótica, inteligencia artificial y visión por computador. La razón para usar este dispositivo en este tipo de proyectos es porque no es costoso en comparación con otros módulos y además es fácil de manejar pues existen drivers para conectarse con el AR.Drone directamente y enviarle comandos de velocidad o posicionamiento.

Así como se sabe, un cuadricóptero consta de cuatro palas del rotor. Y cada uno de sus rotores producen un cierto flujo de aire y, a su vez una fuerza de aceleración sobre el cuerpo de la cuadricóptero, y al darle poder de manera similar a los cuatro motores a una velocidad determinada, entonces este puede despegar (Parrot (2016)).

II.2.5 Comportamiento de los Motores del AR. Drone 2.0

Y si se logra que todos los cuatro motores juntos y de manera combinada compensan exactamente la gravedad de la tierra, el cuadricóptero se quedará en posición vertical en un mismo lugar como se puede apreciar en la Figura 1.

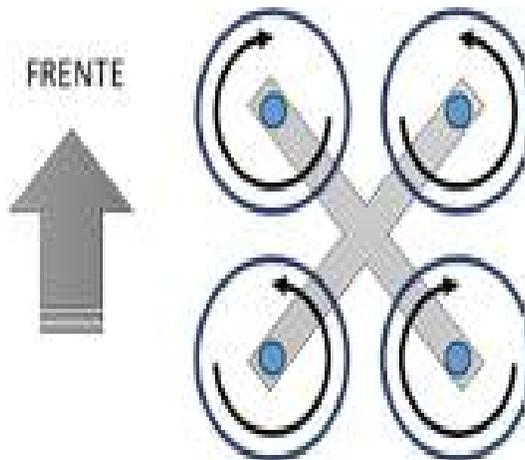


Figura 1: Motores de AR. Dron 2.0 a una misma velocidad sosteniéndole en una sola posición en el espacio (Sturm (2016))

Lo segundo muy importante es asegurarse de que la suma de los cuatro motores sea exactamente cero, es decir que si todos los cuatro rotores giraran en la misma dirección, entonces eso sería hacer girar el cuadricóptero alrededor del eje de vertical. Siempre se tienen dos motores montados opuestos en el mismo brazo que giran en la misma dirección, y los otros dos motores que giran en la dirección opuesta.

Y de esta manera, el par de los cuatro rotores suman a cero, mientras que el empuje compensa la gravedad de la tierra al generar sustentación.

Ahora para el ascenso, con sólo aumentar de manera equitativa la velocidad de los cuatro motores este hará un cambio en el equilibrio en la posición de estable, procediendo a ascender. Por otro lado, si se reduce la velocidad por igual de los cuatro motores, entonces el cuadricóptero descenderá, esta descripción es mostrada de manera gráfica por la Figura 2.

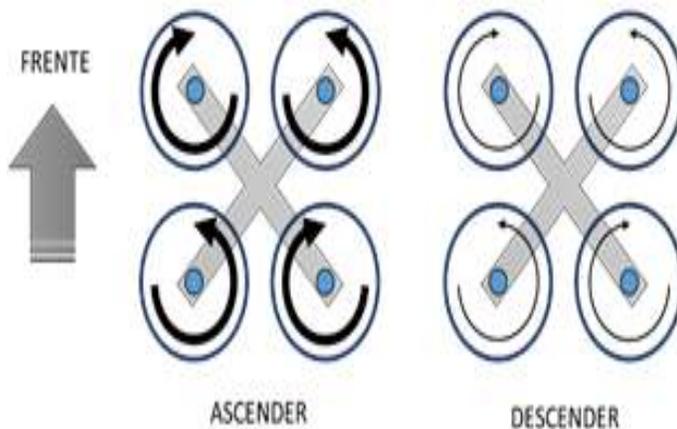


Figura 2: Motores de AR. Dron 2.0 en Ascenso y Descenso (Sturm (2016))

Ahora bien, como ya he dicho, para mantener la orientación, es importante que los pares de los cuatro motores sumen exactamente a cero.

Sin embargo, también puede utilizar este principio para la inducción de una cierta rotación.

Por ejemplo, si usted quiere girar a la izquierda al cuadricóptero, se aumentaría la velocidad de los motores que giran en el sentido de las manecillas del reloj, ósea, los de giro derecho, que genera una tendencia de torsión que moverá al cuadricóptero a la izquierda.

Por otro lado, si desea girar a la derecha, entonces sería aumentar la velocidad de los que giran a la izquierda y decrecer la velocidad de los motores que rotan a la derecha. Por supuesto, si se desea mantener su posición vertical, el empuje total de los cuatro motores debe ser exactamente igual a la gravedad terrestre como se puede ver en la Figura 3.

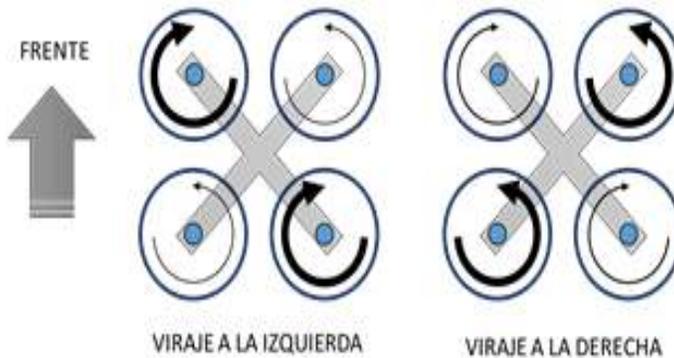


Figura 3: Motores de AR. Drone 2.0 y su comportamiento para virajes a la Izquierda y a la Derecha (Sturm (2016))

Ahora para mover hacia adelante (en la figura es la dirección hacia arriba) se debe reducir la velocidad de su motor delantero y aumentar la velocidad de su motor trasero.

Y de esta manera, la cuadricóptero se inclinará hacia delante ya que el empuje ya no está perfectamente alineado con la gravedad de la tierra, moviendo el centro de gravedad hacia adelante del eje, dando lugar a una aceleración, entonces, en la dirección de avance.

Del mismo modo, si se desea volar el cuadricóptero hacia atrás, se aumentaría la velocidad del motor delantero y se reduciría la velocidad del motor hacia atrás como lo demuestra gráficamente la Figura 4.

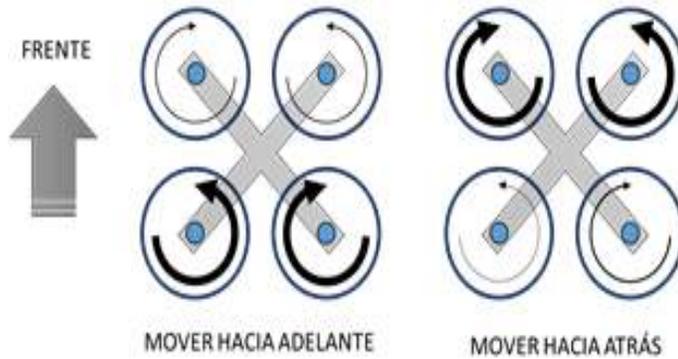


Figura 4: Motores de AR. Dron 2.0 y su comportamiento movimientos hacia Adelante y hacia Atrás (Sturm (2016))

Del mismo modo, también se puede mover hacia la izquierda y a la derecha basado en el mismo principio.

Y, por supuesto, también se puede combinar todos estos movimientos al mismo tiempo, por ejemplo para mover a la izquierda y al mismo tiempo girar a la izquierda para ascender y así otras configuraciones según se visualiza en lo mostrado gráficamente por la Figura 5.



Figura 5: Motores de AR. Dron 2.0 y su comportamiento para virajes a la Izquierda y a la Derecha (Sturm (2016))

II.2.6 Características del Parrot AR. Drone 2.0

Este dron consiste en 4 motores, denominados motores sin escobillas.

Tienen un consumo de potencia nominal de 14.5 watts, por lo que la el cuadricóptero en general consume alrededor de 60 a 80 watts, con alguna pérdida.

Cada motor tiene su propio controlador que es dirigido por un pequeño CPU que controla la velocidad del motor.

Posee una batería de polímero de litio que brinda energía al Cuadricóptero de entre 10 a 15 minutos, está se encuentra en centro de la estructura cuadricóptero.

II.2.7 Los Sensores

A continuación se muestran las características más técnicas.

1. El cuadricóptero tiene en su interior una unidad de medición inercial que consiste en un giróscopo de tres ejes, un acelerómetro de tres ejes, y una brújula, o un magnetómetro.
2. Posee también un sensor de ultrasonidos para medir la distancia al suelo y, además, un sensor de presión atmosférica que se pueden utilizar cuando el sensor de ultrasonido trabaja.
3. El sensor ultrasónico sólo tiene un rango de quizás más o menos tres metros.
4. Así que si se vuela más alto, especialmente al aire libre, el sensor ultrasónico no es muy útil, pero el sensor de presión atmosférica sí, dando así la información de la altura del vuelo al dron.
5. También posee un sensor odométrico visual que en realidad es una cámara de ejecución a 60 cuadros por segundo, el cual es utilizado para el seguimiento de la posición visual del cuadricóptero.
6. Así mismo, el Parrot AR. Drone 2.0 posee una cámara frontal con resolución HD que también se puede acceder desde la computadora.
7. En el núcleo del Parrot Ardrone se encuentra un sistema completo para la ejecución de Linux, que consiste en un procesador en marcha del Cortex A8 de un gigahertz.
8. También cuenta con un adaptador de host USB 2.0 en donde se puede añadir memoria adicional para la grabación de vídeos, o un módulo GPS.
9. Posee igualmente un adaptador de red inalámbrica, con el que se puede comunicar con el cuadricóptero cuando está en el aire.

Una gran ventaja de este equipo y que lo hace tan atractivo para experimentación es que la interfaz de programación de aplicaciones, abreviada como API, por sus siglas en inglés, es una fuente totalmente abierta, por lo que es posible comunicarse con el cuadricóptero y obtener todos los datos de los sensores y enviar de vuelta comandos de desplazamiento al cuadricóptero.

II.2.8 Programa Autoflight

Autoflight es un programa de libre acceso, que se descarga del internet, y que puede ser modificado por el usuario. Muchas de sus ventajas es que puede ser ejecutado tanto en Windows como en Linux. Presenta a través de la pantalla de la computadora las capturas de imágenes hechas por la cámara del Parrot AR.Drone 2.0 y obtiene los datos de los sensores descritos en los párrafos anteriores, así como una vista del mapa y la secuencia de vídeo en tiempo real.

Su diseñador, Lukas Lao Beyer (Beyer (2016)) publica sus proyectos personales, siendo estos de código abierto, con el fin de que sirvan de base para nuevos proyectos, específicamente en programación y electrónica relacionada, y sirven sobre todo con fines autodidactas, al proporcionar documentación útil.

II.2.9 Autoflight: Autoscript

Autoscript, es la plataforma para programación de Autoflight, en donde a través de él se pueden escribir scripts de Python para automatizar, y de una u otra manera, hacer autónomo el comportamiento del AR.Drone (Beyer (2016)).

Se caracteriza por el uso de funciones predefinidas que son utilizadas para controlar los movimientos, leer sensores, procesar información, entre otros. El mismo diseñador propone información sobre el cómo empezar a escribir guiones y descripciones detalladas de todas las funciones disponibles.

Al escribir secuencias de comandos que utilizan el poder de Python para controlar el Parrot AR.Drone 2.0, se puede lograr la programación de una ruta predefinida en pocos minutos o crear complejas aplicaciones de vuelo autónomo.

Igual brinda la probabilidad de un vuelo como un dispositivo de juego, y es que al conectar un mando de juegos a la computadora, se pueden configurar los controles y volar el dron de una manera más intuitiva. Autoflight también permite guardar los datos recopilados al brindar la oportunidad de exportar las lecturas del sensor en archivos CSV, legibles por la mayoría de las aplicaciones de hojas de cálculo.

II.3 La Metodología

El estudio presentado se considera exploratorio, dado que su objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes. En el caso del estudio presentado la literatura consultada reveló que en Honduras, únicamente hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, de hecho no se encontraron trabajos de tesis de grado o posgrado que utilizaran el programa Autoflight para recoger evidencias experimentales para una investigación. Adicionalmente el abordaje propuesto establece una perspectiva relativamente nueva, la cual consiste en analizar la programación para volver autónomo a una aeronave no tripulada, con distintas finalidades entre las que se pueden mencionar aplicaciones en ambientes pedagógicos dentro o fuera de los tres niveles de la educación formal.

El valor agregado de esta investigación es que ayuda a familiarizarse con un fenómeno poco conocido, se obtiene información para realizar una investigación más completa de un contexto particular, investigar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones futuras, fundamentar empíricamente afirmaciones y postulados.

Existe un cierto conocimiento del funcionamiento y aplicación de un vehículo aéreo no tripulado; sin embargo, existen muchas características técnicas que deben ser analizadas previo la puesta en marcha de este vehículo de manera autónoma, lo cual es fundamental en esta investigación.

II.3.1 Diseño Experimental

La navegación aérea autónoma no requiere de ninguna manipulación de parte del ser humano durante la operación de vuelo; esta es la finalidad del presente proyecto de investigación: lograr que el cuadricóptero utilizado con la información recibida a través del sistema del programa Autoflight, en su apartado de Autoscript, en donde a través de lenguaje de programación Python se pueden generar directrices de manera secuencial, desarrollando de esta manera un

vuelo automático en sus diferentes etapas, pudiendo completar este de manera independiente.

II.3.2 Variables

La presente investigación utilizará prevalentemente datos cualitativos, relacionados con secuencias y tipos de movimientos realizados por el vehículo aéreo no tripulado, la obtención de los datos para la manipulación de la variable se fundamentará en: el programa Autoflight, el lenguaje Python, el AR. Drone 2.0 y Windows 7 de 64 bits. Por todo lo anterior se definen:

- Variable dependiente: modificaciones la secuencia de comandos Python a ser utilizados en Autoscript del programa Autoflight de acuerdo a la precisión del dron en las prácticas realizadas respondiendo a órdenes establecidas a través de dichos comandos y,
- Variable independiente: Diseño y características del AR. Drone 2.0.

II.3.3 Plan de Análisis

Una vez concluidas las etapas de colección y procesamiento de datos en cada experimentación se examinará y analizará la interacción entre el programa de software Autoflight, el hardware o sistema operativo de la computadora y el vehículo aéreo no tripulado en este caso el AR. Drone 2.0. Conforme a los resultados obtenidos se harán ajustes al software con el fin de obtener la precisión requerida para lograr un vuelo autónomo.

Al finalizar la investigación se podrán desarrollar actividades en un ambiente no controlado limitado por la autonomía intrínseca de la aeronave y el alcance de la señal entre el dron y la computadora.

III RESULTADOS

III.0.1 Los Expertos

En Honduras es limitada la cantidad de experto en diseño y programación de vehículos aéreos no tripulados.

De los que se conoció durante esta investigación fue a los señores Allister Stefan, quien se dedica de manera aficionada a esta disciplina, pero que posee cursos oficiales en el extranjero, y al señor León Rojas, quien se desempeña como asesor en la Universidad de Defensa de Honduras.

La entrevista fue realizada al Señor Allister Stefan, en donde brindo una asesoría acerca del funcionamiento de dichos aparatos.

Dentro de los datos de mayor relevancia proporcionados por el están los siguientes:

1. Hace referencia que los alcances en diseño y programación por parte del país han nacido a nivel de la afición del aeromodelismo.

2. Que en el país existe el potencial para promover proyectos que pueden ser orientados en aplicaciones civiles con el fin de solucionar que afectan el bienestar social, entre estas áreas, están las agrícolas, protección del medio ambiente, apoyo durante desastre naturales, estudios de minería, entre otros.
3. Que existe poco o nada de legislación para la operación de aeronaves no tripuladas en el país, lo que no va a tono con las tendencias mundiales.
4. Que existe una voluntad de parte de la comunidad de aeromodelismo a apoyar proyectos propios del área de operación, diseño y programación de drones.

III.0.2 Apoyo Técnico con el AR. Drone 2.0

Parte de la instrucción recibida fue la reparación del sistema de propulsión del drone, ya que en ensayos iniciales, sin la presencia del experto, fue dañado al impactar con paredes y piso. En esos impactos fueron doblados los ejes de las hélices, desgastados y rotos algunos dientes de engranajes de transmisión de rotación y erosionados los bordes de ataque de las palas de estas, provocando que la sustentación fuera desequilibrada, tendiendo que el drone se desplazara lateral o frontalmente, cuando su posición debería ser estable y nivelada.

Es por esta razón, que se inició con un reconocimiento del equipo adquirido para la investigación, en donde fueron reemplazados dichos ejes, engranajes y hélices por otras que el Doctor Stefan tenía en su taller. En ese procedimiento se mostró que cada hélice posee una letra acorde a su posición, así como la forma de remover el seguro que sostiene la hélice con el engranaje y el acople a través del eje. En la Figura 6 se ve la secuencia del procedimiento de reemplazo de piezas.



Figura 6: Procedimiento de Reemplazo de Hélices, Engranajes y Ejes del AR. Drone 2.0 (elaboración propia).

Posteriormente se procedió a la puesta en vuelo del drone a través de una aplicación instalada en la Tablet, y dando seguimiento al siguiente procedimiento:

1. Conectar la batería del aparato.

2. El AR. Drone 2.0 hará un test de motores, los que son acompañados por un característico sonido fino y un movimiento de la hélice de manera secuencial.
3. Cuando lo anterior ha sucedido, el drone crea una red inalámbrica (WiFi) en su entorno.
4. Seguidamente se activa el sistema de señal inalámbrica de la Tablet (o Smartphone) y se detecta el término "ardrone2_.....", como una fuente de Información Inalámbrica.
5. Se procede a activar la aplicación AR.FreeFlight 2.4 la cual es la estándar, pero existen otras más.
6. Presionamos el botón TAKE OFF, en donde aparecerá la imagen en tiempo real, la cual es percibida a través de la cámara frontal del aparato, también sale información adicional como,
 - a. Nivel de Batería
 - b. Botón de Configuración
 - c. Red Inalámbrica (WiFi)
 - d. Indicador de Grabación
 - e. Pulsador para tomar fotografías
 - f. Botón de Emergencia (no recomendable si está volando a gran altura, pues esto provocaría el apagado inmediato, por lo que se desplomaría sin control).
7. Se procede a hacer el ajuste horizontal (Flat Trim), lo cual es recomendable hacerlo en el primer vuelo, para que el aparato se calibre, poniendo al drone en un lugar plano y nivelado.
8. Es recomendable iniciar el despegue sobre una imagen (la cual viene una sugerida dentro de la caja del drone), controla la altura a través de un sensor de ultrasonido, y la posición la controla a través de una cámara cenital que se mantiene viendo la imagen bajo de él.

III.1 Practicas Realizadas con el Simulador del Curso en Línea Navigation for Flying Robots

Uno de los procesos que apoyó de manera robusta a esta investigación fue una serie de prácticas haciendo uso de un programa ofrecidos a través del Curso en Línea "Navigation for Flying Robots", el que en realidad, es la parte más interesante ya que los ejercicios prácticos de programación son desarrollados en lenguaje Python, lenguaje también utilizado por el programa Autoflight.

Este simulador desarrollado está basado en la web, específicamente para un cuadricóptero, y esto significa que se pueden implementar inmediatamente cualquier nueva configuración que se desee ensayar. Se tomó especial cuidado de que en realidad el código que se escribiera también fuera ejecutable en un Parrot AR.Drone. Un ejemplo de cómo se introducen los códigos para el simulador se pueden observar en la Figura 7.

```

1 import quadrotor.command as cmd
2 from math import sqrt
3
4 def plan_mission(mission):
5
6     # this is an example illustrating the different motion commands,
7     # replace them with your own commands and activate all beacons
8     commands = [
9         cmd.up(1.0),
10        cmd.turn_right(90),
11        cmd.forward(sqrt(5)),
12        cmd.turn_left(90),
13        cmd.forward(6),
14        cmd.turn_left(90),
15        cmd.forward(2.5),
16        cmd.turn_left(90),
17        cmd.forward(6),
18        cmd.turn_right(90),
19        cmd.forward(1.5),
20        cmd.turn_right(90),
21        cmd.forward(6),
22        cmd.down(1.0),
23    ]
24
25    mission.add_commands(commands)
26

```

Figura 7: Códigos aplicados como instrucción al Drone en el Ejercicio Descrito (elaboración propia).

Así que si los ensayos en el simulador también podían ser demostrados en un Parrot AR.Drone, probando posibles soluciones antes de hacerlos de manera real.

A continuación se plasman uno de los ensayos realizados y su solución a través de un lenguaje de programación y algunos de los gráficos que muestran su realización. Esta actividad consistió en enviar al cuadricóptero a lo largo de la trayectoria alrededor de las balizas, haciendo que estas fueran tocadas, con el fin de que su color fuera de ROJO a VERDE.

Cada cuadrado de la rejilla tiene una longitud lateral de 0.5 metros. Para enviar el cuadricóptero a lo largo de su trayectoria se dio clic en el botón de reproducción, como se puede apreciar en la Figura 8.

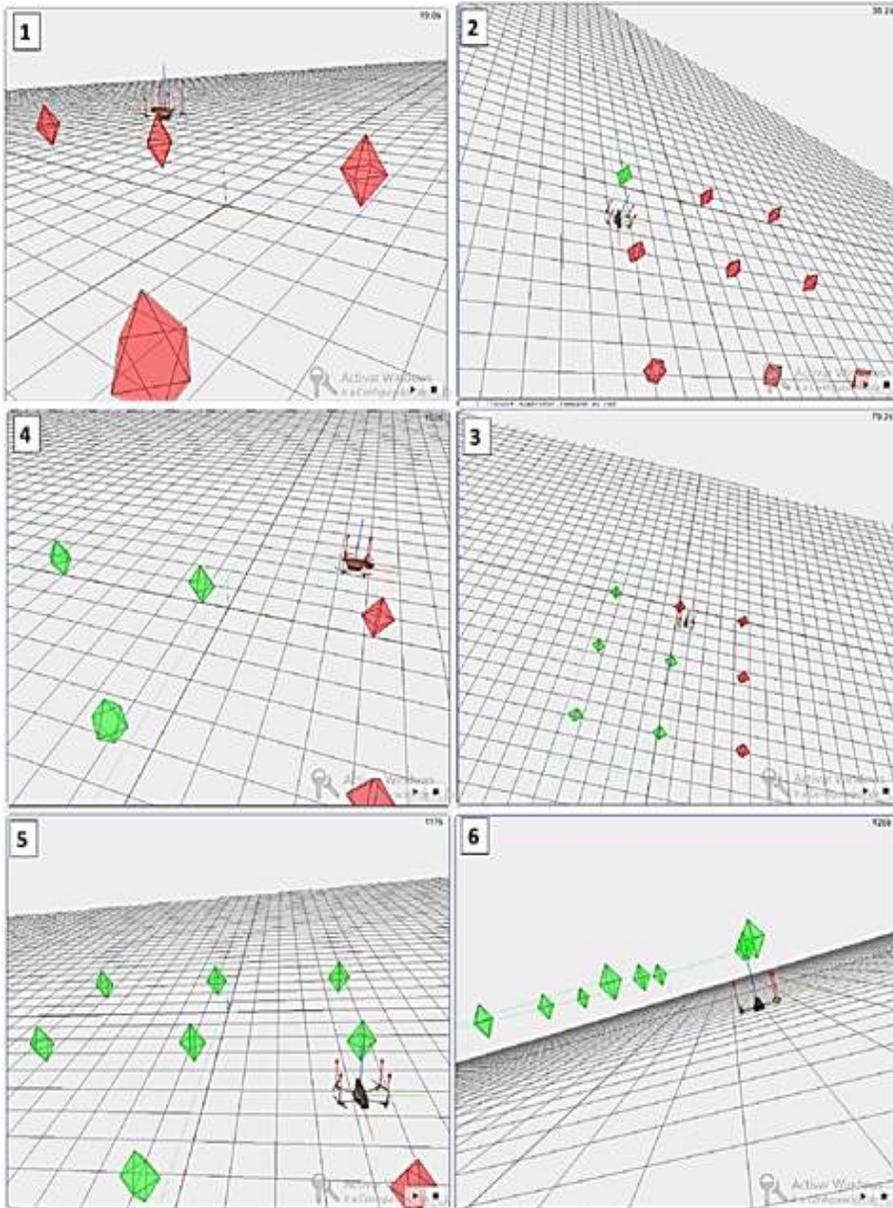


Figura 8: Imágenes del Simulador del Drone en el Ejercicio Descrito (elaboración propia).

III.2 Practicas Realizadas con el AR. Drone 2.0 y Autoflight

El proceso realizado durante las actividades anteriores, desarrollaron el soporte suficiente para dar el siguiente paso que es de la experimentación con el equipo AR. Drone 2.0.

Las actividades realizadas fueron de simple comprobación, ya que lo que se pretendía era la vinculación entre el AR. Drone 2.0 y la computadora, a través del

IV DISCUSIÓN

Se examinaron dos formas en las que se puede manipular un vehículo aéreo no tripulado, por el manejo simultáneo al movimiento del artefacto, mediante un control remoto y mediante la previa programación de sus movimientos; la primera forma es basada en una Aplicación para Teléfonos Inteligentes o Tablet, la cual fue desarrollada por el fabricante del Drone, lo que ayudo a entender el comportamiento de la aeronave, sus limitaciones y ventajas; la segunda brinda la oportunidad de programar desde una computadora portátil o de escritorio las acciones que el Drone debía realizar, pudiendo presentar una gran extensión de oportunidades, que se limita únicamente por la imaginación del usuario y las características del equipo, pero que propone una excelente plataforma de experimentación para nuevas aplicaciones. En cualquier caso con las dos formas de manejo se pueden examinar los aspectos mencionados en el párrafo anterior, será la experiencia la que nos indique cuál de las dos formas de manipulación se revela más adecuada para la labor investigativa del Departamento de Ciencias Aeronáuticas en dinámicas de investigación e innovación intradisciplinarias, interdisciplinarias o transdisciplinarias. Este tipo de prácticas vienen a fortalecer los sistemas educativos, ya que el software y hardware de códigos abiertos proponen un nuevo campo de investigación e innovación, en el cual el alumno podrá realizar experiencias que no necesariamente están escritos en un manual de laboratorio, ya que las opciones son infinitas.

V CONCLUSIÓN

1. Razones relacionadas con la disminución en los tiempos de operación, los ahorros ostensibles en los costos de los vuelos no tripulados en comparación con vuelos tripulados, la versatilidad en la amplia gama de operaciones, por mencionar solo algunos ejemplos, convierten a los vehículos aéreos no tripulados comúnmente conocidos como Drones en una opción por lo que cada vez más personas tendrán una preferencia; dado este hecho la UNAH deviene cada vez más obligada a ocuparse de estudiar todos los aspectos relacionados con este tipo de aeronaves, incluyendo entre otros sus estructuras, su desempeño, su programación y sus equipamientos..
2. En este primer acercamiento el DCA ha examinado un tipo de vehículo no tripulado con un interfaz que permite la programación de sus movimientos a través de lenguaje de programación computacional, básicamente en condición de programador de software, como es de esperarse, quedan pendientes muchos aspectos a explorar entre los que se pueden mencionar las aplicaciones que involucren el uso de los sensores que el AR. Drone 2.0 posee, su sistema de navegación satelital, así como áreas más amplias como la definición precisa de las ventajas en términos económicos y de precisión de los datos, el uso de este tipo de vehículos para la innovación educativa, el desarrollo de proyectos de vinculación universidad-sociedad mostrando los alcances de los vehículos no tripulados para divulgar masivamente el fenómeno de la aviación, entre otros.
3. Luego de esta primera aproximación en la que el DCA asumió el rol del usuario de las funciones básicas de uno de los muchos tipos de vehículos no tripulados existentes, se avizoran en el horizonte al menos dos grandes etapas de la investigación sobre el tema: una segunda etapa sería la exploración en aplicaciones especializadas para los campos de las ciencias espaciales y para los demás campos de la ciencia en los que la UNAH está generando nuevos conocimientos y, una tercera etapa puede ser la generación de innovaciones en la construcción, programación y equipamiento

de vehículos no tripulados para aplicaciones en los ámbitos académico, comercial, productivo y de recreación.

4. Considerando que los vehículos no tripulados están teniendo un gran impulso desde la perspectiva tecnológica, personas, organizaciones e instituciones que en Honduras se han dedicado intensivamente al tema como lo han hecho los Señores Allister Stefan y León Rojas, serán referencia obligada para consultar los distintos aspectos relacionados.

VI Agradecimientos

Al Doctor Allister Stefan por sus valiosos aportes en información y orientación tecnológica sobre aeronaves no tripuladas que fueron soporte esencial en el diseño y redacción de esta investigación.

Referencias

- Beyer, L. L. (2016). *Pc control software for the parrot ar.drone 2.0 and bebop uavs*. AutoFlight. Descargado de <http://electronics.kitchen/autoflight>
- FENERCOM. (2015). *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A.
- Ministerio de Defensa de España, E. (2009). *Uas unmanned aircraft system sobre su integración en el espacio aéreo no segregado*. Madrid: Imprenta del Ministerio de Defensa.
- Parrot, S. (2016). *Parrot, ar. drone 2.0*. Descargado de <http://www.parrot.com/usa/products/ardrone-2/>
- Sturm, J. (2016). *Autonomous navigation for flying robots*. Computer Science. Descargado de <https://www.edx.org/course/autonomous-navigation-flying-robots-tumx-autonavx-0>

NOTAS INFORMATIVAS

Revista Ciencias Espaciales, instrucciones a los autores y criterios para el diseño, diagramación y maquetación

I POLÍTICA EDITORIAL

La Revista Ciencias Espaciales es una publicación semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Cada año calendario se publica un Volumen que consta de dos Números. El primero, Numero 1, llamado Primavera, incluye artículos de los campos de Astronomía y Astrofísica, Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, Arqueoastronomía y Astronomía Cultural y Ciencias Aeronáuticas. El segundo, el Numero 2, llamado Otoño, se dedica rotativamente por años, a cada uno de los campos temáticos mencionados. El color de fondo de la carátula de la Revista cambia anualmente de: azul espacio para Astronomía y Astrofísica, verde tierra para Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, rojo ladrillo para Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, azul cielo para Ciencias Aeronáuticas.

La Revista Ciencias Espaciales tiene un Director y, un Consejo Editorial integrado por profesores de los Departamentos de la Facultad y otros Profesores invitados. Ellos son los encargados de recibir los documentos y gestionar el proceso de selección de los artículos, edición y publicación de la Revista. Dependiendo del campo temático del año, rotatoriamente un miembro del Consejo Editorial se desempeña como Editor de la Revista. La Revista Ciencias Espaciales cuenta además con un Consejo Científico Internacional responsable de velar por la calidad del contenido de la Revista. En el interior de la Portada se publican los nombres del Director, Editor, Miembros del Consejo Editorial y del Consejo Científico.

La Revista Ciencias Espaciales publica artículos originales de autores nacionales y extranjeros, residentes dentro o fuera del país. Los artículos publicados pueden estar referidos a investigaciones científicas en los campos de la Astronomía y Astrofísica, Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, Arqueoastronomía y Astronomía Cultural y Ciencias Aeronáuticas. El contenido de cada artículo es responsabilidad de sus autores. Los artículos no deben exceder las 10,000 palabras incluyendo el resumen, el texto y las referencias bibliográficas citadas.

Los editores se reservan el derecho de rechazar o devolver para su revisión, cualquier artículo que no se considere completo o apropiado. Antes de que un artículo sea publicado, sus autores deben mostrar evidencias de contar con los permisos para hacer citas o usar figuras y datos. Si un artículo tiene varios autores, debe presentarse evidencia que todos los coautores desean publicarlo.

II INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

II.1 Para los Editores

Los manuscritos son evaluados por los editores en consulta con pares revisores o por los especialistas seleccionados. En ocasiones, los autores pueden sugerir revisores. Los editores garantizan el anonimato de los revisores. Los editores tienen la decisión final sobre los manuscritos. El proceso de evaluación toma de

cuatro a ocho semanas. Los autores son informados de la aceptación o no aceptación de su manuscrito. La aceptación puede indicar mejoras al manuscrito. Los documentos no aceptados, pueden ser considerados después de revisados, para una nueva selección.

II.2 Para los Autores

Los autores son responsables de los contenidos de sus artículos, y de garantizar que sus documentos se presenten en la forma adecuada, incluyendo los permisos necesarios para agregar figuras, tablas, u otro material protegido. Cada artículo que se remita para ser publicado en la Revista Ciencias Espaciales debe organizarse en secciones. Todas las secciones deben escribirse a doble espacio y en página separada. El orden de las secciones es el siguiente:

- Página del Título (página separada, numerada como página 1)
- Resumen en idioma español (en página separada) Resumen en idioma Inglés (en página separada)
- El texto (empieza en página separada)
- Agradecimientos (se incluyen inmediatamente al final de texto)
- Referencias citadas (empiezan en una nueva página)
- Figuras (en página separada cada una)
- Tablas (en página separada cada una)

II.2.1 Página del Título

Esta página debe incluir:

- El título del artículo. Escrito en mayúsculas, centrado y colocado en la parte superior de la página. El título debe ser conciso, pero informativo. Su objetivo es dar a conocer al lector lo esencial del artículo. No debe exceder de 15 palabras.
- Nombre del autor o los autores. Escribir el nombre completo del autor o autores, indicando el nombre del departamento, institución o instituciones a las que pertenecen.
- Debe indicarse también la dirección electrónica y el teléfono del autor principal responsable de la correspondencia a la que pueden dirigirse avisos sobre el artículo.

II.2.2 Página de Resumen en idioma español

Debe incluirse un Resumen en idioma español, con las siguientes características:

- Debe tener un máximo de 250 palabras.
- La estructura debe contener el objetivo del estudio; metodología, técnicas o procedimientos básicos utilizados; los resultados más destacados y las principales conclusiones. Hará hincapié en aquellos aspectos del estudio o de las observaciones que resulten más novedosas o de mayor importancia.
- Con el encabezado de Palabras clave, inmediatamente después del Resumen se deben incluir de 3 a 5 palabras clave las cuales facilitaran el indizado del artículo.

II.2.3 Página de Resumen en idioma inglés

Un Resumen y palabras clave también deben ser presentados escritos en idioma inglés. El resumen en inglés puede ser un poco mayor de 250 palabras.

II.2.4 El Texto

Al inicio de cada sección, los títulos de primer nivel deben escribirse en letras mayúsculas y negritas. Los títulos de segundo nivel deben escribirse en mayúsculas y minúsculas, en negritas. Los títulos de tercer nivel, deben escribirse en mayúsculas y minúsculas, y en letra cursiva.

Se recomienda que el texto se estructure en las siguientes secciones: Introducción, Metodología, Resultados, Discusión y Conclusiones. Introducción. La finalidad de esta sección es ubicar al lector en el contexto en que se realizó la investigación, por lo que debe mencionar claramente los siguientes aspectos:

- El propósito o finalidad de la investigación: es importante que quede claro cuál ha sido el problema estudiado, y cuál es la utilidad del producto de la investigación (para que sirve, a quien le sirve, donde se puede usar, etc.)
- Se debe enunciar de forma resumida la justificación del estudio.
- Los autores deben aclarar que partes del artículo representan contribuciones propias y cuales corresponden a otros investigadores, incluyendo en estos casos las referencias bibliográficas apropiadas.
- En esta sección se describirá de manera muy general la metodología empleada, resultados y las conclusiones más importantes del trabajo.
- Se pueden enunciar los retos que conllevó la realización de la investigación y una explicación breve de cómo se superaron.

Metodología. En términos generales, es la manera estructurada por medio de la cual se ha logrado obtener conocimiento o información producto de la investigación. En términos prácticos, es la manera seleccionada para solucionar el problema estudiado.

Aquí se describe el diseño del método o del experimento (aleatorio, controlado, casos y controles, prospectivo, etc.). Se indicará con claridad cómo y por qué se realizó el estudio de una manera determinada. Se ha de especificar cuidadosamente el significado de los términos utilizados y detallar de forma exacta como se recogieron los datos. Estos métodos se describirán también en el resumen del artículo.

Se describe el área de estudio, población u objetos sobre los que se ha hecho la investigación. Describe el marco y como se ha hecho su selección. Describe con claridad cómo fueron seleccionados los sujetos, objetos o elementos sometidos a observación.

Se indica el entorno donde se ha hecho el estudio. Procure caracterizar el lugar o ubicación escogida.

Se describen las técnicas, tratamientos (siempre utilizar nombres genéricos), mediciones unidades, pruebas piloto, aparatos y tecnología, etc. Describa los

métodos, aparatos y procedimientos empleados con el suficiente grado de detalle para que otros investigadores puedan reproducir los resultados.

Resultados. Presente los resultados auxiliándose de tablas y figuras, siguiendo una secuencia lógica. No repita en el texto los datos de las tablas y figuras; destaque o resuma tan solo las observaciones más importantes. Recuerde que las tablas y figuras deben tener una numeración correlativa y siempre deben estar referidos en el texto.

Los resultados deben ser enunciados claros, concretos y comprensibles para el lector; y por supuesto, se deben desprender del proceso investigativo enmarcado en el artículo.

Discusión. Haga hincapié en aquellos aspectos nuevos e importantes del estudio y en las conclusiones que se derivan de ellos. No debe repetir, de forma detallada, los datos u otras informaciones ya incluidas en los apartados, las limitaciones del estudio, así como sus implicaciones en futuras investigaciones. Si es posible se compararan las observaciones realizadas con las de otros estudios pertinentes.

Conclusiones. Son proposiciones o ideas producto o resultado de la investigación realizada, de modo que se deben relacionar con los objetivos del estudio. Evite afirmaciones poco fundamentadas o subjetivas y conclusiones insuficientes avaladas por los datos.

Agradecimientos. Los agradecimientos se incluyen al final del texto. Este debe ser un apartado muy breve, en donde se agradece a las personas que han colaborado con la investigación, o a las instituciones que apoyaron el desarrollo del trabajo. También se puede incluir en los agradecimientos el apoyo financiero y los medios materiales recibidos.

II.2.5 Referencias citadas

La lista de las referencias citadas y las citas deben concordar y ser precisas. Todas las referencias que aparecen citadas en el texto deben de aparecer también en la lista de referencias; y todas las referencias listadas deben de aparecer mencionadas en el texto.

Las referencias deben ser utilizadas en el texto incluyendo el apellido del autor y el año de la publicación. Para construir la lista de referencias se recomienda utilizar las Normas Internacionales APA, distinguiendo si la cita se refiere a un solo autor o a varios autores de un artículo, al autor de un libro, sección o capítulo de un libro, una publicación periódica u otra obtenida en Internet. En tal sentido, es necesario incluir todas las fuentes que sustentan la investigación realizada y que se usaron directamente en el trabajo.

II.2.6 Figuras

Después de las Referencias Citadas, en páginas separadas se incluyen las figuras. Para las figuras tener en cuenta que:

- Todas las figuras deben ser mencionadas explícitamente en el texto por sus números.

- Las figuras se numeraran consecutivamente según su primera mención el texto, desde la primera hasta la última. El formato, letras, números y símbolos usados en las figuras, serán claros y uniformes en todos los lugares donde aparezcan en el artículo.
- Los títulos y las explicaciones detalladas se incluirán en las leyendas de las figuras y no en las mismas figuras. Si se emplean fotografías de personas, figuras o imágenes que no son de elaboración propia, se deberá incluir el permiso por escrito para poder utilizarlas.
- Todas las figuras, fotografías e ilustraciones deben tener un pie de imagen que las identifique.
- En figuras múltiples, la leyenda debe describir las componentes de la figura: (a), (b), (c), etc., las cuales deben estar claramente etiquetadas.
- En el Texto, en un renglón separado escribir "Incluir Figura XX", para indicar el lugar recomendado para insertar la Figura. En la edición final de la Revista, la Figura se insertará, lo más cercano inmediatamente al lugar que fue citada.

II.2.7 Tablas

Después de las Figuras, en páginas separadas incluya las Tablas. Tomar en cuenta que:

- Todas las tablas deben ser mencionadas explícitamente por sus números y deben aparecer en el orden correcto en el texto del documento. Una tabla con un número mayor no debe anteceder a otra con número menor (por ejemplo: tabla 4 antes que tabla 3).
- Las tablas se enumeran correlativamente desde la primera hasta la última. Cada tabla debe ser enunciada en el texto por lo menos una vez.
- A cada tabla debe asignársele un breve título, pero no dentro de ésta. Las tablas deben ser escritas en líneas horizontales, y no deben dejarse filas en blanco entre ellas. Los encabezados de las columnas deben ser muy breves, con la primera letra en mayúscula. En estos encabezados, las unidades deben aparecer inmediatamente debajo.
- Las explicaciones o información adicional se pondrán en notas al pie de tabla, no en la última fila de la tabla. En estas notas se especificaran las abreviaturas empleadas, para hacerlo se usaran como llamadas.
- Identifique las unidades de medida utilizadas.
- Las tablas no deben presentarse divididas en partes. A tablas relacionadas debe asignárseles números diferentes, manteniendo la secuencia correspondiente.
- Las tablas de los apéndices deben numerarse en una nueva secuencia.
- Todas las referencias citadas en las tablas deben aparecer en la lista de referencias citadas.
- En el Texto, en un renglón separado escribir "Incluir Tabla XX", para indicar el lugar recomendado para insertar la tabla. En la edición final de la Revista, la tabla se insertará, lo más cercano inmediatamente al lugar que fue citada.

II.2.8 Unidades de medida

Las unidades de medida se deben expresar en unidades del sistema métrico decimal. Se debe tomar como referencia el Sistema Internacional de Unidades.

II.2.9 Abreviaturas y símbolos

En las siglas, abreviaturas y símbolos, use únicamente las normalizadas. Evite las abreviaturas en el Título y en el Resumen. Cuando en el texto se emplee por primera vez una abreviatura o sigla, esta debe ir precedida del término completo, salvo si se trata de una unidad de medida común.

II.2.10 Recomendaciones generales para presentar el manuscrito

Para presentar el manuscrito, se recomienda al autor o autores tener en cuenta:

- Todo el manuscrito debe presentarse en un solo documento, escrito con letra Arial Narrow, tamaño 12.
- Las páginas se numeran consecutivamente comenzando por la página del título hasta terminar con la última referencia citada.
- El número de página se ubicara en ángulo inferior derecho de cada página.
- Todo el documento se imprimirá en papel blanco tamaño carta, con márgenes de 2 cm a cada lado (superior, inferior, derecho e izquierdo). El papel se imprimirá en una sola cara.
- La extensión total del texto tendrá un máximo de 17 páginas, a doble espacio, incluidas desde la página del título hasta las referencias citadas.
- Las figuras deben presentarse con la mayor resolución posible (mínimo 300 psi), en un formato JPG o TIFF, una figura por cada página.
- Incluya las autorizaciones para la reproducción de material anteriormente publicado, para la utilización de figuras o ilustraciones que puedan identificar a personas o para imágenes que tengan derechos de autor.
- Adjunte la cesión de los derechos de autor y formularios pertinentes.
- Las tablas deben presentarse, una tabla por página.
- Los autores deben entregar el manuscrito en un soporte electrónico (en CD-ROM, memoria o correo electrónico). Para la entrega tener en cuenta las siguientes consideraciones: a) Especificar claramente el nombre del archivo que contiene el artículo; b) Etiquetar el CD, memoria o el correo electrónico, con el nombre abreviado del artículo y del autor; c) Facilitar la información sobre el software y hardware utilizado, si procede; d) Indicar el nombre del autor responsable a quien puede dirigirse avisos sobre el artículo.

III Criterios para el Diseño, Diagramación y Maquetación de la Revista

De la Portada:

Texto:

- Ciencias Espaciales. Tipo: Times New Roman. Tamaño: 48. Color: blanco.
- Publicación semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES)
- Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

- Volumen, Año, Número, Temporada.
- ISSN:2225-5249
- URL: <http://www.faces.unah.edu.hn>

Imágenes y Logos:

- Logo de la UNAH
- Imagen alusiva al contenido

Color de fondo:

- Revista Ciencias Espaciales de Astronomía y Astrofísica: Azul Espacio. R:41, G:52, B:82
- Revista Ciencias Espaciales de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica: Verde Tierra R37:, G107:, B44:
- Revista Ciencias Espaciales de Arqueoastronomía y Astronomía Cultural: R:130, G:47, B:44
- Ciencias Espaciales de Ciencias Aeronáuticas: Azul Cielo. R:160, G:199, B:230

Dimensiones:

- 24.4 x 16 cm. Grosor varia

Del Lomo

Texto:

- Ciencias Espaciales. Tipo: Times New Roman. Tamaño: 12, Color: Blanco.
- Volumen x, Año xxxx, Número x, Temporada xxxxxx.

De la contraportada:

Imágenes y logos:

- UNAH
- Facultad de Ciencias Espaciales

Del interior de la Revista:

Texto:

- Tipo de letra: Arial Narrow. Tamaño:12
- Espaciado: Anterior 0 puntos. Posterior 10 puntos. Interlineado: mínimo.

- Márgenes: superior: 0.8 pulgadas, izquierdo: 0.8 pulgadas, inferior: 1 pulgada, derecho: 0.5 pulgadas.
- Figuras: Tipo de letra: Arial Narrow. Tamaño: 12

Las páginas de la derecha deben llevar:

- En la parte superior: Revista Ciencias Espaciales, Volumen x, Año xxxx, Numero x, Temporada xxxxxxx,
- En la parte inferior: Facultad de Ciencias Espaciales y el número de la página.

Las páginas de la izquierda deben llevar:

- En la parte superior: Revista Ciencias Espaciales, Volumen x, Año xxxx, Número x, Temporada xxxxxxx.
- En la parte inferior: Facultad de Ciencias Espaciales y el número de página.

El arte y diagramación de la Revista Ciencias Espaciales es aprobado por la Secretaria Ejecutiva de Desarrollo Institucional de la UNAH y la Editorial Universitaria. Las dimensiones de cada ejemplar son de 23.4 x 16 cm.



UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE HONDURAS

Facultad de Ciencias Espaciales
Universidad Nacional Autónoma de Honduras
Ciudad Universitaria, Edificio K2
Bulevar Suyapa, Tegucigalpa MDC, Honduras
Teléfono: (504) 2216 3034
Correo Electrónico: revista.cespaciales@unah.edu.hn
Página Web: <http://faces.unah.edu.hn/revistace/>