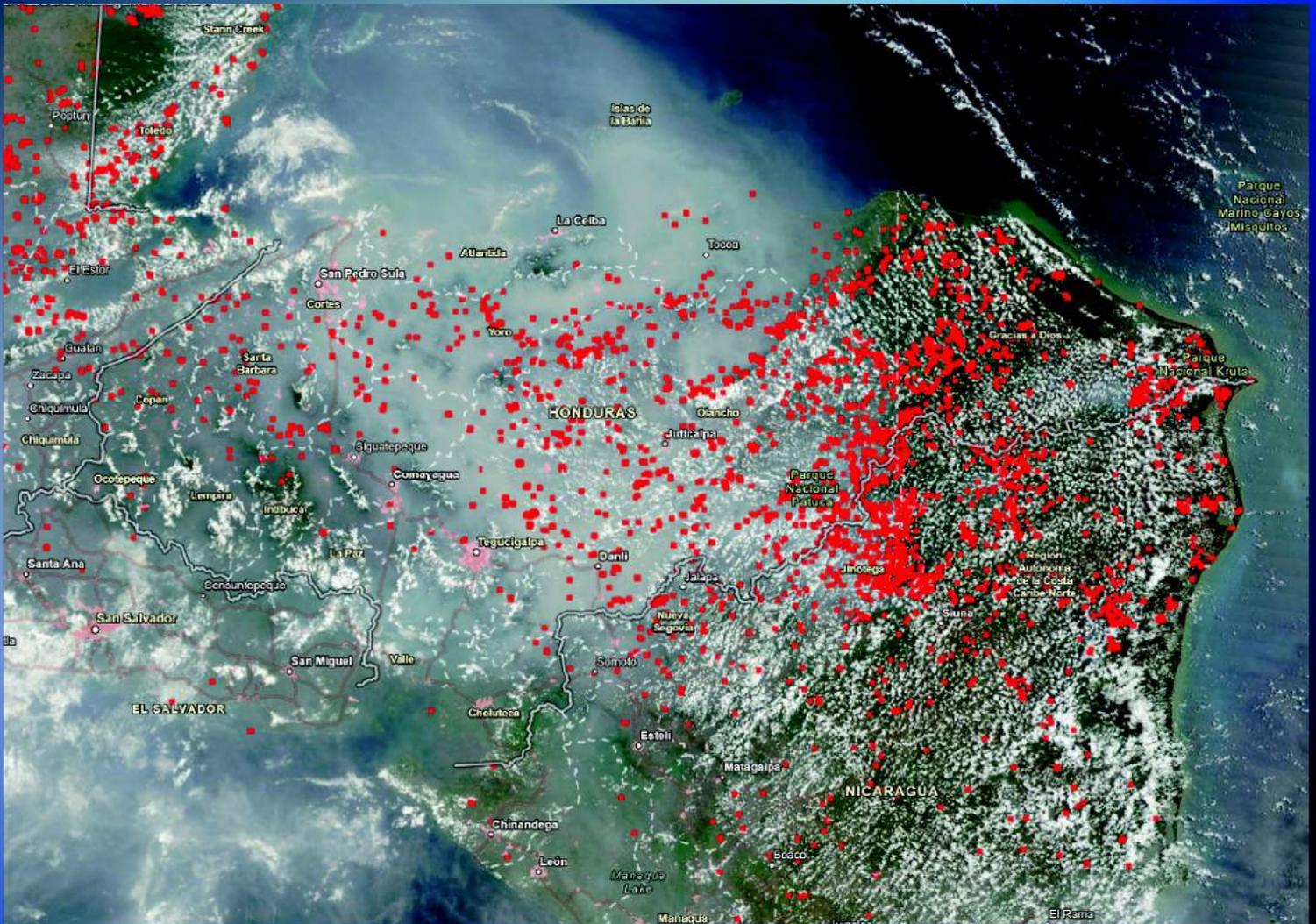




CIENCIAS ESPACIALES

Publicación Semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES)
Volumen 15, Número 1, Primavera 2024
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 15, Número 1 Primavera, 2024. ISSN 2225-5249 (impreso); ISSN 2521-5868 (en línea)

Portada

Mapa de Honduras mostrando puntos de calor y la nube de humo resultante de fuentes antropogénicas, el 21 de mayo del 2024. Fotografía obtenida del Fire Information for Resource Management System (NASA /USDA Forest Service FIRMS).

Director

Ph.D. FRAS Javier Mejuto González
(Facultad de Ciencias Espaciales, UNAH)

Editor en Jefe

Máster Eduardo Enrique Rodas-Quito
(Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, UNAH)

Consejo Editorial

Máster Ricardo Antonio Pastrana
(Astronomía y Astrofísica, UNAH)

Máster Celina Michelle Sosa Caballero
(Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, UNAH)

Máster Javier Enrique Meza Antúnez
(Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, UNAH)

Máster Alex Matamoros
(Ciencias Aeronáuticas, UNAH)

Consejo Científico

Ph. D. Jacopo Fritz
(Universidad Nacional Autónoma de México, México)

Ph. D. Francisco Maza Vásquez
(Universidad de Alcalá, España)

Ph. D. Stanislaw Iwaniszewski
(Instituto Nacional de Antropología e Historia, México)

Profesor José Nicolás Balbi
(Colchester Archaeological Group, Reino Unido)

Edición, arte y diagramación

Ph.D. FRAS Javier Mejuto González
(Facultad de Ciencias Espaciales, UNAH)

Máster Eduardo Enrique Rodas-Quito
(Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, UNAH)

Isis Alvarado Sanabria
(Astronomía y Astrofísica, UNAH)

Contacto

Ph.D FRAS Javier Mejuto González
javier.mejuto@unah.edu.hn

Máster Eduardo Enrique Rodas Quito
eduardo.rodas@unah.edu.hn

Para mayor información:

Página web:
<https://www.camjol.info/index.php/CE/index>

Correo electrónico:
revista.cespaciales@unah.edu.hn

Facultad de Ciencias Espaciales.

El 17 de abril de 2009, mediante Acuerdo N° CU-O-043-03-2009, el Consejo Universitario de la UNAH creó la Facultad de Ciencias Espaciales en reconocimiento al funcionamiento del Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa (OACS/UNAH).

La Revista Ciencias Espaciales es una publicación semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales y se publica en los meses de junio y diciembre de cada año. El contenido de cada artículo es responsabilidad de su(s) autor(es).

CONTENIDO

Volumen 15, Número 1 Primavera, 2024

| | |
|---|-----------|
| CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA | 4 |
| Análisis correlacional de puntos de calor (incendios) y sus efectos en la calidad del aire, Honduras (2020) <i>Javier Enrique Meza Antúñez</i> | 5 |
| Relación de la cobertura de suelos y deslizamientos en área urbana Las Vegas, Santa Bárbara 2014-2018 <i>Liza Mariel Kafati Vásquez</i> | 25 |
| Análisis de cobertura de servicios de redes de negocio en barrios informales, Distrito Central Honduras <i>Brenda Itzel Antúñez Williams</i> | 45 |
| CIENCIAS AERONÁUTICAS | 66 |
| Propuesta de prototipo de mapa interactivo para la operación segura de RPAS en Honduras <i>Omri Alberto Amaya Carías, Alex Geovanny Matamoros, Antonio Locandro, Allister Stefan</i> | 67 |
| NOTAS INFORMATIVAS | 88 |
| Política Editorial e Instrucciones a los Autores | 89 |

CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

ANÁLISIS CORRELACIONAL DE PUNTOS DE CALOR (INCENDIOS) Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD DEL AIRE, HONDURAS (2020)

Javier Enrique Meza^{1,*}

¹Observatorio Universitario de Ordenamiento Territorial (OUOT)
Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Recibido: 09-02-2024

Aceptado: 06-05-2024

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v15i1.18148>

RESUMEN

En la actualidad hay una gran cantidad de información geoespacial disponible de forma gratuita sobre emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y puntos de calor. Este estudio buscó en 2020 establecer una correlación entre puntos de calor y su efecto en la calidad del aire hondureño. Las tecnologías geoespaciales facilitaron la adquisición, descarga y análisis de datos de contaminación y detección de puntos de calor. Los incendios aumentan los gases atmosféricos perjudiciales, el análisis encontró que los departamentos de Olancho, Francisco Morazán y Gracias a Dios son los más afectados por puntos de calor (incendios). Además, Yoro, Córtes, Atlántida, el norte de Francisco Morazán y Comayagua, y el noroeste de Olancho como los que presentan mayores variaciones en los niveles de afectación en la calidad del aire de los cuatro gases analizados el monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y Aerosoles.

Palabras clave: Calidad del aire, Puntos de calor, Gases de efecto de invernadero, Sensores remotos, Correlación.

ABSTRACT

There is currently a wealth of geospatial information available for free on Greenhouse Gas (GHG) emissions and hot spots. This study sought in 2020 to establish a correlation between hot spots and their effect on Honduran air quality. Geospatial technologies facilitated the acquisition, download and analysis of pollution data and hot spot detection. Fires increase harmful atmospheric gases, the analysis noted that the departments of Olancho, Francisco Morazán and Gracias a Dios are the most affected by hot spots (fires). In addition, Yoro, Córtes, Atlántida, the north of Francisco Morazán and Comayagua, and the northwest of Olancho as those that present greater variations in the levels of affectation in the air quality of the four gases analyzed: carbon monoxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and aerosols.

Keywords: Air quality, Heat points, Greenhouse gases, Remote sensors, Correlation.

1 Introducción

En las últimas décadas, el aumento de la aplicación del fuego como herramienta para el cambio de uso de la tierra ha dado lugar a la aparición más frecuente de episodios prolongados de incendios y humos con

*javier.meza@unah.edu.hn,  <https://orcid.org/0000-0001-8409-4769>

consecuencias para la salud y la seguridad humana. Algunos de estos eventos se han asociado con sequías que se atribuyen a la variabilidad climática interanual o a las posibles consecuencias del cambio climático regional. Los efectos transfronterizos de la contaminación por el humo del fuego de la vegetación son un argumento impulsor para desarrollar políticas internacionales para abordar las causas subyacentes para evitar la aplicación excesiva de incendios, y para establecer prácticas sólidas de gestión de incendios y humos y protocolos de cooperación en la gestión de incendios forestales a nivel internacional. (Goldammer *et al.*, 2008)

En Honduras, la temporada alta de incendios suele comenzar a mediados de marzo y dura alrededor de 12 semanas. Se notificaron 4.599 alertas de incendios VIIRS entre el 2 de diciembre de 2019 y el 23 de noviembre de 2020, teniendo en cuenta únicamente las alertas de alta confianza. Esto es inusualmente alto en comparación con años anteriores que se remontan a 2012 (Global Forest Watch, 2020).

En un mundo moderno, las emisiones atmosféricas deben considerarse desde una perspectiva global. Mientras que algunas personas disfrutan de la comodidad, la velocidad de las comodidades modernas y los lujos proporcionados por consumo de energía, otros están sufriendo las emisiones atmosféricas resultantes, con o sin intención (Zhongchao Tan, 2014).

La quema de bosques o escombros forestales representa un caso especial en el que los sistemas forestales suministran contaminantes del aire a la atmósfera. Los incendios se pueden dividir convenientemente en incendios naturales y quemaduras prescritas (de gestión). Los incendios prescritos se fijan y controlan artificialmente y están destinados a lograr objetivos de gestión forestal (Smith, 1981).

En Honduras no se tiene información de la emisión de gases producto de los incendios forestales y quemaduras agrícolas específicamente de la distribución espacial y temporal de estos Gases de Efecto de Invernadero (GEI), lo cual es sumamente importante para el país. “El conocimiento sobre su distribución espacial y temporal es fundamental para establecer medidas de mitigación en el marco del cambio global, y reducir sus dimensiones y afectaciones en los sectores ambiental y social” Cruz López (2018).

Esta investigación aborda el efecto de los incendios en la calidad del aire, para lo cual se realizó un análisis correlacional de puntos de calor (incendios) y sus efectos en la calidad del aire en Honduras durante, 2020. Los incendios liberan gases, humo y partículas tóxicas en la atmósfera, lo cual tiene un impacto negativo en la calidad del aire lo que supone riesgos significativos para la salud de la población. Entre los problemas de salud asociados se encuentran enfermedades respiratorias y cardiovasculares, entre otros. Además, los incendios forestales también contribuyen al calentamiento global al liberar grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

Una de las características importantes de los sensores remotos es que tienen la capacidad de monitoreo global de los diferentes fenómenos que se dan en la superficie, lo que permite el monitoreo del humo producto de los incendios forestales y quemaduras agrícolas activas, esto permite identificar la ubicación y comportamiento de estos, favoreciendo la visualización sus impactos en la calidad del aire. Las porciones ultravioletas, de infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta, infrarrojo térmico y microondas del espectro proporcionan información valiosa que es invisible para el ojo humano. Como ejemplo, la porción infrarroja térmica del espectro nos permite estudiar la distribución espacial de las temperaturas del agua de efluentes cerca de las centrales nucleares, así como la detección de incendios forestales, temperaturas de la superficie del mar y corrientes marinas, y estrés hídrico en los cultivos (Chuvieco, 2015).

En cuanto a los sensores remotos para detección de la contaminación del aire se puede decir que están fundamentados en el monitoreo y determinación basada en la Observación de la Tierra de AOT. Esta puede utilizarse directa o indirectamente como herramienta para evaluar y medir el nivel de contaminación

atmosférica. Las mediciones de PM10 y PM2.5 están asociadas con los valores de AOT como se muestra en Hadjimitsis et al. y Lee et al. citados por (Filonchuk y Yan, 2018).

Un contaminante del aire es cualquier materia o gas de partículas, o combinación de estos, que no sea vapor de agua. Cualquier sustancia en aire que, en concentraciones elevadas, podría hacerles daño a los seres humanos, animales, vegetación u otro material. Los contaminantes incluyen casi cualquier composición natural o artificial de materia aerotransportada, o materia capaz de ser aerotransportada. Las formas pueden ser partículas sólidas, gotitas líquidas, gases, o una combinación de estos (US EPA, 2021).

Los niveles de contaminación del aire siguen siendo peligrosamente altos en muchas partes del mundo. Nuevos datos de la OMS muestran que 9 de cada 10 personas respiran aire que contiene altos niveles de contaminantes. La OMS estima que alrededor de 7 millones de personas mueren cada año por exposición al aire contaminado. La contaminación del aire ambiental por sí sola causó alrededor de 4,2 millones de muertes en 2016 (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Para medir la calidad del aire es importante conocer el índice de calidad del aire, el cual es un indicador para informar de la calidad diaria del aire a el público en general. Simplemente, es un intento de responder a la pregunta: ¿Qué tan limpio o contaminado es el aire hoy? Proporciona información sobre qué efectos en la salud podrían experimentar las personas dentro de unas pocas horas o días de la respiración de aire contaminado. La EPA calcula el AQI para cinco contaminantes importantes regulados por La Ley de Aire Limpio: Ozono a nivel del suelo, Material Particulado, Monóxido de Carbono, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno (Lutgens et al., 2019).

Los incendios forestales y las quemas agrícolas afectan todos los años la calidad del aire en Honduras. Esta investigación es un avance importante en el país por la problemática que representan los incendios y su correlación con la calidad del aire. En el orden de las ideas anterior, este es un aporte práctico e innovador, porque permite tener información mediante el uso de sensores remotos y sus componentes los que facilitan la obtención de información espacial y temporal de forma gratuita, confiable y actualizada a escala nacional, esto aporta nuevos elementos de evaluación y análisis que deben ser considerados para una adecuada gestión territorial, por lo que esta investigación da respuesta a esta problemática a través de un enfoque y visión innovadora al analizar el problema que estos provocan a lo largo y ancho del país en los meses críticos de 2020.

2 Metodología

Área de Estudio

Según los datos Instituto de Conservación Forestal en el Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del año 2018, se muestra que El 56 % del territorio está cubierto de bosque, ver Figura 1, lo que representa en extensión territorial de 63,154 km² de la superficie total del país. El 17 % corresponde a bosques de coníferas y 35.45 % corresponde a bosques latifoliados y de mangle. (ver Figura 1). Para la definición del área de estudio, se tomó Honduras país que se encuentra ubicado en Centro América, su superficie territorial es de 112,492 km². Para poder entender la distribución espacial y temporal de los incendios forestales y quemas agrícolas y como estos influyen en la calidad del aire, se consideró toda la geografía nacional (SIGMOF, 2021).



Figura 1: Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra, Honduras 2018 (SIGMOF, 2021).

Recolección y análisis de la información de puntos de calor (Incendios)

Los puntos de calor fueron descargados de la página de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de México (CONABIO), en donde hay un registro histórico de los puntos de calor, que es, cualquier punto de la superficie terrestre que emita suficiente temperatura, para que el píxel de una imagen de satélite lo reporte con una temperatura elevada en comparación con sus vecinos y cumpla con los umbrales establecidos en el algoritmo.

Los puntos de calor corresponden a los detectados por la plataforma VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) los cuales se toman a partir de 2014. Sensores abordo del satélite Suomi-NPP y JPSS-1, los que tiene una resolución espacial de 375m por 375m, que equivalen 14.0625 hectáreas por punto de calor, así mismo tienen una resolución temporal de menos de 24 horas, lo que les permite abarcar el territorio hondureño al menos 4 veces al día, cada sensor. El resultado final del conteo fue un total de 104,520 puntos de calor detectados, de estos 61,155 corresponden el VIIRS JPSS-1 y VIIRS S-NPP con un total de 43,365 ver 5. Posteriormente haciendo uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica, se clasificaron por departamentos, por municipios y por mes del año, como se observa en la Figura 2.

Además, haciendo uso de herramientas de estadísticas de Sistemas de Información Geográfica se calculó la densidad de puntos de calor Kernel a nivel nacional y a nivel departamental, resultando las áreas con mayor densidad los departamentos de Olancho, y Francisco Morazán, este cálculo estadístico permite visualizar cómo se distribuyen los datos en un espacio, mostrando la probabilidad de encontrar un punto en una zona determinada. 3.

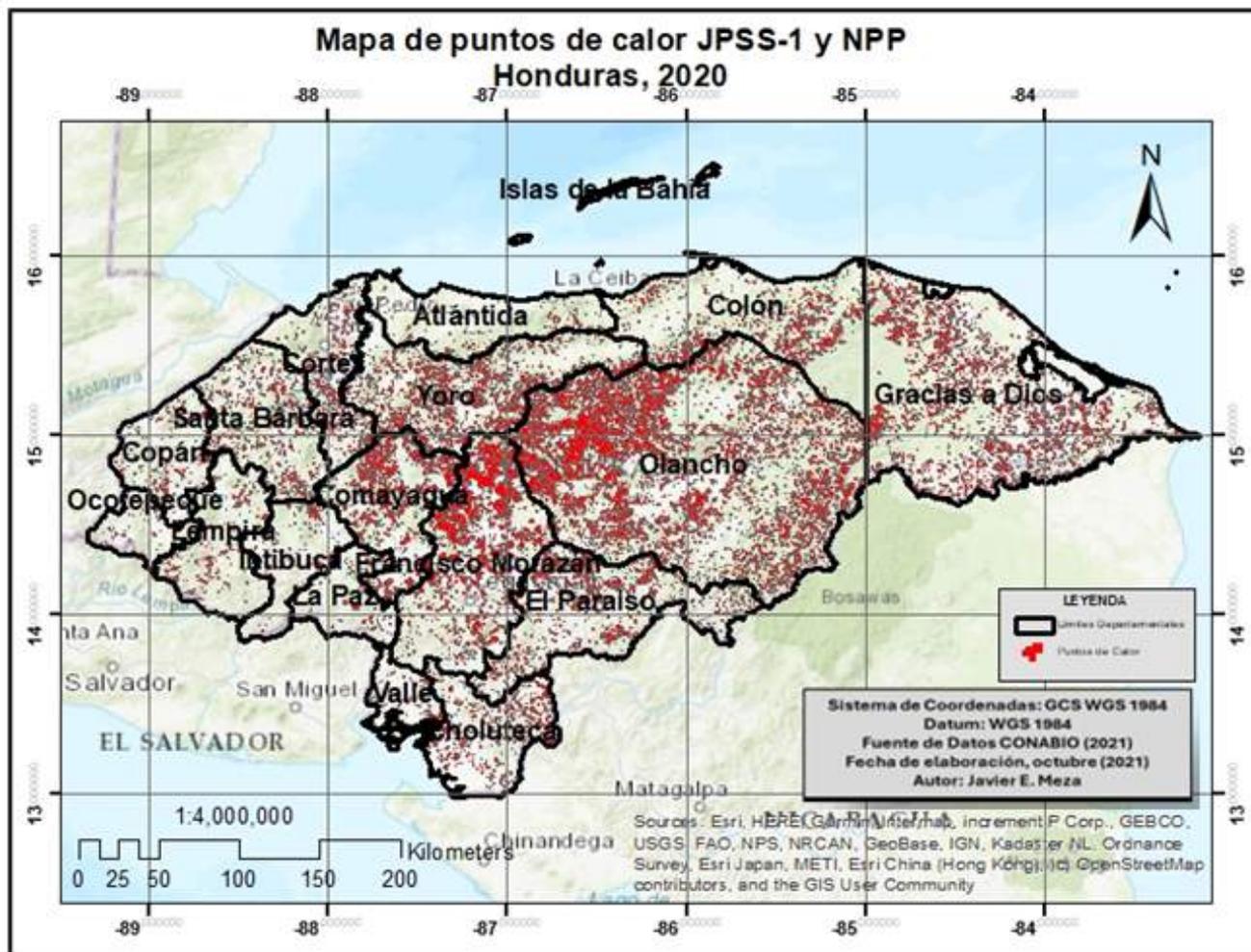


Figura 2: Mapa de Puntos de Calor JPSS-1 y NPP, Honduras 2020. Fuente: Elaboración propia Fuente datos puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021).

Seguidamente se realizó un análisis espacial para identificar cual fue la cobertura afectada según puntos de calor en base al Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra del 2018, generado por el Instituto de Conservación Forestal, esto con el propósito de identificar las coberturas de bosque más afectadas. Se encontró que la mayor cantidad de puntos de calor están en la cobertura de bosque de pino y la cobertura de pastos y cultivos (Figura 4).

Se puede observar en la Figura 5, que los departamentos más afectados por número total de puntos de calor son Olancho, Francisco Morazán y Gracias a Dios. Así mismo, los departamentos menos afectados por cantidad de puntos de calor fueron: Islas de la Bahía, Ocotepeque y Valle. Otro aspecto importante para resaltar es que el hay 265 municipios que presentaron anomalías con los puntos de calor, siendo Catacamas, Puerto Lempira y Gualaco los municipios que más anomalías o puntos de calor presentaron. Solo 33 municipios no presentaron puntos de calor durante los meses de estudio los que representan el 11 % del total de los municipios.

Se puede observar en la Figura 5, que los departamentos más afectados por número total de puntos de

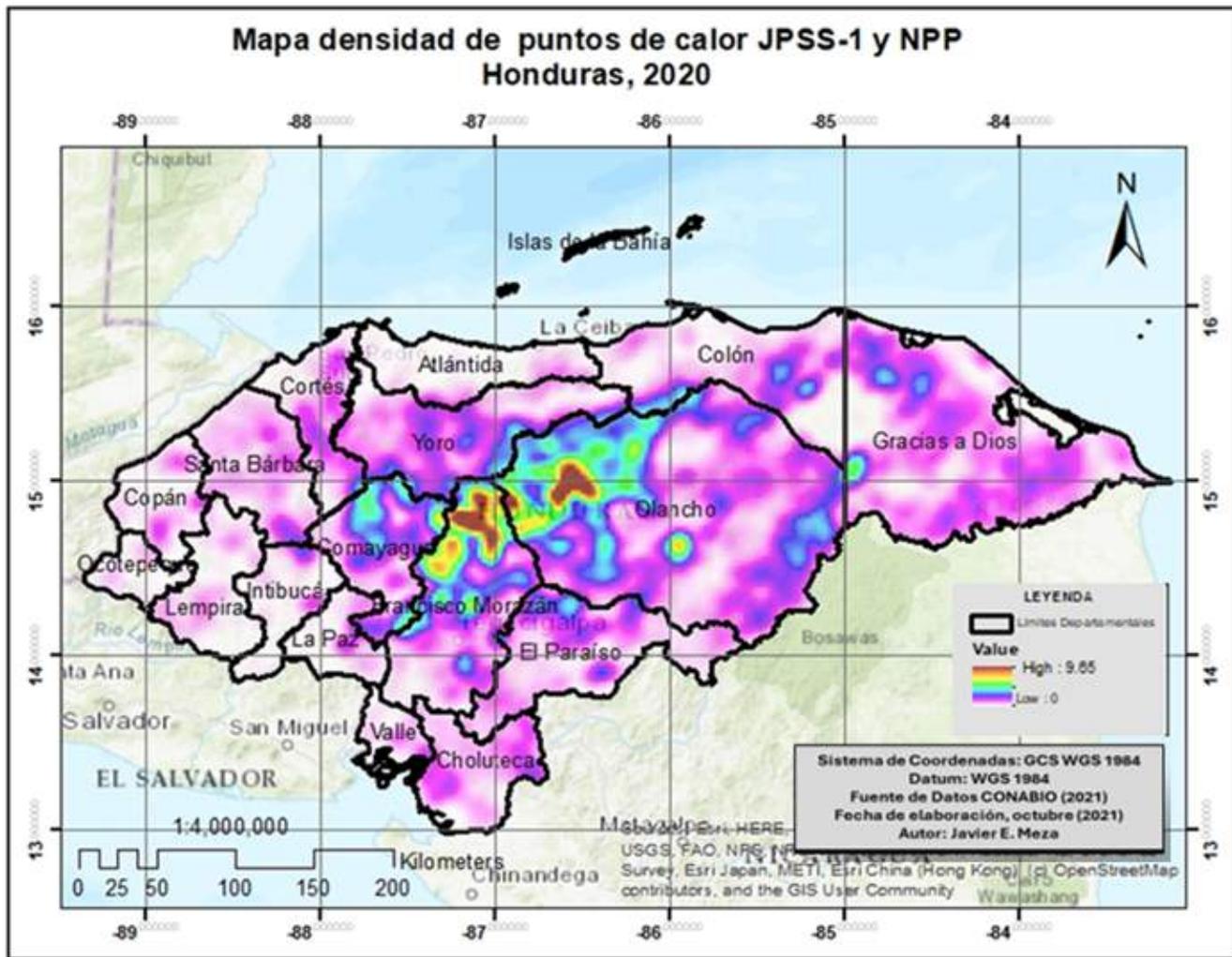


Figura 3: . Mapa de Densidad de Kernel de Puntos de Calor JPSS-1 y NPP, Honduras enero a diciembre, 2020. Fuente: Elaboración propia, utilizando datos de puntos de calor: (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021).

calor son Olancho, Francisco Morazán y Gracias a Dios. Así mismo, los departamentos menos afectados por cantidad de puntos de calor fueron: Islas de la Bahía, Ocotepeque y Valle. Otro aspecto importante para resaltar es que el hay 265 municipios que presentaron anomalías con los puntos de calor, siendo Catacamas, Puerto Lempira y Gualaco los municipios que más anomalías o puntos de calor presentaron. Solo 33 municipios no presentaron puntos de calor durante los meses de estudio los que representan el 11 % del total de los municipios.

Recolección y análisis de información de gases contaminantes para la variable calidad del aire.

El proceso consistió en descargar imágenes de satélite del Sentinel 5P, este es un satélite lanzado el 13 de octubre de 2017 por la Agencia Espacial Europea (ESA) para monitorear la contaminación del aire. El sensor a bordo se conoce con frecuencia como Tropomi (Instrumento de monitoreo Troposférico). Todos los conjuntos de datos de S5P, excepto CH_4 , tienen dos versiones: Near Real-Time (NRTI) y Offline (OFFL).

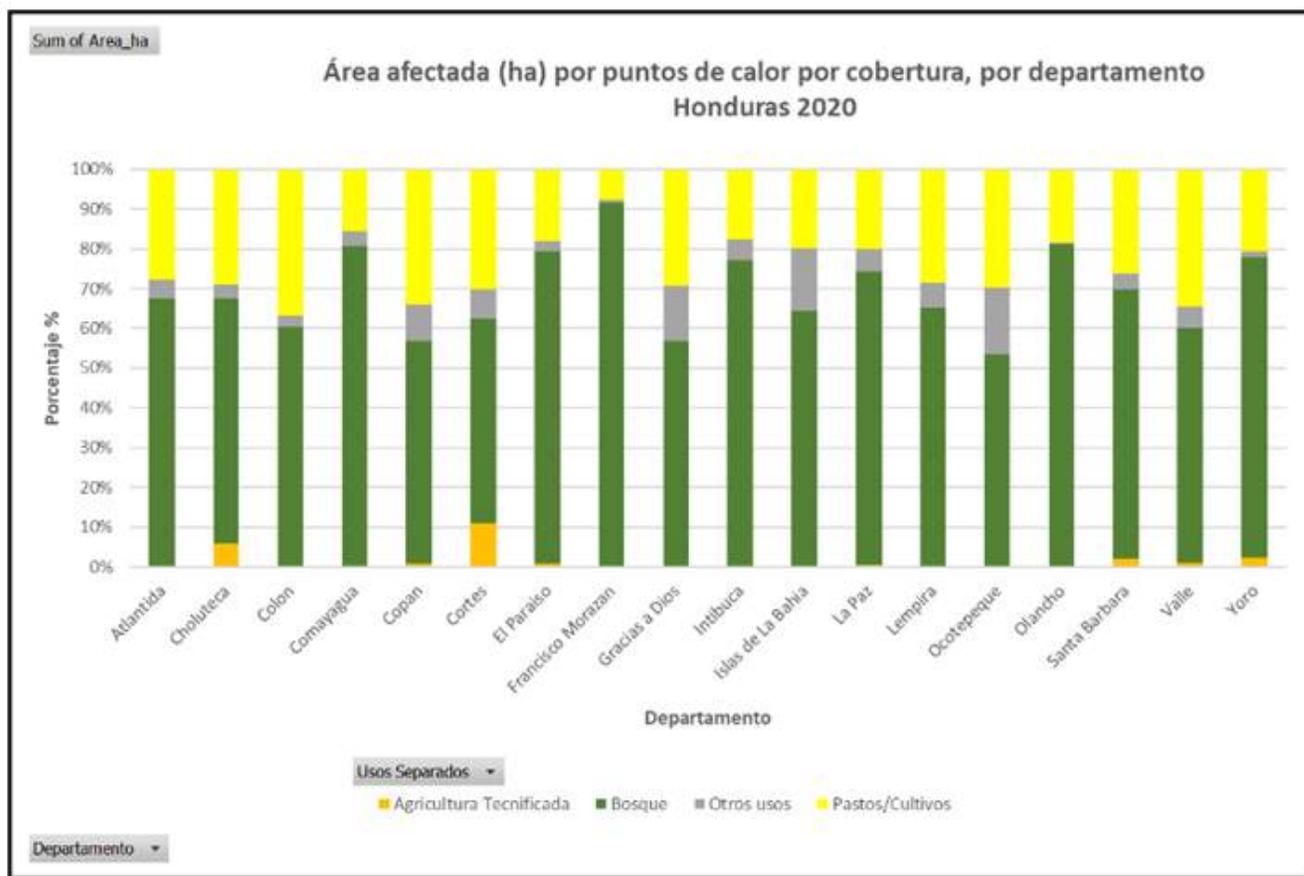


Figura 4: Área afectada puntos de calor por cobertura por departamento, 2020. Fuente: Elaboración propia, utilizando datos de superficie por puntos de calor: (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

CH_4 solo está disponible como OFFL. Los activos NRTI cubren un área más pequeña que los activos OFFL, pero aparecen más rápidamente después de la adquisición. Los activos de OFFL contienen datos de una sola órbita (que, debido a que la mitad de la Tierra está oscura, contiene datos solo para un solo hemisferio). Debido al ruido en los datos, a menudo se observan valores de columna verticales negativos, en particular en regiones limpias o para bajas emisiones de SO_2 (GEE, 2020)

Para la descarga de la información se utilizó la plataforma de Google Earth Engine, que permite trabajar con datos satelitales a escala planetaria para datos y análisis de las ciencias de la Tierra 6. A la vez se utilizó un código para descarga, para cada gas seleccionado e imagen del área de estudio. En cada código se analizó cada banda para el estudio del comportamiento de cada gas en un periodo de un mes, durante 12 meses (GEE, 2020).

Se obtuvieron 12 imágenes de satélite para cada uno de los gases de los meses de enero a diciembre de 2020: CO , NO_2 , SO_2 , y los Aerosoles, para un gran total de 48 imágenes de satélite para el periodo de estudio. Todas estas imágenes fueron procesadas utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica, para realizar el análisis estadístico calculando los valores mínimos, máximos, desviación estándar, media y sumatoria de valores de cada gas, por departamento por mes. Se obtuvo un total de 12 tablas estadísticas con los diferentes niveles de los gases para realizar comparaciones y para comparar cada uno de los estadísticos para cada departamento.

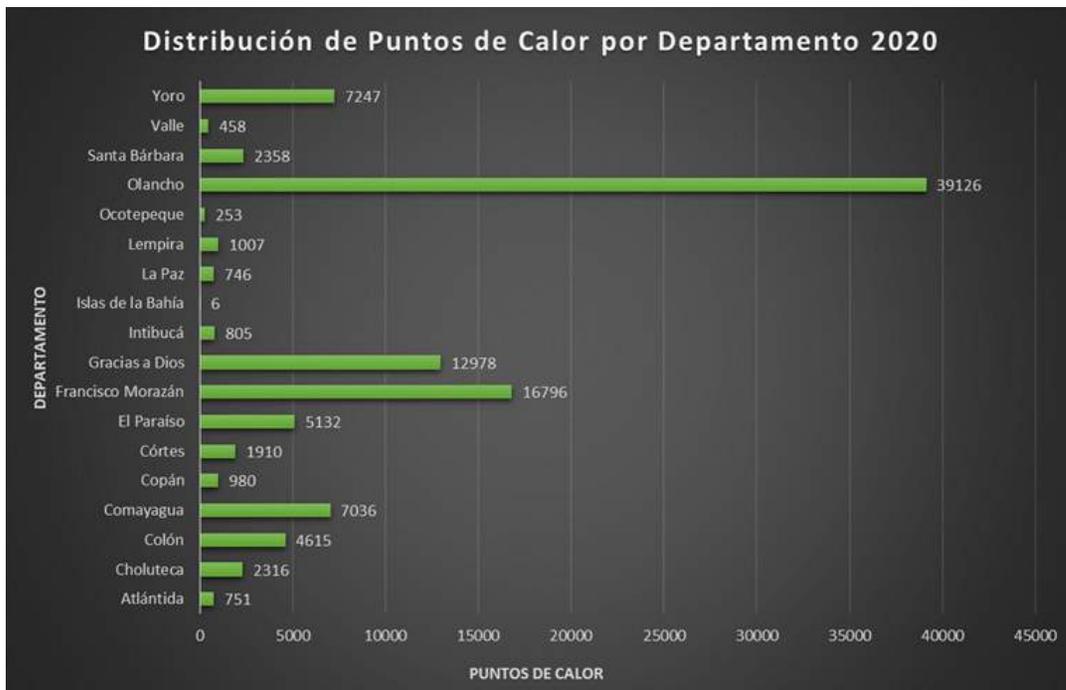


Figura 5: Distribución de puntos de calor por departamento, 2020. Fuente: Elaboración propia utilizando datos puntos de calor: (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

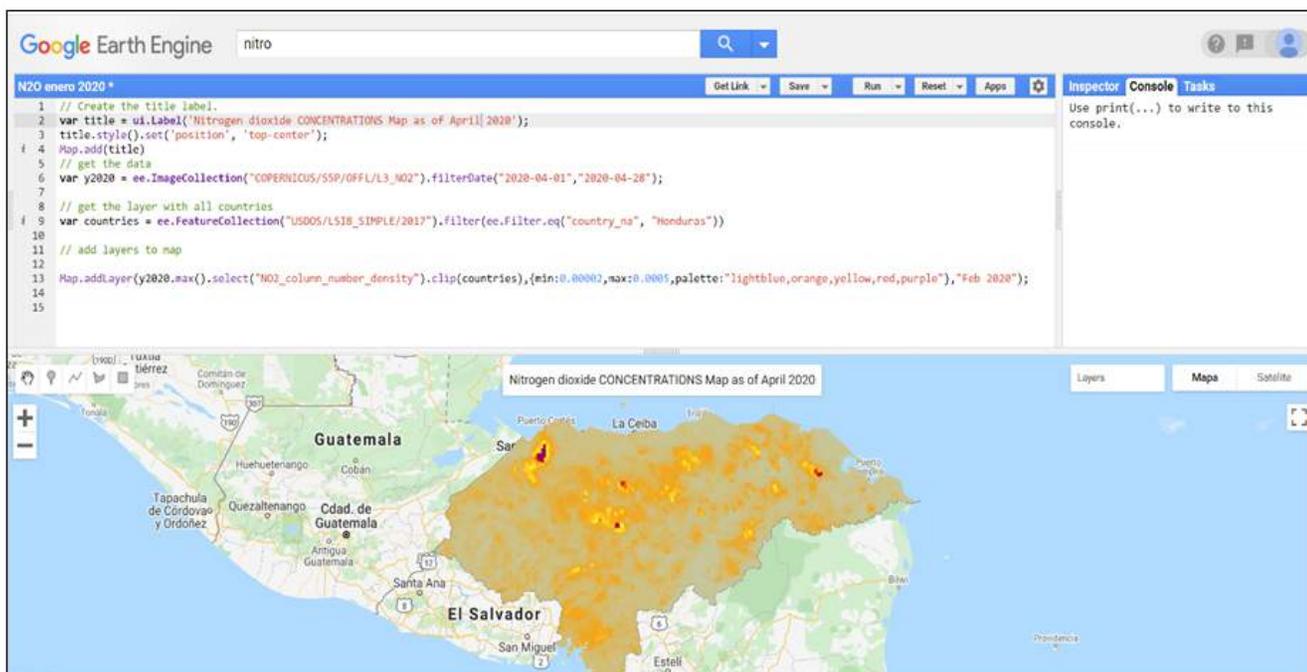


Figura 6: Plataforma de Google Earth Engine Dióxido de Nitrógeno Abril 2020 Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-5p-tropomi>

Cartografía de la distribución temporal y espacial Monóxido de Carbono

En referencia al CO se puede visualizar que la mayor concentración de este gas se observa durante el mes de abril, con mayor intensidad en los meses de abril y mayo específicamente en el departamento de Yoro, Córtes, Atlántida, el norte de Francisco Morazán y Comayagua, y el noroeste de Olancho (Figura 7).

Cartografía de la distribución temporal y espacial Dióxido de Nitrógeno

En los meses de enero, febrero, marzo se observan valores altos en las concentraciones de dióxido de nitrógeno, en los departamentos de Córtes y Francisco Morazán producto de los procesos industriales como la quema de combustibles fósiles, este problema se acentúa con los incendios forestales y quemas agrícolas durante el mes de abril en los departamentos de Yoro, Córtes, Atlántida, el norte de Francisco Morazán y Comayagua, y el noroeste de Olancho y Choluteca, reduciendo su intensidad en el mes de mayo (Ver Figura 8).

Cartografía de la distribución temporal y espacial Dióxido de azufre

Cabe destacar que los valores más elevados de dióxido de azufre se encuentran durante los meses de marzo y abril específicamente en los departamentos de Yoro, Olancho, Francisco Morazán, Santa Bárbara, Comayagua, La Paz, Intibucá, Ocotepeque, Copán y Choluteca (Ver Figura 9).

Cartografía de la distribución temporal y espacial de los Aerosoles

En referencia a los Aerosoles se puede visualizar que la mayor concentración de este gas se observa durante el mes de marzo en Choluteca, Valle, Francisco Morazán, Atlántida y el mes de abril, con mayor intensidad específicamente en el departamento de Yoro, Córtes, Atlántida, el norte de Francisco Morazán y Comayagua, y el noroeste de Olancho (Ver Figura 10).

3 Resultados

En Honduras no se tiene información de la emisión de gases producto de los incendios forestales y quemas agrícolas específicamente de la distribución espacial y temporal de estos Gases de Efecto de Invernadero (GEI), lo cual es sumamente importante para el país. “El conocimiento sobre su distribución espacial y temporal es fundamental para establecer medidas de mitigación en el marco del cambio global, y reducir sus dimensiones y afectaciones en los sectores ambiental y social” (Cruz López, 2018).

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) asociados con los incendios forestales son el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4) que favorecen el calentamiento global. El monóxido de carbono (CO) no es considerado como GEI, pero conduce a la producción de ozono O_3 en la troposfera, y tiene un impacto negativo en los seres vivos según Levine, citado por Cruz López (2018).

3.1 Variables Calidad del Aire (Monóxido de carbono (CO), Dióxido de nitrógeno (NO_2), Dióxido de azufre (SO_2) y Aerosoles)

Para la estimación de los gases a la atmósfera se utilizó la información proveniente de sensor Sentinel 5P, para lo cual se consideró la escala nacional para el análisis de 4 diferentes gases considerados para este estudio producto de los incendios forestales y las quemas agrícolas. Se descargaron 48 imágenes de satélite a través de la plataforma de Google Earth Engine (12 imágenes para los 4 gases a estudiar, Monóxido

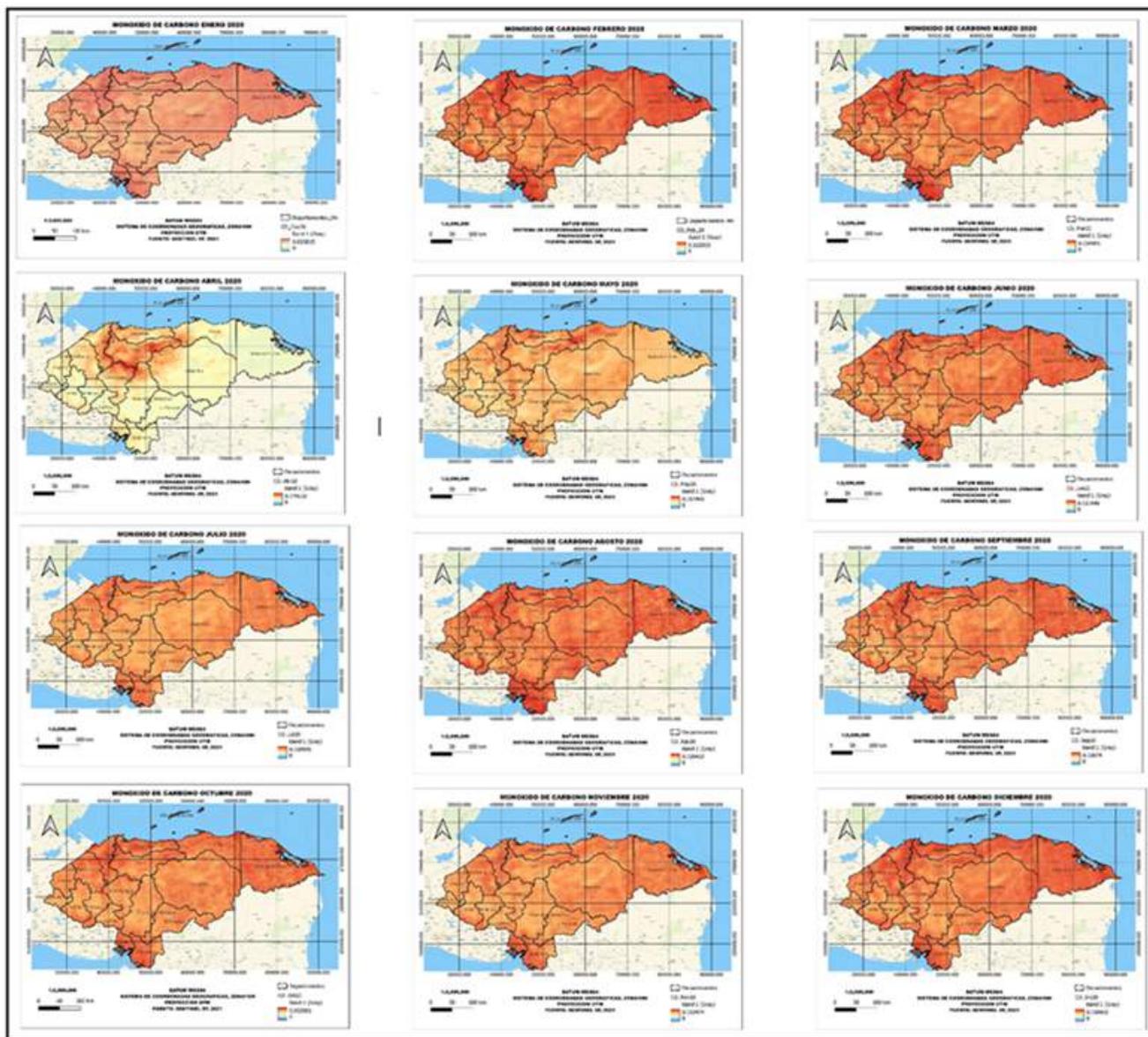


Figura 7: Distribución temporal espacial del CO₂, 2020. Fuente de datos: [Copernicus Sentinel Missions \(2021\)](#)

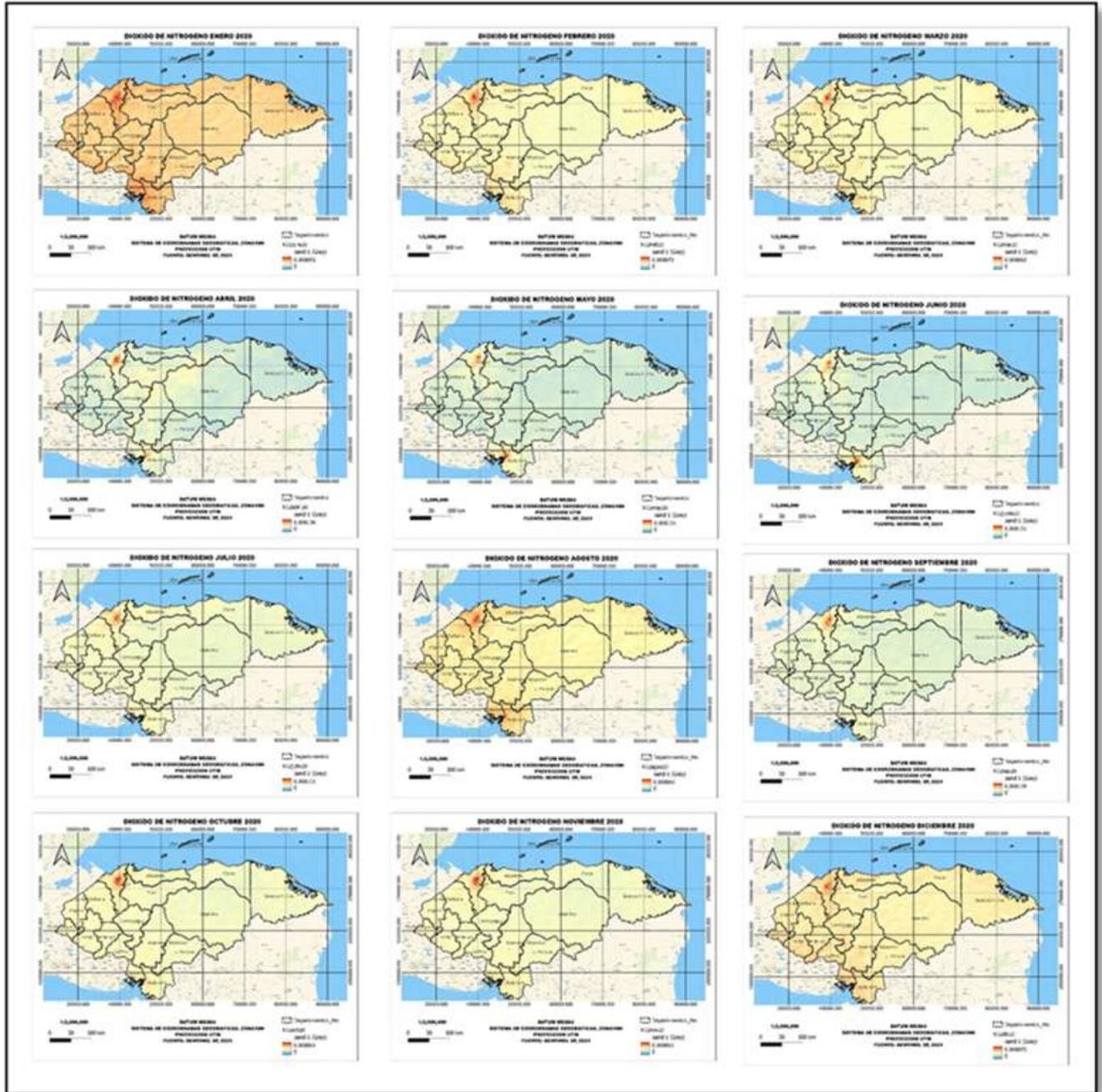


Figura 8: Distribución temporal espacial del NO₂, 2020. Fuente de datos: [Copernicus Sentinel Missions \(2021\)](#)

de carbono (CO), Dióxido de nitrógeno (NO₂), Dióxido de azufre (SO₂) y Aerosoles), las imágenes tienen una resolución espacial de 10 metros y una resolución temporal diaria. Posteriormente se realizó geoprocesamiento a través de herramientas SIG (Cortar, Disolver, intersección), para identificar la distribución espacial y temporal de estos gases por mes en cada departamento.

El análisis muestra que los departamentos más afectados en su calidad del aire producto de los incendios forestales y las quemadas agrícolas con el Monóxido de carbono (CO) fueron Olancho y Francisco Morazán

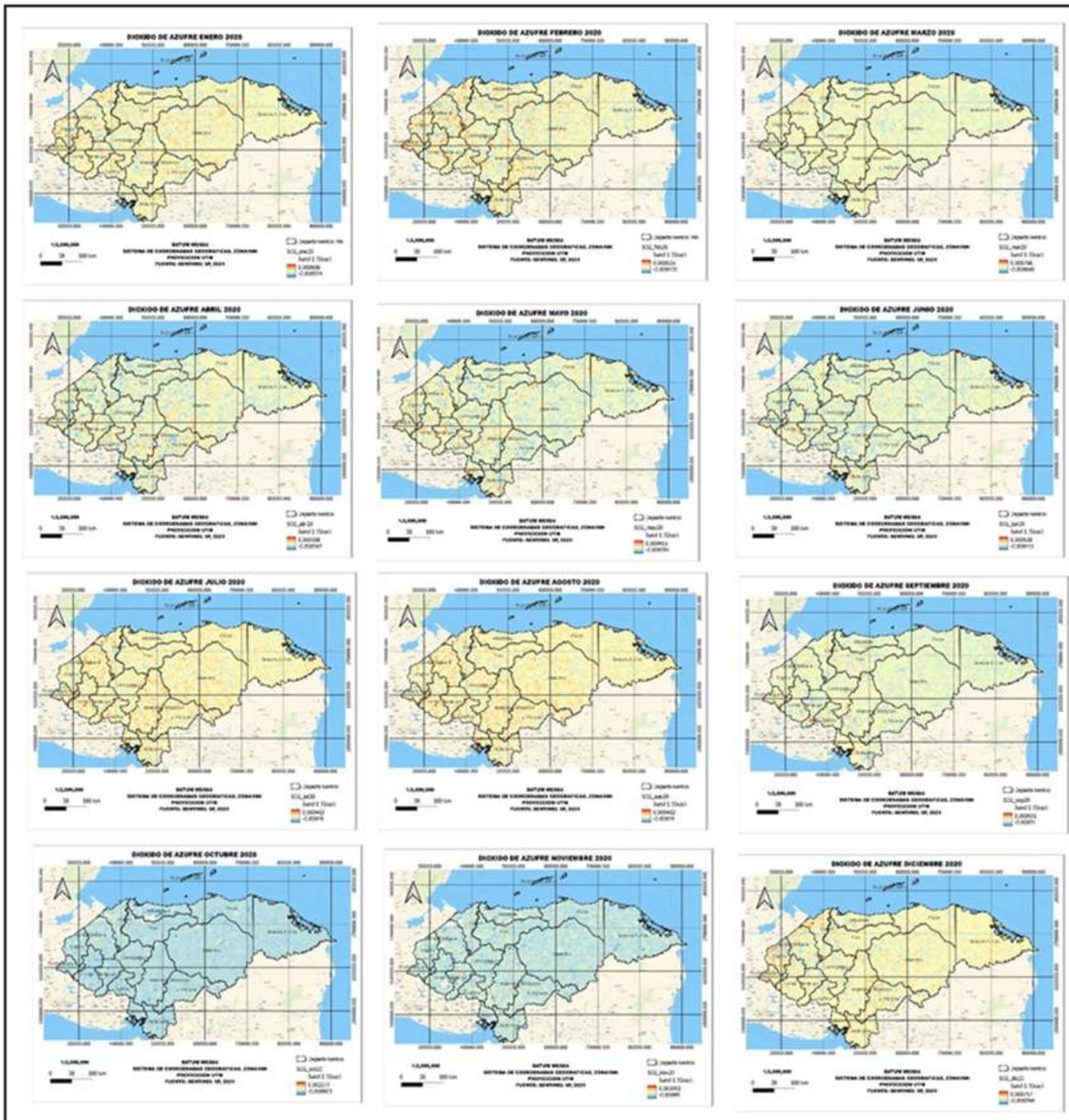


Figura 9: Distribución temporal espacial del SO_2 , 2020. Fuente de datos: Copernicus Sentinel Missions (2021)

y los dos departamentos menos afectados fueron Islas de la Bahía y Ocotepeque (Ver Figura 11).

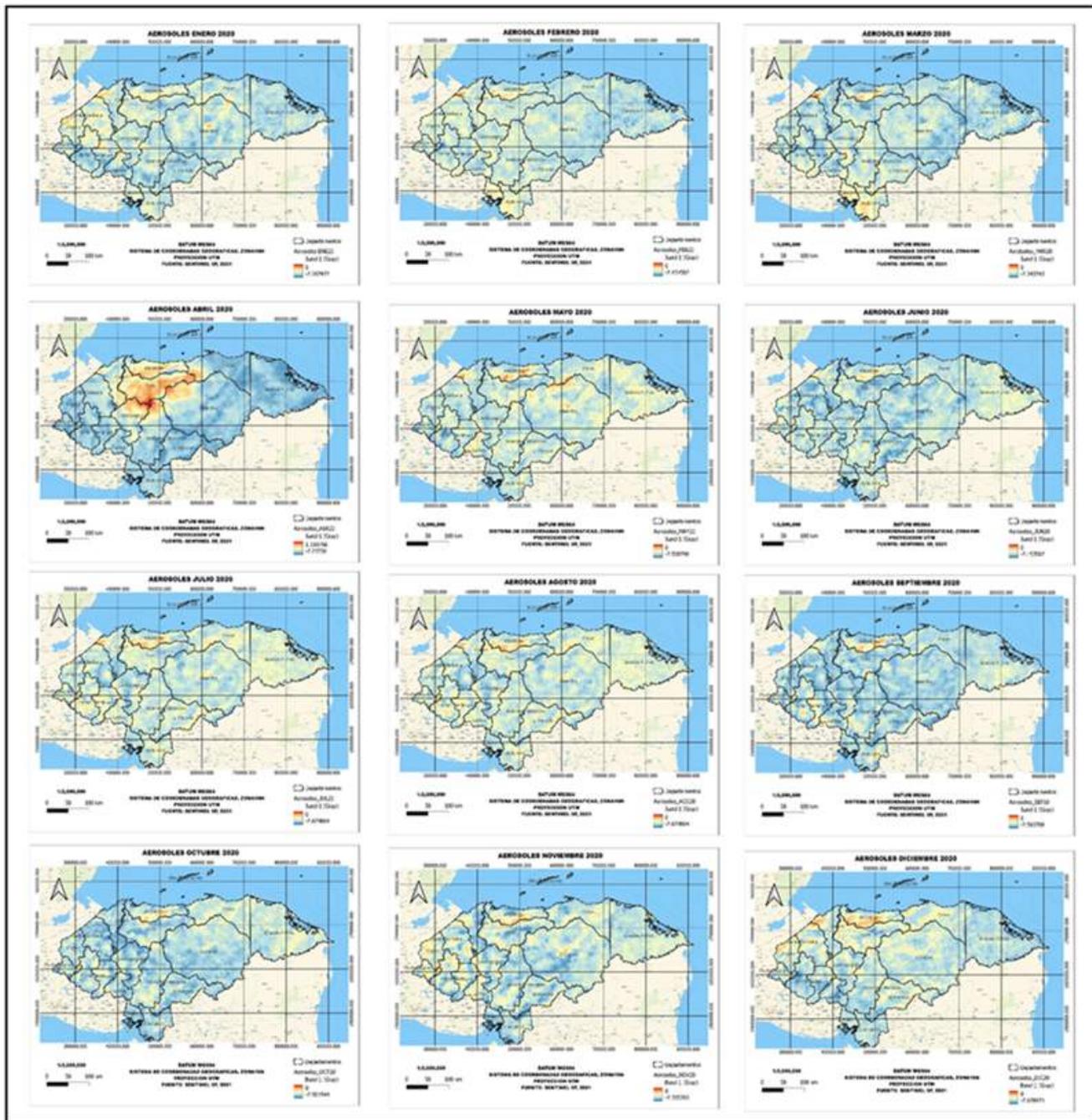


Figura 10: Distribución temporal espacial de los Aerosoles, 2020. Fuente de datos: Copernicus Sentinel Missions (2021)

En cuanto a la sumatoria total en los meses de estudio el Dióxido de nitrógeno (NO_2) presentó un alto grado de afectación en los departamentos de Olancho y Gracias a Dios, con valores más altos en los meses más problemático marzo y abril. Así mismo, los departamentos que muestran una menos afectación fueron las Islas de la Bahía y Ocatepeque (Ver Figura 12).

En lo referente al Dióxido de azufre (SO_2) Santa Bárbara y Copán son los departamentos que encabezan las mayores desviaciones estándar en los datos de afectación y los con menos afectación los departamentos

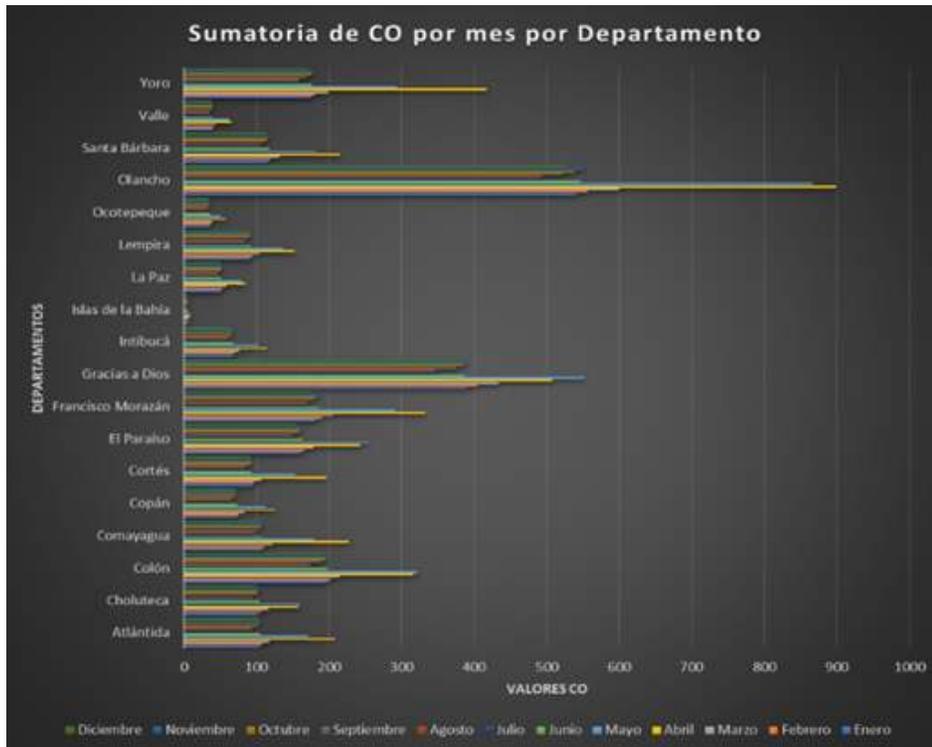


Figura 11: Sumatoria CO por departamento. Fuente: Elaboración propia. Datos CO obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021)

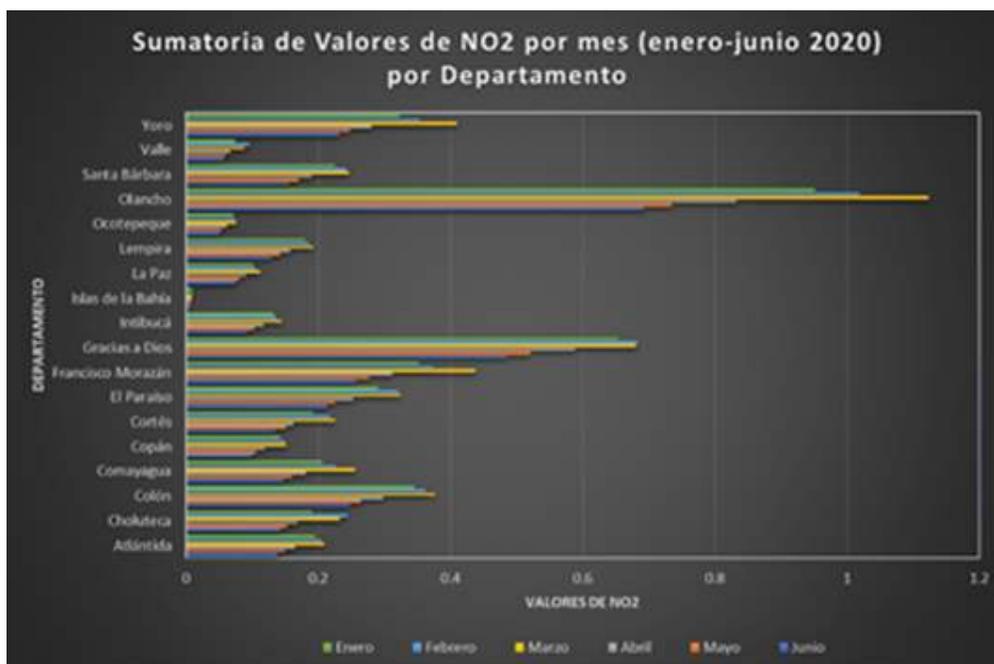


Figura 12: Sumatoria NO2 por departamento. Fuente: Elaboración propia. Datos CO obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021)

de Islas de la Bahía y Gracias a Dios (ver Figura 13) todos los datos se resumen en los mapas.

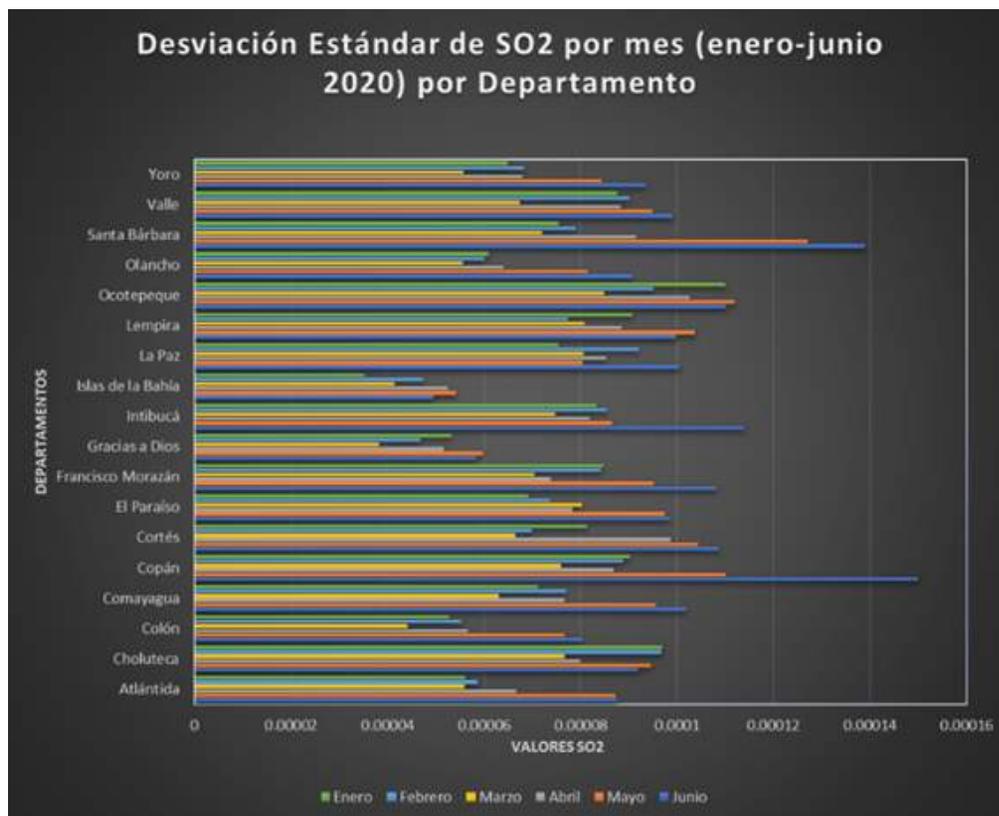


Figura 13: Sumatoria SO_2 por departamento. Fuente: Elaboración propia. Datos CO obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021)

En cuanto a los Aerosoles se encontró que los meses en los que se encuentran las mayores concentraciones es en el mes de marzo, afectando mayormente los departamentos de Francisco Morazán, Comayagua y Colón. En el caso de los departamentos menos afectados se encuentran Islas de la Bahía y Valle con menos concentración de emisiones de Aerosoles (ver Figura 14).

3.2 Variables incendios forestales y quemas agrícolas (puntos de calor)

En total se registraron 104,520 puntos de calor a lo largo del país comprendido entre los meses de enero a diciembre de 2020, considerados los meses más críticos. Los departamentos más afectados fueron Olancho, Francisco Morazán y Gracias a Dios que representan el 65.92 % del total de puntos de calor. En tanto que los departamentos menos afectados fueron Islas de la Bahía, Ocotepeque y Valle. Los puntos de calor fueron registrados por los sensores de VIIRS, JPSS-1 y NPP (ver Tabla 1).

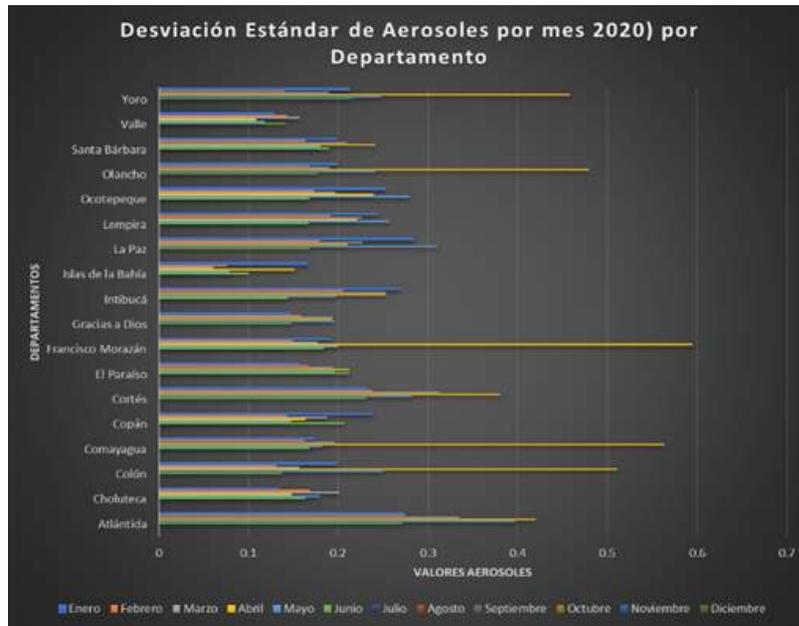


Figura 14: Sumatoria Aerosoles por departamento. Fuente: Elaboración propia. Datos Aerosoles obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021)

Tabla 1: Puntos de calor (Incendios) por departamento 2020. Fuente: Elaboración propia. Puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

| Departamento | J01-375m | NPP-375m | Total |
|-------------------|--------------|--------------|---------------|
| Atlántida | 450 | 301 | 751 |
| Choluteca | 1171 | 1145 | 2316 |
| Colón | 2802 | 1813 | 4615 |
| Comayagua | 4291 | 2745 | 7036 |
| Copán | 641 | 329 | 980 |
| Cortés | 1158 | 752 | 1910 |
| El Paraíso | 2936 | 2196 | 5132 |
| Francisco Morazán | 9837 | 6959 | 16796 |
| Gracias a Dios | 6866 | 6112 | 12978 |
| Intibucá | 474 | 331 | 805 |
| Islas de la Bahía | 2 | 4 | 6 |
| La Paz | 425 | 321 | 746 |
| Lempira | 579 | 428 | 1007 |
| Ocotepeque | 149 | 104 | 253 |
| Olancho | 22963 | 16163 | 39126 |
| Santa Bárbara | 1572 | 786 | 2358 |
| Valle | 279 | 179 | 458 |
| Yoro | 4550 | 2697 | 7247 |
| Gran Total | 61155 | 43365 | 104520 |

4 Discusión

4.1 Correlación espacial entre los puntos de calor y la calidad del aire

Al analizar los datos estadísticos se puede observar que existe una correlación entre los puntos de calor con la calidad del aire, se puede observar que los meses que muestran mayor frecuencia de puntos de calor son marzo, abril y mayo, meses que concuerdan con el aumento de los gases estudiados, según se puede observar una correlación entre las variables analizadas. La Tabla 2 y la Figura 15, muestra valores altos de correlación entre los puntos de calor y emisiones de CO en los meses de marzo, abril y mayo.

Al observar la Tabla 3 y la Figura 16 de correlación por mes entre los puntos de calor y la sumatoria de emisiones registradas por NO_2 , se encuentra una correlación alta en los meses de marzo, abril y mayo este último mes es el que presenta los valores de correlación más elevados y en junio se registra una baja en los datos con valores inferiores a los registrados en febrero.

| Mes | Correlación |
|------------|-------------|
| Enero | 0.5852 |
| Febrero | 0.5799 |
| Marzo | 0.7248 |
| Abril | 0.9069 |
| Mayo | 0.9650 |
| Junio | 0.5076 |
| Julio | 0.5155 |
| Agosto | 0.2208 |
| Septiembre | 0.9399 |
| Octubre | 0.8774 |
| Noviembre | 0.8856 |
| Diciembre | 0.5782 |

Tabla 2: Correlación puntos de calor y Sumatoria NO_2

| Mes | Correlación |
|------------|-------------|
| Enero | 0.5745 |
| Febrero | 0.5663 |
| Marzo | 0.7441 |
| Abril | 0.9195 |
| Mayo | 0.9650 |
| Junio | 0.5027 |
| Julio | 0.2750 |
| Agosto | 0.2384 |
| Septiembre | 0.9443 |
| Octubre | 0.8814 |
| Noviembre | 0.8796 |
| Diciembre | 0.5666 |

Tabla 3: Correlación por mes. Puntos de calor con Sumatoria NO_2



Figura 15: Correlación puntos de calor y CO. Fuente: Elaboración propia. Datos CO obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021). Puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)



Figura 16: Correlación puntos de calor y Sumatoria NO_2 . Fuente: Elaboración propia. Datos CO obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021). Puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

La Tabla 4 y la Figura 17 de correlación entre los puntos de calor y SO_2 muestra una correlación negativa durante todos los meses de marzo y abril en relación con la desviación estándar registrada, lo cual puede visualizarse con más en detalle en los mapas correspondientes a la distribución espacial del SO_2 .

| Mes | Correlación |
|------------|-------------|
| Enero | -0.447 |
| Febrero | -0.435 |
| Marzo | -0.274 |
| Abril | -0.274 |
| Mayo | -0.491 |
| Junio | -0.466 |
| Julio | -0.359 |
| Agosto | -0.330 |
| Septiembre | 0.204 |
| Octubre | -0.276 |
| Noviembre | 0.044 |
| Diciembre | -0.093 |



Figura 17: Correlación puntos de calor y SO_2 . Fuente: Elaboración propia. Datos Aerosoles obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021). Puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

Tabla 4: Correlación por mes. Puntos de Calor con desviación estándar SO_2

El análisis correlativo de los puntos de calor y la desviación estándar de aerosoles muestra valores altos en el mes de abril, lo cual se puede observar en el mapa de mes de abril en donde se observa una fuerte concentración de aerosoles en el mes en referencia. (Ver Tabla 5 y Figura 18).

| Mes | Correlación |
|------------|-------------|
| Enero | -0.5157 |
| Febrero | -0.0689 |
| Marzo | -0.1186 |
| Abril | 0.5137 |
| Mayo | 0.0278 |
| Junio | 0.0389 |
| Julio | 0.3151 |
| Agosto | 0.1995 |
| Septiembre | -0.1110 |
| Octubre | -0.0152 |
| Noviembre | -0.4055 |
| Diciembre | -0.3200 |



Figura 18: Correlación puntos de calor y Desviación estándar Aerosoles. Fuente: Elaboración propia. Datos Aerosoles obtenidos de Copernicus Sentinel Missions (2021). Puntos de calor (Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, 2021)

Tabla 5: Correlación por mes. Puntos de calor con desviación Estándar Aerosoles.

5 Conclusiones

Como resultado se encontró que existe una correlación de los puntos de calor (Incendios) que afecta la calidad del aire, está se ve alterada con el incremento de las emisiones de CO , NO_2 , SO_2 y Aerosoles producto de los incendios y quemas agrícolas, el aumento se dio especialmente en los meses de marzo,

abril y parte de mayo, y agosto y septiembre para el CO , NO_2 en abril, mayo, agosto y septiembre. SO_2 marzo, abril, y septiembre, para los Aerosoles el incremento se manifiesta fuertemente en el mes de abril y julio durante el año 2020.

Al realizar la cartografía de los incendios forestales y quemas agrícolas en Honduras durante los meses de enero a diciembre de 2020, se encontró que los departamentos que presentan mayor densidad de puntos de calor y por ende mayor afectación son: Olancho, Francisco Morazán y Gracias a Dios, que representan un porcentaje de 65.92 % del total de puntos de calor detectados por los sensores, los que muestran un mayor nivel de afectación en la cobertura de bosque con un 75.12 % y pastos y cultivos con un 20.55 % del área de estudio. Así mismo, los departamentos que presentaron un número menor de puntos de calor fueron Islas de la Bahía y Ocotepeque.

La distribución espacial de la contaminación del aire en Honduras durante los meses más críticos de estudio se encuentra ubicada en los departamentos de Olancho y Gracias a Dios y Francisco Morazán para NO_2 y CO , Santa Barbara y Copan con valores elevados SO_2 y Francisco Morazán y Comayagua con niveles altos de Aerosoles.

Los departamentos menos afectados por la distribución espacial de los gases son Islas de la Bahía y Ocotepeque para CO y NO_2 , Islas de la Bahía y Gracias a Dios con niveles de SO_2 , y con los Aerosoles los departamentos de Islas de la Bahía y Valle.

Al Comparar los diferentes cambios en la afectación del aire producto de los incendios ocurridos en los meses de estudio en Honduras durante el año 2020, los incrementos en la distribución se concentran con en los meses de marzo, abril y mayo. Así mismo, los meses del año en los que el país se vio más afectado por la mayor frecuencia de puntos de calor fueron en los meses de abril y mayo, estos datos concuerdan con el aumento de los niveles de afectación de la calidad del aire, por lo que se puede concluir que existe una correlación directa de los incendios forestales y las quemas agrícolas que afecta la calidad del aire.

El uso de herramientas de Teledetección ofrece grandes ventajas en la que destacan la cobertura que se puede cubrir para estos análisis, la exactitud, la resolución temporal y sobre todo el costo de las imágenes, lo que permite acceder con facilidad a estas herramientas que permiten hacer estos estudios posteriormente de la ocurrencia de los incendios.

6 Referencias

- Chuvieco, E. (2015). *Fundamentals of satellite remote sensing*. (A. Huete, Ed.). 1a. Edición. CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/b18954>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad (2021). Sistema de Alerta Temprana de Incendios. Sitio web: <http://incendios1.conabio.gob.mx/>.
- Copernicus Sentinel Missions (2021). S5P Applications. Obtenido de: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-5p-tropomi>.
- Cruz López, M. I. (2018). *Uso de datos satelitales para estimar emisiones por quema de biomasa en México*. Tesis doctoral, Programa de Maestría y Doctorado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Filonchik, M. y Yan, H. (2018). *Urban Air Pollution Monitoring by Ground-Based Stations and Satellite Data*. Springer Cham. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-78045-0>.
- GEE (2020). Sentinel-5P NRTI NO2: Near Real-Time Nitrogen Dioxide. Earth Engine Data Catalog. Sitio web: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_NRTI_L3_NO2.
- Global Forest Watch (2020). Honduras Deforestation Rates & Statistics . Obtenido de <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/HND/?category=fires%23firesAlerts>.
- Goldammer, J. G., Statheropoulos, M., y Andreae, M. O. (2008). Impacts of Vegetation Fire Emissions on the Environment, Human Health, and Security: A Global Perspective. En Bytnerowicz, A., Arbaugh, M. J., Riebau, A. R., y Andersen, C., (Eds.), *Wildland Fires and Air Pollution*, volumen 8 de *Developments in Environmental Science*, pp. 3–36. Elsevier. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(08\)00001-6](https://doi.org/10.1016/S1474-8177(08)00001-6).
- Lutgens, F., Tarbuck, E., y Herman, R. (2019). *The atmosphere : an introduction to meteorology*. Pearson. ISBN: 9780134758589, 0134758587.
- Organización Mundial de la Salud (2020). Newsroom / Air pollution. Obtenido de: <https://www.who.int/news-room/air-pollution>.
- SIGMOF. (2021). Anuario forestal: Instituto de conservación forestal. Obtenido de: https://sigmof.icf.gob.hn/?page_id=7264.
- Smith, W. H. (1981). *Air Pollution and Forests: Interactions between Air Contaminants and Forest Ecosystems*. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3296-4>.
- US EPA (2021). Glosario de Términos C. Consultado el 20 de octubre de 2021 en <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-c>.
- Zhongchao Tan (2014). *Air Pollution and Greenhouse Gases: From Basic Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control*. Springer Singapore. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-287-212-8>.

RELACIÓN DE LA COBERTURA DE SUELOS Y DESLIZAMIENTOS EN ÁREA URBANA LAS VEGAS, SANTA BÁRBARA 2014-2018

Liza Mariel Kafati Vásquez^{1,*}

¹Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio

Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Recibido: 30-01-2024

Aceptado: 06-05-2024

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v15i1.18124>

RESUMEN

En este trabajo de investigación se analiza la influencia de los cambios y dinámica en la cobertura de suelo sobre la susceptibilidad a los eventos de deslizamientos de tierra para escenarios pasados y futuros en el área urbana del Municipio de Las Vegas, municipio que ha tenido crecimiento urbano significativo y descontrolado en los últimos años. Con este propósito se pretenden elaborar inventarios de deslizamientos y mapas de cobertura de suelos para los años 2014 y 2016 y poder determinar los años de mayor deterioro y/o degradados en escenarios de periodos futuros, identificando las áreas más y menos boscosas del Municipio de Las Vegas, Departamento de Santa Bárbara. Se pretende analizar los eventos de probabilidad de deslizamientos de tierra en dos periodos de seis años hasta el año 2018, y algunos datos relevantes entre el mismo periodo de tiempo. Todos estos avances nos permitirán conocer si, en áreas menos boscosas, con cambios de usos de suelo, ganadería extensiva e intensiva, crecimiento urbano y actividades antropogénicas las cuales provocan un impacto en las condiciones del suelo y sus propiedades, se genera un aumento en la susceptibilidad a los deslizamientos. Los datos de los resultados pueden utilizarse como apoyo para los lineamientos del ordenamiento territorial, zonificación urbana y gestión de riesgos y amenazas naturales para reducir el riesgo a deslizamientos en el área urbana del Municipio de Las Vegas.

Palabras clave: Análisis multitemporal, análisis de riesgos, deslizamientos de tierra, cobertura de suelo, deforestación y cambios de uso de suelos.

ABSTRACT

In this research work, the influence of changes and dynamics in land cover on the susceptibility to landslide events for past and future scenarios in the urban area of the Municipality of Las Vegas, a municipality that has had urban growth, is analyzed. significant and uncontrolled in recent years. With this purpose, the aim is to prepare landslide inventories and soil cover maps for the years 2014 and 2016 and to be able to determine the years of greatest deterioration and/or degraded in scenarios of future periods, identifying the most and least forested areas of the Municipality of Las Vegas, Department of Santa Barbara. The aim is to analyze the probability events of landslides in two six-year periods until 2018, and some relevant data between the same period of time. All these advances will allow us to know if, in less forested areas, with changes in land use, extensive and intensive livestock farming, urban growth and anthropogenic activities which cause an impact on the conditions of the soil and its properties, an increase in the susceptibility to landslides. The data from the results can be used as support for territorial planning guidelines, urban zoning and risk and natural hazard management to reduce the risk of landslides in the urban area of the Municipality of Las Vegas.

Keywords: Multitemporal analysis, risk analysis, landslides, land cover, deforestation and land use changes.

*lizakv2003@hotmail.com,  <https://orcid.org/0009-0004-2784-5609>

1 **Introducción**

Honduras por su situación geográfica y las características socioeconómicas que presenta, es considerado entre los 5 países más vulnerables del mundo ante las amenazas naturales, ya que su ubicación favorece el paso de fenómenos climáticos extremos (SINAGER, 2013).

La principal problemática identificada y que afronta el Municipio de Las Vegas es una serie de eventualidades a riesgos y amenazas naturales de tipo meteorológico, hidrometeorológico y eventos a deslizamientos. Actualmente en el país se registran eventos de amenazas naturales a nivel nacional y municipal. Los principales eventos a nivel nacional son las inundaciones, deslizamientos o movimientos de masa, movimientos sísmicos, mismos que son eventos derivados en su mayoría por actividades antropogénicas y cambios en la cobertura de suelo y sus usos (COPECO, 2017).

En los últimos años a nivel nacional y municipal se han presentado eventos mayormente de riesgos por inundaciones y deslizamientos, siendo las causas y elementos detonantes que los desarrollan las intensas precipitaciones, la topografía de estudio, tipo de suelos, pendientes y actividades de origen antropogénico.

Actualmente, el uso y cobertura del suelo es uno de los detonantes fundamentales para producir eventos de riesgos y amenazas naturales, ya que la alteración de la cobertura vegetal y forestal y la materia orgánica presente son factores que influyen en reacción y comportamiento del suelo. Por otro lado, la geología juega un papel fundamental en el movimiento de masa ya que el suelo está compuesto de material poroso, arenas, limos o arcilla, factores que con las precipitaciones son detonantes para provocar deslizamientos, por lo tanto, para que esto no suceda es necesario una cobertura vegetal sana y vigorosa. Se estima que el 12 % de la lluvia puede comportarse de diferente manera atendiendo el tipo de suelo o geología de la que esté compuesta el área de interés (SINAGER, 2013).

1.1 **Área de estudio**

El Municipio de Las Vegas se encuentra localizado al Sur del departamento de Santa Bárbara, ubicado en la región nor-occidental de Honduras, comparte el Lago de Yojoa, con los Municipios de Santa Cruz de Yojoa, Cortés, el Municipio de Taulabé, Comayagua y San Pedro de Zacapa (Ver Figura 1). Se encuentra ubicado en la montaña de Santa Bárbara que pertenece a la Sierra de Santa Bárbara, siendo sus principales elevaciones la montaña del cielo con una elevación de 2.528 msnm (metros sobre el nivel medio del mar) y la montaña de La Leona con 2,400 msnm.

El mapa expuesto ilustra el área de estudio en el Municipio de Las Vegas, también muestra límites del Municipio de Las Vegas en el Departamento de Santa Bárbara. El área cuenta con una extensión territorial de 123 km² y presenta una topografía en su mayoría irregular, salvo una pequeña parte del noreste y la franja Este colindante con el Lago de Yojoa donde su topografía es más plana. Así mismo, por la variedad de elevaciones se cuenta con biodiversidad de flora y fauna, diversas fuentes de agua, diferentes ecosistemas y variedad climática.

1.2 **Justificación de la Investigación**

La finalidad de la investigación es poder identificar las áreas de mayor susceptibilidad, riesgos a deslizamientos en las coberturas de suelos en el Municipio de Las Vegas Santa Barbara, debido a que será de utilidad a nivel Municipal a través de las unidades de riesgos y unidad catastral para poder identificar las áreas de mayor riesgo en las aldeas y casco urbano y posteriormente ubicar a la población en áreas adecuadas dentro del Municipio y casco urbano.

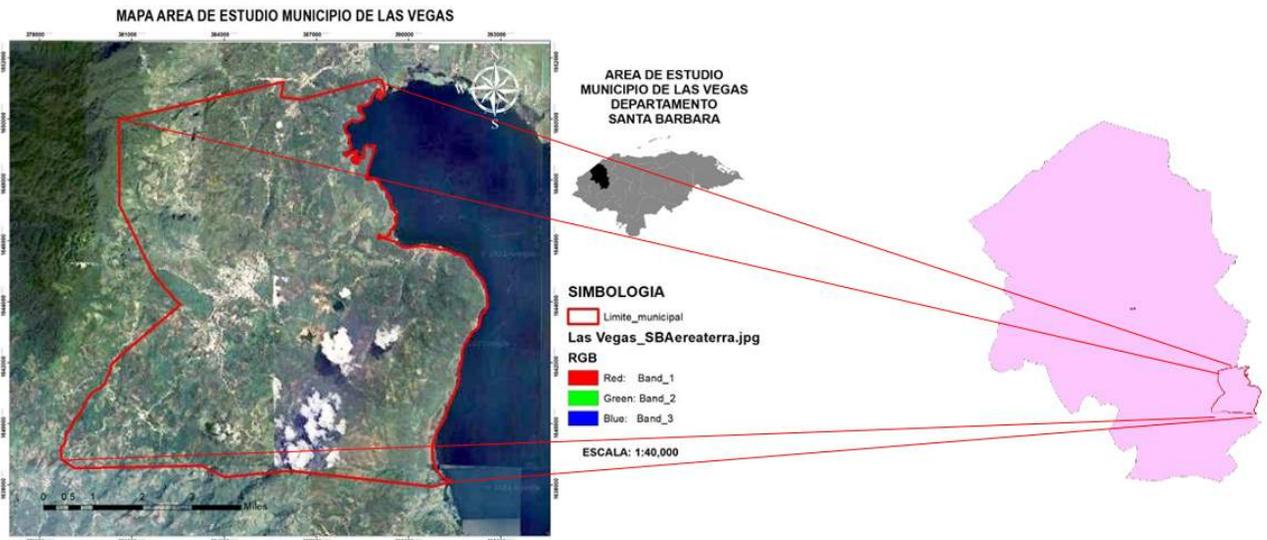


Figura 1: Límites área de estudio en Las Vegas Santa, Bárbara. Fuente: Terra Incógnita, Base MapArcgis. Elaboración propia 2023.

La justificación de la investigación se presenta debido a que el área de interés cuenta con una ubicación estratégica dentro del Departamento de Santa Bárbara, pues se ha podido identificar que se encuentra en las cercanías de zonas de importancia ambiental como la cuenca del Lago de Yojoa, montaña de Santa Bárbara y otras áreas de importancia ambiental y económicas para el Municipio y el País, y que todas estas variables conjugadas forman parte de la óptica y análisis en esta investigación.

Primeramente, se realizó un análisis espacial a escala Municipal global para poder identificar la distribución urbana y densidad poblacional y posteriormente verificar detalladamente el análisis a escala en el sector urbano el cual contiene mayor concentración poblacional (asentamiento humano) en el cual va se ha identificado un crecimiento significativo acelerado en los últimos años. Este crecimiento poblacional viene acompañado de actividades antropogénicas de subsistencia como la agricultura, ganadería y en menor escala a actividades de construcción y comerciales.

Es importante mencionar que la presente investigación está orientada y focalizado en un trabajo de investigación de tema conocido, pero con pocos datos o resultados relacionados entre sí, es decir, los resultados obtenidos son originales de la relación de la cobertura de suelos, condiciones del suelo y eventos de deslizamientos o movimientos de masa.

2 Metodología

El objetivo principal de esta investigación fue realizar un análisis del territorio (área de estudio) durante los últimos años (periodo de estudio 2014-2016-2018-2020), utilizando insumos cartográficos, mapeo básico nacional, Landsat8 con resoluciones 30x30, 15x15, imágenes digitalizadas a nivel nacional en el periodo de estudio (Ariza, 2013), y posteriormente de una forma estructurada visualizar los resultados del análisis y así poder obtener el conocimiento o información del sitio en estudio.

2.1 Metodología empleada

Al mismo tiempo fue realizado un análisis multitemporal en el área de estudio. Se consideraron análisis de

mapas de uso de suelo de distintas fuentes para visualizar una comparación las cuales fueron bases para describir las dinámicas y los cambios en el área directa. De igual forma se utilizaron Modelos Digitales de Elevación (DEM) de alta resolución con el fin de analizar la morfología de la superficie de la zona en estudio, características del terreno, la interpretación visual y el análisis semiautomático de diferentes tipos de imágenes de satélite, incluyendo imágenes pancromáticas a escala de grises. De igual forma se utilizaron mapas de deslizamientos o movimientos de masa generados por estudios geomorfológicos y litológicos, mapas tipo vector de las pendientes, y el tipo de geología en el área de estudio.

La manera estructurada en la que se llegó a construir la metodología de esta investigación y la que ha sido de ayuda y apoyo para encontrar la solución a la problemática del municipio consistió en un proceso de análisis de tres fases de investigativas. Estas fases consisten en la revisión inicial, causas y efectos de la investigación y las variables utilizadas.

La metodología principal utilizada en la investigación fue el Análisis espacial Multitemporal de imágenes satelitales, seguidamente un análisis cuantitativo de uso de suelo y análisis de la Cobertura de la Tierra más reciente en el Municipio de Las Vegas, Santa Bárbara.

La forma de recolección de datos de la investigación cuantitativa fue realizada con el procesamiento de datos a nivel regional de vulnerabilidad y amenazas a nivel Municipal y posteriormente para cada una de las aldeas del Municipio.

En la figura 2 se muestran las fases tomadas en la investigación: Desde la fase I, en la que se ha tenido en cuenta la recopilación de información nacional, regional y local, la fase II, con la Identificación de las áreas de estudio, y la fase III con el análisis de resultados de la investigación.



Figura 2: Diagrama de las fases de Investigación. Fuente: Elaboración y estructuración propia, 2023.

En la metodología de análisis espacial se utilizaron imágenes Landsat8 OLI TIRS con 30 m y 15 m de resolución espacial que fueron fundamentales para poder realizar el análisis de cobertura sana y no sana del Municipio. Estas imágenes están activas desde febrero de 2013 e incorpora dos sensores: el Operational Land Imager (OLI) con 11 bandas que incluyen una imagen pancromática y, por otro lado, el Thermal Infrared Sensor Sensor (TIRS) con dos bandas y es operado por el USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Estas imágenes fueron utilizadas realizando correcciones atmosféricas y de coberturas de los años 2013, 2014, 2016 el procesamiento de imágenes satelitales de la fuente Earth Explorer utilizando las clases de uso de suelos de la región (U.S. Geological Survey, 2018).

Posteriormente, se utilizó el Software de ArcGis, utilizando un sistema de referencia WGS_84 UTM Zona 16N, complementario a todos los softwares e imágenes. Se aprovecharon mapas de cobertura de suelos y cambio de uso y estudios de campo del área de interés de fuentes nacionales e internacionales oficiales de Honduras, como el mapa mosaico forestal por parte del Instituto de Conservación Forestal ICF/SIGMOF y fuentes de coberturas y usos de suelo del Comité Permanente de Contingencias COPECO.

A continuación, se describen los elementos analizados en la metodología:

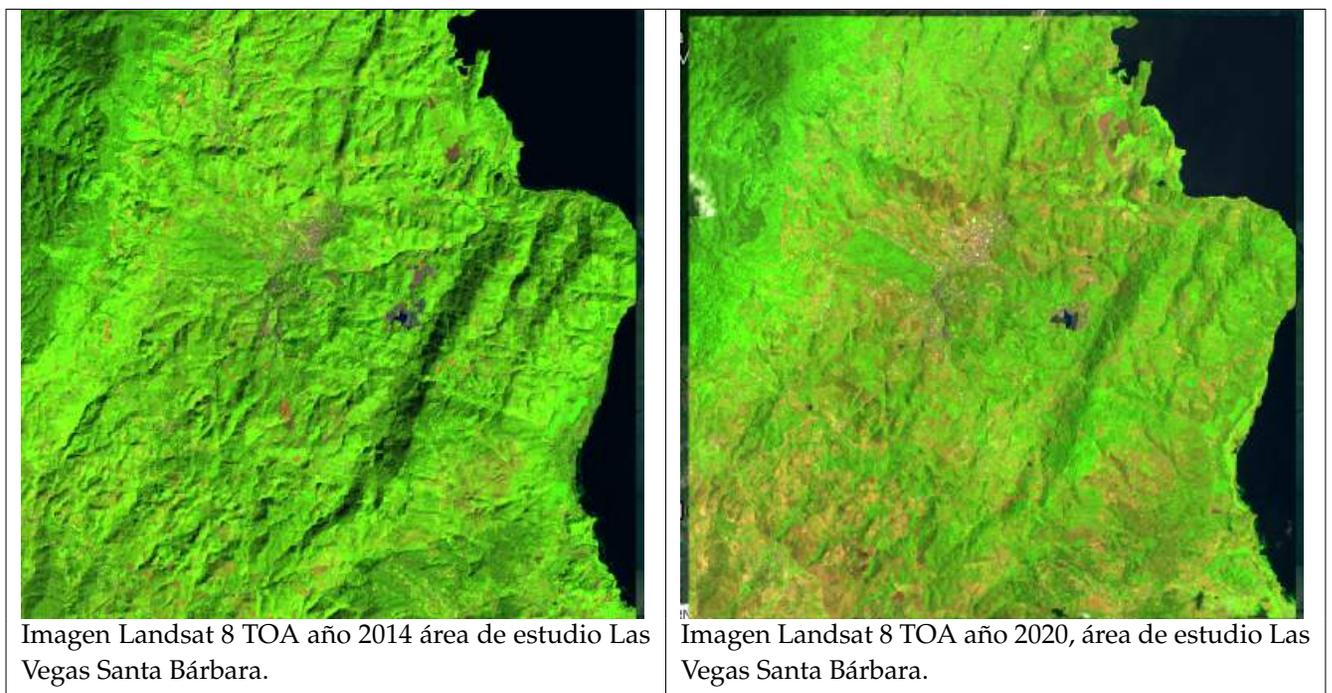
2.1.1 Procesamiento digital de imágenes satelitales Landsat 8

Las imágenes utilizadas en esta investigación fueron las imágenes Landsat 8 de los sensores OLI/TIRS las cuales fueron descargadas de la plataforma USGS Earth Explorer para el año 2014, 2016, 2018 ya que para los demás años de estudio no se encontraron imágenes de calidad. Al mismo tiempo se le realizó un mejoramiento de resolución a la banda pancromática o banda Pansharpening para tener una mejor calidad de resolución espacial obteniendo una mejor resolución espacial (Ariza, 2013).

La Tabla 1 muestra el cambio de todas bandas 1,2,3 RGB para poder identificar cobertura vegetal sana, realizando la combinación de bandas 5,6,2 cobertura no sana con la combinación 6,5,4, vegetación vigorosa, agricultura con la combinación de bandas 6,5,2, penetración atmosférica con la combinación 7,6,5 y áreas urbanas. Debido a que no incorpora bandas del espectro visible, esta combinación también reduce las influencias atmosféricas en la imagen, por lo tanto, en este caso no fue necesario realizar correcciones atmosféricas a las imágenes.

En la Tabla 1 se puede observar Imágenes Landsat 8 USGS periodo 2014-2020, imágenes satelitales con corrección atmosférica para visualizar cobertura de vegetal saludable y/o sana, solamente se representan de estos años ya que no se encontraron imágenes de calidad.

Tabla 1: Imágenes Landsat 8 USGS periodo 2014-2020, imágenes satelitales con corrección atmosférica para visualizar cobertura de vegetal saludable y/o sana. Fuente: Imágenes Landsat USGS, elaboración propia, octubre 2021.



2.1.2 Tratamiento de las imágenes y software utilizado

Se realizó mejoramiento de las imágenes satelitales Landsat 8 y correcciones atmosféricas utilizando el Arcgis, y la herramienta Analysis Tools en donde se pueden visualizar las imágenes ráster y .tif utilizando la opción Pan Sharpen para mejoramiento y calidad de imágenes tratamiento de imágenes como la resolución y las opciones de ArcToolbox agregando las opciones de reflectancia y corrección atmosférica para las imágenes Landsat8. Se obtiene la imagen de mayor calidad y resolución realizando el procedimiento de la combinación de la imagen RGB más la imagen pancromática de máxima resolución.

Breve esquema metodológico para explicar el tratamiento de las imágenes:

Obtención de las imágenes satelitales <https://earthexplorer.usgs.gov/Landsat8OLI/TIRS> Level 1 y Level 2 para los años en estudio 2014-2018-2020. Se muestran las Figuras 3 y 4 con la selección de las imágenes satelitales.

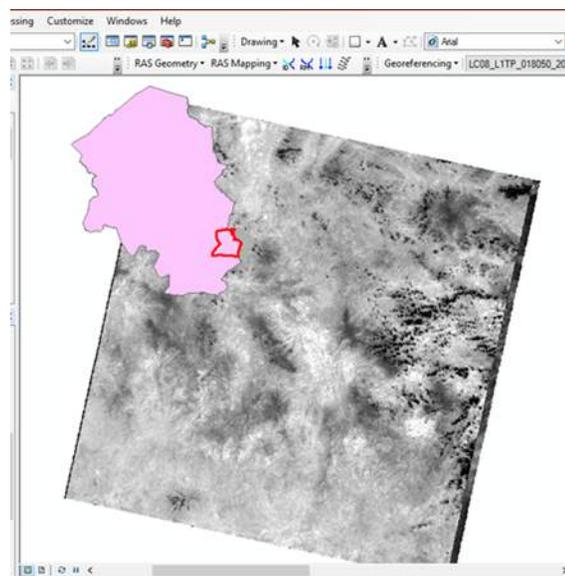


Figura 3: Selección y tratamiento de las imágenes satelitales 2023, imagen Landsat 8 LC08_L1TP_018050_20141006_20200910_02_T1.TIF. Fuente: Elaboración y procesamiento 2024.

Se seleccionó esta imagen L1TP debido a que las mismas se encuentran radiométrica y geométricamente corregidas y están disponibles en formato GeoTIFF. Sin embargo, se requirió realizar un mejoramiento de resolución y calidad de la imagen con los siguientes pasos:

Realizar Composite bands RGB con la opción Analysis Tool, posteriormente se utilizó la banda pancromática para realizar el mejoramiento de calidad con la opción Pan Sharpen como se muestra en la Figura 5 en la siguiente ilustración.

Se conoce que los deslizamientos superficiales (flujos de lodos y flujos de detritos) son asociados a lluvias intensas de corta duración, mientras que los deslizamientos profundos se relacionan principalmente con lluvias acumuladas en largos periodos (Ramos *et al.*, 2015).

Deslizamiento: Los deslizamientos son movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, la cual ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura. Con frecuencia, la formación de grietas transversales es la primera señal de la ocurrencia de este tipo de movimientos, las cuales se localizan en la zona que ocupará el escarpe principal (Cruden y Varnes, 1996).

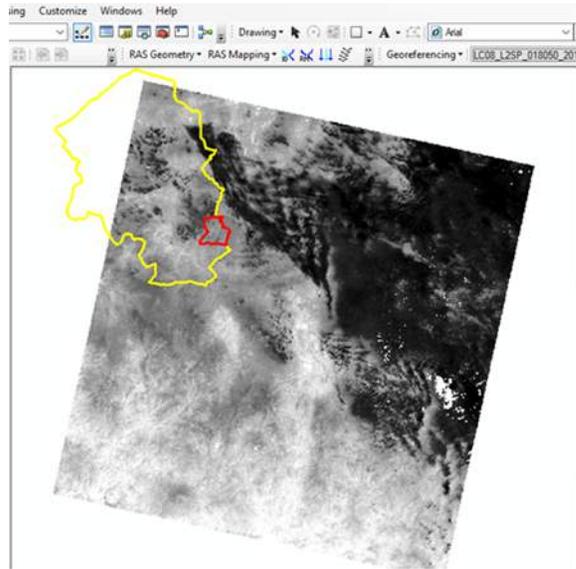


Figura 4: Selección y tratamiento de las imágenes satelitales, LC08_L2SP_018050_20180219_20200902_02_T1_ST.TIF. Fuente: Elaboración y procesamiento 2024.

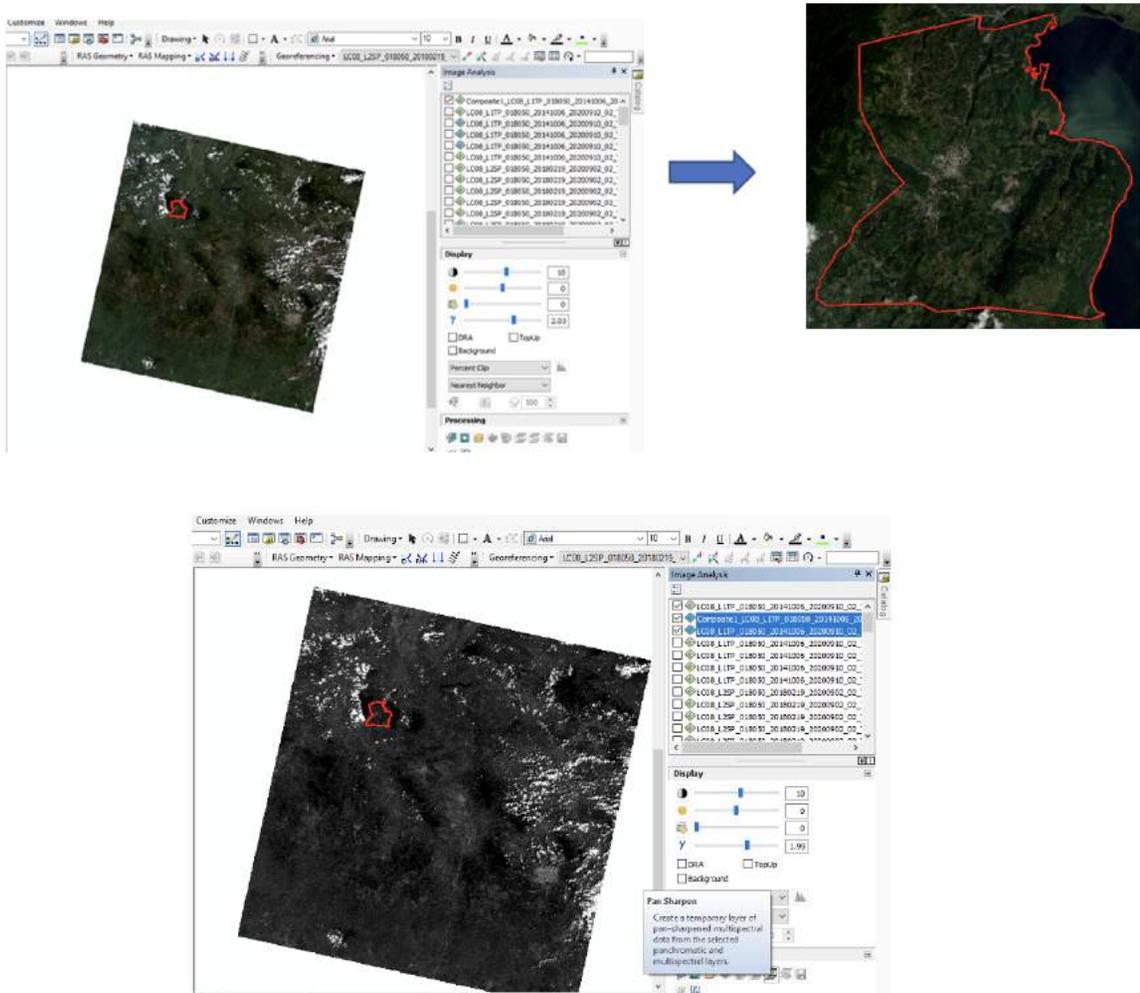


Figura 5: Composición de las bandas RGB. Fuente: Elaboración y procesamiento 2024.

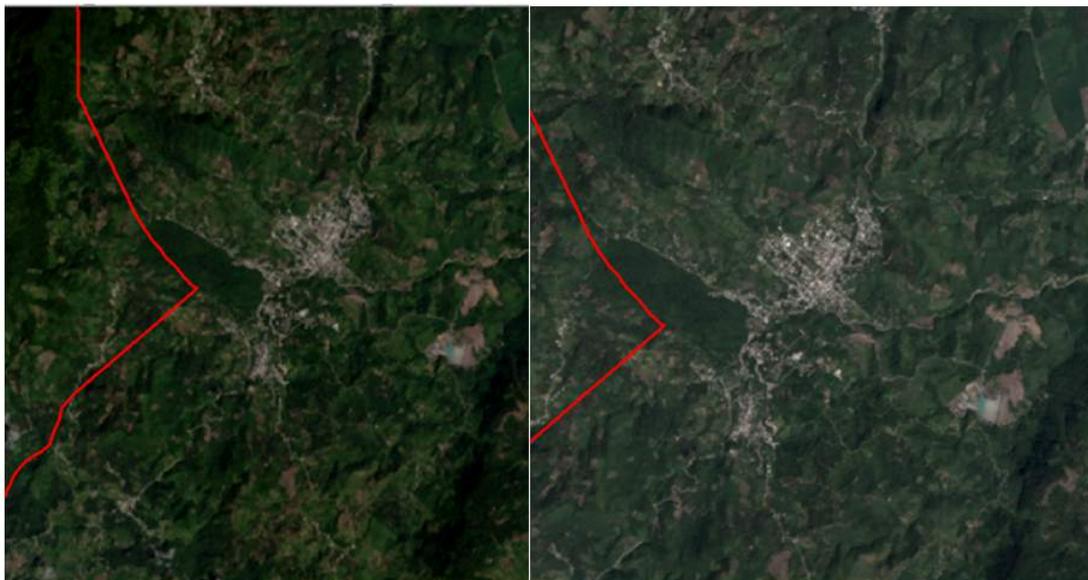


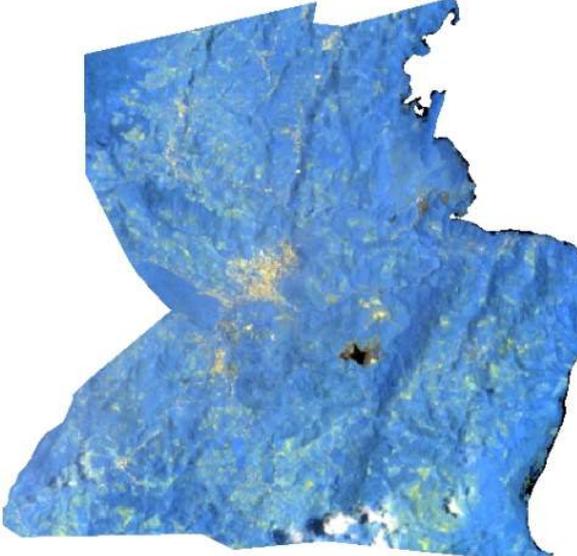
Figura 6: Resultado procesamiento de imágenes. Fuente: Elaboración y procesamiento 2024, Resultado imagen Landsat 8 OLI/TIRS L1 Acquired 10-06-2014 (Path 018, Row 058).

Frentes de socavación: Una zona de llanura de inundación se puede identificar en el campo observando la superficie del suelo para detectar indicios geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos (forma del relieve), pedológicos (suelos), edafológicos (vegetación) y otros, como por ejemplo humedad del terreno, áreas con aguas empozadas, socavación de suelos, terrazas de aluviones, sedimentos, zonas con vegetación baja o vegetación dañada y líneas de escombros (Suárez, 2013).

Pendientes: Pendientes <de 2 %: presentan un potencial de sedimentación y/o inundaciones estáticas. Pendientes entre 2 y 6 %: presentan un potencial para inundaciones dinámicas y erosión. Pendientes >6 %: presentan un alto potencial erosivo. Se pueden formar avalanchas torrenciales (Suárez, 2013).

A continuación, se presenta en la tabla 2, la representación de las combinaciones de imágenes RGB, para poder visualizar los cambios en la vegetación del área de estudio, como áreas urbanas, agricultura, vegetación vigorosa y no vigorosa.

Tabla 2: Procesamiento y cambio de bandas RGB Landsat8 OLI/TIRS C2 L1 2020 para poder visualizar vegetación sana, vigorosa, área urbana en el área de estudio. Fuente: USGS Earth Explorer Imágenes Satelitales LANDSAT8 OLI/TIRS 2014, 2016 y 2018. Elaboración propia.

| | |
|--|--|
|  <p>LC08_L2SP_018050_20180814_20200831_02_T1_SR_B7.TIF RGB: 5, 4, 3 Falso color</p> |  <p>LC08_L2SP_018050_20180814_20200831_02_T1_SR.TIF RGB: 4, 3, 2 Color verdadero</p> |
|  <p>LC08_L2SP_018050_20180814_20200831_02_T1_SR_B7.TIF RGB: 7, 6, 5 Falso color</p> <p>LC08_L1TP_018050_20141006_20200910_02_T1</p> | <p>Vegetación sana a nivel municipal RGB: 5, 6, 2</p> <p>LC08_L2SP_018050_20180814_20200831_02_T1_SR_B7.TIF</p> <p>Usos agrícolas 2014</p>  |



RGB: 4, 3, 2
Color natural 2014

Análisis de vegetación sana

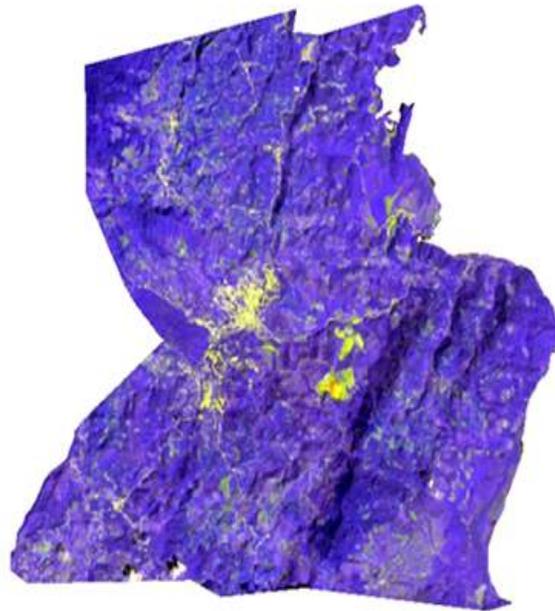


LC08_L1TP_018050_20141006_20200910_02_T1
RGB: 6, 5, 2

Análisis de vegetación



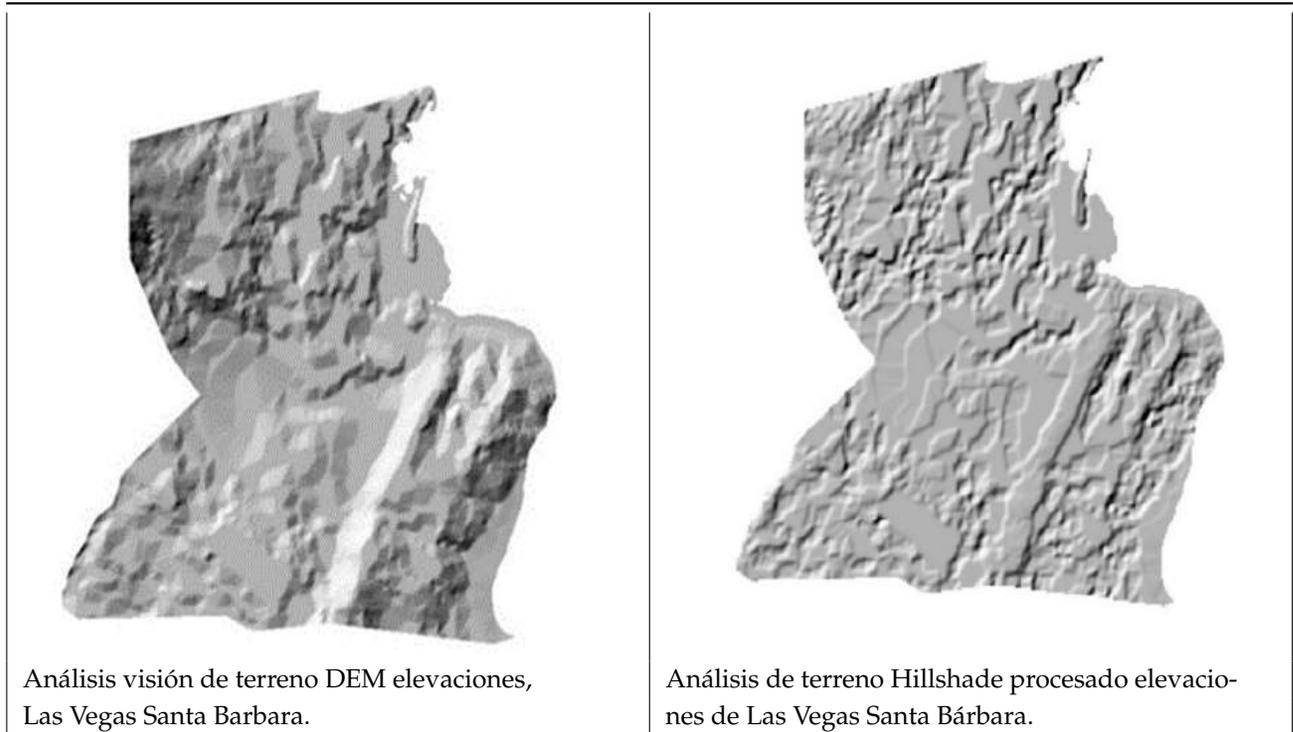
LC08_L1TP_018050_20141006_20200910_02_T1
RGB: 5, 6, 2



LC08_L1TP_018050_20141006_20200910_02_T1
RGB: 6, 5, 4

A continuación, en la Tabla 3, se describe el análisis de terreno del área en estudio, elevaciones y análisis Hillshade sombras de terreno. En este sentido se pueden observar en una simple observación las diferencias en las elevaciones y sombras de terreno

Tabla 3: Análisis de terreno DEM Elevaciones y análisis de Hillshade Municipio de Las Vegas Santa Bárbara.
Fuente: Imagen satelital USGS, elaboración propia, mayo 2022.



En la Tabla 3 adicionalmente se muestra el análisis de terreno y visión de elevaciones de Las Vegas. Aplicado a visualizar superficies, elevaciones y cobertura de suelos cabe mencionar que en general los Modelos Digitales de Elevación son de suma importancia para identificar las propiedades del terreno. El entendimiento de dichas propiedades conlleva a una mejor toma de decisiones en el área de Las Vegas. Este ráster permite obtener una visión más clara del terreno o área de estudio.

3 Resultados

Según datos del “Atlas Municipal y Cobertura de la Tierra 2016” en las distintas categorías de tipo de bosque del área de estudio un 47.99 % corresponde a áreas de bosque siendo un total de 3,729.10 hectáreas las que corresponden a un total de 48 % de áreas de bosque y 58 % clasificadas como áreas de no bosque.

Desde el punto de vista de la clasificación realizada en el año 2018 y oficializada en el año 2019, por parte del Instituto de Conservación Forestal ICF/SIGMOF, las coberturas de bosque en el área de estudio se clasifican los usos de suelo predominantes como cafetales, bosques de conífera denso, vegetación secundaria húmeda, zonas urbanas discontinuas y áreas de pastos y cultivos (ICF Honduras, 2023).

Con base en el procesamiento del mapa forestal mosaico del año 2018 el área de estudio cuenta con una cobertura vegetal de 12 clases de uso. Se pudo determinar que el área que cubre mayor cobertura en área es la clase de bosque latifoliado húmedo con un total de 6,568.88 hectáreas, la clase en segundo lugar con mayor área es la vegetación secundaria húmeda con un área de 1,010.44 Hectáreas.

En la Tabla 4 se describen los datos de pérdidas y ganancias de bosque. En el año 2012-2016 fue de 119 Ha de pérdida de bosque deciduo (1.30 ha) y latifoliado (117.82 ha), y de ganancia un total de 10 ha de Bosque Deciduo (4.15 ha) y Latifoliado (6.31 ha), causando mayores pérdidas en el bosque latifoliado. Se describe que las pérdidas y ganancias de bosques a nivel municipal para los años 2012-2016 de los tipos de bosque latifoliado fueron de aproximadamente 118 Has, Bosque Deciduo de 1.30 Has, para los años 2016-2018 Bosque Latifoliado 33.51 Has, Bosque Deciduo 1.38 has.

Tabla 4: Dinámica de pérdidas y ganancias de cobertura de Bosque a nivel Municipal de Las Vegas, Santa Bárbara.
 Fuente: Elaboración propia con base en datos ICF/SIGMOF 2014-2016-2018.

| Período año | Municipio | Bosque Latifoliado (Has) | Bosque Deciduo (Has) | Pérdida Total (Has) | Ganancia Total (Has) |
|-------------|-----------|--------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 2000-2006 | Las Vegas | 21.35 | 32.64 | 54 | 0 |
| 2006-2012 | Las Vegas | 56.94 | 0.49 | 57 | 0 |
| 2012-2016 | Las Vegas | 117.82 | 1.30 | 119 | 0 |
| 2016-2018 | Las Vegas | 33.51 | 1.38 | 35 | 0 |

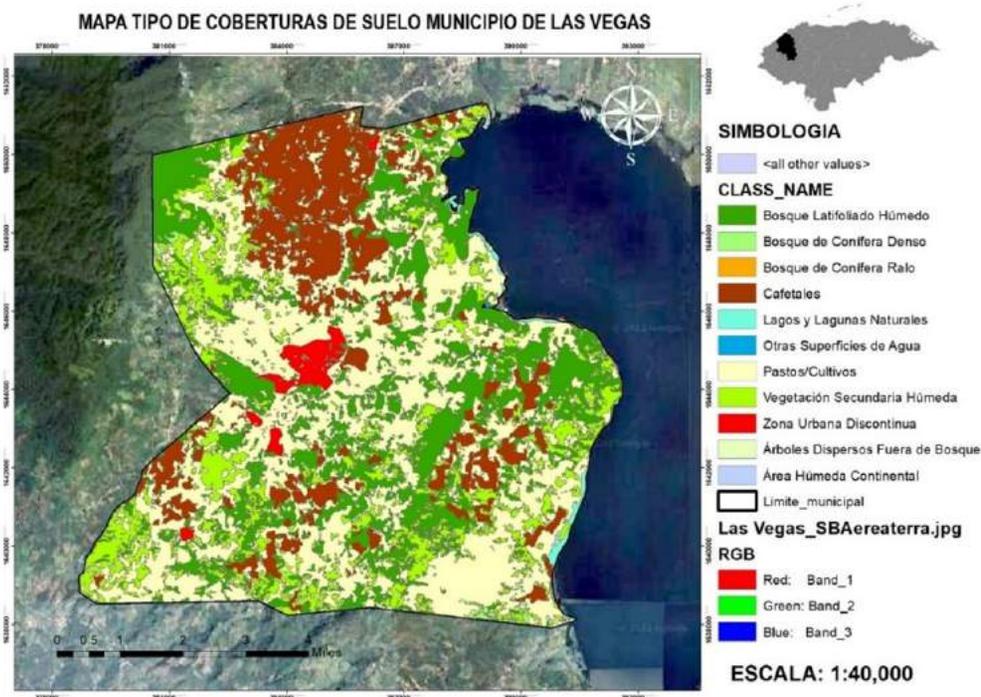


Figura 7: Representación tipos de Cobertura de Suelos nivel Municipal Las Vegas, Santa Bárbara. Fuente: Información fotografías aéreas Terra Incógnita, tipos de coberturas de suelo mapa mosaico (ICF) en área de estudio, Escala 1:40,000, octubre 2022.

En la Figura 7 se muestra que la aldea con mayor intervención de uso de suelos pastos y cultivos es El Sauce con 1,278.677 Has y un área de 12.786 m², y el área de bosque latifoliado húmedo de 4,975.401 Has y 49.754 m².

Tabla 5: Áreas de clases de cobertura de suelos y relación porcentual a nivel Municipal. Fuente: Clasificación de cobertura de suelos elaboración propia con base en el Mapa mosaico Forestal ([Instituto de Conservación Forestal, 2018](#)).

| No. | Clases de uso de suelos | Área (Has) | Porcentaje % | Perímetro |
|-----|-----------------------------------|------------|--------------|------------|
| 1 | Árboles dispersos | 90.527 | 0.735 | 107,933.36 |
| 2 | Área húmeda continental | 9.806 | 0.079 | 5,505.55 |
| 3 | Bosque de conífera denso | 35.954 | 0.292 | 13,701.40 |
| 4 | Bosque de conífera ralo | 1.891 | 0.015 | 2,018.83 |
| 5 | Bosque latifoliado húmedo | 6,568.88 | 53.401 | 953,591.69 |
| 6 | Cafetales | 1,979.255 | 16.090 | 312,106.66 |
| 7 | Lagos y lagunas naturales de agua | 44.636 | 0.362 | 25,561.71 |
| 8 | Palma africana | 39.418 | 0.320 | 5,799.33 |
| 9 | Pastos / cultivos | 2,316.436 | 18.831 | 704,870.94 |
| 10 | Ríos y otras superficies de agua | 1.226 | 0.009 | 817.37 |
| 11 | Vegetación secundaria húmeda | 1,010.438 | 8.214 | 700,244.55 |
| 12 | Zona urbana contínua | 202.486 | 1.646 | 42,424.21 |

En la Tabla 5 se pudo determinar que los resultados generados demuestran que la clase de uso de suelos con mayor cobertura en el área de estudio es la de bosque latifoliado húmedo con un área total de 6,568.88 hectáreas y un porcentaje de 53.40 % del área de interés, lo que significa que el área territorial urbana y rural está compuesto en su mayoría de Bosque Latifoliado Húmedo por lo que las áreas de susceptibilidades a deslizamientos se encuentran en esas áreas del Municipio de Las Vegas, se puede visualizar en los mapas los cuales representan estas zonas ubicadas en áreas rurales y urbanas.

La mayor parte de las áreas en los municipios representan susceptibilidades a deslizamientos o movimientos de masa. El  rea urbana se encuentra en niveles bajos a muy bajos de amenaza ya que se encuentra en pendientes relativamente planas con rangos de 0-15 %.

De igual forma se pudo determinar que la aldea de El Sauce es la que cuenta con mayores susceptibilidades a deslizamientos en áreas de pendientes pronunciadas. De igual forma la Aldea de San José de Los Andes ubicada al norte del Municipio (ver Figura 8).

En la Figura 9 se puede verificar la susceptibilidad a deslizamientos y la división política de aldeas, siendo la aldea el Sauce la de mayor extensión territorial, con niveles de deslizamientos bajos, altos y muy alto, originadas por las diferencias en las áreas de pendientes. A nivel Municipal se pudo identificar que la aldea El Sauce cuenta con el relieve más irregular y pendientes más pronunciadas del municipio en comparación con todas las aldeas que rodean el área de estudio.

En la Tabla 6 se muestra la clasificación del tipo de evento en relación al tipo de geología del área de estudio, los niveles de amenazas y las áreas aproximadas a las que los eventos se reflejan los niveles de amenazas, siendo el tipo de geología más abundante en la zona las formaciones de calizas del grupo de Yojoa.

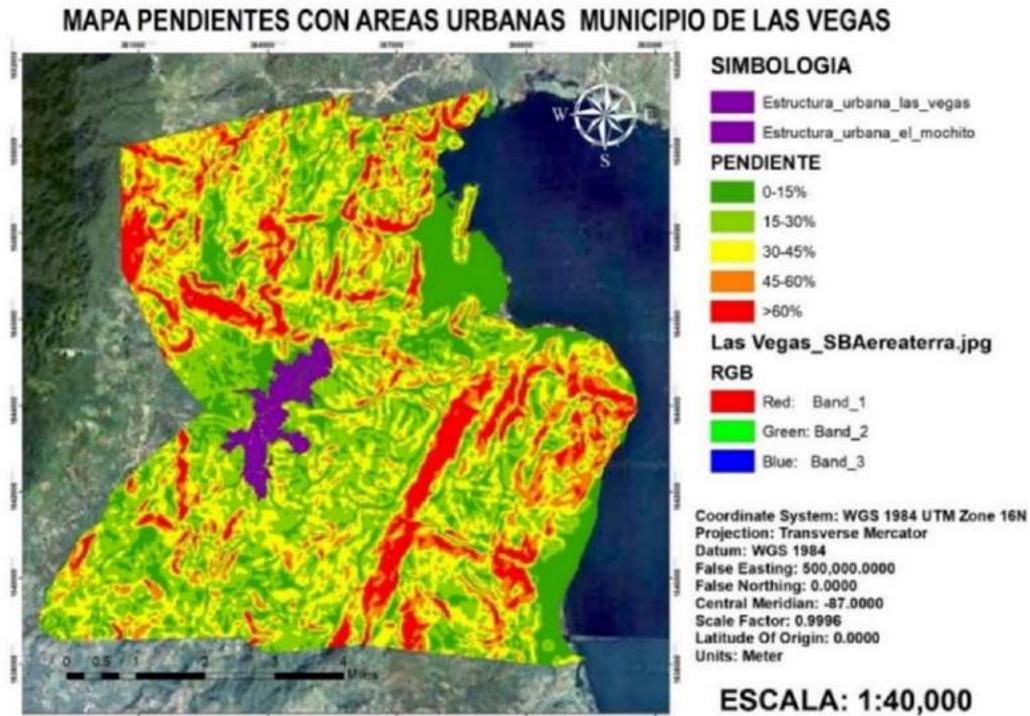


Figura 8: Pendientes nivel Municipal, Las Vegas Santa Barbara. Fuente: Información fotografías aéreas Terra In-cógnita, pendientes Atlas Municipal de Honduras en área de estudio, Escala 1:40,000, elaboración propia, octubre 2022.

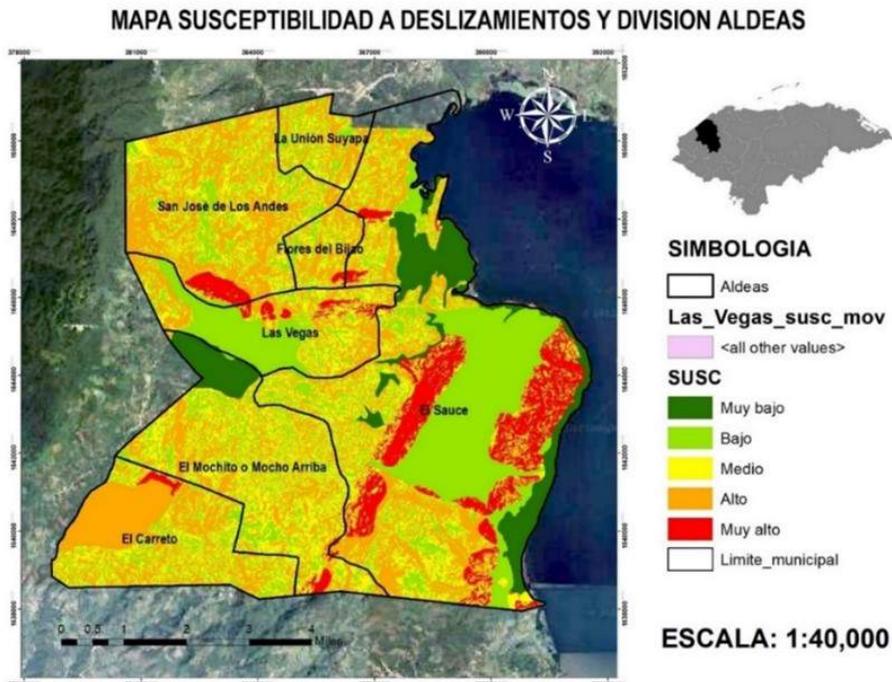


Figura 9: Pendientes nivel Municipal, Las Vegas Santa Barbara. Fuente: Información fotografías aéreas Terra In-cógnita, pendientes Atlas Municipal de Honduras en área de estudio, Escala 1:40,000, elaboración propia, octubre 2022.

Tabla 6: Relación con tipo de geología, niveles de amenazas a deslizamientos en el Municipio. Fuente: Clasificación de amenazas a deslizamientos, elaboración propia con base en el Comité Permanente de Contingencias (COPECO) 2019.

| Clasificación del evento | Total de clases | Tipo de geología | Nivel de amenaza | Tipo | Área Has |
|--------------------------|-----------------|---|------------------|-----------------|----------|
| Deslizamiento | 20 | Formaciones de calizas (Grupo de Yojoa) | Alta | Área de Impacto | 125.872 |
| Frente socavación | 7 | Formaciones de calizas (Grupo de Yojoa) | Baja | Área de Impacto | 30.630 |

Tabla 7: Relación entre conteo de clases de deslizamientos y niveles de amenaza Las Vegas, Santa Bárbara. Fuente: Elaboración propia, base datos SIG Las Vegas Comité Permanente de Contingencias (COPECO).

| FID | Amenaza | Conteo de clases |
|--------|---------|------------------|
| 0 | Alta | 15 |
| 1 | Baja | 2 |
| 2 | Media | 10 |
| Total: | | 27 |

De acuerdo con el análisis multitemporal de las coberturas de la tierra y tomando una comparación del año 2014 versus el año 2018, es decir un análisis multitemporal de seis años, las coberturas que presentaron pérdidas determinadas por disminución de área son las zonas de pastos y cultivos y espacios naturales. Actualmente se pudo identificar mediante análisis SIG y fuentes oficiales de investigación que las áreas en donde predomina la susceptibilidad de deslizamientos son superficies ubicadas en áreas de usos de suelos de pastos y cultivos, matorrales, bosques mixtos, agricultura tradicional y áreas de pastizales y sabanas.

En la Tabla 6 se describe el recuento de los deslizamientos en el tipo de geología a nivel Municipal y se pudo observar que existen mayores eventos de deslizamientos en las formaciones de calizas del Grupo Yojoa cubriendo una mayor área de impacto a nivel municipal.

4 Discusión

Los niveles de susceptibilidad a deslizamientos del Municipio de Las Vegas se clasifican entre niveles medio, alto y muy alto, los cuales se concentran mayormente en los sectores de altas pendientes en el Municipio, generándose un mayor índice en el extremo sureste del municipio, y en las áreas de mayores pendientes del municipio las cuales están ubicadas en los sectores norte y este del área de estudio.

Así mismo debido a las bajas pendientes que se presentan principalmente en el casco urbano del municipio y extremo sur este, se localizan niveles de susceptibilidad muy bajos a deslizamientos. En la Tabla 7 se describe la relación entre deslizamientos y niveles de amenazas nivel municipal.

Se pudo determinar que el área del municipio cuenta con dos clases de eventos a deslizamientos y frentes de socavación, los cuales están ubicados en su mayoría a los tipos de suelos de formaciones de calizas



Figura 10: Viviendas Destruídas + Viviendas Afectadas en el 2014. Fuente: Viviendas Destruídas + Viviendas Afectadas, Municipio de Las Vegas Santa Barbara (Sendai Framework, 2015).

(Grupo Yojoa), con niveles de amenazas altas y en los frentes de socavación con amenazas bajas, en la clasificación de deslizamiento cuenta con un área de 125.87 Hectáreas y los frentes de socavación con 30.63 hectáreas (ver Tabla 6).

Una de las limitantes en el estudio fue la escasa y desactualizada información base sobre amenazas y riesgos en el municipio, por lo que, una de las implicaciones en el transcurso de los años es el crecimiento urbano descontrolado en áreas y zonas inadecuadas para viviendas, ubicación de estructuras urbanas en áreas de amenazas naturales, asentamientos humanos y por ende crecimiento del territorio de forma desordenada.

Los barrios y colonias más afectados y con vulnerabilidades en niveles altos a deslizamientos son la aldea El Carreto y la aldea El Sauce, las cuales cuentan con la mayor extensión territorial del Municipio de Las Vegas a nivel de aldea. En cuanto al cambio de coberturas en la zona urbana en expansión se pudo encontrar que el bosque latifoliado húmedo está siendo sustituido por los pastos y cultivos en el municipio (ver Figura 5).

A continuación, se muestra Viviendas Destruídas + Viviendas Afectadas en el 2014 producto de los eventos a deslizamientos en el Municipio de Las Vegas Santa Barbara (ver Figura 10).

5 Conclusiones

- El área del Municipio de Las Vegas cuenta con áreas vulnerables a deslizamientos en cercanías del casco urbano de la aldea Las Vegas, por lo que se debe de considerar una zonificación territorial de áreas de mayor susceptibilidad y amenaza, lo cual permite establecer zonas de riesgo con la finalidad de promover la construcción de todo tipo de proyectos en zonas seguras, tomando en consideración las elevaciones, pendientes máximas y mínimas para la construcción en terrenos inclinados. Estos eventos en el área de estudio se han incrementado mayormente por actividades antropogénicas y en menor escala de forma natural. Los barrios y colonias más afectados y con vulnerabilidades altas a deslizamientos son la aldea El Carreto, y la aldea El Sauce la cual cuenta con la mayor ex-

tensión territorial del Municipio de Las Vegas. A continuación, en la Figura 11 se puede observar la división de aldeas y eventos a deslizamientos del Municipio de Las Vegas, Santa Bárbara.

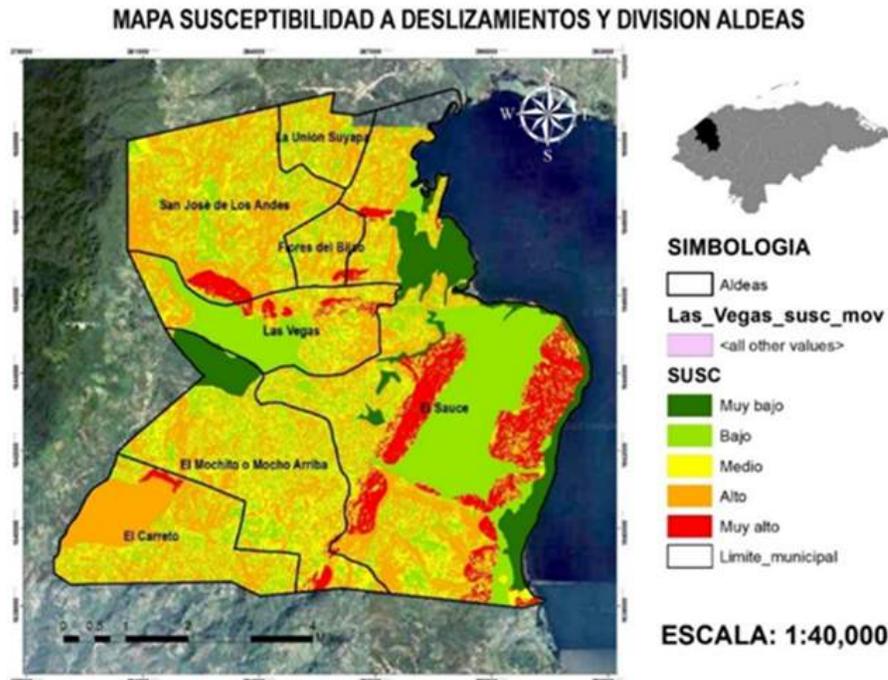


Figura 11: Susceptibilidad a deslizamientos y división política de aldeas, Las Vegas Santa Bárbara. Fuente: Base-map Terra Incógnita, elaboración propia, octubre 2022.

- En cuanto al cambio de coberturas en la zona urbana en expansión se pudo encontrar que el bosque latifoliado húmedo está siendo sustituido por los pastos y cultivos en el municipio debido al incremento de la población en ese sector urbano. Los factores específicos en la cobertura de suelos para la susceptibilidad a deslizamientos son directamente proporcionales a los cambios de uso de suelos, deforestación, los factores erosivos, áreas desprovistas de cobertura natural, y a los alrededores de la mancha urbana en expansión, donde se encuentran las topografías más pronunciadas en el municipio.
- Para el crecimiento futuro urbano y rural del Municipio de Las Vegas será necesario implementar políticas más definidas de ordenamiento y zonificación territorial con relación a la tendencia acelerada del cambio de uso de suelo, a través de las entidades regionales y municipales, por medio de técnicos de las Unidades Municipales Ambientales (UMA), junto con el trabajo y labor catastral, que igualmente integrará técnicos municipales y de ordenamiento y gestión territorial de la región. Los cambios de uso que están afectando mayormente son la expansión de los pastos y cultivos y cafetales en la zona.
- Es necesario considerar a nivel regional y de la zona en estudio la conservación de las coberturas de uso de suelo, realizar las evaluaciones y gestiones de riesgos necesarias previamente a la ubicación de instalaciones u obras civiles, considerar los aspectos topográficos y áreas de altas vulnerabilidades a deslizamientos para la construcción y las restricciones para ubicar obras civiles, implementación de sistemas de drenajes de aguas lluvias y residuales adecuados. De igual manera incidir en la educación y conciencia ambiental local y comunitaria.

- Los factores y variables que inciden en las coberturas de suelos para susceptibilidades a movimientos de masa los visualizamos en el tipo de suelos y geologías del área de estudio, como ser en las unidades o grupos Valle de Ángeles y suelos Yojoa
- Los tipos de coberturas de bosques latifoliados son los de mayor predominancia en el Municipio de Las Vegas, Santa Bárbara.
- El cambio de cobertura endémica en la zona y tipos de suelos para otros usos, como agricultura y factores antropogénicos y de supervivencia, son los principales cambios que inciden directamente en la vulnerabilidad y susceptibilidad a movimientos de masa en el Municipio. El cambio de cobertura como bosque latifoliado húmedo a coberturas de cafetales.
- En el tipo de formación geológica del Grupo Yojoa la cual abarca una extensión territorial de 104.94 m² del área municipal se pudo determinar que existen mayores vulnerabilidades en amenazas medias, altas y muy altas a deslizamientos y en menor proporción la formación geológica del grupo de Valle de ángeles con un área de 12.24 m² en niveles altos, medios y muy altos de amenazas.

6 Recomendaciones

- Una de las soluciones a nivel nacional es poder contar con los planes de Ordenamiento Territorial a nivel Municipal. Estos instrumentos de planeamiento serían una herramienta para la solución a las crisis en riesgos y amenazas naturales, pues tienen como finalidad la ocupación del territorio de forma ordenada y apropiada en áreas con altas vulnerabilidades, tanto en las áreas urbanas como en las rurales. Así mismo se marcarían directrices para ocupar espacios con bajas amenazas naturales ya que estos instrumentos cuentan con un enfoque a la gestión de riesgos, instrumentos que serán útiles a nivel Municipal y Nacional.

7 Referencias

Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). Technical report, Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

COPECO (2017). *Plan Municipal de Gestión de Riesgo y Propuesta de Zonificación Territorial: Municipio de las Vegas, Santa Bárbara*. Obtenido de: <https://sheltercluster.s3.eu-central-1.amazonaws.com/public/docs/pmgr-las-vegas.pdf>.

Cruden, D. y Varnes, D. (1996). Landslide types and processes. En Turner, A. y Schuster, R., (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*, volumen 247, pp. 36–75.

ICF Honduras (2023). SIGMOF: Información de los bosques hondureños a tu alcance. Obtenido de <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-olitirs-level-2-data-products>.

Instituto de Conservación Forestal (2018). Geoportal del Sector Forestal de Honduras. Obtenido de: <https://geoportal.icf.gob.hn/geoportal/main>.

Ramos, A. M., Trujillo, M. G., y Prada, L. F. (2015). Análisis descriptivo de procesos de remoción de masa en Bogotá. *Obras y Proyectos: Revista de Ingeniería Civil*, (18):63–75.

Sendai Framework (2015). UNDRR Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. Obtenido de: <http://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp>.

SINAGER (2013). *Política de Estado para la Gestión Integral del Riesgo en Honduras*. Obtenido de: https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver_documento.php?uid=OTYyMzg5MzQ3Nm00DcxMjQ2MTk4NzIzNDI=.

Suárez, G. (2013). *Manual para la Evaluación de Riesgo del Emplazamiento y del Medio Construido*. PNUD. ISBN: 978-99926-821-4-2.

U.S. Geological Survey (2018). USGS EROS Archive. Obtenido de <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-olitirs-level-2-data-products>.

ANÁLISIS DE COBERTURA DE SERVICIOS DE REDES DE NEGOCIO EN BARRIOS INFORMALES, DISTRITO CENTRAL HONDURAS

Brenda Itzel Antúnez Williams^{1,*}

¹Máster en Ordenamiento y Gestión del Territorio

Facultad de Ciencias Espaciales

Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Recibido: 16/marzo/2024

Aceptado: 31/mayo/2024

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v15i1.18147>

RESUMEN

La informalidad urbana se manifiesta de múltiples formas y con ella emergen mecanismos de subsistencia. Los estados de crisis o emergencia asociadas a riesgos a desastres representan un reto que aumenta la vulnerabilidad y escasez de alimentos. Las experiencias han comprobado la importancia de involucrar al comercio informal como apoyo al gobierno local en zonas de difícil acceso en momentos de crisis. Este nuevo planteamiento exige el análisis de la relación entre la movilidad de los habitantes y los servicios en espacios informales. Este artículo tiene como objetivo plantear un modelo para el análisis de la cobertura territorial de los servicios ofrecidos por negocios resilientes ubicado en barrios informales. El modelo se aplicó a una red de negocios resilientes en Villanueva Norte, Distrito Central, Honduras. Para desarrollar la metodología se utilizó el enfoque de movilidad del peatón, evaluando su experiencia durante el recorrido hacia la obtención de los servicios y posteriormente un análisis mediante procesos de interpolación espacial a través de Sistemas de Información Geográfica. Las principales variables de análisis son accesibilidad, vulnerabilidad y atracción del cliente contextualizando a un asentamiento informal. Los resultados reflejan la importancia de realizar procesos integrados interactivos que reflejen el comportamiento de intervenciones urbanas para generar recomendaciones de mejora, fortalecimiento y ampliación de negocios resilientes. Este trabajo se deriva de la tesis de Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio "Caracterización de Barrio con enfoque en Reducción de Riesgos a Desastres: Un aporte a la reconfiguración de barrios informales en el Distrito Central, Honduras"

Palabras clave: Asentamiento informal, informalidad urbana, economía informal, entornos de movilidad, interpolación geoespacial.

ABSTRACT

Urban informality manifests in multiple ways, giving rise to mechanisms of subsistence. States of crisis or emergencies associated with disaster risks pose a challenge that exacerbates vulnerability and food scarcity. Experiences have demonstrated the importance of involving informal commerce as support for local governments in hard-to-reach areas during times of crisis. This new approach necessitates analyzing the relationship between residents' mobility and services in informal spaces. The objective of this

*brndlee22@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0005-7025-895X>

article is to propose a model for analyzing the territorial coverage of services offered by resilient businesses located in informal neighborhoods. The model was applied to a network of resilient businesses in Villanueva Norte, Distrito Central, Honduras. To develop the methodology, a pedestrian mobility approach was used, evaluating their experience during the journey to obtain services. Subsequently, an analysis was conducted through spatial interpolation processes using Geographic Information Systems (GIS). The key variables for analysis include accessibility, vulnerability, and customer attraction, contextualized within an informal settlement. The results underscore the importance of integrated interactive processes that reflect the behavior of urban interventions, leading to recommendations for enhancing, strengthening, and expanding resilient businesses. This work stems from the Master's thesis in Territorial Planning and Management titled "Characterization of a Neighborhood with a Focus on Disaster Risk Reduction: A Contribution to the Reconfiguration of Informal Neighborhoods in Distrito Central, Honduras."

Keywords: Informal settlement, urban informality, informal economy, mobility environments, geospatial interpolation.

1 *Introducción*

Históricamente, la movilidad dentro de las ciudades ha sido peatonal, favorecido por la alta densidad entre las mezclas de usos y formas orgánicas que caracterizaban a las ciudades (Talavera *et al.*, 2014). Los asentamientos urbano-informales son considerados la representación física y espacial de la pobreza que caracteriza especialmente a los países en desarrollo (Pardón Pinzón, 2013), producto de la autoconstrucción del hábitat, y junto a ella las nuevas formas de autogeneración y productividad se desarrollan. Cabe mencionar que UN-HABITAT (2015) se refiere a la proliferación de la informalidad, por un lado, como la posibilidad de los habitantes de disponer de la tierra para diversos usos muy necesarios para las ciudades, así como una economía informal activa, que en muchos países provee la mayoría de los trabajos. Sin embargo, a pesar de sus debilidades, se ha convertido a través del tiempo en un estructurador de los territorios urbanos de la ciudad formal, que modifica y determina sus dinámicas.

La localización, es una de las características de la segregación socioespacial y a su vez de los asentamientos urbano-informales, la cual en la mayoría de los casos se ubican en las periferias de la ciudad sobre condiciones físicas desfavorables dando cabida a la exposición a los riesgos locales. En consecuencia, la alta propensión al riesgo no se resuelve con la regularización del suelo ni con la dotación de servicios y equipamiento urbano. Es el "costo social" que asumen de "por vida" los pobres de la ciudad: tener su patrimonio familiar en zonas de alto riesgo que van en detrimento de su calidad de vida (Avila y Pérez, 2014: 266).

Los estados de crisis o emergencia provocadas por riesgos asociados a deslizamientos e inundaciones son uno de los principales problemas que aumentan la vulnerabilidad y ponen en peligro la integridad física de las personas y sus pertenencias; como consecuencia al presentarse una emergencia el 78.5% de la población prioriza los problemas relacionados a la escasez de agua y alimentos antes que la protección ante situaciones que amenazan a la vida y patrimonio familiar (GOAL and Global Communities, 2023). En un asentamiento informal la posibilidad de llevar ayuda humanitaria en un momento de emergencia se ve limitado a las capacidades del estado para proveer alimentos sumado al difícil acceso con el que cuentan estas zonas, por lo que es necesario apostar por otras formas de aumentar las capacidades de resiliencia a nivel comunitario. Por tal razón, la formación de redes de negocios que aseguren la disponibilidad de alimentos dentro de los asentamientos informales en momentos de crisis es de suma importancia ya que representan un importante recurso para estas contingencias.

La seguridad alimentaria se ve afectada durante las emergencias y los medios de vida que surgen desde la economía informal suponen un elemento importante para contrarrestarla (Andino, 2019). Esta economía se caracteriza por poseer un sinnúmero de aristas, desde la perspectiva o escala territorial en la que se trabaje. Para efectos de este artículo, se entenderá como economía informal todas aquellas actividades dependientes en pequeña escala, desarrolladas con o sin trabajadores remunerados, que se caracterizan por funcionar con un bajo nivel de organización y tecnología y cuyo objetivo fundamental es crear empleos y generar ingresos para sus participantes (Kelso y de Chacín, 1995). Dentro de este concepto, en Honduras las denominadas “pulperías, tienditas o truchas”, son pequeños establecimientos que funcionan en barrios y colonias, acondicionadas dentro de casas de habitación (Comisión para la Defensa y Promoción de la Competencia (CDPC), 2012). Las pulperías representan el canal por medio del cual las familias se abastecen de los productos de la canasta básica, supliendo las necesidades inmediatas de la población segregada. A pesar de la relevancia que estas poseen en la cadena de distribución, en su mayoría los propietarios/as carecen de preparación necesaria para administrar su negocio y a su vez atender a la población en momentos de emergencia producto de riesgos asociados a la vulnerabilidad física que define un asentamiento urbano- informal.

Como una nueva metodología de trabajo impulsado por el Proyecto Barrio Resiliente, ejecutado por GOAL Internacional en el Distrito Central, han implementado “Redes de negocios resilientes”, las cuales se basan en el previo fortalecimiento de las pulperías las cuales pasan a un estatus de negocio resiliente (categorizados en Negocio Tipo A ¹, B ², C ³, D ⁴). Se entiende por redes de negocios como el conjunto de relaciones económicas, y las no económicas derivadas de las primeras, entre las diferentes organizaciones (Molina-Morales *et al.*, 2012), en ellas coexisten relaciones de mercado, sociales e institucionales que se producen de forma casi rutinaria en el contexto (Giuliani, 2007). Sus características principales, accesible y cercano a la población facilitando a precios justos productos de la canasta básica y materiales que pueden dar respuestas colectivas a las necesidades de las colonias o barrios en todo momento, para mantener la dinámica del barrio o colonia aun en situaciones de emergencia causadas por eventos adversos (Andino, 2019). La sinergia de redes se concentra en relaciones a larga distancia lo cual permite (de acuerdo con disponibilidad de alimentos) que negocios tipo A pueden abastecer negocios tipo B o C o comple-

¹Negocio Tipo A: Negocio ubicado en zona de bajo riesgo, calle principal o acceso en buenas condiciones, cerca de Escuelas o Centros de Salud, con horarios amplios de atención; con acceso a una red de proveedores importantes, capacidad de ahorro y crédito, cuenta con más de 15 productos de la canasta básica, artículos de higiene y de limpieza, medicamentos y ofrece otros servicios. Cuenta con más de 15 proveedores, sujeto a banca formal, lidera red de pulperías; casa propia, espacio para bodega, cuenta con servicios públicos; tiene un lugar de operación alterna, miembro o vinculación con el Comités de Emergencia Local (CODEL), distribuye información sobre el Sistema de Alerta y Acción Temprana (SAAT) en su negocio, aplica medidas para reducir riesgo en su negocio.

²Negocio Tipo B: Negocio ubicado en zona de medio riesgo, ubicado en calle principal o acceso en buenas condiciones, horario amplio de atención; productos de canasta básica (15), artículos de higiene y limpieza, medicamentos, agua en bolsas, embutidos, hortalizas y otros productos; cuenta con 11 proveedores, sujeto a banca formal con aval, participa en red de pulperías; arriendo con opción a compra, espacio limitado para bodega, servicios públicos limitados (racionamiento agua una vez al mes); se movilizaría a casa de un familiar para operación alterna, vinculación con el CODEL, distribuye información SAAT, aplica medidas para reducir riesgo en su negocio.

³Negocio Tipo C: Negocio ubicado en zona de alto riesgo, ubicado en calle secundaria o callejón, con accesos regulares, horario limitado de atención, vende de 10 a 15 productos de canasta básica, productos de limpieza e higiene; cuenta con 6 a 10 proveedores, acceso a créditos informales, ocasionalmente participa en actividades de la red de pulperías; arriendo, sin espacio para bodega, cuenta con agua limitada, sin energía eléctrica; no tiene opción de sitio para operación alterna, no se vincula con el CODEL, entrega información limitada SAAT, medidas limitadas para reducir riesgo en negocio.

⁴Negocio Tipo D: Negocio ubicado en zona de alto riesgo, calles en mal estado y acceso limitado por las condiciones de infraestructura, horarios restringido de atención, menos de 10 productos de la canasta básica; cuenta con 1 a 5 proveedores, no es sujeto a créditos, no participa en red de pulperías; propiedad familiar o prestada, negocio y habitación es un mismo espacio, sin servicios públicos; no se movilizaría para operación alterna, no se vincula con CODEL, no aplica medidas de mitigación o prevención en su negocio.

mentar actividades de apoyo u otros productos de emergencia para dar respuesta colectiva a la población (Andino, 2019).

Durante la implementación de esta metodología, surge la necesidad de evaluar integralmente la cobertura territorial que alcanza el aporte de la red de negocios a los barrios objetivo. Esta evaluación permite redirigir acciones e inversiones del proyecto hacia esta causa específica. En otras palabras, se busca determinar hasta qué punto la red de negocios llega a los barrios meta y cómo se puede optimizar su impacto en esos lugares. En este contexto, el objetivo central de este estudio radica en desarrollar un modelo para analizar la cobertura de servicios proporcionados por las redes de negocios presentes en asentamientos informales. Para lograrlo, se propone una metodología que integra la perspectiva del peatón en la prestación de estos servicios a través de dos enfoques clave; (1) Caracterización Peatonal de Entornos de Movilidad (CPEM), esta metodología se enfoca en comprender cómo los peatones interactúan con el entorno urbano y cómo acceden a los servicios ofrecidos por las redes de negocios. El análisis detallado de los movimientos peatonales permite identificar áreas de alta demanda y evaluar la eficacia de la red de negocios en satisfacer esas necesidades. (2) Interpolación Espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), en la cual se utilizan técnicas de interpolación espacial para estimar la cobertura de los servicios de negocios en áreas donde no se dispone de datos directos. Esto ayuda a visualizar la distribución espacial de los servicios y a identificar posibles brechas en la cobertura.

Es fundamental reconocer que, aunque los desplazamientos fomentan la interacción y el intercambio en cualquier escala territorial, la presencia de pequeños negocios funcionales es esencial para satisfacer las necesidades del peatón. Estos negocios no solo proveen bienes y servicios, sino que también facilitan la vida cotidiana de los habitantes al ofrecer un espacio para el intercambio social y económico. Así, al centrarnos en el peatón como eje central, destacamos su doble papel como habitante y consumidor, contribuyendo al desarrollo sostenible de los barrios y colonias.

La cobertura de servicios y su relación con los entornos de movilidad

Las tiendas, no son sólo un lugar de intercambio comercial, sino también un centro social para la comunidad. Ciertamente las tiendas forman parte de la dinámica social y cultural de los barrios (Hernández García, 2014).

Estos negocios son indudablemente componentes del barrio, presentes en el entorno urbano- informal por lo que la cobertura de ellos depende en gran medida de factores relacionados al habitante, “al peatón” que se desplaza para realizar el intercambio. El peatón ocupa un lugar destacado en la movilidad urbana, tanto por representar el modo de transporte más básico... como por mantener una relación intensa y directa con las actividades urbanas, conformando los denominados entornos de movilidad o entornos peatonales (Talavera *et al.*, 2014), en consecuencia, es fundamental acotar que el peatón debe ser el centro del análisis de la cobertura, dado su doble faceta como habitante y consumidor. Por un lado, facilitando la movilización del producto a las familias y por otro lado incrementando los ingresos de los negocios. En este sentido, el entorno urbano desempeña un papel fundamental en la movilidad peatonal, ya que la presencia o no de determinados elementos a lo largo de las calles, así como las características físicas que les son propias, pueden potenciar los desplazamientos peatonales, o disuadirlos. En el marco de esta concepción, se conoce con el término de “entorno peatonal” aquel en el cual existe una predominancia de desplazamientos a pie basada en la presencia de factores que promueven la movilidad peatonal (Valenzuela y Talavera, 2012).

Al objeto de evaluar la cobertura real de las redes de negocios en un ámbito geográfico concreto, es necesario evidenciar factores determinantes que permitan direccionar las dinámicas urbanas generadas desde

la informalidad y a su vez conocer qué condiciones propician o desincentivan la cobertura. El origen de la escala y del reconocimiento del área, evidencian variables de índole física y social que condicionan la cobertura tales como topografía, accesos condicionados por su estado, tiempo de recorrido, seguridad, vulnerabilidad ante riesgos, disponibilidad de servicio, horarios de atención, diversidad de centros de venta, entre otros que estimulan al peatón a realizar o no la movilización al centro de abastecimiento. Es por tanto que, en la medida en que tales condicionantes sean satisfechos, el entorno peatonal poseerá la calidad necesaria para que el peatón se desplace, lo que incidirá de manera decisiva en los niveles de servicio peatonal del entorno urbano. Dichos componentes se encuentran vinculados mediante una relación secuencial y se han agrupado en cuatro grandes bloques de factores accesibilidad, seguridad y atracción (Pardón Pinzón, 2013).

El concepto de accesibilidad ha sido definido a través de diferentes enfoques, dentro de los cuales están: el potencial para la interacción y el intercambio; la facilidad de comunicación entre actividades y asentamientos humanos (Pardón Pinzón, 2013), por lo tanto, la unidad de mercado y las consecuentes economías de escala requieren de accesibilidad: tanto productores como compradores deben llegar al mercado para que se produzca el intercambio (Jiménez Romera, 2015). En este sentido, la accesibilidad es un factor esencial de la movilidad peatonal donde se propician dinámicas urbanas importantes, este factor se considera con un carácter eminentemente físico (Talavera *et al.*, 2014).

La accesibilidad es un concepto y elemento básico en la población locacional y el mismo está estrechamente ligado a la distancia que separa a las personas del lugar al que necesitan acceder por diferentes motivos (Ramírez, 2006), en la medida en que, si los destinos o servicios están más cerca de las viviendas, su fácil acceso genera poco movimiento de las personas. Si bien, como se ha mencionado, los tejidos micro zonificados de los barrios emergentes proveen una buena accesibilidad a servicios de escala vecinal ubicados a distancias cortas, también es posible que sus residentes se desplacen a otras áreas al existir un sistema de movilidad vehicular autogenerado y jerarquizado a distintos niveles (Sáez *et al.*, 2009).

Es importante considerar en este requerimiento que el peatón es el usuario más vulnerable dentro del sistema de movilidad urbana (Baratta Papinni, 2015), en tal sentido, es necesario recurrir a una perspectiva de sistemas que permitiera tener en cuenta los numerosos factores que suponen un riesgo para los peatones (Organización Mundial de la Salud, 2013: 7), reflexionando de esta forma que la informalidad supone dos tipos de factores relacionados a la vulnerabilidad del lugar. Por consiguiente, el estudio de seguridad está basado en vulnerabilidad social y vulnerabilidad natural o ambiental.

La vulnerabilidad social, que en el presente artículo está referida a la inseguridad específicamente al riesgo de actos delictivos a la que el peatón este expuesto durante el recorrido hasta un centro de abastecimiento cotidiano. Siendo hoy en día una de las problemáticas sociales que más preocupa y concentra la atención de la ciudadanía (Baratta Papinni, 2015) y es una realidad que influye en las dinámicas de los barrios informales. Cabe indicar que el habitante es experto en su sensación de seguridad e inseguridad respecto de su espacio; su conocimiento intuitivo es un factor clave para la prevención situacional (Baratta Papinni, 2015: 34). Por tal razón, la percepción del habitante (vecinos, escolares, comerciantes, mujeres, adultos mayores, entre otros) en este componente es imprescindible. Otro concepto clave, es el de vulnerabilidad urbano-ambiental, ya que mide el riesgo y daño que los procesos biofísicos y sociales puedan tener sobre la población y los ecosistemas donde se asienta un barrio o ciudad (Avila y Pérez, 2014). Implica establecer su relación con la amenaza, la exposición y el papel que juega en la construcción del riesgo (Arévalo Carmona, 2016: 930) agregando que la configuración de la vulnerabilidad se ve influenciada por patrones informales de desarrollo territorial y a su vez se genera desde escalas territoriales micro influenciada por las escalas macro, pues su distribución espacial no es homogénea (Lindley, 2011).

La atracción hace referencia a los paisajes urbanos que originan itinerarios atractivos para los peatones (Talavera *et al.*, 2014). La nueva dinámica de desarrollo económico que se origina en las urbes emergentes mantiene una relación directa con el tejido de la ciudad (Sáez *et al.*, 2009). En los barrios informales está relacionado a los altos niveles de consolidación que derivan del uso del suelo el cual se reconfigura constantemente y a su vez produce nuevas formas de autogeneración de ingresos. En este sentido, el funcionamiento unitario del sistema productivo de pequeñas unidades (PYMES) a una escala masiva, sólo ha sido posible en la medida en que su configuración espacial les ha permitido adaptar usos compatibles a la residencia, confiriendo así al tejido urbano en su conjunto la capacidad de asimilar más fácilmente los cambios y transformaciones de un desarrollo económico por lo general fluctuante a lo largo del tiempo (Talavera *et al.*, 2014: 108)

En base a la descripción realizada de cada condicionante, resulta evidente profundizar en el desarrollo de métodos y de herramientas para evaluar la calidad en la movilidad peatonal (Valenzuela y Talavera, 2012) y su aporte a la economía informal y esta, a su vez, ayude elevar la seguridad alimentaria.

Villanueva Norte, Distrito Central

La colonia Villanueva Norte en la figura 1, es un asentamiento informal parte de la colonia Villanueva ubicada a la altura de la carretera CA-6, al sureste de la ciudad del Distrito Central, Francisco Morazán en Honduras; catalogada actualmente como la colonia más grande en extensión territorial y a su vez la más populosa de Centroamérica. Villanueva Norte está constituida por 4 sectores (1, 2, 7B, 8) en los cuales se asientan 4,691 viviendas, con condiciones de habitabilidad desiguales albergando a una población de aproximadamente a 23,660 personas en un área aproximada de 112.4 ha (Antúnez, 2019). Sus particulares característicos en cuanto a dimensión, dinámicas e inequidad social, entre otras condicionantes que transforman y modifican las dinámicas locales limitan las oportunidades de desarrollo y a su vez la resiliencia local en momento de emergencia, quedando evidenciado durante el huracán Mitch (1998) que demostró no sólo el elevado nivel de exposición del país a las amenazas hidrometeorológicas que deriva de su posición geográfica, sino también su alto grado de vulnerabilidad, el cual impacto directamente en su población. Con el apoyo de entes de financiación y la Alcaldía Municipal, Villanueva Norte cuenta con una red de negocios de 13 afiliados distribuidos en su mayoría en el sector 2 a inmediaciones los sectores 7B y 8.

2 Metodología

La metodología empleada se basó en la fusión de dos enfoques: el primero se fundamentó en la Caracterización Peatonal de Entornos de Movilidad (CPEM), desarrollada por Valenzuela y Talavera (2012), y adaptada para evaluar entornos de movilidad en asentamientos informales. El segundo método consistió en la interpolación espacial, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta combinación metodológica implicó una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno analizado, en este caso, los datos obtenidos mediante la CPEM. A partir de diversos factores analizados, se generó un índice de cobertura. Durante el desarrollo de la metodología, se recolectó información en campo, georreferenciando la ubicación de los negocios, cartografiando calles, lotes y quebradas, y considerando la percepción de la población sobre el tema en la zona de estudio. La figura 1 muestra las seis fases del método: selección de indicadores, estandarización o normalización de resultados, evaluación del entorno de movilidad, análisis exploratorio de datos, análisis estructural y predicciones.

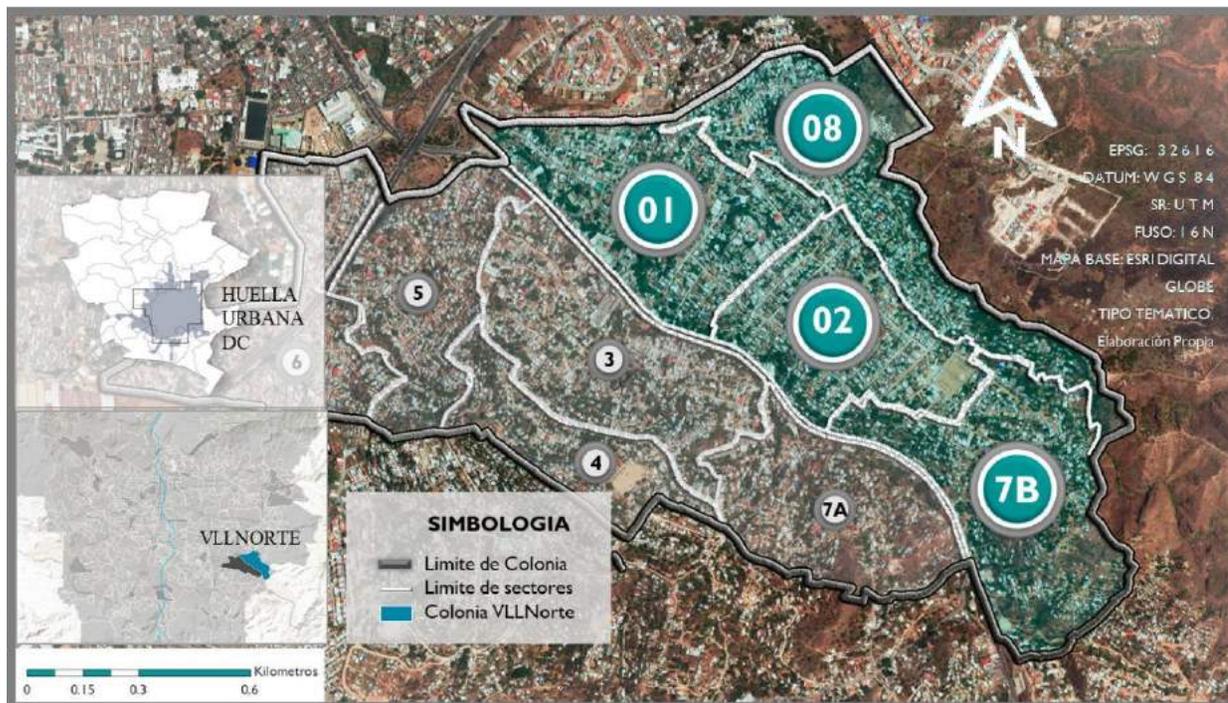


Figura 1: Ubicación y sectorización de la colonia Villanueva Norte. Fuente: Fuente. En base a datos PMRRD-VLLNorte (Antúnez, 2019)

2.1 Selección del Área de estudio

Para seleccionar la zona se utilizó la metodología planteada en la tesis de “Caracterización de Barrio con enfoque en Reducción de Riesgos a Desastres: Un aporte a la reconfiguración de barrios informales en el Distrito Central, Honduras” desarrollada por Antúnez (2020), donde se emplean tres criterios para la selección del barrio idóneo para la aplicación metodológica, se incluyó un cuarto criterio esencial para la aplicación de esta metodología:

1. Antecedentes de exposición crítica ante amenaza (inundación o deslizamiento), priorizar barrios con un historial documentado de vulnerabilidad ante amenazas naturales, como inundaciones o deslizamientos de tierra, lo que permite enfocar el análisis en zonas con mayor necesidad de estrategias de mitigación y fortalecimiento de la red de negocios.
2. Existencia de antecedentes históricos del proceso del asentamiento del barrio, esto facilita la comprensión del contexto lo que proporciona una perspectiva valiosa sobre las características socioeconómicas y culturales del barrio, factores que influyen en la dinámica de la red de negocios.
3. Existencia de organizaciones comunitarias, identificar barrios con una sólida presencia de organizaciones comunitarias activas. Estas organizaciones pueden servir como aliados valiosos en la recolección de datos, la participación de la comunidad y la implementación de estrategias para fortalecer la red de negocios.
4. Red de negocios establecida, enfocarse en barrios que cuenten con una red de negocios consolidada. Esta condición facilita el análisis de la cobertura de servicios, la accesibilidad y otros aspectos relevantes para la viabilidad de la red de negocios en el contexto específico del barrio.



Figura 2: Pasos metodológicos

La combinación de estos criterios permitió seleccionar un área de estudio que reúne las características necesarias para realizar un análisis exhaustivo y generar recomendaciones prácticas para el fortalecimiento de la red de negocios.

2.2 Selección de indicadores

La caracterización peatonal de los entornos de movilidad precisa contar con una serie de indicadores capaces de cuantificar aquellas características físicas, relacionadas con las principales cualidades del diseño urbano, que forman parte de los condicionantes del desplazamiento de las personas (Valenzuela y Talavera, 2012) estos indicadores se derivan de los factores determinantes de la cobertura analizados en el apartado anterior y que se detallan en la tabla 1.

Inicialmente la accesibilidad, estará determinada por la sección peatonal, este indicador, tal y como lo describe (Valenzuela y Talavera, 2012), permite conocer en qué lugares del entorno de movilidad los flujos peatonales se desarrollan sin problemas, dadas las dimensiones de la sección peatonal, y donde los flujos peatonales podrían ralentizarse e incluso entrar en conflicto con otros modos de transporte, debido a una sección peatonal insuficiente, relacionado a su vez al estado de la calle que por su origen informal la trama urbana carece de condiciones óptimas para su tránsito determinadas por el material de la calle y la pendiente que las condiciona.

El segundo aspecto condicionante relacionado a la seguridad; la vulnerabilidad social es un indicador que se relaciona a la sensación de seguridad o inseguridad que experimentan los habitantes en el entorno urbano. La vulnerabilidad de la vivienda se relacionará al nivel de riesgo determinado en base a una evaluación de (Comisión Permanente de Contingencias (COPECO), sf) previamente elaborada por (GOAL and Global Communities, 2023). Por último, la vulnerabilidad relacionada a la ubicación de la vivienda respecto a la amenaza, esta se determinó mediante el análisis de la cercanía o lejanía en metros de las zonas de amenaza a deslizamientos de la zona de estudio.

Finalmente, el tercer aspecto, en cuanto a la atracción del cliente, se propone que el indicador de complejidad comercial, entendiéndolo éste como una síntesis de la densidad y la diversidad comercial (Valenzuela y Talavera, 2012).

2.3 Estandarización de resultados

Como se visualiza en la tabla 2 para la escala territorial de este análisis, se establecieron umbrales para cada uno de los indicadores propuestos, que permitan desarrollar la evaluación y extraer la información necesaria. Bajo este contexto, se lleva a cabo una estandarización de los valores en función de la diversa bibliografía científica existente al respecto (Valenzuela y Talavera, 2012) y la experiencia en configuración de barrio.

Tabla 1: Factores condicionantes, indicadores propuestos y su recopilación en base a (Valenzuela y Talavera, 2012)

| Factor condicionante | Indicador | Extraer información | | Descripción |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------|----|--|
| | | AC | AE | |
| Accesibilidad | Sección Peatonal | | X | Medida simple de la anchura que posee la plataforma peatonal (Valenzuela y Talavera, 2012). Dado en metros lineales (ml) |
| | Vulnerabilidad social | X | | Nivel de satisfacción o insatisfacción de seguridad experimentado en la zona. Este estará medido en número de incidentes durante los últimos 5 años. |
| Seguridad | Vulnerabilidad de la vivienda | X | | Ficha de evaluación de riesgo. Dado en niveles según lo establecido por (Comisión Permanente de Contingencias (COPECO), sf) |
| | Ubicación respecto a la amenaza | | X | La localización del negocio respecto a la amenaza. Dado en metros lineales (ml) |
| Atracción del cliente | Complejidad comercial | | X | Esta variable está relacionada a la densidad de negocios en la zona. Determinado por el número de negocios cerca del sitio de evaluación. |

2.4 Evaluación del Entorno de Movilidad

Luego del paso anterior se procedió a realizar la evaluación a la luz de los datos y evaluaciones recopilados los cuales previamente se verificaron en los mapas de la zona de estudio. Esta evaluación fue vaciada la matriz de evaluación CPEM de manera individual, obteniendo un índice de cobertura por unidad de servicio o negocio.

2.5 Aplicación SIG

El método seleccionado fue la Interpolación espacial Kriging el cual consiste en un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z (ESRI, sf). A diferencia de otras formas de interpolación, para el Kriging se debe realizar una investigación profunda del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores z antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la superficie de salida. La interpolación se aplicó meticulosamente a cada variable, generando ráster de salida con una resolución de 7x7 metros. Estos ráster se reclasificaron posteriormente para obtener un índice cualitativo de interpretación, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en un proceso de reclasificación riguroso. Para finalizar, estos ráster reclasificados se combinaron utilizando la herramienta Raster Calculator de SIG, generando un ráster final que representa el índice de cobertura de servicios. Este índice constituye

Tabla 2: Estandarización de los indicadores a la escala de trabajo en base a (Valenzuela y Talavera, 2012)

| Nivel de evaluación | Sección de calle (ml) | Nivel de inseguridad (# incidentes) | Nivel de riesgo de la vivienda | Ubicación con respecto a la amenaza (ml) | Complejidad Comercial (# negocios) |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|------------------------------------|
| 0.6 | <3 | 1 | Nula | 0-50 | 0 |
| 0.4 | 3-1.8 | 2 | Baja | 50-100 | 1 |
| 0.2 | 1.8-1.2 | 3 | Media | 100-150 | 2 |
| 0 | >0.9 | 4 o más | Alta | 150-200 | 3 |

una medida integral de la accesibilidad y la disponibilidad de servicios esenciales para los residentes del área de estudio. Todos estos análisis fueron realizados en el software ArcGIS; obteniendo resultados en proyección del Sistema de Referencia de Coordenadas WGS84 Proyección UTM Zona 16 norte con código EPSG: 32616.

3 Resultados

Se ha de aclarar que cobertura espacial en este estudio indica el espacio físico, zona o área de influencia que cubre la red de negocios en cuanto prestación de servicios la cual está determinada por los diferentes

3.1 Matriz de evaluación

La tabla 3 representa la matriz CPEM, la cual contiene la evaluación obtenida a través de los parámetros analizados para cada uno de los indicadores, obteniendo de manera detallada, las implicaciones de cada variable respecto índice de cobertura de servicio generado a través de la suma de los valores evaluativos de los indicadores.

Para establecer el índice de cobertura de servicios se generaron rangos de valor entre 0-1 (cobertura baja), 1.1-2.0 (cobertura media), 2.1-3.0 (Cobertura alta). La codificación de la tabla 3 se presenta de mayor a menor para tener una mejor visualización de los datos; según los resultados obtenidos el 23 % de los establecimientos de servicio (3 negocios: N_01, N_06 y N_08) posee una cobertura baja; el 65 % (8 negocios: N_02, N_03, N_04, N_07, N_09, N_10, N_11, N_13) de los negocios obtuvieron una calificación de cobertura media y finalmente el 15 % de los establecimientos (2 negocios: N_05 y N_12) poseen una cobertura alta.

3.2 Mapas de Interpolación por variable

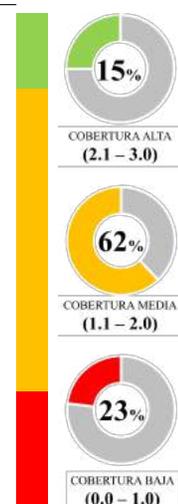
Como resultado de este ítem se obtuvieron seis mapas de interpolación; los primeros cinco (figuras 1 a 10) puntualizan el comportamiento de los indicadores de manera individual y finalmente, producto de la sumatoria de los cinco anteriores se obtuvo el mapa de cobertura de servicio de la red de negocios para nuestra zona de estudio (figuras 11 y 12).

3.2.1 Accesibilidad

En los resultados del modelo de interpolación para la variable accesibilidad interpretado mediante el indicador de sección de calle en la figura 3 muestra un rango de valores mínimos y máximos de las celdas

Tabla 3: Matriz de Evaluación CPEM e Índice de cobertura por unidad de servicio (negocio)

| CÓDIGO DE NEGOCIO | Accesibilidad sección de calle | Nivel de seguridad Vulnerabilidad social | Vulnerabilidad vivienda - Nivel vulnerabilidad estructural | Vulnerabilidad ubicación - Ubicación respecto amenaza | Atracción del cliente - Complejidad comercial | ÍNDICE DE COBERTURA |
|------------------------|--|--|--|---|---|---------------------|
| Numeración de negocios | Nivel de evaluación según criterios (0 -3) | | | | | |
| N_12 | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 0.0 | 0.6 | 2.2 |
| N_05 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 2.2 |
| N_13 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 1.8 |
| N_09 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.0 | 0.2 | 1.8 |
| N_11 | 0.4 | 0.6 | 0.2 | 0.0 | 0.6 | 1.8 |
| N_02 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.6 | 0.2 | 1.6 |
| N_07 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 1.6 |
| N_03 | 0.6 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 0.2 | 1.4 |
| N_04 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 0.6 | 0.2 | 1.4 |
| N_10 | 0.2 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 1.4 |
| N_06 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.2 | 1.0 |
| N_08 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.4 | 0.2 | 1.0 |
| N_01 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.4 |



entre 0.0197963 y 0.484026, donde los lugares ubicados en las celdas con valores menores acercándose al color rojo presentan problemas de acceso con respecto a los lugares ubicados en las celdas con valores mayores acercándose a la variación de azul y cercanos a los negocios. Los lugares con valores mínimos se concentran en parte norte y sur de la colonia donde se visualiza la mayor zona de vulnerabilidad por amenaza a deslizamientos.

La Figura 4 presenta la reclasificación de los valores de las celdas para obtener un índice cualitativo del indicador de accesibilidad. Se observa que la zona central de la colonia presenta un alto nivel de accesibilidad (sección de calle <3), correspondiente a una sección accesible con nivel alto. En esta zona se encuentran los negocios N_3, N_5, N_6, N_9 y N_11, los cuales obtuvieron una calificación de 0.6 en el rango de evaluación CPEM. Luego, encontramos los negocios N_1, N_2, N_7, N_8, N_10 y N_12 en el área con mediana accesibilidad. Finalmente, los negocios N_4 y N_13 se ubican en el área correspondiente a una baja accesibilidad.

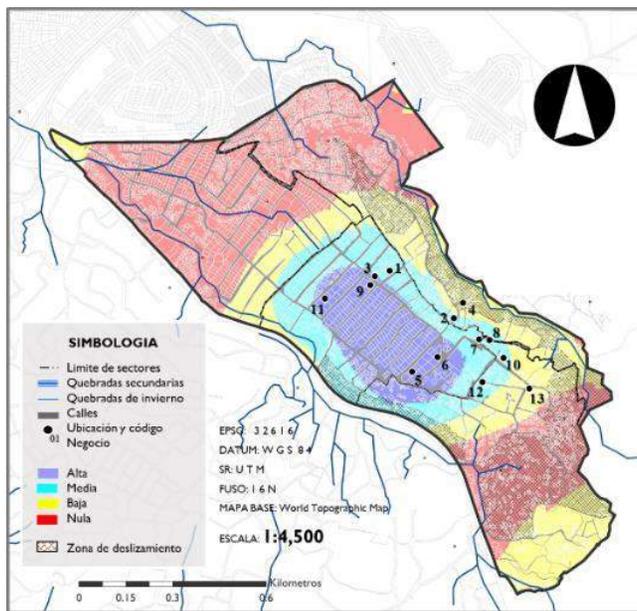


Figura 3: Interpolación de Kriging para la Accesibilidad indicador sección de calle.

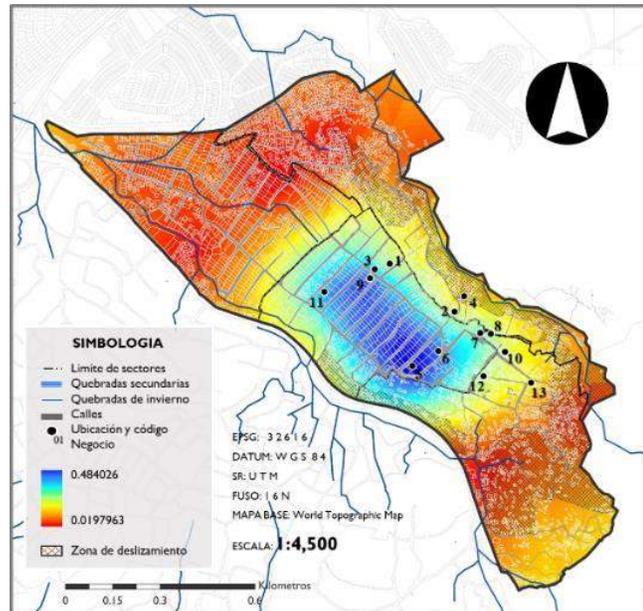


Figura 4: Reclasificación de valores para la variable de Accesibilidad indicador de sección de calle.

Cabe destacar la presencia de un área definida como “acceso nulo”. Esta área corresponde a zonas donde, debido al tiempo de recorrido y al estado de la calle, resulta difícil para los peatones acceder a los servicios que prestan los negocios. Los sectores 1, 8A y la parte alta del 7B (zona del hoyo) son los lugares con nula accesibilidad hacia estos establecimientos.

Los datos espaciales del modelo coinciden con los análisis in situ realizados por (Antúnez, 2019) sobre el estado de las calles y la topografía del área. Los negocios se encuentran entre los 1100 y 1200 msnm, lo que genera pendientes de hasta 30-40% en las calles. Sin embargo, la mayoría son de tránsito mixto (vehicular/peatonal) y se encuentran en buen estado, especialmente en la zona central (sector 2), donde las calles están pavimentadas. A medida que se aleja del área de baja accesibilidad, las calles se vuelven más angostas y, en su mayoría, se convierten en calles peatonales en mal estado.

3.2.2 Seguridad

3.2.2.1 Vulnerabilidad Social

La Figura 5 muestra el análisis de la percepción de seguridad en la zona, utilizando como indicador el número de incidentes de seguridad y la percepción comunitaria. El modelo de interpolación revela un rango de valores entre 0.0322402 y 0.366183 para cada celda. Las áreas con valores más bajos, cerca del color rojo, indican una mayor sensación de inseguridad en la rutina de servicio según la experiencia del peatón. En contraste, las áreas con valores más altos, cerca del color azul, representan una mayor percepción de seguridad. Estas áreas generalmente se encuentran cerca de los negocios.

La Figura 6 muestra la reclasificación de la percepción de seguridad en la zona, utilizando como indicador el número de incidentes de seguridad y la percepción comunitaria. Se observa que la zona central de la colonia presenta un alto nivel de seguridad. Los negocios N_1, N_3 y N_9, ubicados en esta zona, han experimentado al menos un incidente de seguridad con clientes o proveedores, obteniendo una calificación de 0.6 en el rango de evaluación CPEM. El área con una percepción de seguridad media alberga a la

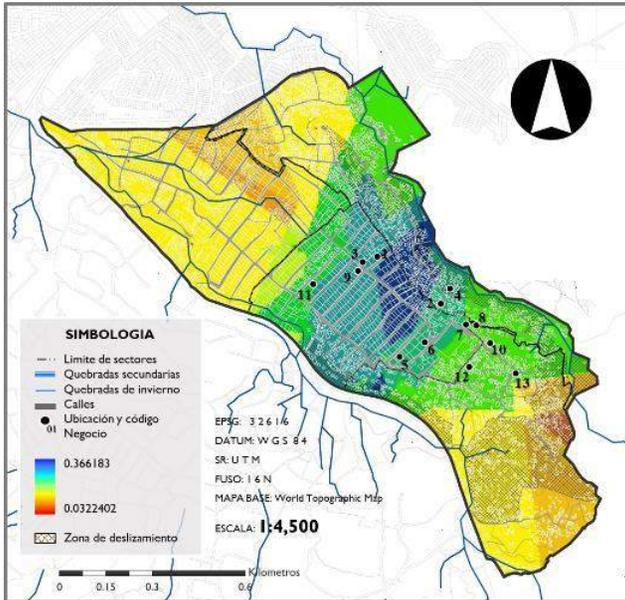


Figura 5: Interpolación de Kriging para la variable de Vulnerabilidad social indicador incidentes de seguridad.

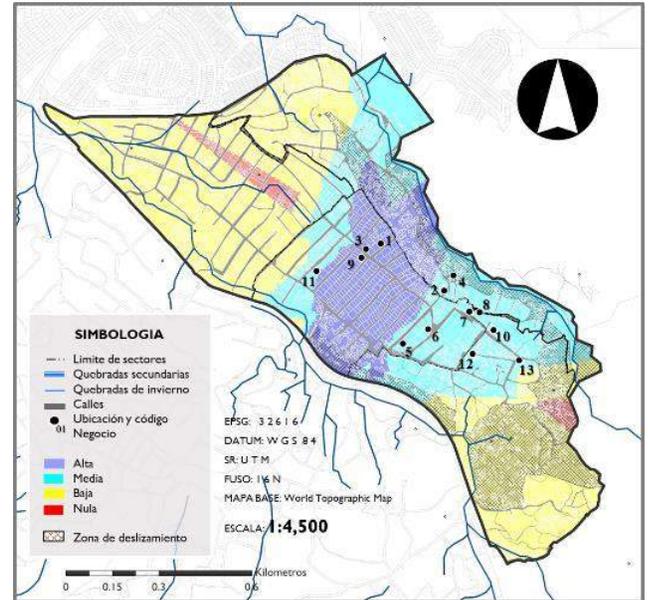


Figura 6: Reclasificación de valores para la variable de Vulnerabilidad social indicador incidentes de seguridad.

mayoría de los negocios (N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_10, N_11 y N_12). Estos negocios han registrado una serie de episodios de seguridad, tanto con clientes como con proveedores o familiares de los dueños.

Finalmente, las zonas catalogadas con una baja percepción de seguridad en la experiencia de compra por parte de los usuarios son las más alejadas de los negocios. Estas mismas zonas coinciden con las áreas de amenaza por deslizamientos.

3.2.2.2 Vulnerabilidad de la Vivienda

La Figura 7 muestra el análisis de la vulnerabilidad de la vivienda en la zona, utilizando como indicador el nivel de riesgo de la vivienda. El modelo de interpolación revela un rango de valores entre 0.0076899 y 0.57289 para cada celda. Las áreas con valores más bajos, cerca del color rojo, indican un alto nivel de vulnerabilidad de la vivienda. Estas áreas se concentran principalmente en el sector norte de la colonia. En contraste, las áreas con valores más altos, cerca del color azul, representan zonas con un bajo nivel de vulnerabilidad de la vivienda.

La Figura 8 muestra la reclasificación de la vulnerabilidad de la vivienda en la zona, utilizando como indicador el nivel de riesgo de la vivienda. Se observa que la zona central de la colonia presenta un bajo nivel de vulnerabilidad estructural, donde se encuentran los negocios N_5, N_6, N_2 y N_4. En el área de vulnerabilidad media se ubican los negocios N_1, N_3, N_7, N_8, N_9, N_10, N_11, N_12 y N_13. Sin embargo, el modelo asigna a estos negocios valores que no coinciden con los obtenidos en la evaluación CPEM. Además, las áreas de vulnerabilidad media generadas en el norte y sur de la colonia no se ajustan a la realidad actual. Se considera que el indicador de nivel de riesgo de la vivienda es un elemento puntual y característico de cada vivienda individual, lo que dificulta su aplicación a nivel de colonia. Por esta razón, se decidió descartar este indicador para la elaboración del modelo final de cobertura de los negocios.

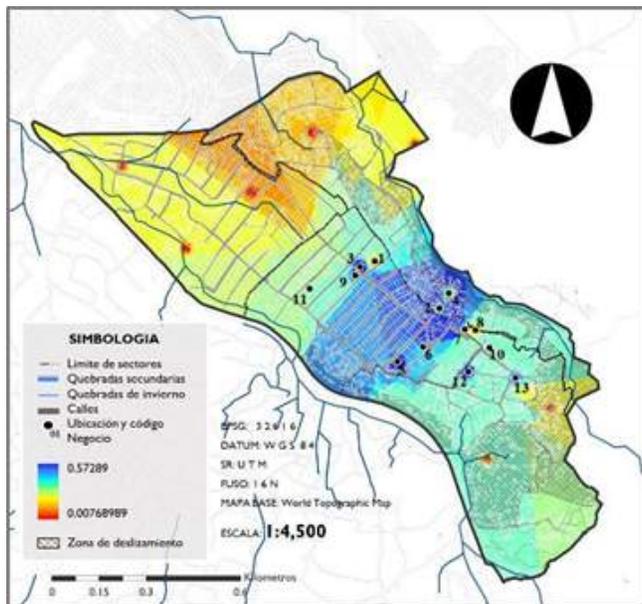


Figura 7: Interpolación de Kriging para la variable Vulnerabilidad de vivienda indicador nivel de riesgo de la vivienda.

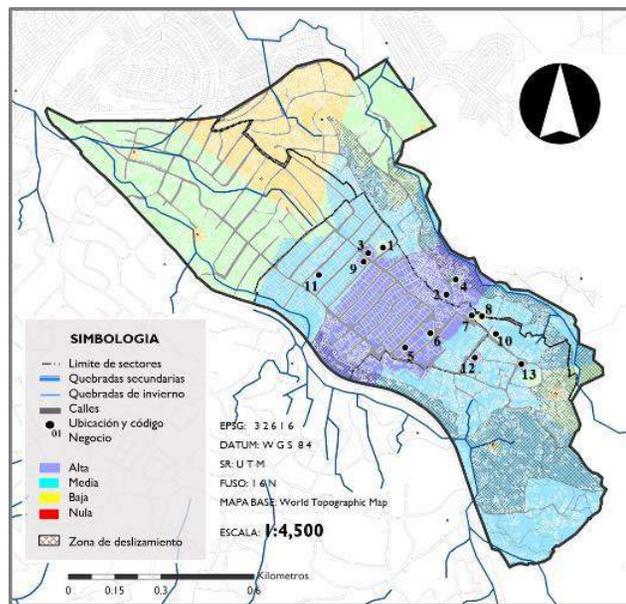


Figura 8: Reclasificación de valores para la variable Vulnerabilidad de vivienda indicador nivel de riesgo de la vivienda.

3.2.2.3 Vulnerabilidad por ubicación respecto a la amenaza

La Figura 9 muestra el análisis de la cercanía a la zona de amenaza en la zona, utilizando como indicador la distancia a la zona de amenaza de deslizamiento. El modelo de interpolación revela un rango de valores entre 0.00157441 y 0.57289 para cada celda. Las áreas con valores más bajos, cerca del color rojo, indican una mayor lejanía de la zona de amenaza. En contraste, las áreas con valores más altos, cerca del color azul, representan una mayor cercanía a la zona de amenaza.

La Figura 10 muestra la reclasificación de la cercanía a la zona de amenaza en la zona. Se observa que el comportamiento de este indicador es diferente al de las demás variables. Los negocios que se encuentran en una ubicación nula con respecto a la amenaza, es decir, que no están expuestos a ella, son: N_1, N_3, N_6, N_9, N_11 y N_12. Estos negocios se ubican en el centro de la colonia. En la zona de mediana cercanía a la zona de amenaza se encuentran los negocios N_5 y N_10. Finalmente, el modelo muestra que los negocios N_2, N_4, N_7, N_8 y N_13 presentan niveles altos de cercanía a la zona de amenaza.

3.2.3 Atracción del Cliente

La Figura 11 muestra el análisis de la atracción de clientes en la zona, utilizando como indicador la complejidad comercial. El modelo de interpolación revela un rango de valores entre 0.172931 y 0.646466 para cada celda. Las áreas con valores más bajos, cerca del color rojo, indican una menor complejidad comercial. Esto significa que en estas áreas hay una menor concentración de negocios o una menor variedad de productos y servicios. En contraste, las áreas con valores más altos, cerca del color azul, representan una mayor complejidad comercial. Esto significa que en estas áreas hay una mayor concentración de negocios y una mayor variedad de productos y servicios, lo que las hace más atractivas para los clientes.

La Figura 12 muestra la reclasificación de la complejidad comercial de los negocios en la zona. Se observa que los negocios N_11, N_12 y N_13 presentan un nivel de complejidad nulo. Esto significa que estos negocios no se encuentran agrupados con otros negocios y no ofrecen una gran variedad de productos

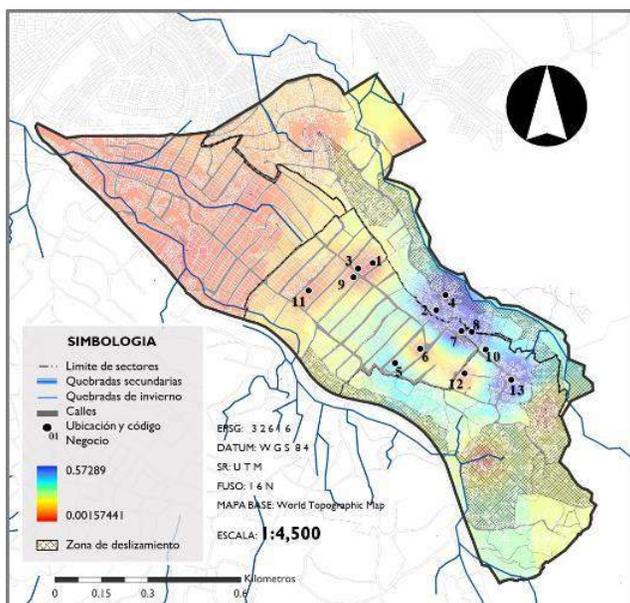


Figura 9: Interpolación de Kriging para la variable e indicador de Ubicación de la amenaza.

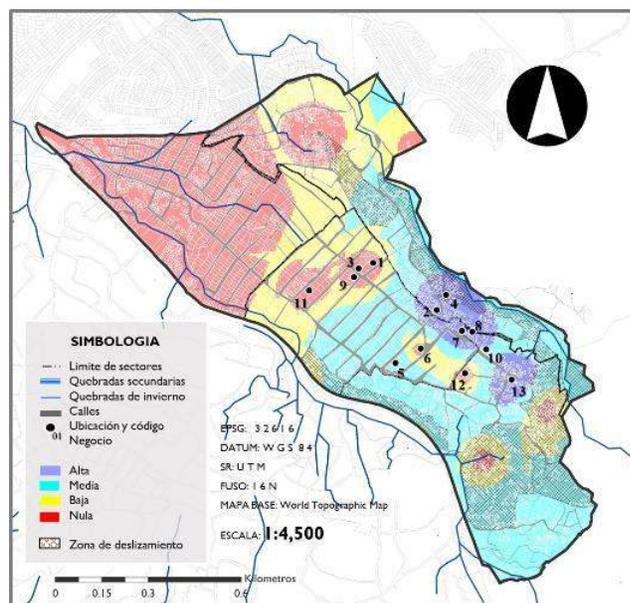


Figura 10: Reclasificación de valores para la variable e indicador de Ubicación de la amenaza.

o servicios. Por lo tanto, son menos atractivos para los clientes. El resto de los negocios, N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9 y N_10, se encuentran en la zona con un nivel de complejidad comercial alto. Esto significa que estos negocios se encuentran agrupados con otros negocios y ofrecen una gran variedad de productos o servicios. Por lo tanto, son más atractivos para los clientes.

Cabe destacar que el modelo se ajusta bien a la realidad del indicador en terreno. Esto significa que los resultados del modelo coinciden con lo que se observa en la realidad, es decir, que los negocios con mayor complejidad comercial son los que se encuentran agrupados con otros negocios y ofrecen una gran variedad de productos o servicios.

3.3 Índice de Cobertura

La Figura 13 muestra el índice de cobertura peatonal de los negocios en la zona. Este índice se obtuvo mediante la suma de las variables interpoladas de accesibilidad, vulnerabilidad social, ubicación y atracción del cliente. El modelo de interpolación revela un rango de valores entre 0.55601 y 1.2954366 para cada celda. Las áreas con valores más bajos, cerca del color rojo, indican una menor cobertura peatonal. Esto significa que estos lugares son menos accesibles para los peatones, lo que dificulta que los clientes lleguen a los establecimientos comerciales. En contraste, las áreas con valores más altos, cerca del color azul, representan una mayor cobertura peatonal. Esto significa que estos lugares son más accesibles para los peatones, lo que facilita que los clientes lleguen a los establecimientos comerciales.

La Figura 14 muestra la reclasificación del índice de cobertura peatonal en tres secciones: alta, media y baja. Se observa que los negocios con una cobertura alta son N_5, N_7, N_11, N_12 y N_13. Estos negocios se encuentran principalmente en el centro de la colonia, donde la accesibilidad peatonal es mejor. Los negocios con una cobertura media son N_2, N_8 y N_4. Estos negocios se encuentran principalmente en las zonas intermedias de la colonia, donde la accesibilidad peatonal es variable.

Finalmente, los negocios con una cobertura baja son N_1, N_3, N_6, N_9 y N_10. Estos negocios se encuentran principalmente en las zonas periféricas de la colonia, donde la accesibilidad peatonal es menor.

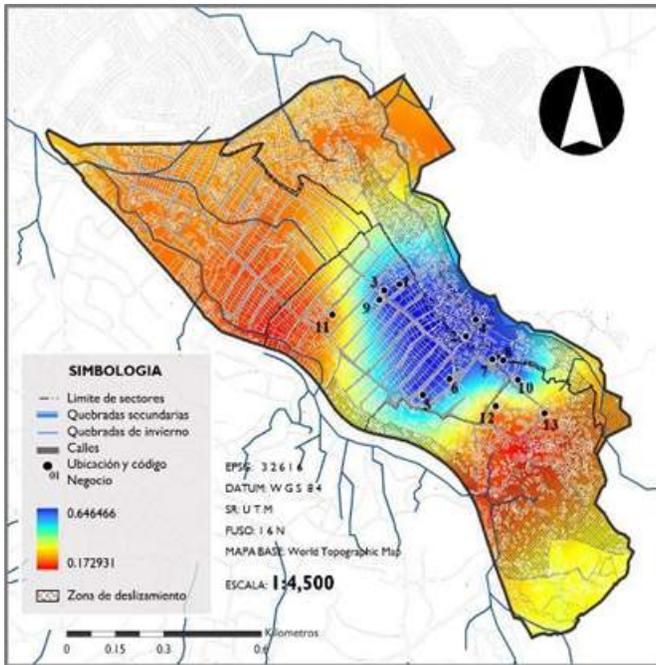


Figura 11: Interpolación de Kriging para la variable Atracción del cliente de indicador Complejidad comercial.

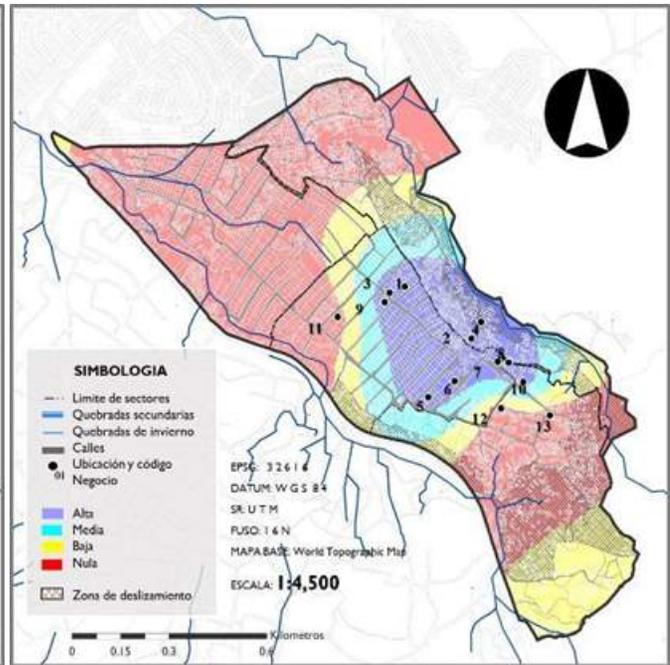


Figura 12: Reclasificación de valores para la variable Atracción del cliente de indicador Complejidad comercial.

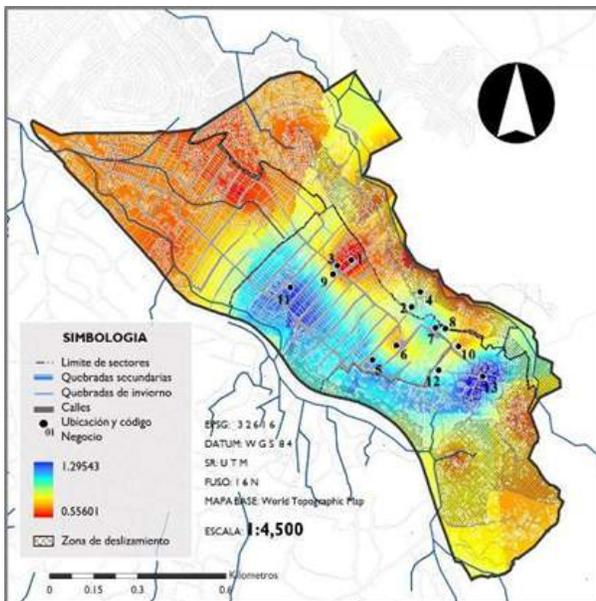


Figura 13: Sumatoria de variables interpoladas (Accesibilidad + Vulnerabilidad Social + Ubicación + Atracción del cliente).

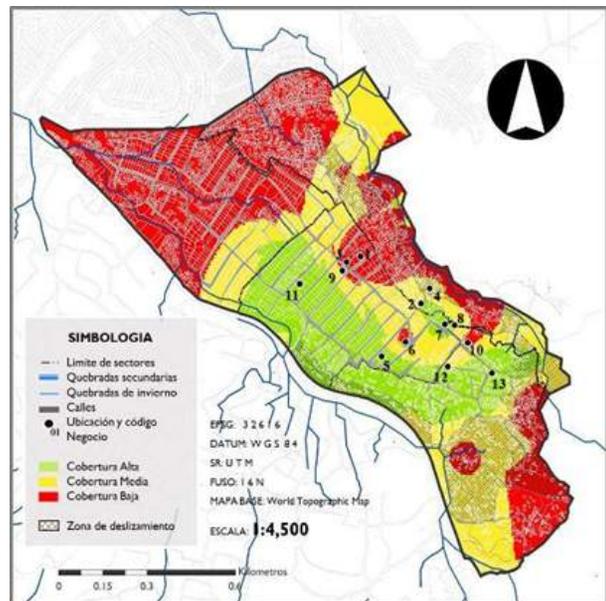


Figura 14: Índice de Cobertura de Negocios de la Colonia Villanueva Norte.

Tabla 4: Influencia de las variables en el modelo final de cobertura. Mayor influencia = Complejidad comercial; Segunda mayor influencia = Ubicación respecto a la amenaza; Tercer mayor influencia = Accesibilidad; Menor peso, pero importante = Vulnerabilidad social

| Valor Celdas | Accesibilidad | Vulnerabilidad Social | Ubicación con respecto a la amenaza | Complejidad Comercial |
|--------------|---------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Máximos | 0.484026 | 0.366183 | 0.57289 | 0.646466 |
| Mínimos | 0.0197963 | 0.0322402 | 0.00157441 | 0.172931 |

3.4 Análisis de la influencia de los indicadores

Complejidad comercial

Este indicador fue el más influyente en el modelo de cobertura como se muestra en la tabla 4, alcanzando valores máximos y mínimos de celdas entre 0.646466 a 0.172931 respectivamente. Esto se debe a que, como lo mencionaron los dueños de negocios durante las giras de campo, la proximidad entre los negocios aumenta la competencia. Los clientes tienen más opciones para elegir, lo que los lleva a tomar decisiones de compra en función de la calidad del servicio, la estética del establecimiento y la infraestructura adecuada. En este sentido, los negocios con menor complejidad comercial resultaron ser los mejor posicionados con una cobertura alta, mientras que los negocios con alta complejidad comercial obtuvieron una cobertura baja o media.

Ubicación respecto a la amenaza

Este indicador tuvo la segunda mayor influencia en el modelo de cobertura, con valores máximos de 0.57289 (Tabla 4), mostrando que entre más cerca este un negocio de la amenaza su posicionamiento varía entre cobertura baja y media. Esto se debe a que la cercanía de un negocio a una zona de amenaza, como un deslizamiento de tierra, puede afectar su posicionamiento en términos de cobertura. Los negocios ubicados cerca de estas zonas pueden tener un acceso limitado durante emergencias o desastres, lo que compromete la seguridad de los peatones y afecta negativamente la cobertura del servicio.

Accesibilidad

Este indicador tuvo la tercera mayor influencia en el modelo de cobertura, como se muestra en la Tabla 4 alcanzó valores de celda mayores a 0.484026. Sin embargo, su influencia no fue tan significativa como la de los dos indicadores anteriores. Esto se debe a que las calles que enrutan hacia la mayoría de los negocios en Colonia Villanueva Norte se encuentran en buen estado. Como resultado, la accesibilidad no tuvo un impacto considerable en la cobertura del servicio.

Vulnerabilidad social

Finalmente, Este indicador tuvo el menor peso en el modelo de cobertura, pero no por ello es menos importante con valores mayores de 0.366183 (tabla 4), A pesar de que Colonia Villanueva Norte está catalogada como una zona con altos índices de inseguridad en la ciudad, la percepción de seguridad dentro de la colonia es diferente para sus habitantes. Los incidentes de seguridad en la zona no inciden en las dinámicas comerciales entre proveedores/negocios y negocios/clientes y tampoco en las dinámicas en momentos de emergencia o desastre.

4 Discusión

La metodología permitió obtener dos resultados, el primero, una matriz de evaluación integral proporcionó un análisis detallado de cada variable a través del índice de cobertura de servicios. Ofrece una perspectiva granular de los negocios individuales y su entorno inmediato, permitiendo un enfoque personalizado para abordar desafíos y oportunidades específicas; y el segundo, corresponde a los mapas de interpolación derivados de los datos de la matriz de evaluación CPEM, visualizan la distribución espacial de las variables en el área de estudio. Al presentar el comportamiento de las variables a nivel de barrio, estos mapas amplían el análisis más allá de los negocios individuales, permitiendo una comprensión más amplia del impacto general de la red. El análisis revela una preocupación crítica, las áreas de baja cobertura coinciden con zonas de alta vulnerabilidad a amenazas de deslizamiento. Esto plantea un desafío significativo durante las emergencias, ya que la capacidad de la red para brindar seguridad alimentaria esencial a estas comunidades vulnerables se ve comprometida. Factores como el acceso limitado y los riesgos de seguridad para los peatones dificultan su capacidad para llegar a estos negocios. Este es el reflejo de lo que plantea (Avila y Pérez, 2014) el “costo social” que asumen de “por vida” los pobres de la ciudad, donde su calidad de vida se ve determinada por la posesión del patrimonio familiar en zonas de alto riesgo.

Se visualiza que el modelo en las zonas de baja cobertura está ubicado en las zonas con mayor vulnerabilidad de amenaza a deslizamiento, en momentos de emergencia la red de negocios perdería la función de aportar seguridad alimentaria de manera eficaz a estas zonas, por diversos factores que ponen en riesgo la seguridad del cliente (peatón) para poder acceder a sus servicios. En este sentido, se recomienda fortalecer la red de negocios con la incorporación de centros de servicio que estén ubicados sobre la zona de deslizamiento y apoyar con la mejora de su estructura de vivienda y su entorno físico para que pueda facilitar al cliente una experiencia de servicio segura en momentos normales y de emergencia. A su vez, con la incorporación de nuevos negocios a esta red, se recomienda aplicar nuevamente este modelo para poder tener nuevas apreciaciones y recomendaciones al respecto.

Según los resultados las dos variables con mayor influencia son Complejidad comercial y Accesibilidad en este sentido sería indispensable lo siguiente; Con respecto a la complejidad comercial es necesario la implementación de un plan de marketing para mejorar la atracción del cliente en los negocios donde la densidad comercial es un problema y que a su vez evalué las capacidades de servicio y atención de este. Con respecto a la accesibilidad resultaría necesario que acompañado a las mejoras externas del negocio se evalué la posibilidad de mejora de entornos o accesos completos donde se detecten obstáculos y desventajas de la experiencia del peatón hacia el centro de servicio respectivo.

5 Conclusiones

Este estudio ha culminado con éxito al combinar lo mejor de la metodología CPEM con las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El resultado es un modelo innovador para el análisis de la cobertura de servicios de la red de negocios en la colonia Villanueva Norte, con un enfoque particular en la experiencia del peatón.

El análisis de los resultados obtenidos, en conjunto con las opiniones y reflexiones recopiladas durante las giras de campo, evidencia la versatilidad de la metodología CPEM. Esta metodología ha demostrado ser adaptable al contexto específico del estudio, proporcionando información valiosa sobre los factores que influyen en la cobertura de servicios y la experiencia del peatón en la colonia Villanueva Norte.

La flexibilidad del modelo permite la incorporación de diversas variables siempre que estén bien justificadas y alineadas con el contexto específico del estudio. En este caso, el análisis reveló que la variable "Vulnerabilidad de la Vivienda" no era aplicable a un contexto general sino más bien a las características específicas de un elemento particular. Esto subraya la capacidad de adaptación del modelo a diferentes contextos, permitiendo la inclusión o exclusión de variables durante las fases de implementación y análisis.

Los resultados ponen de relieve la utilidad del análisis espacial como herramienta para manipular y extraer conocimiento valioso de los datos espaciales. Al emplear diversas técnicas, el análisis espacial facilita una comprensión más profunda de los procesos espaciales, permitiendo la toma de decisiones informadas.

Este análisis complementa el trabajo de categorización de negocios realizado por [Andino \(2019\)](#). La integración de este análisis reforzaría la visión del fortalecimiento empresarial para cualquier asentamiento informal donde se implemente el concepto de red de negocios.

6 Agradecimientos

Agradecer a las personas e instituciones que hicieron posible el desarrollo de este artículo. Principalmente, al Dr. Juan Gregorio Rejas, por sus valiosos consejos; a GOAL Internacional, específicamente proyecto Barrio Resiliente Tegucigalpa, por su apoyo en la documentación y datos necesarios para este estudio; finalmente a los dueños de la red de negocios y sus clientes, por su amable colaboración.

7 Referencias

Andino, K. (2019). *Negocio Resiliente*. Proyecto Barrios Resiliente, Honduras.

Antúñez, B. (2019). *Plan Maestro de Reducción de Riesgo a Desastres de Villanueva*. Proyecto Barrios Resiliente, Honduras.

Antúñez, B. (2020). Caracterización de barrio con enfoque en reducción de riesgos a desastres: Un aporte a la reconfiguración de barrios informales en el distrito central, honduras. Tesis de máster, Facultad de Ciencias Espaciales, Tegucigalpa, CA.

Arévalo Carmona, M. (2016). Asentamientos informales, inundaciones y vulnerabilidad físico espacial de la vivienda y el entorno inmediato: Caso estudio arroyo la esmeralda en el distrito de barranquilla, colombia. Tesis de máster, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Colombia.

Avila, P. y Pérez, A. (2014). *Urbanización, sociedad y ambiente. Experiencia en ciudades medias*, capítulo Pobreza urbana y vulnerabilidad en la ciudad de Morelia, pp. 223–270.

Baratta Papinni, A. (2015). Movilidad peatonal y seguridad ciudadana: Evaluación de intervenciones urbanas en el espacio público de la comuna de la granja. Tesis de máster, Chile.

Comisión para la Defensa y Promoción de la Competencia (CDPC) (2012). Estudio sobre el sector de los supermercados en honduras, distrito central y san pedro sula. https://www.cdpc.hn/sites/default/files/Privado/estudios_mercado/Estudio%20Sectorial%200023.pdf.

Comisión Permanente de Contingencias (COPECO) (s.f.). Manual para la evaluación de riesgo del emplazamiento y del medio construido para edificios, viviendas y edificaciones.

ESRI (s.f.). Comparando métodos de interpolación. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/comparing-interpolation-methods.htm>.

Giuliani, E. (2007). The selective nature of knowledge networks in clusters: Evidence from the wine industry. *Journal of Economic Geography*, 7:139–168.

GOAL and Global Communities (2023). Resilient and inclusive neighborhood approach. guide line.

Hernández García, J. (2014). Social construction of public space in popular neighborhoods of bogotá. *Revista INVI*, 28(78):143–178.

Jiménez Romera, C. (2015). Tamaño y densidad urbana. análisis de la ocupación de suelo por las áreas urbanas españolas. http://habitat.aq.upm.es/tydu/atydu_1.html.

Kelso, M. y de Chacín, A. R. (1995). Social construction of public space in popular neighborhoods of bogotá. *Revista FACES*, (11).

Lindley, S. (2011). Climate change, justice and vulnerability. Technical report, Joseph Rowntree Foundation, United Kingdom.

Molina-Morales, F., Capó-Vicedo, J., Tomás-Miquel, J., y Expósito-Langa, M. (2012). Análisis de las redes de negocio y de conocimiento en un distrito industrial. una aplicación al distrito industrial textil valenciano. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 15(2):94–102.

Organización Mundial de la Salud (2013). Seguridad peatonal: Manual de seguridad vial para instancias decisorias y profesionales. Technical report, Organización Mundial de la Salud (OMS).

Pardón Pinzón, R. (2013). Criterios para la elaboración de estudios viales en barrios de origen informal en proceso de legalización. Tesis de máster, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Universidad Nacional., Bogotá, Colombia.

Ramirez, L. (2006). La accesibilidad y la movilidad espacial: posible tratamiento mediante sistemas de información geográfica. *Cuadernos de Ideas: Migración interna, movilidad espacial y reconfiguraciones territoriales.*, (2):94–102.

Sáez, E., Garcia, J., y Roch, F. (2009). Ciudad vivienda y hábitat en los barrios informales de latinoamérica. Tesis de máster, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas., Madrid, España.

Talavera, R., Soria, J., y Valenzuela, L. (2014). La calidad peatonal como método para evaluar entornos de movilidad urbana. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 1(60):161–187.

UN-HABITAT (2015). Temas habitat iii: 22.asentamientos informales. Technical report, UN-HABITAT.

Valenzuela, L. y Talavera, R. (2012). Entornos de movilidad peatonal: una revisión de enfoques, factores y condicionantes. *Revista EURE*, 41(127):5–27.

CIENCIAS AERONÁUTICAS

PROPUESTA DE PROTOTIPO DE MAPA INTERACTIVO PARA LA OPERACIÓN SEGURA DE RPAS EN HONDURAS

Omri Alberto Amaya Carías^{1,*}; Alex Geovanny Matamoros^{1,†}; Antonio Locandro^{2,‡}
Allister Stefan^{3,§}

¹Departamento de Ciencias Aeronáuticas, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

²Consultoría FLYGHT7

³Ik' Unmanned Aerial Solutions

Recibido: 01/Abril/2024

Aceptado: 17/mayo/2024

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v15i1.18123>

RESUMEN

Con la presente investigación se hace una primera aproximación a un prototipo de mapa interactivo alimentado con información oficial, de los espacios no autorizados para la operación de Sistemas Aéreos de Pilotaje Remoto (RPAS por sus siglas en Inglés), de acuerdo con la Circular de Obligatorio Cumplimiento COC- ATL-002-2018. Metodológicamente se dieron tres fases de trabajo: primero se hizo una revisión bibliográfica y de las páginas webs relacionadas, seguidamente se categorizaron y localizaron los espacios indicados por la COC antes mencionada, haciendo uso de herramientas de geolocalización disponibles en línea; en un tercer momento, se hizo el levantamiento de una base de datos geoespaciales aplicando herramientas de acceso abierto. Entre los resultados visibles de la presente investigación se incluyen, 1) la elaboración de una primera categorización de espacios con restricciones para la operación de RPAS en Honduras según la circular antes mencionada; 2) una validación de la información disponible en la publicación de información aeronáutica sobre 131 aeródromos en Honduras; 3) la primera aproximación a un prototipo de mapa web para la operación segura de drones en Honduras. Las conclusiones de la investigación ratifican la importancia de contar en el país con un mapa interactivo de diseño amigable que indique los lugares en donde está permitida la operación segura de RPAS, en qué lugares esta operación se permite con restricciones y en cuáles está prohibida.

Palabras clave: Mapa Interactivo, Circular de obligatorio cumplimiento, operación RPAS.

*omri.amaya@unah.edu.hn  <https://orcid.org/0009-0006-6503-2304>

†amatamoros@unah.edu.hn  <https://orcid.org/0000-0002-1467-9806>

‡antoniolocandro@hotmail.com  <https://orcid.org/0009-0006-2469-2082>

§astefan@yahoo.com  <https://orcid.org/0009-0002-8504-6173>

ABSTRACT

With this research, a first approach is made to a prototype of an interactive map fed with official information, of the spaces not authorized for the operation of RPAS, in accordance with the mandatory Circular COC-ATL-002-2018. Methodologically, there were three phases of work: first a bibliographic review and the related web pages were made, then the spaces indicated by the aforementioned COC were categorized and located, making use of geolocation tools available online; in a third moment, a geospatial database was raised using open access tools. The visible results of this research include, 1) the elaboration of a first categorization of spaces with restrictions for the operation of RPAS in Honduras according to the aforementioned circular; 2) a validation of the information available in the publication of aeronautical information on 131 national aerodromes; 3) the first approach to a web map prototype for the safe operation of RPAS in Honduras. The research conclusions confirm the importance of having an interactive map of friendly design in the country that indicates the places where the safe operation of RPAS is allowed, in which places this operation is allowed with restrictions and in which it is prohibited; The need for a second phase of research in which field visits are made and information that is difficult to access or that requires specialized georeferencing criteria is also concluded.

Keywords: Interactive map, Mandatory Circular, RPAS operation.

1 *Introducción*

La Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil (AHAC), como parte de sus funciones institucionales emitió en 2018, una Circular de Obligatorio Cumplimiento (COC) con la finalidad de vigilar el manejo y aplicación segura de drones o Sistemas Aéreos de Pilotaje Remoto (RPAS por sus siglas en inglés), especialmente en los espacios en donde operan las aeronaves pilotadas, pero también en otros, en donde la seguridad de las personas y las entidades del Estado son prioridad ([AHAC, 2018](#)).

La aplicación de la Circular antes mencionada deja a la AHAC una tarea pendiente, puesto que, todavía no se cuenta con una representación georreferenciada al alcance del usuario de RPAS, de uso fácil, que contenga información oficial y actualizada de los lugares en donde se pueda operar un Sistema Aéreo de Pilotaje Remoto (RPAS por sus siglas en inglés) de forma segura; esta representación además, debe enfatizar en la identificación de los espacios restringidos por razones de seguridad de la integridad física de la población en general y de seguridad de las dependencias del Estado, que deben mantenerse exentas de sobrevuelos y que se encuentran indicados en la COC- ATL-002-2018. La ausencia del medio de consulta gráfico antes mencionado dificulta o vuelve engorroso el cumplimiento de la Circular indicada para los usuarios de RPAS obstruyendo de esta manera la prevención de incidentes y accidentes.

En otros países en donde se cuenta con un uso y aplicaciones masivas de RPAS se tiene acceso a mapas interactivos en línea que responden a las necesidades que genera la incorporación de estos vehículos de pilotaje remoto a un espacio aéreo que ya está siendo ocupado por aeronaves tripuladas. Es el caso de España la empresa estatal ENAIRE pone a disposición de los usuarios un mapa en el que se indican las zonas en las que se puede operar de forma segura, distinguiendo claramente estas zonas de las que no tienen permitido tales vuelos o solo se pueden hacer con un permiso especial. La página desde la que se ofrece información incluye interacciones e información como las zonas de vuelo para drones y, mediciones de áreas con latitudes y longitudes. En sus capas de información el mapa (figura 1) cuenta con aeromodelismo, aeródromo, alertas, avisos, zonas de vuelo fotográfico restringido, NOTAM, espacios naturales restringidos, zonas protegidas de aves, cartografía catastral.

La investigación presentada tuvo como objetivo elaborar un prototipo de mapa interactivo con información oficial actualizada, de los espacios no autorizados para la operación de RPAS, de acuerdo con su

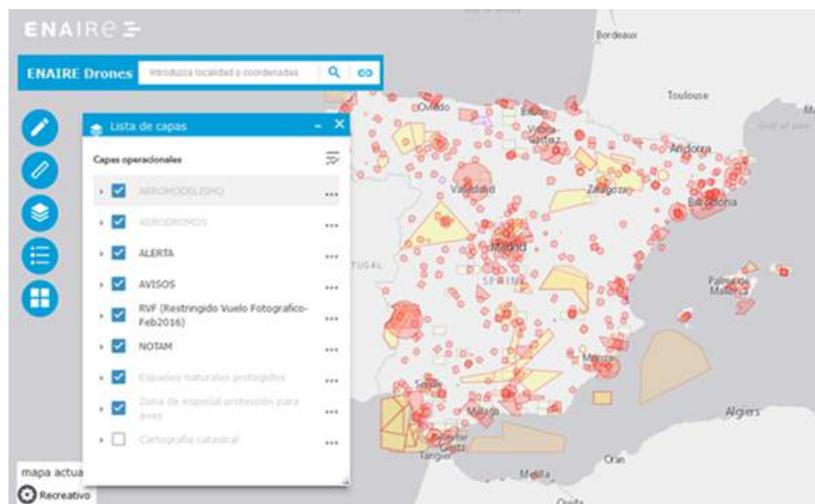


Figura 1: Listado de capas Mapa para drones, España. Fuente: (ENAIRE, 2020)

categoría de operación según la Circular COC- ATL-002-2018. Para el logro de dicho objetivo se hizo una categorización de los espacios restringidos para la operación de RPAS según los términos establecidos en la Circular COC – ATL – 002 – 2018, presentando en cada caso los criterios de definición utilizados; luego, se hizo una validación de la información disponible en las publicaciones de información aeronáutica (AIP por sus siglas en inglés) de la AHAC con respecto a los aeródromos existentes en Honduras, utilizando información disponible en fuentes virtuales. Por último, se estableció una propuesta de prototipo de mapa interactivo que permitiera una primera aproximación a la identificación de los espacios a nivel nacional en Honduras, en donde se pueda operar RPAS de forma segura.

2 Metodología

El equipo investigador optó por una investigación cualitativa, transversal de acuerdo con la información disponible, con alcance exploratorio para el ámbito hondureño. Como momentos más importantes del proceso de investigación se pueden enumerar los siguientes:

Revisión bibliográfica y de páginas web relacionadas: Primero, Se incluyó una revisión y análisis de la COC – ATL – 002 – 2018, del Anexo 4 de OACI Cartas Aeronáuticas, del RAC 04 de las regulaciones hondureñas que tiene el mismo nombre del Anexo 4 y, de las páginas de los países que tienen identificados los lugares de vuelo seguro para RPAS.

Categorización y localización de espacios: En un segundo momento se hizo una aproximación conceptual al listado de lugares que tendrían que ser incluidos como espacios con limitaciones de operaciones de RPAS en Honduras; posteriormente, teniendo como referente el AIP del Estado de Honduras y haciendo uso del sitio web Google Earth, se identificaron los aeródromos de Honduras indicados en la mencionada COC, para señalar las áreas que se verán afectadas con las restricciones en la operación de RPAS, a nivel nacional.

Base de datos geoespaciales: En un tercer momento, se elaboró una base de datos geoespaciales, empezando con la agregación de información disponible en el AIP de Honduras al 5 de noviembre de 2020; esta información se digitalizó en un formato XML (por las siglas en inglés del marcado Extensible Markup Language), según el modelo de intercambio AIXM (por las siglas en inglés de Aeronautical Information

Exchange Model). Con la información disponible en el sitio oficial de la [AHAC \(2020\)](#) se hicieron ensayos de localizaciones de aeropuertos internacionales, aeródromos nacionales y helipuertos con radios de exclusión de uso de RPAS.

3 Resultados

3.1 Categorización de espacios de vuelo según la COC-ATL-002-2018

La COC – ATL – 002 – 2018 establece tres tipos de espacio para operaciones RPAS: 1) donde No se puede operar en ninguna circunstancia (Numeral 9: ítems 8, 9, 10, 11, 12, y 13); 2) donde se puede volar con permiso excepcional con el procedimiento definido en la misma COC, siempre que se trate de un RPAS certificado por la AHAC (Numeral 10) y 3) donde se puede volar siguiendo parámetros como: 1. una altura menor a los 400 pies y dentro de la línea de visibilidad (LOS por sus siglas en inglés) en condiciones de buena visibilidad (conocidas como CAVOK por sus siglas en inglés) y lejos de lo descrito en el Numeral 9: ítems 8, 9, 10, 11, 12, y 13; 2. Como una operación descrita en el Manual del Operador RPAS aprobado por la AHAC cuando el operador cuente con un certificado comercial, institucional o gubernamental; 3. En espacios claramente definidos para actividades RPAS (Numeral 11). La definición de los espacios de operación están dados por los siguientes criterios: 1. Preservar la Seguridad Operacional de la Aviación, 2. Preservar la seguridad de tripulaciones y terceros en tierra y propiedad, 3. Respeto a la privacidad y voluntad expresa sobre propiedad privada. Bajo estas premisas, como se muestra en la Tabla 1, se pueden definir con orden de prioridad los siguientes espacios de cobertura:

Tabla 1: Espacios de cobertura priorizados para restricciones de vuelo

| Prioridad | Cobertura | Criterio |
|-----------|---|--|
| 1 | Infraestructura Aeronáutica y Operaciones Aéreas (civiles y militares) | Preservación de Seguridad Operacional / Seguridad Nacional |
| 2 | Infraestructura Nacional Crítica / Infraestructura de Seguridad / Militar | Seguridad Nacional / Seguridad en Tierra |
| 3 | Infraestructura Pública | Seguridad Nacional / Seguridad en Tierra |
| 4 | Reservas Biológicas | Seguridad en Tierra / Medioambiente |
| 5 | Zonas de no vuelo privadas (NFZ por sus siglas en inglés) | Seguridad en Tierra / Privacidad |

De entrada, estas coberturas ofrecen dificultades en lo referente con la disponibilidad de información; por ejemplo, la única fuente oficial disponible para la cobertura 1 que incluye aeropuertos y aeródromos, civiles y militares, es el AIP del Estado de Honduras, el cual no está actualizado. Por otra parte, se deben afinar criterios de georreferenciación para la infraestructura nacional de manera que se pueda establecer

un catálogo de edificios y otras infraestructuras, que no termine suprimiendo por completo los espacios para operaciones seguras de RPAS.

La fase de la que se ocupa la presente investigación hace uso, principalmente, de datos disponibles en línea; en el entendido de que en próximas fases serán necesario tanto datos de campo, como datos de fuentes oficiales actualizadas; ambos elementos suponen desafíos importantes dado que será necesario hacer reconocimientos de lugares dispersos por toda la geografía nacional y visitar plataformas y páginas webs con información que suele estar ausente o desactualizada.

La información requerida para describir de manera suficientemente específica las zonas de no vuelo, deben proceder de un conjunto difuso de fuentes oficiales, lo cual representa un primer obstáculo a considerar; adicionalmente, está la dificultad de acceder a datos de uso muy restringido. En todo caso es necesaria la recolección de datos actualizados y publicados para el levantamiento de un inventario preliminar en lo relacionado con:

- a Instalaciones aeronáuticas (civiles y militares): en este caso se debe incluir, su ubicación geográfica; estatus en términos de existencia o no existencia, mantenerse activo o no activo; uso, definiendo si se trata de una instalación pública o privada o reservada. Dentro de esta categoría encontramos: aeropuertos, aeródromos, pistas de aterrizaje, campos de aviación, helipuertos, y cualquier infraestructura utilizada para operaciones aéreas definidas en el eAIP vigente publicado por la [AHAC \(2020\)](#).
- b Espacios Aéreos definidos en el eAIP vigente, bajo el criterio de Áreas Prohibidas, Restringidas, o Peligrosas: En este caso se debe determinar su ubicación geográfica indicando su extensión territorial y altitudes; su estatus, definiendo si son espacios activos, inactivos o segregado; las condiciones de segregación o activación, indicando si tales condiciones son permanente, temporales (TFR por sus siglas en inglés) o por avisos (NOTAM por las siglas en inglés para este tipo de comunicaciones).
- c Espacios conocidos en los que se desarrollen otras actividades aeronáuticas o afines no vinculados a infraestructura o espacios aeronáuticos definidas y publicados oficialmente: Entran en esta categoría lugares en los que se practican deportes Aeronáuticos como paracaidismo, parapente, alas delta, aeromodelismo, globos aerostáticos, ultraligeros, carreras con drones, entre otros.

En base a la categorización propuesta, a continuación, se presenta una estimación de las áreas de exclusión y áreas de amortiguamiento para cada uno de los tipos de espacio priorizados, Tabla 2.

3.2 Validación de la Información del AIP referente a los aeródromos en operación como referentes de restricción de vuelo de RPAS

Dada la importancia de contar con información puntual y actualizada para el diseño del Prototipo del Mapa de RPAS de Honduras, fue necesario que el equipo investigador priorizara la identificación de los aeródromos disponibles en el país, así como aquellos que se encuentran en desuso o el uso de sus predios es diferente al aeronáutico. La verificación preliminar de la situación de los aeródromos de Honduras se hizo utilizando la plataforma Google Earth Pro (Figura 2), para este efecto se repasaron todos los aeródromos declarados en el sitio web de la AHAC.

3.2.1 Proceso de verificación de datos

En síntesis, se hizo una comparación entre la información de la que dispone el eAIP del Estado de Honduras como fuente oficial y, la información existente en Google Earth Pro, sobre los puntos reportados en dicha fuente. A continuación, se presenta los distintos momentos del proceso de comparación.

Tabla 2: Coberturas priorizadas para restricciones de vuelo

| Prioridad | Categoría | Descripción | Área de exclusión (horizontal) | Área de Amortiguamiento horizontal desde el perímetro | Criterio |
|---|-----------|---|------------------------------------|---|---------------------------------|
| 1- Infraestructura Aeronáutica y Operaciones Aéreas | 1a | Aeropuertos/Aeródromos Helipuertos | 5km/ 3km/ 1km | N/A | Seguridad Operacional |
| | 1b | Zonas prohibidas, Restringidas y Peligrosas | Según eAIP y/o NOTAM | N/A | Seguridad Operacional |
| | 1c | Deportes Aeronáuticos Otras actividades aeronáuticas | Según criterios de la actividad | Buffer 1:1 mínimo | Seguridad Operacional |
| 2- Infraestructura Nacional Crítica/ Infraestructura de Seguridad/ Militar | 2a | Instalaciones militares y entes de seguridad | Área dentro del perímetro | 1 km | Seguridad Nacional |
| | 2b | Centros penales | Área dentro del perímetro | 1 km | Seguridad Pública |
| | 2c | Infraestructura Nacional Crítica | Área dentro del perímetro | 1 km | Seguridad Nacional |
| | 2d | Instalaciones de gobierno con alto perfil | Área dentro del perímetro | 1 km | Seguridad Pública |
| | 2e | Instalaciones diplomáticas | Área dentro del perímetro | 1 km | Seguridad Internacional |
| 3- Infraestructura Pública | 3a | Instalaciones de gobierno con perfil medio | Área dentro del perímetro | 125m | Seguridad Pública |
| | 3b | Zonas de acceso público | Área dentro del perímetro | 125m | Seguridad Pública |
| | 3c | Aglomeraciones de personas | Área dentro del perímetro | 125m | Seguridad Pública |
| | 3d | Edificaciones | Área dentro del perímetro | 125m | Seguridad Pública / Privacidad |
| 4- Reservas Naturales y Biológicas | 4 | Zonas declaradas como Reservas Naturales/Biológicas | Área dentro del perímetro | 125m | Medio-Ambiente/ Conservación |
| 5- NFZ's Privados | 5a | NHZ privadas declaradas por AHAC | Área dentro del perímetro | 125m | Seguridad Operacional |
| | 5b | NHZ privadas declaradas por gobierno | Área dentro del perímetro | 125m | Seguridad Nacional / Pública |
| | 5c | NHZ privadas declaradas por Municipalidad | Área dentro del perímetro | | Seguridad Pública / Privada |



Figura 2: Descripción de Google Earth Pro 7.3.3.7786 (64-bit). Fuente: Google Earth Pro

PASO 1

Se hizo la exportación de los datos de infraestructura aeronáutica requeridos del eAIP del Estado de Honduras a un cuadro en Excel, como se ilustra en la Figura 3. La información exportada fue:

1. Código OACI de cada Aeródromo,
2. Nombre dado al aeródromo
3. Coordenadas WGS-1984

Se realizó esta operación para los 153 aeródromos no controlados y de uso con reglas de vuelo visual (VFR por sus siglas en inglés) enumerados en el AIP de Honduras. El total de estos aeródromos incluyen aquellos que funcionan para vuelos nacionales y registran operaciones sean ocasionales o frecuentes, pero que no cuentan con una torre de control. Además, se encuentran dentro del mismo grupo aeródromos que no tienen ninguna actividad y aun otros que es poco probable que sigan existiendo; más adelante se detallan hallazgos a este respecto.

PASO 2

Se convirtieron las coordenadas geográficas de DDMMSS a grados decimales haciendo uso de la Herramienta CANADENSYS ([Université de Montréal Biodiversity Centre, 2020](#)), interfaz en la Figura 4.

Los grados decimales resultantes, fueron incorporados en la hoja de cálculo donde se estaba documentando la información de los aeródromos, Figura 5.

PASO 3

Una vez completada la información de todos los 153 aeródromos, con latitudes y longitudes en decimales, se procedió a ubicarlos geográficamente uno a uno, haciendo uso del programa Google Earth. En la Figura 6, se visualiza que, copiando los datos de Latitud y Longitud y pegándolos en el buscador de Google Earth, este encuentra la ubicación con la fotografía satelital que define el centro del eje de los aeródromos reportados en el eAIP.

MH_AD_1.3-8
31 JAN 2019

AIP
HONDURAS

| AERÓDROMO DESIGNADOR OACI/CIUDAD | COORDENADAS WGS-84 | ELEV (M) | ORIENTACIÓN (GRADOS MAG) DIMENSIONES (METROS) | SUPERFICIE RESISTENCIA (LIBRAS) | PEND % | HORA DE OP | AUTORIDAD RESPONSABLE USO | OBS |
|--|-----------------------|-------------|--|---------------------------------------|-----------|---------------|---------------------------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| COLÓN | | | | | | | | |
| CHIQUERITO MHCI* | 154955N 0850137W | 30 | N45E 635X27 | GRAMA | | | PARTICULAR FUMIGACIÓN | MALA CONDICIÓN |
| EL PORVENIR MHPV* | 153149N 0861625W | 69 | N88E 756X13 | GRAVA | | | PARTICULAR FUMIGACIÓN | BUENA CONDICIÓN |
| IRIONA MHIR* | 155621N 0850814W | 8 | N62E 420X33 | TIERRA | | | NACIONAL PRIVADO | MALA CONDICIÓN |
| IZAPAN MHIZ* | 155437N 0851016W | 8 | N62E 420X33 | TIERRA | | | NACIONAL PRIVADO | MALA CONDICIÓN |
| LA ESPERANZA MHEZ* | 153635N 0860822W | 60 | N80E 793X16 | GRAVA | | | FUMIGACIÓN PRIVADO | MALA CONDICIÓN |
| LIMON MHLN* | 155148N 0852955W | 3 | N75E 420X25 | TIERRA | | | NACIONAL GENERAL | MALA CONDICIÓN |
| OCOTALES MHOT* | 154009N 0851140W | 130 | N85E 2100X45 | TIERRA Y GRAMA | 1 | | NACIONAL GENERAL | REGULAR CONDICIÓN |
| PAYASITO MHPY* | 155233N 0852349W | 5 | N73E 442X25 | TIERRA Y GRAMA | | | PARTICULAR PRIVADO | MALA CONDICIÓN |
| SANGRELAYA MHGR* | 155829N 0850528W | 3 | N60E 531X15 | GRAVA | | | NACIONAL MILITAR | MALA CONDICIÓN |
| SICO MHSI* | 154907N 0850652W | 20 | N55W 520X23 | TIERRA | | | PARTICULAR | BUENA CONDICIÓN |
| SINALOA MHSN* | 154138N 0855719W | 20 | N40E 580X17 | GRAMA | | | NACIONAL GENERAL | BUENA CONDICIÓN |
| TOCOA MHTO* | 153935N 0856939W | 37 | N54E 838X50 | TIERRA | | | MHGE* | EL AGUACATE |
| TRUJILLO MHTJ* | 155538N 0855614W | 1 | N60E 1050X36 | TIERRA | | | MHEO* | EL ALTO |
| | | | | | | | MHSC* | ENRIQUE SOTO CANO (MIL AD) |
| | | | | | | | MHIC* | ISLA DEL CISNE |
| | | | | | | | MHNC* | NUEVA CHOLUTECA |
| | | | | | | | MHPC* | PALACIOS |
| | | | | | | | MHRC* | RIO AMARILLO |
| | | | | | | | MHTE* | TELA |
| | | | | | | | MHUH* | UHI |
| | | | | | | | MHUT* | UTILA |
| | | | | | | | MHAC* | ACENSA |
| | | | | | | | MHAY* | ARASLAYA |
| | | | | | | | MHAR* | ARCHAGA |
| | | | | | | | MHAH* | AJAS |
| | | | | | | | MHBA* | BARBARETA |
| | | | | | | | MHPA* | BARRA DEL PATUCA |
| | | | | | | | MHCU* | CAUQUIRA |
| | | | | | | | MHGS* | CELAQUE GRACIAS |
| | | | | | | | MHCS* | COYOLES |
| | | | | | | | MHUY* | CUCUYAGUA |
| | | | | | | | MHFA* | FINCASAN ANTONIO |

Figura 3: Exportación de datos de aeródromos del eAIP.

The image shows the Canadensys website interface. At the top, there is a navigation bar with the Canadensys logo and a language selector set to 'Français'. Below the navigation bar, there are links for 'explorer', 'repository', 'tools', 'vascan', and 'community'. The main content area is titled 'Coordinate conversion' and includes a brief description: 'Use this tool to convert geographic coordinates from DDMSS to decimal degrees. Type coordinate pairs on separate lines or paste latitude and longitude columns from a spreadsheet. Each row may be optionally preceded by an identifier followed by a pipe or tab.' A large text input field contains the example coordinates '45° 32' 25" N, 129° 40' 31" W'. Below the input field is a 'Submit' button. On the right side, there is a sidebar with links for 'Coordinate conversion', 'Date parsing', 'Tools API', and 'About'. Below the sidebar, there is an 'Example input' section showing the coordinates in decimal degrees: '1 | 45.5° N, 129.6° W' and '2 | 40°28'47"N,74° 0' 21.5022"W'.

Figura 4: Website CANADENSYS para la conversión de coordenadas.

| CODIGO OACI | NOMBRE AERÓDROMO | AIP | AIP2 | LATITUD | LONGITUD |
|-------------|---------------------------|---------------|----------------|------------|-------------|
| MHGE* | EL AGUACATE | 145234.56877N | 0854622.15344W | 14.8762691 | -85.7728204 |
| MHEO* | EL ALTO | 142936N | 0870623W | 14.4933333 | -87.1063889 |
| MHSC* | ENRIQUE SOTO CANO (ML AD) | 142253N | 0873713W | 14.3813889 | -87.6202778 |
| MHIC* | ISLA DEL CISNE | 172429.33N | 0835552.79W | 17.4081472 | -83.9313306 |
| MHNC* | NUEVA CHOLUTECA | 131911.430 N | 0870856.504 W | 13.3198417 | -87.1490289 |
| MHPC* | PALACIOS | 155718N | 0845629W | 15.955 | -84.9413889 |
| MHRC* | RIO AMARILLO | 145457.69067N | 0890027.87764W | 14.9160252 | -89.0077438 |
| MHTE* | TELA | 154631.6074N | 0872835.3109W | 15.7754465 | -87.4764753 |
| MHUH* | UHI | 153009.45N | 0835618.59W | 15.502625 | -83.9384972 |
| MHUT* | UTILA | 160647.55904N | 0865249.90320W | 16.1132108 | -86.8805287 |
| MHAC* | ACENSA | 131437N | 0872029W | 13.2436111 | -87.3413889 |
| MHAY* | ARASLAYA | 154407N | 0843236W | 15.7352778 | -84.5433333 |
| MHAR* | ARCHAGA | 141707N | 0871345W | 14.2852778 | -87.2291667 |
| MHAH* | ALIAS | 152822N | 0842117W | 15.4727778 | -84.3547222 |
| MHBA* | BARBARETA | 162559N | 0860822W | 16.4330556 | -86.1394444 |
| MHPA* | BARRA DEL PATUCA | 154805N | 0841748W | 15.8013889 | -84.2966667 |
| MHCU* | CAUQUIRA | 151900N | 0833530W | 15.3166667 | -83.5916667 |

Figura 5: Conversión de coordenadas geográficas del eAIP a grados decimales.

| CODIGO OACI | NOMBRE AERÓDROMO | AIP | AIP2 | LATITUD | LONGITUD |
|-------------|---------------------------|---------------|----------------|------------|-------------|
| MHGE* | EL AGUACATE | 145234.56877N | 0854622.15344W | 14.8762691 | -85.7728204 |
| MHEO* | EL ALTO | 142936N | 0870623W | 14.4933333 | -87.1063889 |
| MHSC* | ENRIQUE SOTO CANO (ML AD) | 142253N | 0873713W | 14.3813889 | -87.6202778 |
| MHIC* | ISLA DEL CISNE | 172429.33N | 0835552.79W | 17.4081472 | -83.9313306 |
| MHNC* | NUEVA CHOLUTECA | 131911.430 N | 0870856.504 W | 13.3198417 | -87.1490289 |
| MHPC* | PALACIOS | 155718N | 0845629W | 15.955 | -84.9413889 |
| MHRC* | RIO AMARILLO | 145457.69067N | 0890027.87764W | 14.9160252 | -89.0077438 |
| MHTE* | TELA | 154631.6074N | 0872835.3109W | 15.7754465 | -87.4764753 |
| MHUH* | UHI | 153009.45N | 0835618.59W | 15.502625 | -83.9384972 |
| MHUT* | UTILA | 160647.55904N | 0865249.90320W | 16.1132108 | -86.8805287 |
| MHAC* | ACENSA | 131437N | 0872029W | 13.2436111 | -87.3413889 |
| MHAY* | ARASLAYA | 154407N | 0843236W | 15.7352778 | -84.5433333 |
| MHAR* | ARCHAGA | 141707N | 0871345W | 14.2852778 | -87.2291667 |
| MHAH* | ALIAS | 152822N | 0842117W | 15.4727778 | -84.3547222 |
| MHBA* | BARBARETA | 162559N | 0860822W | 16.4330556 | -86.1394444 |
| MHPA* | BARRA DEL PATUCA | 154805N | 0841748W | 15.8013889 | -84.2966667 |
| MHCU* | CAUQUIRA | 151900N | 0833530W | 15.3166667 | -83.5916667 |

Figura 6: Localización del centro del eje de los aeródromos con Google Earth.

PASO 4

De acuerdo con los resultados obtenidos en la ubicación de los aeródromos, atendiendo a la imagen ofrecida en Google Earth de la superficie terrestre, se definió una clasificación en tres categorías: Definido, Indefinido y Con nuevas coordenadas. Las tres categorías son aplicables tanto a los aeródromos como a los helipuertos. A continuación, se explica cada una de las categorías y se muestran gráficamente.

Definido

Esta clasificación se da a las imágenes en donde las coordenadas convertidas de los datos ofrecidos por el eAIP, coinciden en el centro del eje de la pista que se está verificando y de la cual se genera una fotografía.

Un ejemplo de esta puede verse en la Figura 7, en donde se muestra el aeródromo municipal de la Ciudad de Tela, en el Atlántico hondureño.

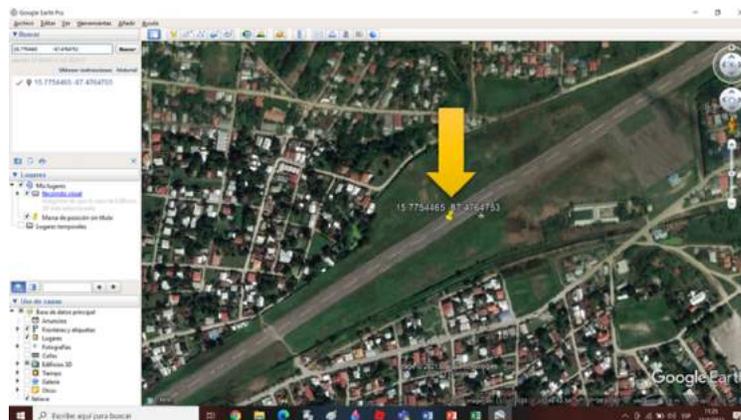


Figura 7: Ejemplo de aeródromo definido.

Indefinido

Esta clasificación se da a las imágenes en donde no se logra definir información visual que muestre la existencia de un aeródromo. En estos casos las imágenes obtenidas muestran zonas montañosas o espacios que evidencian usos distintos al de una pista de aterrizaje. Un ejemplo de esta puede verse en la Figura 8 de donde debería estar el aeródromo de Lepaguare, en el Departamento de Olancho.

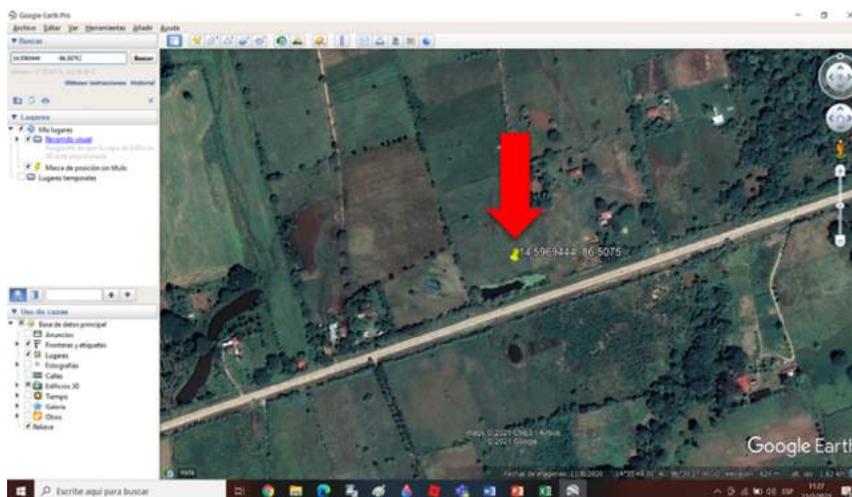


Figura 8: Ejemplo de aeródromo indefinido.

Con nuevas coordenadas

Esta clasificación se da a las imágenes en donde el centro del eje no coincide con el eje de la pista, pero se logra visualizar su cercanía por lo que se hace un ajuste en las coordenadas para aproximarlas a las coordenadas que deberían ser, según la figura obtenida.

Un ejemplo de esta puede verse en la Figura 9, en donde en el círculo amarillo nos muestra las coordenadas establecidas por el AIP de Honduras, y en el círculo verde las asignadas por el equipo investigador

Tabla 3: Aeródromos activos que no aparecen el eAIP

| CÓDIGO OACI | NOMBRE AERÓDROMO | COORDENADAS AIP | LATITUD | LONGITUD |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------|------------|
| SIN CÓDIGO | COCHINO PEQUEÑO | 15°57'10.2"N 86°29'55.0"W | 15.952825 | -86.498617 |
| SIN CÓDIGO | CAMPO DOS | 15°26'36.2"N 87°53'54.1"W | 15.443392 | -87.898351 |
| SIN CÓDIGO | EQUIPOS, DESARROLLO E INVERSIONES | 15°28'39.1"N 88°01'35.6"W | 15.477537 | -88.02655 |

y que serán utilizadas en el Mapa de RPAS propuesto. La ilustración es del aeródromo de Auas, en el Departamento de Gracias a Dios.



Figura 9: Ejemplo de aeródromo con nuevas coordenadas.

PASO 5

Se hizo la clasificación de todos los aeródromos y helipuertos identificados en el eAIP, a partir de las tres categorías propuestas, con lo cual se obtuvo una clasificación general de los 153 registrados en el AIP de Honduras, incluyendo en cada caso Código OACI, nombre del aeródromo, coordenadas AIP, latitud y longitud. Por las limitaciones de espacio que impone el presente artículo no se incluyen todas las fotografías obtenidas y trabajadas en Google Earth.

3.2.2 Aeródromos activos que no aparecen en el AIP

Un grupo adicional de aeródromos está conformado por aquella estructura aeroportuaria que es del conocimiento del equipo investigador, pero no cuentan con registro en el eAIP. También de estas pistas se puede encontrar evidencia de imágenes satelitales en Google Earth. En la Tabla 4, se presenta un registro de las coordenadas las pistas mencionadas, utilizando las variables aplicadas al resto de aeródromos.

3.2.3 Primera aproximación al conjunto de aeródromos y helipuertos de Honduras

Los alcances de la presente investigación dieron para una revisión de escritorio de la clasificación propuesta, contrastando datos disponibles en fuentes oficiales para el público en general. Como se muestra en la Figura 10, el resultado de esta primera aproximación ofrece evidencias de un número significativo de aeródromos cuya condición es de indefinidos; de hecho, 97 de los 131 aeródromos registrados caen dentro de esta categoría y solamente 10 pueden considerarse definidos, los restantes 24 podían ser corregidos desde la revisión de escritorio realizada con la ayuda de Google Earth. Este hallazgo propone al grupo investigador una tarea pendiente muy importante: contrastar los datos con trabajo de campo.

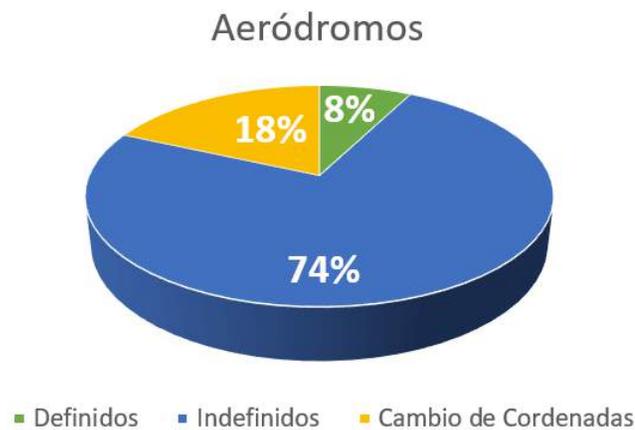


Figura 10: Porcentajes de acuerdo con clasificación de informe AIP de aeródromos en Honduras.

Al pasar revista en Google Earth a los helipuertos reportados por el EAIP, como ilustra la Figura 11, la situación encontrada es muy distinta puesto que 10 de los 22 helipuertos reportados pueden considerarse definidos, mientras un número menor, es decir 9, son indefinidos y un número mucho menor, 3, podían ser corregidos desde una localización virtual.



Figura 11: Porcentaje de acuerdo con la Clasificación de Información AIP de Helipuertos en Honduras.

3.3 Prototipo de mapa web para la operación segura de RPAS en Honduras

El proceso de elaboración del mapa, figura 10, inició con la recolección y revisión de los datos de entrada que requirieron doble digitación para definir y seleccionar la información que se utilizaría y la que no; luego, todo se guardó en una base de datos o backend, utilizando Posgresql y Postgis; después, todo se trabajó con herramientas de código libre, con un sistema de información geográfica QGIS y se exportó con un formato GeoJSON a la plataforma en línea es decir a la web. Todo el proceso permite evitar el uso de servidores para hacer replicación de datos, puesto que se han utilizado formatos de texto que solo requieren bajarlos y pueden ser interpretados por un visor como el LeafletJS.



Figura 12: Proceso de elaboración del mapa en línea.

El prototipo generado limita sus alcances a una muestra de capas aeronáuticas y una de capas no aeronáuticas. En el caso de las capas aeronáuticas se incluyen aeropuertos internacionales, aeródromos, helipuertos y áreas prohibidas, restringidas y peligrosas; en las capas no aeronáuticas, se incluyeron áreas Protegidas/Reservas Naturales, centrales hidroeléctricas, energía térmica y energía Eólica.

3.3.1 Capas Aeronáuticas

Para las capas aeronáuticas la información fue extraída de la Publicación de Información Aeronáutica (AIP, por sus siglas en inglés), haciendo uso solamente de las clasificaciones Definido y Con Nuevas Coordenadas.

El AIP es un documento cuya actualización está a cargo de la Autoridad Aeronáutica y está normatizada por las Estándares y Practicas Recomendadas de la OACI (SARPS por sus siglas en inglés), mediante el Anexo 15 Servicios de Información Aeronáutica (AIS); otras guías de contenidos están en los documentos OACI, PANS AIM DOC 10066 y el Manual para los Servicios de Información Aeronáutica DOC 8126. Sin embargo, fue necesario eliminar de la lista ofrecida por el AIP aquellos aeródromos que a criterio del equipo investigador quedaron en la clasificación No Definido, puesto que no representaban un obstáculo para la operación segura dada su inactividad.

La presente investigación propone como primer referente para la definición de un prototipo de mapa para la operación segura de RPAS, la información aeronáutica disponible en el AIP y clasificada por el equipo investigador, en su condición de fuente oficial de información.

A continuación, en la tabla 4, se presentan las capas aeronáuticas con las que se trabajó en esta primera fase de la investigación y las secciones correspondiente del AIP en donde se encuentra información relacionada con cada una de las capas.

Tabla 4: Capas de información y sección AIP relacionada

| Capa Aeronáutica | Sección AIP |
|---|---|
| Aeropuertos Internacionales | AD 2 |
| Aeródromos | AD 1.3 ÍNDICE DE AERÓDROMOS Y HELIPUERTOS |
| Helipuertos | AD 1.3 ÍNDICE DE AERÓDROMOS Y HELIPUERTOS AD 3 |
| Áreas Prohibidas, Restringidas y Peligrosas | ENR 5.1 ZONAS PROHIBIDAS, RESTRINGIDAS Y PELIGROSAS |

Para la AIP, la AHAC cuenta con un sistema automatizado y en formato digital; de la información ofrecida por este sistema, se utilizó únicamente aquella disponible de manera pública a través de su sitio institucional, sin dirigir consultas a las instancias encargadas en dicha agencia. Cabe mencionar que el usuario está en la libertad de solicitar información pertinente, puesto que el Documento OACI PANS AIM (OACI, 2018) insta a los Estados a proveer conjuntos de datos electrónicos de acceso abierto al público.

Considerando el poco volumen de información a incorporar en las capas trabajadas, todo se procesó manualmente, recreándose las capas geográficas requeridas. Sin embargo, hay que considerar que para futuras versiones se deberá realizar el análisis para integrar directamente los datos digitales disponibles en ficheros XML del modelo de intercambio aeronáutico (AIXM); tomando esta medida la información en las capas se podrá actualizar constantemente.

La información para los Aeropuertos Internacionales, Aeródromos y Helipuertos fue copiada desde el navegador web en un archivo delimitado por comas (CSV), con el fin de importar posteriormente la información en una base de datos relacional (RDBMS), de código abierto PostgreSQL que incluye la extensión espacial Postgis.

Las zonas prohibidas, restringidas y peligrosas, Figura 13, se digitalizaron directamente en el sistema de información geográfico (GIS) de código libre QGIS para su almacenamiento en PostgreSQL/Postgis.

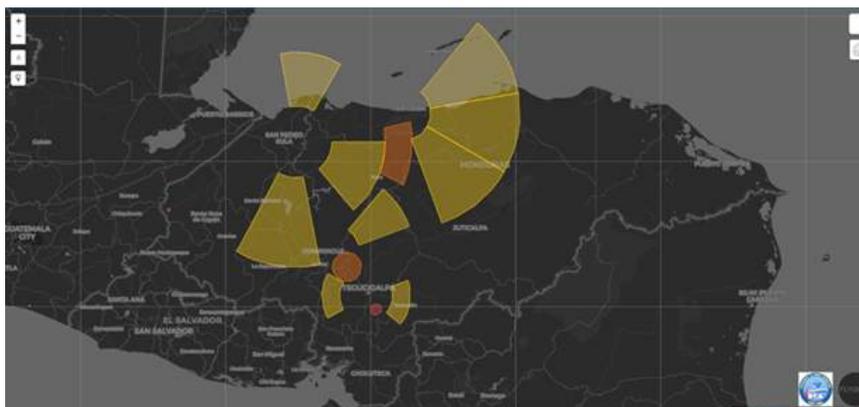


Figura 13: Zonas Prohibidas, Restringidas y Peligrosas.

Una vez teniendo los datos de Aeropuertos, aeródromos y Helipuertos, se utilizó la COC – ATL – 002 – 2018 para crear las áreas alrededor de las infraestructuras mencionadas, en las cuales no es permitido volar, Tabla 5. Aplicando este parámetro, se utilizó la herramienta de geoprocetamiento que dispone QGIS (processing) y se aplicó el buffer de acuerdo con la parametrización establecida, Figura 14. Si bien esta

misma función se pudo realizar mediante sentencia SQL directo en Postgis, se decidió que esta alternativa se dejaría para una segunda fase de la investigación que permita la generación dinámica y en tiempo real, de imágenes georreferenciadas.

Tabla 5: Radios de no vuelo para infraestructura aeroportuaria

| Tipo | Radio a utilizar |
|------------|------------------|
| Aeropuerto | 5km |
| Aeródromo | 3km |
| Helipuerto | 1km |

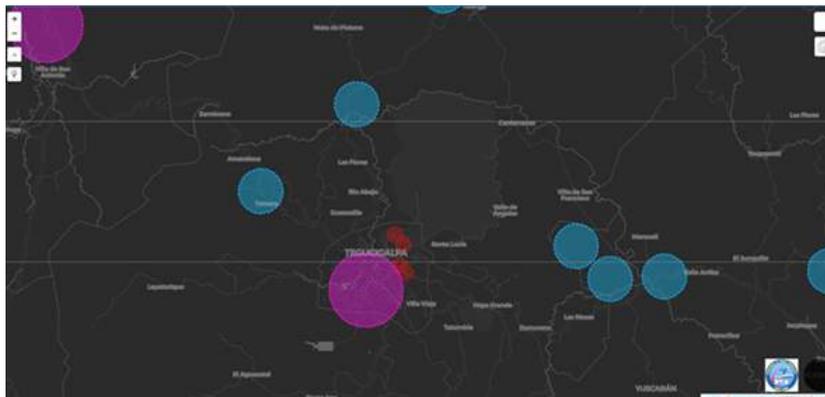


Figura 14: Muestra de Infraestructura Aeroportuaria.

Al final se obtuvo un mapa con todas las capas aeronáuticas, Figura 15; a partir de esta visualización, se establece que existen varios espacios de no vuelo en lugares donde no se tiene conocimiento de actividad de aviación en los últimos años, lo que llevó a realizar una validación de escritorio de los datos utilizando Google Earth, como efectivamente se hizo.

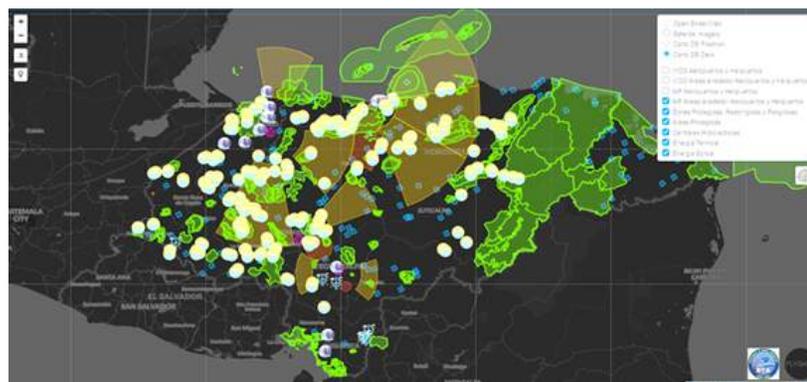


Figura 15: Capas aeronáuticas con Espacios de No Vuelo de RPAS.

Con la Validación de la Información del AIP referente a los aeródromos en operación como referentes de restricción de vuelo de RPAS que se realizó previamente, se procedió a generar un archivo PDF en QGIS, mediante la funcionalidad Atlas del sistema para tener por cada elemento a revisar el identificador OACI, Nombre, Departamento, Coordenadas y una imagen de satélite usando Google Earth de base. Una vez procesados todos los archivos fueron convertidos a formato geojson, un formato que permite codificar

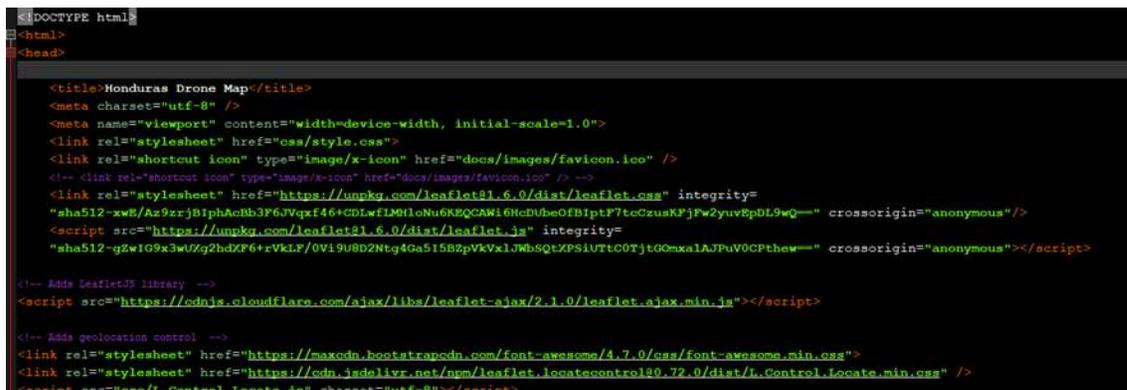
una gran variedad de estructuras geográficas y que está definida en la especificación GeoJSON RFC 7946 con el fin de ser utilizados en el visor web.

3.3.2 Capas no aeronáuticas

Las capas no aeronáuticas utilizadas fueron obtenidas de dos geoportales: el primero de ellos fue el de territorios en riesgo que indica las áreas geográficas de Honduras con explotación o potencial de explotación de minerales, hidrocarburos o de generación de energía eléctrica (Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, 2020) ; el segundo, el del Observatorio Universitario del Territorio que localiza eventos y circunstancias de relevancia para el País por su localización geográfica (FACES, 2020). Ambos portales son gestionados por la UNAH.

Se descargaron las siguientes capas de información: áreas protegidas, reservas naturales, centrales hidroeléctricas, energía térmica y Energía Eólica. Queda pendiente una purificación de los datos que permita aplicar estándares de calidad; para esta primera aproximación se tomaron los datos tal como estaban en las fuentes consultadas y se convirtieron a formato geojson, como se hizo con las capas aeronáuticas. Para el visor web se utilizó la librería de código abierta LeafletJS la cual es una plataforma ampliamente utilizada en diversos ámbitos Map con el fin de ver información a través de los diferentes navegadores (Agafonkin, 2020).

Como se muestra en la Figura 16, se utilizó lenguaje de marcado de hipertexto (HTML por siglas en inglés) para hacer el diseño de la aplicación de la página, puesto que dentro de la página web se incrustará el JavaScript que es otro lenguaje que permite la visualización.



```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<title>Honduras Drone Map</title>
<meta charset="utf-8" />
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
<link rel="stylesheet" href="css/style.css">
<link rel="shortcut icon" type="image/x-icon" href="docs/images/favicon.ico" />
<!-- <link rel="shortcut icon" type="image/x-icon" href="docs/images/icon.ico" /> -->
<link rel="stylesheet" href="https://unpkg.com/leaflet@2.6.0/dist/leaflet.css" integrity=
"sha512-xwE/Az9xRjBphAcBb3F6Jvqxf46+CDLwfIMHloNucdW6QAW16HcDUBbe0FB1ptF7tcCzusK3jPw2yuvEpDL9wQ==" crossorigin="anonymous"/>
<script src="https://unpkg.com/leaflet@2.6.0/dist/leaflet.js" integrity=
"sha512-gZwIG9x3wUg2hdXP6+zVklF/0V19U8D2tg4Ga515B2pVklx1JwBsqzXPS1UtC0TjtG0mxalAJpuV0CPthw==" crossorigin="anonymous"></script>
<!-- Adds LeafletJS library -->
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/leaflet-ajax/2.1.0/leaflet.ajax.min.js"></script>
<!-- Adds geolocation control -->
<link rel="stylesheet" href="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/font-awesome/4.7.0/css/font-awesome.min.css">
<link rel="stylesheet" href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/leaflet-locatecontrol@2.7.0/dist/L.Control.Locate.min.css" />
<script src="src/L.Control.Locate.js" charset="utf-8"></script>
```

Figura 16: Ejemplo de código HTML aplicación web.

El mapa resultante, se encuentra hospedado de manera gratuita en el sitio web de FLYGHT7 (enlace <https://flyght7.com/hondurasdronemap/map.html>) y cuenta con las funcionalidades mínimas para hacerlo operativo.

Entre las funcionalidades están: la capacidad de apagar y encender capas, realizar acercamiento y alejamiento, geolocalización y carga de archivos GPX, KML y geojson; en el estado en que se encuentra, el mapa puede ser utilizado para subir líneas de vuelo propuestas para RPAS.

Es importante visualizar que en el comparativo de las Figuras 17 y 18, en donde la primera muestra puntualmente lo declarado en el AIP de Honduras y el segundo los confirmados a través de la metodología expresada en esta investigación, se evalúa la necesidad de evitar la saturación actualizando oficialmente la información proporcionada por el AIP, y evitando geocercas a través de un perímetro virtual de aeródromos inexistentes.



Figura 17: Aeródromos presentados a través del AIP de Honduras.



Figura 18: Aeródromos revisados a través de Google Maps como definidos.

Como se evidencia en la figura 19, el mapa contiene un descargo de responsabilidad debido a que la información que contiene no está validada y la misma es únicamente para propósitos de investigación, los términos de uso deben aceptarse para proceder a las funcionalidades del mapa web.



Figura 19: Descargo de responsabilidad.

En un acercamiento a un punto del mapa, Figura 20, se puede localizar el lugar en el cual se sitúa un

usuario con un celular u otro equipo receptor (en la figura, punto azul), un radio de precisión (en la figura, círculo violeta) y la indicación de estar dentro o fuera de una zona de vuelo de drones.

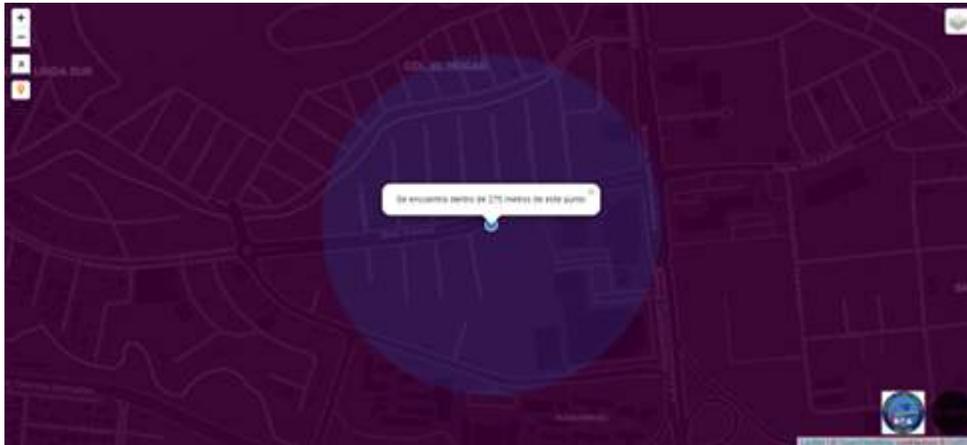


Figura 20: Ubicación de GPS/Celular.

Haciendo un alejamiento desde el mismo punto, Figura 21, se puede apreciar en este caso, el radio de influencia del Aeropuerto Internacional Toncontín (en la figura, el círculo violeta), los radios de influencia de dos helipuertos y una parte del radio de influencia de un tercero (en la figura, círculos rojo oscuro); así como el punto de recepción de la señal (círculo azul).

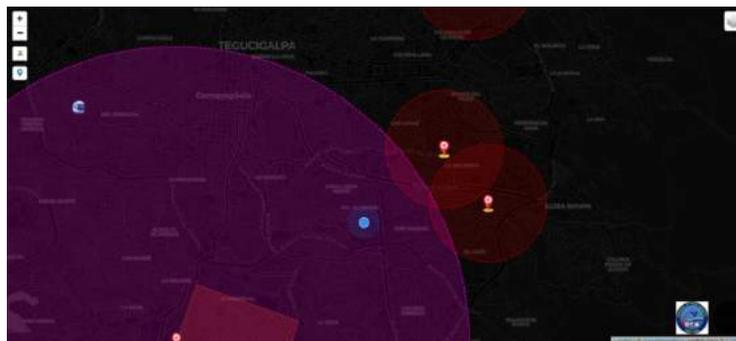


Figura 21: Ubicación de GPS/Celular con alejamiento.

3.3.3 Algunos problemas percibidos

En términos generales, la elaboración del mapa propuesto pone de relieve problemas como información desactualizada, datos de difícil acceso e inexactitudes en las coordenadas. También se tuvo problemas con la definición de ciertas áreas que en la Circular de Obligatorio Cumplimiento no están definidas claramente, como represas hidroeléctricas o instalaciones militares. La falta de un portal de datos abiertos y públicos con estatus de oficial y actualizado también hace difícil la integración de gran parte de la información que, según la Circular antes mencionada, es requerida para el cumplimiento de las restricciones allí expresadas.

4 Discusión

Debe ser una prioridad para la Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil la actualización de la informa-

ción del AIP; las imprecisiones y lagunas de información en esta fuente oficial puede afectar la garantía de seguridad operacional para la aeronáutica en todo el territorio nacional hondureño, incluyendo la operación de RPAS. La actualización indicada le corresponde a la Autoridad Aeronáutica; sin embargo, es un esfuerzo que dicha Autoridad, no puede emprender en solitario, las fuentes de información que deberá utilizar son, en su mayoría, instituciones y dependencias del Estado. Luego de definida una lista de fuentes oficiales a consultar, se deberá definir el tipo de información a ser requerida y los estándares de calidad que garanticen la confiabilidad de la información recolectada.

En una siguiente fase de la presente investigación será imprescindible una consulta a los usuarios, especialmente a los que operan RPAS que deben contar con pilotos con licencia y a los que, a la fecha, están operando estos vehículos aéreos para misiones que requieren de un registro. Tocar a los usuarios responder sobre aspectos como, la utilidad de las capas de información incluidas, las facilidades de acceso a la información, la atención a sugerencias de usuario en el que caso de que estas se dieran, las garantías de información fidedigna y la contribución a la agilización de las operaciones, entre otras.

Otro elemento pendiente es un análisis más detallado de lo relacionado con la operación de RPAS dentro de las llamadas superficies limitadoras de obstáculos dentro de los aeropuertos; de hecho, en el presente trabajo se menciona la operación dentro de un radio de 5km respecto de un aeropuerto controlado, pero para operaciones de aeronaves en aterrizaje y despegue se podría llegar a perforar las superficies limitadoras de obstáculos, siendo las RPAS en alguna circunstancia un obstáculo.

En los resultados de la presente investigación se expone un primer ejercicio de trabajo interdisciplinario que utiliza la tecnología de la información geográfica para contrastar las restricciones operacionales que presenta la COC – ATL – 002 – 2018 a la operación de RPAS, con distintas fuentes que reflejan con cierta fidelidad, las condiciones reales en las que dicha circular debe ser aplicada. En una siguiente fase de la presente investigación será determinante la colaboración con especialistas de la ciencia y tecnologías de la información geográfica para definir referentes de georreferenciación que permita establecer mejor los espacios que pueden ser empleados para la operación de RPAS.

Queda claro que desde la perspectiva del presente trabajo de investigación se pueden hacer aportes importantes a la actualización de la información oficial relacionada con la navegación aérea, incluyendo el pilotaje de RPAS. Queda pendiente un nuevo proyecto que retome, para su purificación, la información utilizada, incorpore visitas de campo para verificar los datos obtenidos de plataformas virtuales y, consulte fuentes oficiales que manejan información de difícil acceso. Para esta etapa será necesaria la colaboración de la Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil para acceder a las fuentes mencionadas y para contar con su apoyo para establecer un proyecto con el cual se pueda acceder a fondos para la realización de las giras que también serán necesarias.

5 Conclusiones

1. La aplicación de la Circular COC – ATL – 002 pone de relieve una amplia problemática relacionada con la definición, en términos prácticos, de los espacios que deberían ser establecidos como lugares para la operación segura de RPAS.
2. Honduras no cuenta con una fuente de datos geo referenciados oficiales abiertos para la operación segura de RPAS, que pueda ser utilizada de manera generalizada por toda la población; los datos se encuentran aislados y a menudo en lenguaje poco asequible.

3. La COC - ATL – 002 - 2018 provee un orden inicial aplicable al uso del espacio aéreo por parte de los usuarios de RPAS que, al momento presente, operan de forma desorganizada; sin embargo, las restricciones indicadas en la Circular necesitan elementos guías, entre los que estarían, una definición clara de los distintos espacios disponibles para la operación segura y, el mapa de drones del cual se presenta un prototipo en el presente trabajo. Ambos elementos deben ser retomados en una segunda etapa de esta misma investigación.
4. Un alto porcentaje de aeródromos (74 %) y de Helipuertos (32 %) fueron registrados como indefinidos; esto representa una limitación significativa en la información oficial disponible para regular la aviación tripulada; así como para incorporar la aviación no tripulada.
5. La presente investigación puede ser considerada un primer paso para el desarrollo de un Sistema de Gestión del Tráfico Aéreo No Tripulado (UTM por sus siglas en inglés), lo que permitiría el vuelo masivo de RPAS simultáneamente, en el mismo espacio aéreo sin interferir o poner en riesgo la aviación tripulada; esta armonización de la operación de los dos tipos de aeronaves convertiría la industria de los RPAS en una alternativa competitiva para operaciones remuneradas.
6. Las plataformas de datos abiertos son el complemento ideal para poder contar con un mapa actualizado de RPAS con información de libre acceso y sin restricciones innecesarias; la apertura de la información tiene un mayor potencial en el desarrollo del mercado de RPAS en Honduras que la venta o uso restringido de fuentes por parte de distintas instancias del Estado; de hecho, durante la investigación se constataron no solo lagunas de información e información desactualizada, sino también información ofrecida en un lenguaje exclusivo de técnicos familiarizados con los conceptos aeronáuticos; esta situación excluiría a los usuarios de RPAS del uso de las fuentes disponibles de información que le permitan una operación aeronáutica segura.
7. La exploración de uso de datos abiertos para la operación segura de RPAS en países donde estas operaciones registran un desarrollo significativo, puede brindar ideas claras de la amplia variedad de oportunidades que un mapa de uso seguro de RPAS puede proveer, no solo para los usuarios sino para la comunidad hondureña en general.

6 Referencias

- Agafonkin, V. (2020). *LeafletJS - A JavaScript library for interactive maps*. Sitio web: <https://leafletjs.com/>.
- AHAC (2018). Circular de Obligatorio Cumplimiento COC-ATL-002-2018: *Registro de operadores y limitaciones de operaciones de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS)*. Obtenido de: <https://ahac.gob.hn/Documentos/RPAS/CIRCULAR/CIRCULAR%20DE%20OBLIGATORIO%20CUMPLIMIENTO%20COC-ATL-002-2018.pdf>.
- AHAC (2020). Consultado el 5 de noviembre de 2020, del sitio web: http://www.ahac.gob.hn/AIPMH_AMDT_0820/inicio.html.
- FACES (2020). *Geoportal OUOT*. Consultado el 22 de noviembre de 2020 del sitio web: <https://geoportalouot.unah.edu.hn>.
- OACI (2018). *DOC 10066 Procedures for Air Navigation Services - Aeronautical Information Management*. First Edition.

Université de Montréal Biodiversity Centre (2020). *Coordinate Conversion*. Sitio web: <https://data.canadensys.net/tools/coordinates>.

NOTAS INFORMATIVAS

NOTAS INFORMATIVAS

1 *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 primer número es llamado de primavera (que se publica a más tardar el 15 de junio de cada año) y el segundo de otoño (que se publica a más tardar el 15 de diciembre de cada año); ambos números incluyen artículos de los campos de Astronomía y Astrofísica, Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, Arqueoastronomía y Astronomía Cultural y Ciencias Aeronáuticas. El color de fondo de la carátula de la Revista cambia anualmente según el departamento responsable de la coordinación de la publicación.

La Revista Ciencias Espaciales tiene un Consejo Editorial integrado por: un director, un editor en jefe, editores por campo del conocimiento y académicos externos invitados. Ellos son los encargados de recibir los documentos y gestionar el proceso de selección de los artículos, edición y publicación 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 en jefe, Miembros del Consejo Editorial y del Consejo Científico.

La Revista Ciencias Espaciales edita trabajos originales de investigación cumpliendo estándares éticos y buenas prácticas propios de publicaciones del ámbito científico y académico. Por ello, se rige en el Código de Conducta y Mejores Prácticas Directrices para Editores de Revistas, basado en el Committee on Publication Ethics (COPE) (<https://publicationethics.org/become-member>) y en el Manual de ética de la investigación en la UNAH (<https://diciht.unah.edu.hn/dmsdocument/973-serie-4>). Los artículos publicados pueden estar referidos a investigaciones científicas en los campos científicos de la Facultad de Ciencias Espaciales. El contenido de cada artículo es responsabilidad de sus autores. Los artículos son evaluados por pares doble ciego.

El consejo editorial no permitirá la publicación de obras copiadas o traducidas presentadas como propias, tampoco en los casos en los que el autor haya copiado de alguno de los trabajos de su autoría, ya publicados; se utilizará un software especializado para la detección de plagio como garantía de la originalidad de los trabajos recibidos.

El consejo editorial se reserva 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 usar figuras y datos en caso de ser necesario. Si un artículo tiene varios autores, debe presentarse evidencia que todos los coautores desean publicarlo.

La Revista Ciencias Espaciales se encuentra indexada en la base de datos de Central American Journal Online (CAMJOL).

2 INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

2.1 Para los editores

Los manuscritos son evaluados por el consejo editorial en consulta con pares doble ciego. Los autores pueden sugerir revisores externos, pero la revista no asegura la aceptación del revisor recomendado. El Consejo Editor garantiza el anonimato de los revisores y de los autores y tienen la decisión final sobre la publicación de los manuscritos. Los autores son informados de la aceptación o no aceptación de su manuscrito.

El proceso de revisión y publicación de cada artículo es el siguiente: 1) recepción del artículo de el o la autora por el editor encargado de cada departamento de la Facultad; 2) Remisión de manuscrito y formato de revisión a pares ciegos con el compromiso de mantener el carácter confidencial de toda la información de los trabajos, aun cuando no sean publicados; 3) Informar al autor/a las observaciones realizadas para corregir e incorporar los cambios sugeridos por los revisores; 4) Resolución y notificación de aceptación o no aceptación del artículo por parte del consejo editorial; 5) Publicación del artículo en el volumen y número correspondiente.

2.2 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.

La Revista Ciencias Espaciales está bajo una licencia de Creative Commons: Reconocimiento - No Comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND).



Declaración de privacidad: Los nombres y direcciones de correo-electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

Cada artículo que se remita para ser publicado en la Revista Ciencias Espaciales debe organizarse en secciones. Todas las secciones deben escribirse a espacio sencillo de acuerdo a la plantilla disponible en <http://faces.unah.edu.hn/revistace/> y <https://www.camjol.info/index.php/CE/index>. El orden de las secciones es el siguiente:

- Título
- Resumen en idioma español
- Resumen en idioma inglés
- Introducción
- Metodología
- Resultados

- Discusión
- Conclusiones
- Agradecimientos si se considera necesario
- Referencias bibliográficas

2.2.1 Título

- 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 las 15 palabras.
- Nombre del autor o los autores. Escribir el nombre completo del autor o autores, indicando su grado académico, su filiación, su dirección de correo electrónico y de preferencia el identificador ORCID.

2.2.2 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.
- El resumen no debe incluir citas bibliográficas, ni siglas ni abreviaturas, a menos que sean las convencionales conocidas.
- 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.

2.2.3 Resumen en idioma inglés

Un resumen y palabras clave también deben ser presentados escritos en idioma inglés.

2.2.4 Cuerpo del artículo

Al inicio de cada sección, los títulos de primer nivel deben escribirse en letras mayúsculas y minúsculas cursivas 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. La enumeración de los distintos niveles se hará de acuerdo a la plantilla utilizada por la Revista Ciencias Espaciales y que está disponible en <http://faces.unah.edu.hn/revistace/> y <https://www.camjol.info/index.php/CE/index>.

Se recomienda que el cuerpo del artículo 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 el propósito de la investigación, por tanto, es importante que se presenten de forma clara los objetivos, la fundamentación teórica, el problema abordado y, cuando corresponda, la hipótesis. Se debe enunciar de forma resumida la justificación del estudio.

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 garantizando rigor científico. Puede incluir aspectos como el escenario en el cual se desarrolló la investigación, el o los objetos de estudio, el tamaño de la muestra, condiciones de trabajo, métodos de recolección y análisis de datos.

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 los aspectos más relevantes de las mismas. Recuerde que las tablas y figuras deben tener una numeración correlativa y siempre deben estar referidas 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. Debe centrarse en los resultados de la investigación y hacer hincapié en aquellos aspectos nuevos e importantes del estudio. No debe repetir, de forma detallada, los datos u otras informaciones ya incluidas en los apartados anteriores. Se deben reportar las limitaciones del estudio, así como sus implicaciones en futuras investigaciones. Si es posible, se comparan 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. Asegúrese de fundamentar sus conclusiones en datos sólidos y suficientes.

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 debe incluir en los agradecimientos a los entes que brindaron el apoyo financiero y otros recursos.

2.2.5 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.

2.2.6 Figuras y tablas

Las figuras y tablas se deben entregar por separado en formato PDF, JPG, PNG, TIFF o GIF (con una resolución mínima de 300 dpi). Los créditos de las imágenes deben estar incluidas en la leyenda de las mismas. Es preferible utilizar imágenes elaboradas por el o los autores del artículo. Aquellas imágenes cuyo autor no sea el mismo del artículo deberán contar con la debida autorización. En caso de importarse tablas de datos desde otro software en formato de figura, se tratarán igual que las figuras de imágenes, o alternativamente se pueden crear dentro del texto usando la función de diseño de tabla de Word o \LaTeX , según el formato establecido en la plantilla correspondiente.

2.2.7 Abreviaturas y símbolos

En las siglas, abreviaturas y símbolos, use únicamente las de uso común (ejemplo: ONU, UNESCO, OACI, entre otros). 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.

2.2.8 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 Palatino, tamaño 11.
- Las páginas se numeran consecutivamente comenzando por la página del título hasta terminar con la última referencia citada.
- 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.
- Los autores externos a la Facultad de Ciencias Espaciales deben entregar el manuscrito vía email al correo electrónico: revista.cespaciales@unah.edu.hn.

Fecha de última actualización: 14 de abril de 2023.

Fecha de aprobación: 14 de abril de 2023.



UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE HONDURAS



Facultad de Ciencias Espaciales
Universidad Nacional Autónoma de Honduras
Ciudad Universitaria, Edificio K-2
Bulevar Suyapa, Tegucigalpa MDC, Honduras
Teléfono: (504) 2216-3034
Correo electrónico: revista.cespaciales@unah.edu.hn
<http://faces.unah.edu.hn/revistace/> y
<https://www.camjol.info/index.php/CE/index>