



CIENCIAS ESPACIALES

Publicación Semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES)
Volumen 16, Número 1, Primavera 2025
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 16, Número 1 Primavera, 2025. ISSN 2225-5249 (impreso); ISSN 2521-5868 (en línea)

Portada

Fotografías del impacto de los huracanes Eta e Iota, sobre el Valle de Sula. Las capturas fotográficas han sido tomadas a mediados de noviembre de 2020. Fuente: Periódico Digital Contra Corriente, Diario La Prensa y Chicago Tribune.

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

Máster Eduardo Enrique Rodas-Quito
(Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, 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 16, Número 1 Primavera, 2025

CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	4
Desempeño de modelos de inundación 2023: evaluación de 29 sitios críticos en Valle de Sula <i>Carlos Abrego, Miguel Rivera, Brenda Antúñez, Javier Meza y Yeny Castellanos</i>	5
Análisis espacio – temporal de la transformación urbana de Acapulco 1930 - 2020 <i>Edder Agustín Barrera Castillo e Iliana Villerías Alarcón</i>	25
Compatibilidad en soluciones GNSS aplicando corrección diferencial vía radio y NTRIP en una red urbana en Costa Rica <i>Jorge Moya Zamora, Kenneth Ovaes Sánchez, Hazel Espinoza Mora, Jennifer López Flores, María Nikole Salazar Barrantes y Efraín Mejívar Pérez</i>	47
CIENCIAS AERONÁUTICAS	72
Implantando la seguridad de la aviación civil (AVSEC) en talleres de mantenimiento aeronáutico: caso México <i>Roberto Sánchez Escobar y Josué Ismael Núñez Morales</i>	73
NOTAS INFORMATIVAS	95
Política Editorial e Instrucciones a los Autores	96

CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

DESEMPEÑO DE MODELOS DE INUNDACIÓN 2023: EVALUACIÓN DE 29 SITIOS CRÍTICOS EN VALLE DE SULA

Carlos Abrego^{1,*}; Miguel Rivera^{2,†}; Brenda Antúnez^{3,‡}; Javier Meza^{4,§}; Yeny Castellanos^{5,¶}

¹Ingeniero Civil, Máster en Hidrogeología con enfoque en Recursos Hídricos.
Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH).

²Ingeniero Civil. Especialista en Gestión de Riesgo. GOAL Internacional.

³Arquitecta, Máster en Ordenamiento y Gestión del Territorio. GOAL Internacional.

⁴Ingeniero Forestal, Máster en Ordenamiento y Gestión del Territorio. UNAH.

⁵Ingeniera en Sistemas, Máster en Ordenamiento y Gestión del Territorio. UNAH.

Recibido: 04-04-2025

Aceptado: 20-05-2025

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v16i1.20506>

RESUMEN

En noviembre de 2020, la devastación causada por las tormentas tropicales Eta e Iota dejaron miles de familias afectadas, con pérdidas significativas en infraestructura y un alto riesgo de desastres futuros para los municipios del Valle de Sula. Aumentar el conocimiento del riesgo sobre las amenazas a inundaciones en esta zona toma especial relevancia para la resiliencia urbana al ser el motor económico de Honduras, generando el 30% del producto interno bruto del país. El objetivo principal de esta investigación fue validar y confirmar la precisión, integridad y fiabilidad de las planicies inundables obtenidas mediante modelización hidrológica e hidráulica en las cuencas de los ríos Chamelecón y Ulúa, distribuidas en el Valle de Sula. Para ello, se evalúa el desempeño de los modelos utilizando el coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe, contrastando los resultados con observaciones participativas realizadas en campo. Estas observaciones se basan en variables definidas previamente, como profundidad, permanencia y velocidad del agua. La investigación incorpora el diseño de herramientas modernas para la evaluación y recolección de datos (como *KoboToolbox*), así como procesos participativos con actores clave y plataformas especializadas en modelización hidrológica. Mediante esta metodología, se analizaron 29 sitios críticos en el Valle de Sula. Finalmente, la revisión de los datos recopilados sobre los niveles de agua en las zonas más afectadas permitió calibrar el modelo hidráulico-fluvial. Tras ajustar los parámetros de rugosidad, se validó su desempeño mediante el coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), el cual indicó un buen nivel de precisión.

Palabras clave: Planicies inundables, reducción de riesgos de desastres, modelización hidráulica, Nash-Sutcliffe.

ABSTRACT

In November 2020, the devastation caused by Tropical Storms Eta and Iota left thousands of families affected, with significant infrastructure losses and a high risk of future disasters for the municipalities

*carlos.abrego@unah.edu.hn.

†mriviera@hn.goal.ie.

‡bantunez@hn.goal.ie.

§javier.meza@unah.edu.hn.

¶ycastellanos@unah.edu.hn.

of the Sula Valley. Increasing risk awareness regarding flood threats in this area is particularly important for urban resilience, as it is the economic engine of Honduras, generating 30% of the country's gross domestic product. The main objective of this research was to validate and confirm the accuracy, completeness, and reliability of floodplains obtained through hydrological and hydraulic modeling in the Chamelecón and Ulúa river basins, which are distributed throughout the Sula Valley. To achieve this, the performance of the models was evaluated using the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient, comparing the results with participatory field observations. These observations were based on previously defined variables such as water depth, duration, and flow velocity. The research incorporated the design of modern tools for data collection and evaluation (such as KoboToolbox), as well as participatory processes with key stakeholders and specialized platforms for hydrological modeling. Through this methodology, 29 critical sites in the Sula Valley were analyzed. Finally, the review of the data collected on water levels in the most affected areas allowed for the calibration of the hydraulic-river model. After adjusting the roughness parameters, its performance was validated using the Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) coefficient, which indicated a good level of accuracy.

Keywords: Floodplains, Disaster Risk Reduction, Hydraulic modeling, Nash-Sutcliffe.

1 *Introducción*

Ubicado en la región norte de Honduras, el Valle de Sula conformado por 20 municipios, ubicados en dos cuencas importantes: el río Ulúa y el río Chamelecón, los cuales representan el 24 % del territorio nacional. Esta región se caracteriza por ser altamente productiva y por su desarrollo urbano creciente, aunque también presenta un alto grado de vulnerabilidad ante desastres. Es una zona propensa a inundaciones fluviales debido a su geografía, la magnitud de las superficies de aportación a este y las características propias de su sistema de drenaje.

En 2020, los huracanes Eta e Iota afectaron a más de 4 millones de personas sólo en Honduras, provocando 95 muertes y desplazando a más de 96,000 personas a alojamientos temporales. La región norte, especialmente el Valle de Sula (Cortés, Yoro, Atlántida y Santa Bárbara), fue la más golpeada con lluvias de hasta 750 mm en pocos días. La economía sufrió pérdidas superiores a 52 mil millones de lempiras, con un fuerte impacto sobre el empleo y los medios productivos, especialmente en comercio e industria (más de 15,741 millones de lempiras) y agricultura (más de 8,835 millones). Estos daños generaron un aumento inmediato del desempleo agravado por la pandemia de COVID-19, debido a la pérdida del sustento de pequeños productores y el traslado forzado de trabajadores desde el empleo formal hacia el sector informal, provocando una caída en los ingresos familiares y aumentando los niveles de pobreza en el país (CEPAL, 2021).

En el mismo 2020, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) encargó, a la empresa iPresas, la labor de realizar una revisión y propuesta de obras de protección frente a las inundaciones fluviales en el Valle de Sula (iPresas, 2021). De este proceso se desarrolló la primera modelización hidrológica e hidráulico-fluvial para la zona, enfocada en la inversión para la reparación, rehabilitación y construcción de obras de drenaje y canales para el control de inundaciones. Debido a los costos, la modelización se realizó en oficina sin procesos de consulta ni validación en campo.

Bajo este contexto, GOAL Internacional en el marco del proyecto Barrio Resiliente Zona Metropolitana Valle de Sula (BR-ZMVS) financiado por la Oficina de Asuntos Humanitarios (BHA) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), pretende aumentar la resiliencia urbana con enfoque en Reducción de Riesgos a Desastres (RRD) en los municipios que la conforman. Para fortalecer el componente del conocimiento del riesgo del Sistema de Alerta y Acción Temprana regional, en el

2023 se realizó el proyecto de actualización y validación de Planicies de Inundación del Valle de Sula, que tomo como principal insumo el estudio de iPresas y coordino con investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) su desarrollo. Este artículo describe principalmente el proceso de validación y estimación del desempeño mediante la integración de datos de campo, con el propósito de garantizar una mejor preparación y respuesta ante eventos similares, utilizando datos obtenidos directamente de los afectados en los diversos poblados a lo largo del valle.

El propósito principal fue validar y confirmar la precisión, integridad y fiabilidad de las planicies inundables obtenidas mediante modelización hidrológica e hidráulica del Valle de Sula, recurriendo al coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe como un estimador del desempeño de este modelo, con respecto a las observaciones realizadas en campo. Específicamente, se pretendió (1) Definir variables y herramientas para el levantamiento de información en puntos críticos priorizados en el Valle de Sula. (2) Evaluar la concordancia entre la información georreferenciada durante las giras de campo y los resultados obtenidos de las modelizaciones hidrológica e hidráulica.

2 Generalidades

2.1 Conceptos claves

Según [Suárez \(2013\)](#), las inundaciones son lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de retención e infiltración del suelo, la capacidad máxima de transporte del río o arroyo es superada y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos cercanos a los propios cursos de agua. Este mismo autor menciona que, las inundaciones pueden clasificarse en dos tipos según el tipo de territorio donde se estén desarrollando. (1) Inundaciones Pluviales: Es suelos con bajo avenamiento o terrenos impermeables por intervención humana sin las adecuadas obras de drenaje, son el tipo de inundaciones que se producen por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que ese fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce perenne cercano. Este tipo de inundación se genera tras un régimen de precipitaciones intensas o persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo sobre un suelo poco permeable. (2) Inundaciones fluviales (por desbordamientos de los ríos): La causa de los desbordamientos de los ríos y los arroyos es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina como crecida (consecuencia del exceso de lluvias).

Las inundaciones repentinas se encuentran entre los peligros naturales más devastadores; ocurren en cuencas hidrográficas con tiempos de respuesta muy cortos. La identificación de zonas potencialmente afectadas por estos eventos y la elaboración de mapas precisos de susceptibilidad a inundaciones repentinas son fundamentales para una gestión adecuada de este riesgo en una región.

Por otro lado, [Hernández V. \(2018\)](#) menciona que las planicies inundables desde el punto de vista de la geomorfología son terrazas aluviales formadas por lechos de río. De manera sencilla, permite establecer el peligro a inundaciones, pudiendo tomarse los límites laterales de los depósitos aluviales (y, en menor medida, de los depósitos fluviales), que pueden indicar las alturas máximas de crecidas en el pasado. Como se muestra en la figura 1, estas planicies inundables pueden servir para definir el lecho mayor o la mayor zona de inundación que se puede esperar.

Para lograr la modelización de las crecidas fluviales a lo largo del Valle de Sula primero es necesario conocer los volúmenes de las principales corrientes, que drenan a este, mediante sus hidrogramas de respuesta.

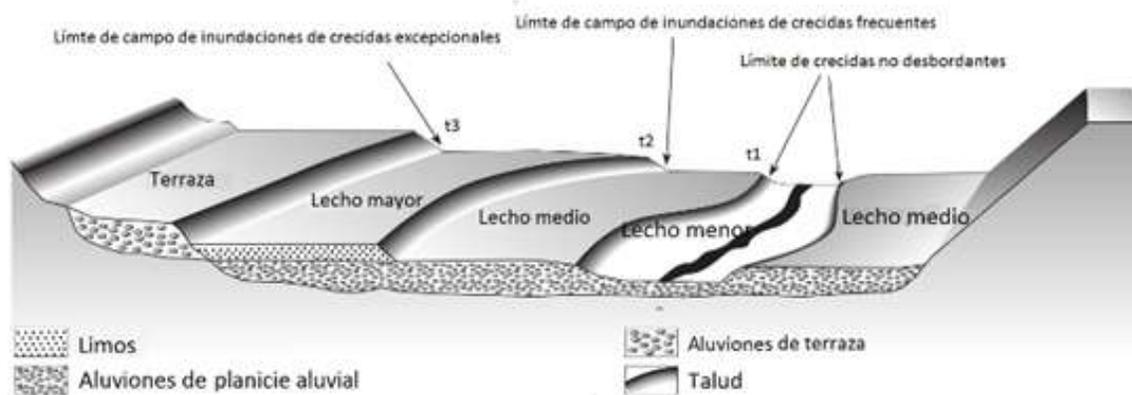


Figura 1: Análisis de planicies y lechos de inundación en los Valles. Fuente: (Hernández V., 2018)

Según Abrego (2024), el hidrograma es la representación gráfica de las variaciones de los caudales de una corriente fluvial a través del tiempo, en un punto en particular conocido como control, como respuesta a un evento pluvial con capacidad de generar escurrimiento.

Los estudios hidrológicos e hidráulico-fluviales son herramientas científicas esenciales para comprender la dinámica de las inundaciones a través del uso de software especializado, datos de alta resolución como el LiDAR y la batimetría, permitiendo la modelización de planicies inundables como un componente esencial del conocimiento del riesgo que, a su vez, fortalecería las intervenciones en el territorio como la planificación territorial y la gestión del riesgo de desastres (Abrego, 2024). A través del análisis de caudales, modelizaciones hidráulico-fluviales y la caracterización morfométrica de cuencas, se pueden identificar zonas vulnerables, estimar el peligro a inundación en distintos escenarios de retorno, facilitando el dimensionamiento del riesgo a inundaciones para realizar intervenciones en el territorio como obras de mitigación tanto estructurales como no estructurales para el reducir el riesgo a desastres (Salazar-Briones *et al.*, 2018), y fomentar el desarrollo sostenible en territorio analizado.

La validación es el proceso mediante el cual se corrobora información en campo para calibrar los modelos hidrológicos e hidráulicos. La validación en campo es un proceso que permite recopilar información valiosa en el sitio a través de testigos, huellas, indicativos y referencia de las inundaciones históricas, específicamente para el Valle de Sula. La validación en campo permite verificar información real para poder calibrar los modelos hidrológicos e hidráulico-fluviales, la calibración del modelo permite más precisión, disminuir los márgenes de error y aumentar la confiabilidad de los resultados del estudio de inundaciones fluviales.

Una óptima validación de campo se realiza en conjunto con los actores que conviven y transforman las dinámicas del territorio, Canese de Estigarribia (2022) menciona que el nuevo modelo de gestión de riesgo de desastres se basa en acciones preventivas, correctivas y reductivas del riesgo, en contraposición al modelo reactivo que apenas brinda una respuesta posterior al desastre ya ocurrido. Este nuevo modelo preventivo surge y se proyecta de forma integrada con la participación ciudadana en la gestión local del desarrollo del territorio.

Las acciones que la sociedad civil pueda emprender para la evasión, mitigación y/o superación de los riesgos por desastres se encuentran fuertemente influenciadas y mediadas por el actor Municipal que tiene

a su cargo el territorio distrital (Canese de Estigarribia, 2022). La sinergia entre los actores comunitarios y gobierno local son de suma importancia para el desarrollo de procesos directamente relacionados con el territorio.

2.2 Área de Estudio: La Zona Metropolitana del Valle de Sula (ZMVS)

La ZMVS es una de las regiones económicas más importantes de Honduras, está constituida por los centros urbanos de 20 municipalidades localizadas entre las cuencas de los ríos Ulúa Y Chamelecón. El Valle de Sula posee una extensión de 2400 km², aproximadamente, representando el 2 % del territorio nacional, concentrando la escorrentía que se genera por las superficies de aportación de los principales ríos que drenan hacia él: Ulúa y Chamelecón; como se muestra en la figura 2, la ZMVS se encuentra dentro de los límites administrativos de los departamentos de Puerto Cortés (60 %), Yoro (24 %) y Atlántida (16 %).

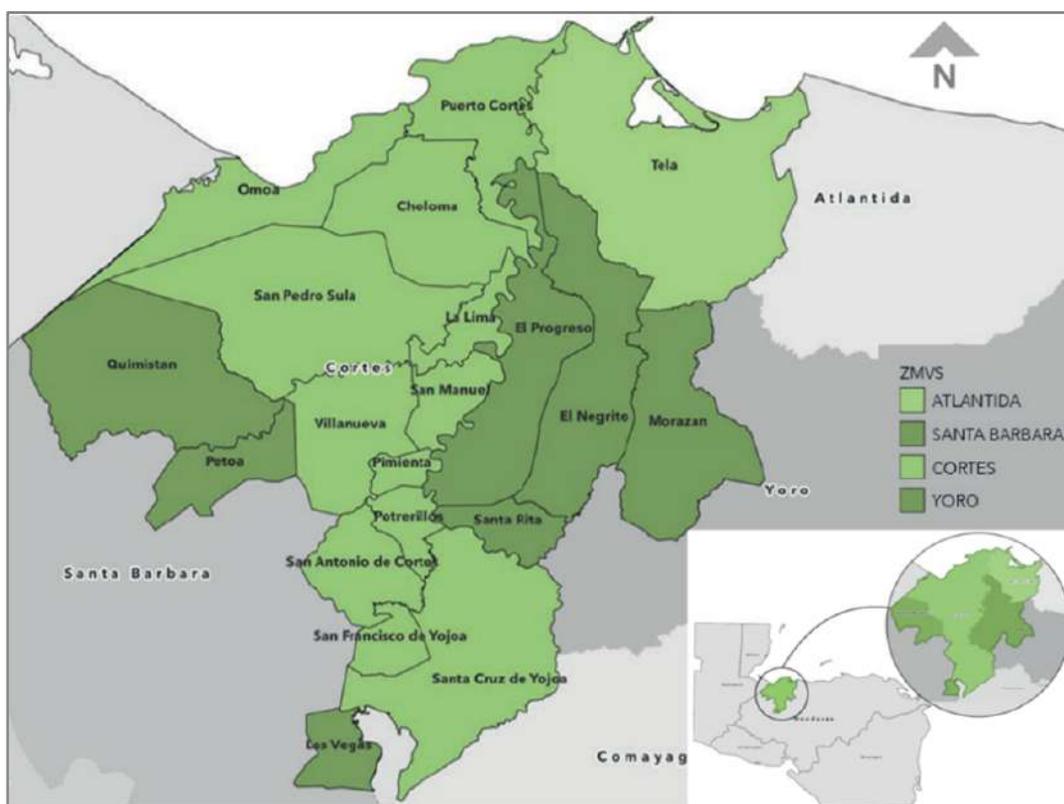


Figura 2: Ubicación y distribución de los municipios que conforman la ZMVS. Fuente: Elaboración propia.

Según Abrego (2024) los municipios de La Lima, Puerto Cortés, Pimienta, Potrerillos, San Manuel, Santa Rita y El Progreso se identifican como los municipios con mayor propensión a problemas asociados a las inundaciones. La aseveración anterior parte de la suposición de que los principales agentes modificadores del territorio responden a la acción del agua y el viento; Valle de Sula no debería ser la excepción. El problema concreto en el Valle de Sula se atribuye al acelerado crecimiento urbano sin planificación territorial, la mala administración de los recursos naturales, las limitadas capacidades de Gestión de Integral de Riesgos han incrementado los desastres por inundación fluviales. Afectando significativamente el desarrollo de la zona, que es el principal eje de desarrollo del país. Asimismo, la dificultad para desarrollar estrategias a largo plazo que permitan intervenir adecuadamente una política integral de desarrollo en el valle,

apoyadas en un robusto respaldo técnico, también restringe sobremanera la capacidad de sobreponerse a las embestidas de la naturaleza.

Como se ha demostrado en los apartados anteriores y se ilustra en la Figura 3, los impactos devastadores de los huracanes Eta e Iota revelan que los esfuerzos realizados durante las últimas dos décadas, pese a su importancia, han resultado insuficientes para abordar estos desafíos de manera efectiva.



Figura 3: Fotografías del impacto de los huracanes Eta e Iota, sobre el Valle de Sula. Las capturas fotográficas han sido tomadas a mediados de noviembre de 2020. Fuente: Periódico Digital Contra Corriente, Diario La Prensa y Chicago Tribune

2.3 Modelo hidrológico e hidráulico-fluvial inicial del Valle de Sula

Para este artículo se ha tomado de base el estudio hidrológico e hidráulico-fluvial desarrollado por [Abrego \(2024\)](#) enfocado en la respuesta a las inundaciones tomando como referencia el estudio realizado por iPresas sobre las planicies inundables de las tormentas ETA o IOTA en noviembre de 2020. El principal objetivo de este estudio fue el analizar las condiciones actuales del sistema hídrico del Valle de Sula, identificar la amenaza a inundación, áreas vulnerables, y proponer soluciones técnicas y estructurales enfocado en fortalecer los Sistemas de Alerta y Acción Temprana (SAAT) ante inundaciones en el Valle de Sula. Destaca debido a las validaciones en campo y levantamientos de batimetría para ajustar y mejorar la precisión de los modelos Hidrológicos e hidráulicos enfocado en la salvaguarda de los bienes y la vida de los pobladores del Valle de Sula. Los resultados de este estudio en conjunto con los resultados de este artículo pretenden mejorar la planificación territorial de los municipios y la gestión integral del riesgo a desastres en la región, contribuyendo así a la resiliencia frente a eventos climáticos extremos (Figura 4 y Tabla 1).

El estudio hidrológico e hidráulico-fluvial se desarrolló a partir de una combinación de trabajo de campo, recopilación de datos históricos y el uso de herramientas especializadas. El modelo hidrológico se centró en representar la relación lluvia-escorrentía, incorporando como datos de entrada un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) para delimitar superficies de aportación y características morfológicas, así como la clasificación hidrológica y de uso del suelo mediante el método del Número de Curva (CN).

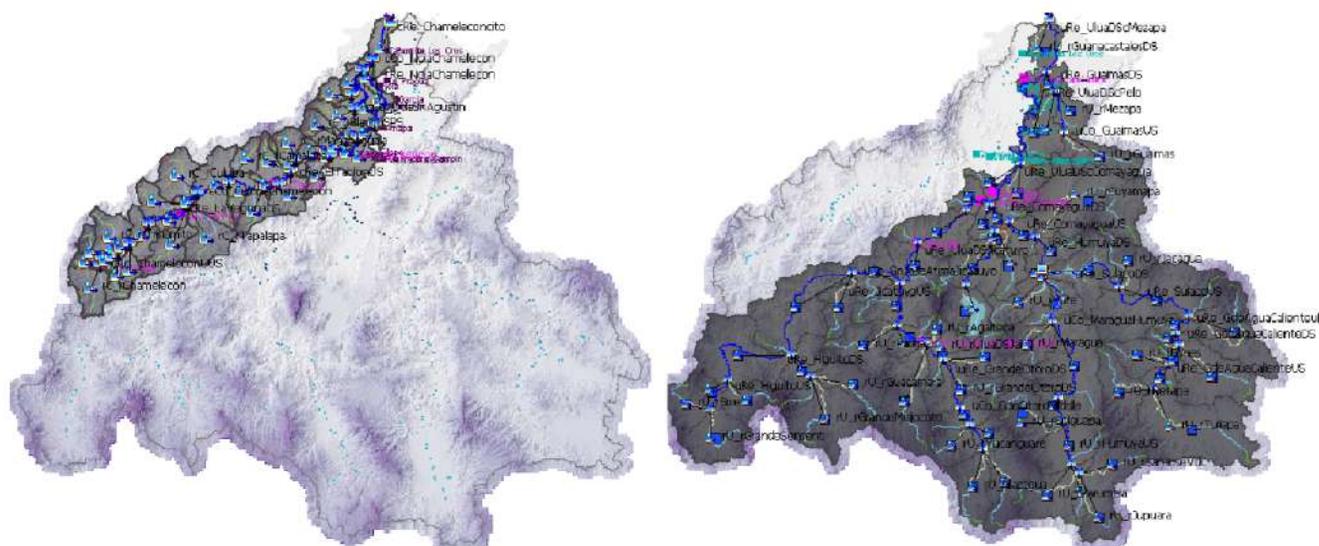


Figura 4: Modelos hidrológicos concebidos para caracterizar el comportamiento de la escorrentía superficial en el área de drenaje del Valle de Sula. Cuenca de Río Chamelecón (izquierda) y Cuenca de Río Ulúa (derecha).

Tabla 1: Parámetros del modelo hidráulico conceptual en sus diferentes niveles de escala de trabajo.

Modelo en HEC-RAS	Área de análisis	Malla			Intervalo de cómputo, s	
		Min, m ²	Máx, m ²	Celdas		
Río Chamelecón en La Lima	110	1.5	2.1x10 ⁴	18x10 ⁴	139	2
Río Ulúa en El Progreso	235	1.0	15x10 ⁴	68x10 ⁴	292	5
Valle de Sula	1980	4.0	40x10 ⁴	123x10 ⁴	225x10 ⁴	20

* Modelos en HEC-RAS para diferentes escalas de trabajo: 1:50 000 para los modelos de La Lima y El Progreso, y 1:400 000 para todo el Valle de Sula. Fuente: Elaboración propia.

A su vez, se definieron tormentas de diseño, a partir de análisis de frecuencias de eventos históricos, y se calcularon los tiempos de concentración usando fórmulas como Kirpich y el método del *Technical Release* No. 55 (TR-55). En cuanto al modelo hidráulico-fluvial, se apoyó en levantamientos topográficos mediante LiDAR y batimetría con sonar, estimaciones del coeficiente de rugosidad de Manning a través del método de Cowan, y modelizaciones hidráulicas de alta precisión con refinamiento de mallas y líneas de ruptura. Las simulaciones incluyeron eventos como el Huracán Eta y escenarios con periodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Finalmente, la validación del modelo frente a datos reales permitió identificar zonas inundables, velocidades de flujo y establecer umbrales para sistemas de alerta temprana en puntos clave de los ríos Ulúa y Chamelecón.

3 Metodología

El enfoque científico utilizado es cuantitativo y correlacional (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014), dado que la metodología empleada adopta una aproximación integral, involucrando la recolección y análisis de da-

tos, tanto históricos como recientes, la recopilación empírica de datos mediante entrevistas y mediciones directas en campo, el empleo de avanzadas técnicas de modelado y la validación de los resultados de las simulaciones de datos obtenidos en campo para validar el modelo hidrológico e hidráulico a través de un método estadístico específico, conocido como coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe que permitió evaluar objetivamente la consistencia interna y la fiabilidad del modelo.

La Figura 5 muestra cuatro fases de la metodología empleada: (1) recopilación y análisis de datos, (2) proceso de validación en campo, (3) calibración del modelo hidrológico mediante los datos obtenidos en campo y (4) clasificación de los resultados.



Figura 5: Pasos metodológicos para el desarrollo del artículo. Elaboración propia.

3.1 Recopilación y análisis de datos

Se realizó una recopilación y análisis de las contribuciones previas que permiten robustecer este proceso metodológico (ver Tabla 1). Los actores clave en este proceso fueron Centro de Estudios y Desarrollo del Valle de Sula (CEDVS), Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos (CENAOS) de la Secretaría de Gestión de Riesgos y Contingencias Nacionales (COPECO) y Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (Ver Tabla 2).

3.2 Proceso de Validación

El proceso de validación de datos en campo se dividió en cuatro partes que se detallan a continuación:

3.2.1 Identificación de sitios críticos en el Valle de Sula

Se realizó un taller de identificación de sitios críticos en el Valle de Sula (Figura 6), priorizando 29 sitios críticos durante las tormentas ETA y IOTA a lo largo de la planicie de inundación que forma el Río Chamelecón y Ulua en la parte baja de cuenca en el Valle de Sula. En este proceso los actores clave fueron la red de Comités de Emergencia Municipal (CODEM), COPECO Regional #2, CEDVS; en este taller participaron 32 técnicos (11 mujeres y 21 hombres).

3.2.2 Selección de variables

La selección de las variables responde a la herramienta de categorización de la amenaza por inundación, desarrollado por el *Australian Rainfall & Runoff* a través de un reporte titulado *Appropriate Safety Criteria*

Tabla 2: Documentos y datos consultados. Fuente: Elaboración Propia

Nombre	Año	Formato de información proporcionada		
		PDF	Geoespacial	Excel
Plan Maestro para el Desarrollo Integral y Control de Inundaciones en el Valle de Sula	Harza-CINSA, 1978	X		
Informe de actividades de la Unidad de Hidrología Básica	Centro de Estudios y Desarrollo del Valle de Sula, 1994	X		
Estudios de caracterización territorial en el Valle de Sula	Proyecto de Gestión de Riesgos de Desastres, 2016	X	X	
Modelo digital de terreno con tecnología Light Detection and Ranging (LiDAR) Valle de Sula, resolución espacial 1 metro			X	
Tesis sobre la Actualización Preliminar de los Umbrales de Alerta por inundación del Río Chamelecón en la ciudad de la Lima	Abrego (2024)	X		
Análisis de Inundaciones en San Pedro Sula	Universidad Naciones Unidas, 2020	X		
Revisión y definición de obras de protección frente a inundaciones en el Valle de Sula	iPresas (2021)	X		
Precipitaciones de Eta e Iota en 39 estaciones con registros de corta duración, distribuidas en el área de drenaje del Valle de Sula y sus alrededores	CENAOS, 2023			X
Niveles de escalas limnimétricas	Hydrometeorological Automated Datasystem - National Weather Service NOAA, 2023		X	X

for People (Cox *et al.*, 2010) utilizado en el modelo hidráulico-fluvial inicial ([Abrego, 2024](#)).

Este instrumento se utilizó atendiendo la necesidad de determinar la peligrosidad de las crecidas de una corriente asociada a la energía con la que los flujos discurren por el terreno. En términos muy generales, las inundaciones pueden clasificarse como estáticas o dinámicas, en función del comportamiento de sus flujos, siendo las últimas las más devastadoras. Diversas han sido las propuestas para establecer los criterios utilizados para categorizar la peligrosidad de una corriente, sin embargo, en la actualidad, muchos autores coinciden en que la profundidad de las inundaciones, en conjunto con sus velocidades, son los



Figura 6: Fotografías de los ejercicios realizados con la Red de CODEM para identificación de sitios. Fuente: Galería Proyecto Barrio Resiliente Valle de Sula.

factores más relevantes para definir la amenaza de estos eventos fluviales. La Tabla 3 describe las variables seleccionadas (los rangos de profundidad y permanencia se tomaron de [iPresas \(2021\)](#)).

Tabla 3: Sitios Críticos identificados. Fuente: Elaboración propia

No.	Variable	Descripción	Unidad	Tipo validación	
				MF	PC
1	Profundidad	Medida desde el suelo hasta la marca de inundación. Rango 0.3-4 m	Altura del agua en metros	X	
2	Permanencia	Anegamamiento o estancamiento del agua en la zona afectada. Rango: 2 a más de 14 días	Duración en días		X
3	Velocidad	Fuerza percibida del agua, medida en una escala de 1 (muy baja) a 5 (muy alta)	-		X

MF = Medición física. PC = Percepción comunitaria

3.2.3 Identificación de la herramienta de recolección de datos

En base a la medición de las variables previamente de desarrollo el proceso de identificar la aplicación tecnológica que fuese idónea a ser usada como herramienta para la recolección de datos y que sirvieran

para la validación de los mismos, y en la cual el instrumento diseñado (encuesta) pudiese ser implementado, para ello se diseñó un cuestionario como instrumento de recolección de datos y se eligió la aplicación [KoboToolbox \(2025\)](#), una plataforma de recopilación, gestión y visualización de datos de código abierto para la acción humanitaria, el desarrollo, la protección del medio ambiente, la consolidación de la paz y los derechos humanos.

El uso de herramientas como *KoboToolbox* permitieron recopilar datos georreferenciados sobre las inundaciones, lo que facilita la integración de la información en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para análisis y planificación.

3.2.4 Aplicación del instrumento

En coordinación y apoyo de docentes de estudiantes de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES) de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), COPECO Regional #2 y la Red de CODEM, se visitaron los 29 sitios críticos identificados (Figura 7). Durante las visitas se realizó el levantamiento del instrumento realizando consultas rápidas con la población de la zona para determinar la dinámica de la inundación. En este proceso participaron 20 alumnos de las asignaturas de Geografía Física de Honduras, Infraestructura de Datos Espaciales, Cartografía y Fundamentos de Sistemas de Información Geográfica.



Figura 7: Fotografías del recorrido de campo y levantamiento de información utilizando la herramienta *KoboToolbox*.

3.3 Estimación del desempeño del modelo hidráulico-fluvial

La valoración del rendimiento de los modelos, sean estos hidrológicos o hidráulicos, puede realizarse a través de estimadores del desempeño de estos con respecto a las observaciones realizadas en campo. En modelos orientados a la evaluación de planicies inundables, los niveles o calados de las crecidas pueden ser utilizados en sustitución de los caudales, como variable a evaluar. Frente a ello, se ha acudido al criterio de evaluación de desempeño propuesto por Nash-Sutcliffe (NSE), y aplicado a modelos hidrometeorológicos e hidráulico-fluviales ([Duc y Sawada, 2023](#)), en su forma original, se detalla a continuación:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2}$$

Donde:

Q_0^t son los valores observados, Q_m^t los valores simulados, \bar{Q}_0 es el promedio de observaciones.

De igual forma, el rango de desempeños aceptados en simulaciones hidráulico-fluviales se muestra a través de la Tabla 4.

Tabla 4: Criterios de desempeño evaluadas en el rango de desempeños de simulaciones. Fuente: HEC (2011).

Evaluación del desempeño	NSE	R ²
Muy bueno	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$R^2 \geq 0.85$
Bueno	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$0.70 \geq R^2 \geq 0.85$
Satisfactorio	$0.50 < NSE < 0.65$	$0.50 \geq R^2 \geq 0.70$
No satisfactorio	$NSE \leq 0.50$	$R^2 \leq 0.50$

R² = Coeficiente de determinación

Si bien se ha proporcionado el valor del desempeño del modelo, posterior a las evaluaciones, no se consideró necesario evaluar el coeficiente de determinación en vista que, para modelos hidrológicos de inundación, el NSE resulta más favorable, siendo el R² más apropiado su uso a regresiones de lluvia o series temporales, cuando aplica.

Los procesos de modelamiento hidrológico e hidráulico se desarrollaron en las plataformas *Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System* por sus siglas en inglés (HEC-HMS) y *Hydrologic Engineering Center-River Analysis System* por sus siglas en inglés (HEC-RAS), ambos son software libre de ingeniería hidrológica e hidráulica desarrollada por el *Hydrologic Engineering Center* del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.

3.4 Clasificación de resultados

Los resultados se exponen en dos áreas. Los obtenidos durante el levantamiento de información en campo y los obtenidos como resultado de la integración de los datos de campo para la calibración o evaluación del modelo hidráulico-fluvial.

Tabla 5: Ubicación de sitios críticos y su correspondencia con la distribución de grupos de trabajo. Fuente: Elaboración propia

Grupo	Lugar	Aldea	Municipio	Departamento	Este, m	Norte, m
1	Bijao	Río Bijao	Choloma	Cortés	410145	1736596
1	La Fragua	Kilómetro 45	El Progreso	Yoro	413968	1734027
1	Toloa	Toloa Creek	Tela	Atlántida	417800	1742327
1	Chameleoncito	Chameleoncito	Puerto Cortés	Cortés	407433	1730577
1	La Unión	Villafranca	Tela	Atlántida	418125	1741201
2	El Negrito	Battán	El Negrito	Yoro	421056	1721174
2	Aldea La 29	La Veinte y Nueve	El Negrito	Yoro	421056	1721174
2	Urraco	Kilómetro 45	El Progreso	Yoro	413900	1734596
2	Cofradía	Cofradía	San Pedro Sula	Cortés	377408	1703663
2	Green Valley	Agua Sucia	Quimistán	Santa Bárbara	371049	1696937
2	Escuela 4 de Marzo	Cuatro de Marzo	El Progreso	Yoro	409621	1700510
2	Chumbas	Campo Amapa	El Progreso	Yoro	412002	1715316
2	Crematorio La Lima	Flor de Oriente	La Lima	Cortés	408321	1711651
2	Sector Bananero La Lima	Col. La Guadalupe	San Manuel	Cortés	407514	1704037
2	Campo La Buena Fe	Villanueva	Villanueva	Cortés	395106	1692347
2	Campo 1 de Mayo	Villanueva	Villanueva	Cortés	392694	1691743
2	Pueblo Nuevo	Pimienta	Villanueva	Cortés	391027	1689360
2	Valle de Naco	La Acequia	Quimistán	Santa Bárbara	375092	1698677
3	La Ceibita	La Ceibita	Quimistán	Santa Bárbara	365613	1693053
3	Potrerosillos	Potrerosillos	Potrerosillos	Cortés	396389	1684308
3	Potrerosillos	El Manacal	Potrerosillos	Cortés	396917	1680308
3	Choloma	Río Bijao	Choloma	Cortés	400941	1736971
3	Aldea La 29	La Veinte y Nueve	El Negrito	Yoro	421056	1721176
3	Col Metálicas	Flor de Oriente	La Lima	Cortés	408164	1711698
3	Col. La Guadalupe	Col. La Guadalupe	San Manuel	Cortés	407571	1704316
3	Col. Cuatro de Marzo	Cuatro de Marzo La Guadalupe	El Progreso	Yoro	409621	1700510

4 Resultados

4.1 Validación en sitios críticos

En la Tabla 5, se presentan los resultados de selección de sitios críticos y como se muestra en la figura 8 su distribución en el Valle de Sula. Para lograr finalizar el levantamiento se organizaron tres grupos de trabajo, procurando abarcar los sectores más críticos del Valle de Sula, detallados a través de la siguiente ilustración:

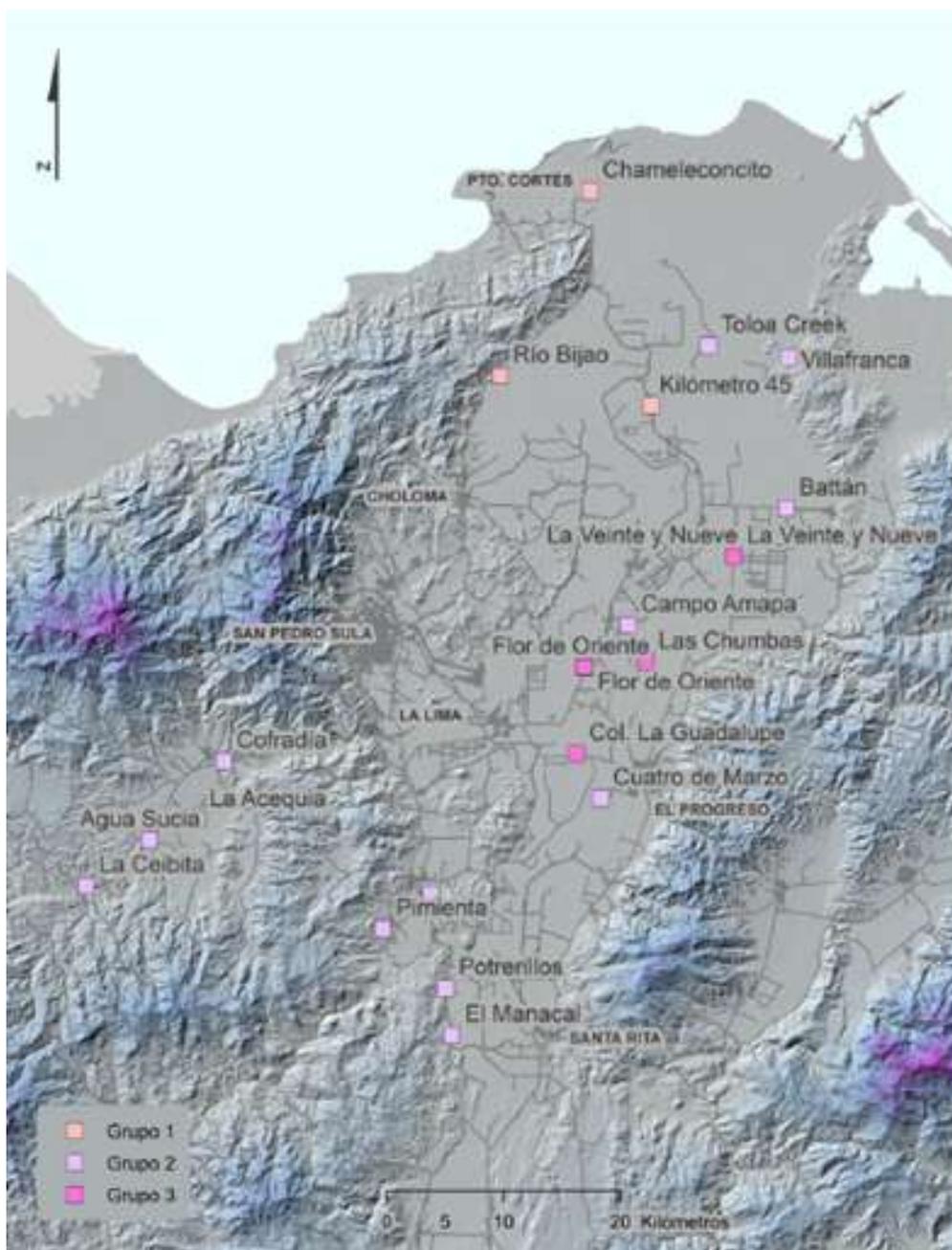


Figura 8: Simulación de la crecida ante el paso de ETA sobre el Valle de Sula. Distribución espacial de las profundidades (izquierda) y las velocidades (derecha).

4.1.1 Profundidad del agua

En algunas zonas, como la Aldea Las Metálicas, en La Lima, el agua alcanzó alturas de hasta 10 metros, lo que causó daños significativos en las viviendas y la infraestructura local. En contraste, en las aldeas La 29, La 39 y La 40 en El Negrito, la profundidad del agua fue de apenas 0.5 metros.

Los resultados reflejan que el 83 % de los encuestados experimentó inundaciones severas, con niveles que alcanzaron hasta 4 metros de altura. Los datos también indicaron que el 67 % de los afectados no estaban preparados para eventos climáticos adversos, enfatizando la necesidad de mejores protocolos de respuesta y prevención.

El 67 % de las áreas inundadas alcanzaron su altura máxima en cuestión de horas, y el 67 % tuvo una profundidad hídrica de menos de 4 metros.

4.1.2 Permanencia del agua

En las zonas más afectadas, como el estadio de La Lima y la Aldea Las Metálicas, el agua permaneció estancada entre 20 y 60 días, lo que provocó graves problemas de erosión del suelo y afectó la agricultura local.

4.1.3 Velocidad del flujo

En áreas como la Aldea 4 de Marzo y la Colonia Guadalupe, la velocidad del agua fue tan alta que arrastró animales, vehículos y, en algunos casos, personas. En otras zonas, como las aldeas La 29, La 39 y La 40, la velocidad del flujo fue menor, lo que redujo el impacto destructivo.

La velocidad hídrica de Eta e Iota fue lo suficientemente fuerte como para arrastrar casas, carros y personas, según el 67 % de los entrevistados. La comunicación de la emergencia se realizó principalmente de boca en boca (80 %) y a través de televisión y radio (20 %).

4.2 Estimación del desempeño del modelo hidráulico-fluvial

El Valle de Sula posee un área de drenaje de 26,370 km², representando un 24 % del territorio nacional, aproximadamente, donde las principales corrientes fluviales que discurren a través de la extensa planicie que lo conforman son los ríos Ulúa y Chamelecón. Posterior a su arribo al Valle de Sula, es Río Ulúa la corriente que recibe los mayores aportes, siendo los ríos Comayagua y Guaimas los más relevantes.

El modelo hidráulico conceptual del Valle de Sula es una representación simplificada del sistema hídrico de la región, que integra los componentes clave de su dinámica de inundaciones para evaluar riesgos y apoyar la gestión del territorio (ver Figura 9).

Ante el paso de los huracanes Eta e Iota, la respuesta de las corrientes fue registrada a través de algunas estaciones hidrométricas que están en operación: El Tablón y Chinda. Los hidrogramas registrados ante el paso de los huracanes se detallan en la Figura 10.

Diversas fueron las simulaciones realizadas a través del modelo hidráulico-fluvial, donde el coeficiente de rugosidad fue modificado con el propósito de mejorar la representación de la planicie de inundación ante el paso de los huracanes. Los mayores desafíos corresponden a la valoración de los coeficientes de rugosidad en las franjas urbanas, donde los valores oscilaron entre 0.080, para zonas urbanas no continuas, como es el caso de lagunas colonias de la ciudad de El Progreso, y 0.120 para zonas con alta densidad urbana, como en el caso de algunos sectores de la ciudad de La Lima.

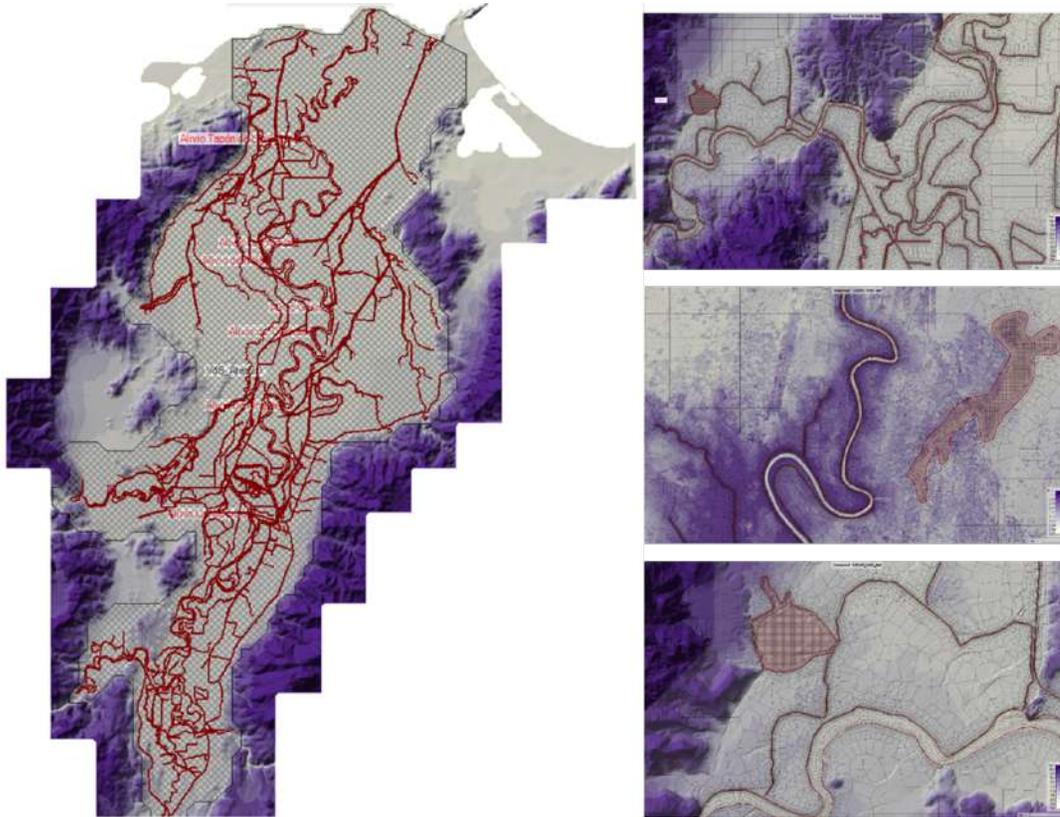


Figura 9: Modelo hidráulico conceptual del Valle de Sula. Fuente: Abrego (2024).

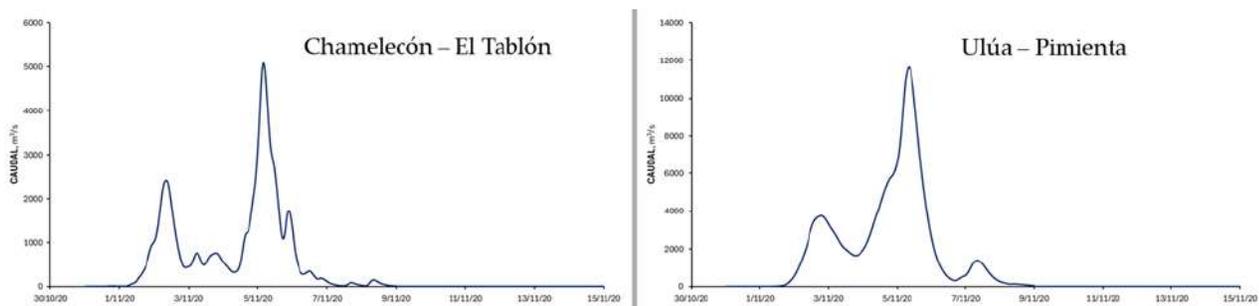


Figura 10: Hidrogramas a nivel horario de Río Chamelecón en la Estación Hidrométrica El Tablón y de Río Ulúa en Estación Hidrométrica Chinda, trasladado en las inmediaciones de Pimienta. Fuente: Elaboración propia.

Las pérdidas como consecuencia de la intromisión de las crecidas en el tejido urbano resultan más sensibles a los espesores de inundación mayores, donde la alta variabilidad de la geometría del terreno acentúa la fricción, reduciendo considerablemente las velocidades en estas zonas. Este aspecto recibió la mayor atención posible, en vista que la mayoría de los puntos críticos de los bordos fueron identificados, en campo, muy próximos a algunas colonias que manifiestan la mayor densidad de estructuras por unidad de superficie.

Con respecto a los resultados del desempeño final del modelo hidráulico-fluvial, la última simulación muestra que las observaciones participativas realizadas en el proceso de validación en contraste con los resultados del modelo hidráulico sitúan la modelización hidráulica fluvial en el rango como **buena**.

$$NSE = 1 - \frac{38.35}{138.40} = 0.72$$

La Figura 11 nos detalla los resultados de las planicies inundables en el Valle de Sula, como consecuencia del paso de los Huracanes Eta e Iota, donde puede apreciarse la magnitud de los calados obtenidos en los principales centros poblados, por el tamaño de su población, que conforman la Zona Urbana del Valle de Sula. En ella, se puede apreciar que tanto Río Ulúa como Río Chamelecón poseen segmentos donde se evidencian marcados procesos de acreción vertical en sus lóbulos de derrame, observados específicamente en sectores como Guanchías y el Canal Martínez, en el caso de Río Ulúa; y los Bajos de La Lima y Bajos de Choloma, próximos a la comunidad de Baracoa, en lo concerniente a Río Chamelecón.

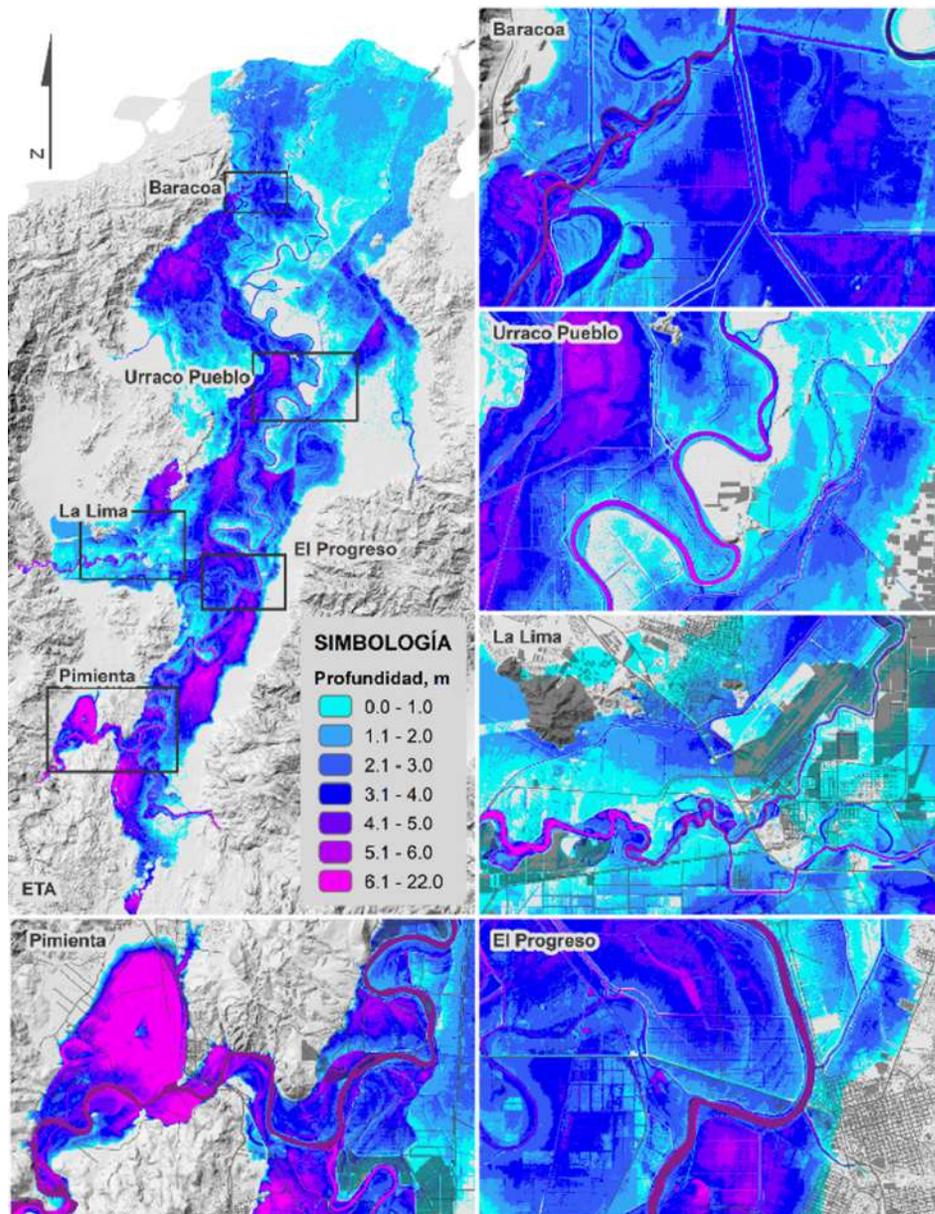


Figura 11: Mapa resultado de la evaluación de desempeño del modelo hídrico - fluvial en el Valle de Sula. Fuente: Elaboración propia.

Esta situación, ha sido confirmada con los relatos y evidencias en campo, que fueron satisfactoriamente reproducidos por el modelo hidráulico-fluvial, pudiendo interpretarse que la compleja red de drenaje del valle ha sido, en términos generales, reproducida de forma satisfactoria, evidenciado por la evaluación del desempeño mediante un $NSE = 0.72$.

5 Discusión

Los resultados indican que todas las zonas evaluadas fueron afectadas por las inundaciones provocadas por los huracanes Eta e Iota. La Aldea Las Metálicas en La Lima fue la más afectada, con niveles de agua que alcanzaron hasta 10 metros de profundidad y una permanencia de 60 días. En contraste, las Aldeas La 29, La 39 y La 40 en El Negrito experimentaron inundaciones menores, con niveles de agua de 0.5 metros y una permanencia de 15 a 20 días. La velocidad del flujo fue difícil de medir, pero se observó que en áreas como La Aldea 4 de Marzo y la Colonia Guadalupe, el agua tuvo suficiente fuerza para arrastrar vehículos y estructuras. En contraste, en las Aldeas La 29, La 39 y La 40, la velocidad del flujo fue menor, lo que redujo el impacto destructivo. Si bien es cierto, la evaluación de estimadores del desempeño del modelo hidráulico-fluvial con respecto a las observaciones realizadas en campo, brinda resultados favorables ($NSE=0.72=BUENA$), podría mejorarse con observaciones para cada evento ocurrido, estableciendo un monitoreo y registro de las huellas de inundación que resultan en un tesoro para los técnicos dedicados a la conceptualización de modelos hidráulicos, ante la ausencia de observaciones registradas con todo el rigor técnico requerido. Asimismo, la observación de más eventos permitiría ajustar los parámetros de calibración de los modelos de forma apropiada a las condiciones del entorno, una vez se disponga de eventos en forma de pronósticos para su simulación, favoreciendo la oportuna estrategia de toma de decisiones.

Para finalizar este apartado, se aclara al lector que las velocidades no han sido objeto de evaluación debido a que la información suministrada es de carácter subjetivo, y con amplios rangos de valoración, por lo que resultaría en un infructuoso esfuerzo, ante la ausencia de instrumentos para su correcta medición.

El análisis de los resultados demostró algunas diferencias entre los modelos cartográficos existentes y la información obtenida en campo. Esto sugiere que, aunque los datos previos fueron útiles, es crucial mejorar continuamente la precisión de los mapas de riesgos, especialmente en áreas vulnerables como el Valle de Sula. La respuesta de la comunidad y la intervención de ONG como GOAL y donantes como USAID fueron fundamentales, pero subrayaron la necesidad de fortalecer la resiliencia comunitaria.

Las lecciones aprendidas de estas tormentas resaltan la crucial necesidad de mejorar la preparación frente a desastres naturales. La educación ambiental, así como la colaboración interinstitucional entre organismos gubernamentales y comunitarios, es fundamental para abordar los riesgos de inundación de manera eficiente.

La deforestación agrava las inundaciones, destacando la importancia de la educación ambiental y limpiezas comunitarias. La construcción de infraestructura resiliente y la planificación urbana sostenible son cruciales. Así mismo, la cooperación interinstitucional es fundamental para estrategias efectivas de prevención y mitigación.

6 Conclusiones

El estudio reafirma la importancia de contar con datos precisos y actualizados para la gestión de riesgos en zonas propensas a inundaciones. La evidencia sugiere que se deben implementar medidas más efectivas

para mitigar el impacto de futuros desastres, e incluir a las comunidades en estos procesos de forma activa.

La evaluación subraya la importancia de adoptar estrategias de mitigación que incluyan una adecuada gestión de recursos hídricos y una planificación urbana sostenible. Es necesario fortalecer los sistemas de alerta temprana y fomentar la cooperación entre las comunidades y agencias de gestión de desastres para una respuesta más efectiva ante futuros fenómenos climáticos.

El uso de tecnologías de mapeo de llanuras de inundación, incluyendo fotogrametría, LiDAR y Radar, es fundamental para mejorar la precisión y calidad de los datos utilizados en el mapeo de llanuras de inundación en el Valle de Sula. Así mismo es importante la validación de estos modelos mediante técnicas como la Cartografía Participativa, para ajustar los modelos hidrológicos a la realidad de campo.

Las velocidades de flujo no han sido objeto de evaluación debido a que la información suministrada es de carácter subjetivo, y con amplios rangos de valoración, por lo que resultaría en un infructuoso esfuerzo, ante la ausencia de instrumentos para su correcta medición.

7 Recomendaciones

Se recomienda mejorar la infraestructura de defensa contra inundaciones, realizar mantenimientos regulares de bordos y crear una base de datos accesible sobre amenazas y riesgos. Además, es vital promover programas de educación y concienciación que empoderen a las comunidades para que se preparen adecuadamente ante desastres. Se proponen varias estrategias de gestión de riesgos que incluyen Mejora de infraestructuras para drenaje y control de inundaciones, zonificación territorial adecuada para regular construcciones en áreas con riesgo elevado, implementación de sistemas de alerta temprana que utilicen datos climáticos para prevenir a las comunidades y reducir la vulnerabilidad de la región proteger vidas y recursos durante eventos climáticos extremos. Se recomienda mejorar la identificación y comprensión de los riesgos de desastres mediante evaluaciones y análisis, así como mejorar la gestión de crisis mediante pronósticos y gestión de desastres.

Es necesario contar con información actualizada y mapas de amenaza y riesgo de acceso público, incorporando nuevos enfoques y considerando las modificaciones en las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

La gestión racional de las llanuras aluviales y la estimación de los daños por inundación no sólo dependen de la extensión del agua, sino también de la profundidad y la frecuencia de las inundaciones. A la vez, también la profundidad y frecuencia con que se inundan los edificios. Si la tarea de la gestión nacional de las inundaciones se observa en este contexto más amplio, es fundamental disponer de información precisa sobre la superficie del terreno y la elevación de la superficie de las aguas de crecida ([National Research Council, 2007](#)).

Las inundaciones urbanas, causadas por lluvias inusualmente intensas y fallos en el drenaje de las aguas pluviales, son cada vez más frecuentes y graves en muchas ciudades del mundo. La mayoría de los estudios anteriores se centraron en las inundaciones causadas por lluvias intensas y prestaron poca atención a las inundaciones causadas por fallos del sistema de drenaje. Sin embargo, la contribución del sistema de drenaje a la vulnerabilidad a las inundaciones ha aumentado con el tiempo a medida que envejecían y se volvían inadecuados para manejar las inundaciones de diseño ([GebreEgziabher y Demissie, 2020](#)).

8 Referencias

- Abrego, C. (2024). Estudio hidrológico e hidráulico-fluvial sobre las planicies inundables en la zona metropolitana del valle de sula. Technical report, USAID-GOAL.
- Canese de Estigarribia (2022). *Participación ciudadana en la gestión y reducción de riesgos de desastres en la Región Metropolitana de Asunción, Paraguay*. Proceedings del XI Congreso Latinoamericano de Ciencia Política (ALACIP). Santiago, Chile.
- CEPAL (2021). Evaluación de los efectos e impactos causados por la tormenta tropical Eta y el huracán Iota en Honduras. Technical report, BID. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/91034cc8-b36b-4dd0-aeda-ddf90e655d15/content>.
- Cox, R., Shand, T., y Blacka, M. (2010). Australian rainfall and runoff. revision project 10: Appropriate safety criteria for people. Technical report, Engineers Australia. Recuperado de: https://arr.ga.gov.au/__data/assets/pdf_file/0006/40578/ARR_Project_10_Stagel_report_Final.pdf.
- Duc, L. y Sawada, Y. (2023). A signal-processing-based interpretation of the nash–sutcliffe efficiency. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(9):1827–1839.
- GebreEgziabher, M. y Demissie, Y. (2020). Modeling urban flood inundation and recession impacted by manholes. *Water*, 12(4). doi: <https://doi.org/10.3390/w12041160>.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Education, 6 edición.
- Hernández V., N. (2018). El río y su territorio. Espacio de libertad: un concepto de gestión. *Terra. Nueva Etapa*, XXXIV(56).
- iPresas (2021). Reporte final de revisión y definición de obras de protección frente a inundaciones en el Valle de Sula (Honduras). Technical report, BID.
- KoboToolbox (2025). The KoboToolbox software. Recuperado de: <https://www.kobotoolbox.org/about-us/software/>.
- National Research Council (2007). *Elevation Data for Floodplain Mapping*. The National Academies Press.
- Salazar-Briones, C., Hallack-Alegría, M., Mungaray-Moctezuma, A., Lomelí, M., López-Lambraño, A., y Salcedo-Peredia, A. (2018). Modelación hidrológica e hidráulica de un río intraurbano en una cuenca transfronteriza con el apoyo del análisis regional de frecuencias. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 9(4). doi: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-03>.
- Suárez, G. (2013). *Manual para la evaluación del Riesgo del emplazamiento y medio construido*. PNUD. ISBN: 978-99926-821-4-2.

ANÁLISIS ESPACIO – TEMPORAL DE LA TRANSFORMACIÓN URBANA DE ACAPULCO 1930 - 2020

Edder Agustín Barrera Castillo^{1,*}, Iliana Villerías Alarcón^{1,†}

¹Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales Acapulco. Universidad Autónoma de Guerrero.

²Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.

Recibido: 17-03-2025

Aceptado: 23-05-2025

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v16i1.20509>

RESUMEN

Las transformaciones urbanas son el resultado de la interacción de variables políticas, económicas, culturales, ambientales, etc., donde se generan conflictos y se desarrollan los intereses de los diferentes sectores sociales; incorporar la perspectiva espacial a los estudios de las transformaciones urbanas tiene como principal objetivo determinar el crecimiento de la superficie urbanizada y su impacto en los cambios de uso de suelo. La ciudad y puerto de Acapulco localizada al sur de México, es la capital económica del estado de Guerrero. Durante el siglo XX, Acapulco se transformó en el primer puerto de vocación turística de México, generando un crecimiento urbano acelerado. La presente investigación tiene por objetivo analizar la evolución espacio- temporal de la transformación urbana de Acapulco de 1930 a 2020, a partir de cartografía temática e indicadores cuantitativos mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica. Los resultados permiten identificar la dinámica de la expansión urbana de la ciudad de Acapulco, así como también dimensionar el crecimiento poblacional y los cambios de uso de suelo; asimismo se espera que los resultados coadyuven para la toma de decisiones en la fase de diagnóstico de la planeación territorial.

Palabras clave: Análisis de Evolución Espacial, Usos de Suelo, Crecimiento Urbano, Transformación Urbana.

ABSTRACT

Urban transformations are the result of the interaction of political, economic, cultural, environmental, and other variables, which generate conflicts and develop the interests of different social sectors. Incorporating a spatial perspective into studies of urban transformations aims to determine the growth of urbanized areas and their impact on land-use changes. The city and port of Acapulco, located in southern Mexico, is the economic capital of the state of Guerrero. During the 20th century, Acapulco became Mexico's leading tourist port, generating accelerated urban growth. This research aims to analyze the spatiotemporal evolution of Acapulco's urban transformation from 1930 to 2020, based on thematic cartography and quantitative indicators using Geographic Information Systems. The results allow us to identify the dynamics of urban expansion in the city of Acapulco, as well as to measure population growth and land-use changes. The results will also assist planners and decision-makers in the diagnostic phase of territorial planning.

Keywords: Spatial Evolution Analysis, Land Use, Urban Growth, Urban Transformation.

*arq.edderbarrer@gmail.com

†villeras.al@gmail.com

1 *Introducción*

Las transformaciones urbanas son el cambio físico que se presenta en las ciudades a través de la aplicación de las políticas de urbanización y mediante el uso estratégico del territorio (Revelo Rebolledo, 2014). De acuerdo con Valencia (2018), para la construcción o transformación del territorio, se necesita de un proceso colectivo, espontáneo, organizado, según se presenten las condiciones en el momento de desarrollarse la planeación. Esto implica que los habitantes se deben convertir en creadores de su territorio y no solamente en simples ocupantes del mismo. Es por ello, que las transformaciones urbanas son consideradas un fenómeno complejo y multifacético que reconfigura el paisaje social, económico y cultural de un territorio, que, a medida de la evolución y crecimiento de las ciudades, se generan nuevos desafíos y oportunidades que moldean la vida de los habitantes. El análisis espacio-temporal con Sistemas de Información Geográfica es considerado una herramienta fundamental dentro de la ciencia geográfica y en especial de la geografía urbana que apoya al análisis de la producción y modificación del territorio a lo largo del tiempo, permitiendo reconocer los cambios en la morfología urbana, el crecimiento de la mancha urbana y los cambios de usos de suelo.

La ciudad y puerto de Acapulco por su localización geográfica desde sus inicios se consolidó como un importante territorio a nivel local, nacional e internacional; esto derivado de su papel estratégico como puerto y, posteriormente, como destino turístico de talla internacional. Estas principales actividades económicas que se desarrollaron en la ciudad produjeron diversas transformaciones urbanas que se caracterizaron por un crecimiento acelerado de la población, asentamientos humanos en zonas no aptas, como laderas de cerros y áreas propensas a inundaciones, problemas ambientales y la falta de una adecuada distribución de la infraestructura y servicios básicos, todo esto derivado una inadecuada y sobrepasada planeación urbana. En este sentido la presente investigación tiene por objetivo analizar la evolución espacio-temporal de la transformación urbana de Acapulco de 1930 a 2020, a partir de cartografía temática e indicadores cuantitativos mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica, con la finalidad de identificar la dinámica de la expansión urbana de la ciudad de Acapulco, así como también dimensionar el crecimiento poblacional y los cambios de uso de suelo. Se espera que con los resultados obtenidos se apoyen a los planificadores y tomadores de decisiones en la fase de diagnóstico de la planeación territorial.

1.1 Aspectos Teóricos – Conceptuales

1.1.1 Una aproximación a las transformaciones urbanas

Lo urbano puede definirse como la concentración de población en el espacio, caracterizado por límites tanto en dimensión como en densidad, centrándose en los aspectos demográficos y físicos, así como en la formación de ciudades y el traslado de población de las áreas rurales a las urbanas (Reynaud y Castells, 1974). Los procesos de urbanización han impactado en la forma en que se configuran los territorios, que se pueden enmarcar en un conjunto de procesos, como las industrias, los servicios y la producción inmobiliaria o en la profundización del proceso de globalización al amparo de mejoras en la tecnología, en una circulación potente del capital y en un creciente comercio internacional que promueven dinámicas del capitalismo avanzando en las que el consumo impulsa a la producción y las formas de vida de la sociedad; como lo explican autores como Sánchez (2013), Harvey (2003) o Holmes *et al.* (2000).

El cambio es una constante de la sociedad contemporánea a nivel global, que promueve en la actualidad transformaciones rápidas y significativas en las dinámicas poblacionales (Ruiz, 2015). Las transformaciones urbanas son un fenómeno complejo y multifacético que ha acompañado el desarrollo de las ciudades

a lo largo de la historia, desde las primeras civilizaciones hasta la globalización contemporánea, donde las ciudades han experimentado cambios en su estructura, funcionalidad y cultura; estos procesos de transformación no solo están relacionados con el crecimiento físico y demográfico, sino también con la reconfiguración de la vida social, política y económica (Gülersoy y Gürler, 2015). De acuerdo con Brenner y Schmid (2013), la transformación urbana es un término que se aborda desde la planeación y ordenamiento territorial, el cual se considera un proceso en el cual las ciudades presentan cambios significativos en su estructura, usos del suelo y dinámicas sociales; sin embargo, este concepto es cambiante de acuerdo con la temporalidad y las políticas o estrategias gubernamentales que se implementen. En este sentido, este proceso puede ser impulsado por políticas gubernamentales, inversiones privadas, así como por movimientos sociales que buscan una reconfiguración de la ciudad; por lo que las transformaciones urbanas en la actualidad revelan una intrínseca relación entre procesos del actual capitalismo, las singularidades de las diversas formaciones económicas, así como las particularidades en cada ciudad o región en las que se producen (Seto y Reenberg, 2014). Por su parte, García (2001) propone una visión más centrada en las transformaciones, si bien físicas, pero destinadas a la “elitización” de barrios o sectores urbanos, incluyendo mejoras en infraestructuras, mobiliarios urbanos, espacios verdes y la creación de entornos más atractivos y funcionales.

Como se ha mencionado anteriormente, las transformaciones urbanas no solamente hacen referencia al cambio de una ciudad de manera física, sino que también existe una modificación espacial, social y ambiental en cada lugar que se presenta; ante ello Gülersoy y Gürler (2015) mencionan tres tipologías de transformaciones urbanas:

1. Transformación urbana basada en la conservación del patrimonio en las áreas urbanas, la cual se basa en el significado histórico y cultural de la ciudad.
2. Transformación urbana basada en la regeneración de las áreas urbanas existentes con potencial económico y funcional.
3. La renovación urbana basada en el desarrollo de espacios urbanos deteriorados en la que estos se pueden modernizar y reestructurar.

Por su parte, González y González (2001) proponen la siguiente:

1. Transformación de conservación: enfocada a la protección del patrimonio histórico, arquitectónico y urbanístico de la ciudad.
2. Transformación de consolidación: se refiere a la creación de unidades morfológicas urbanas, espaciales, residenciales, industriales, comerciales, ambientales y de servicios en el área urbana y las periferias, mediante un enfoque de desarrollo urbano sostenible de la ciudad y vista como un todo.
3. Transformación de renovación urbana: entendida como la regeneración urbana, reconstrucción, restauración, y/o revitalización de unidades morfológicas que han perdido sus cualidades espaciales y ambientales; como en el caso de las infraestructuras públicas y los recursos naturales.
4. Transformación de desarrollo: se asume una orientación hacia la modernización urbana y la restauración y aprovechamiento socioeconómico.

Se cree que el objetivo de las transformaciones urbanas está encaminado a un modelo más inclusivo y sostenible, no obstante, estos procesos no han cesado desde el origen mismo de las ciudades, trayendo

conlleva diversas consecuencias de tipo ambiental, social y económicas, por ejemplo, el continuo cambio de uso del suelo, la pérdida del hábitat y extinción de especies, presión sobre los recursos ecológicos, degradación de los servicios ecosistémicos, migración rural – urbana, aumento del costo de la gobernanza, contaminación del aire, la escasez de recursos hídricos y la pérdida de áreas verdes; así como la falta de planificación urbana adecuada ha llevado a un uso insostenible del suelo, donde los espacios verdes son sustituidos por edificios y desarrollos comerciales (Páez y Samaniego, 2023; Seto y Reenberg, 2014; Zhao *et al.*, 2022). Asimismo, Sayin (2013) hace referencia que los procesos de transformación urbana crean y aumentan la desigualdad urbana, ya que este proceso altera las dinámicas sociales, donde las sociedades menos favorecidas se ven desplazadas de su lugar de origen para dar paso a nuevas áreas para grupos con mayor poder adquisitivo, generando en algunas ocasiones tensiones sociales. Algunos ejemplos de transformaciones urbanas con impacto negativo son la Ciudad de Buenos Aires (Baer, 2010); Bogotá (Dureau *et al.*, 2016), Ciudad de México (Sánchez, 2013).

Si bien los procesos de transformación que se suscitan en las ciudades la mayoría de las ocasiones generan impactos negativos; también hay casos de éxito donde se desarrollan políticas públicas o estrategias urbanas que se centran en la creación de territorios inclusivos, sostenibles y resilientes; ejemplo de ello, es la Ciudad de Curitiba, que derivado del crecimiento urbano descontrolado que se iba originando debido a la industrialización, se inició un proceso para conservar el medio ambiente con la finalidad de promover la conservación de zonas verdes y prevenir inundaciones; así como también se implementaron leyes que reglamentan los procesos de transformación y la planificación urbana, esto ha contribuido a un buen funcionamiento en los sistemas de servicios básicos (agua, luz, drenaje), salud, residuos sólidos, transporte, entre otros, mejorando la calidad de vida de los habitantes (Quintero *et al.*, 2021).

Las transformaciones urbanas son conceptualizadas como un fenómeno de evolución del territorio, las cuales pueden ser positivas o negativas, no obstante, ante este fenómeno es necesario implementar políticas y estrategias que promuevan la conservación del patrimonio arquitectónico, fomenten la participación ciudadana en la toma de decisiones y se promueva la inclusión social (Páez y Samaniego, 2023), con la finalidad de crear ciudades inclusivas, sostenibles y resilientes como lo plantean los Objetivos del Desarrollo Sostenible 2030 y con ello lograr transformaciones urbanas con menor impacto negativo en las sociedades.

1.1.2 Análisis de la evolución espacial

La Geografía, una disciplina que posee uno de los mayores potenciales para el análisis de las distribuciones espacio-temporales, sobre todo en su postura cuantitativa y racionalista, que permiten realizar aportes dirigidos en los conceptos de localización, distribución, asociación, interrelación y evolución espacial. Los Sistemas de Información Geográfica se definen como un conjunto de herramientas diseñadas para capturar, almacenar, analizar y representar datos geoespaciales (Burrough *et al.*, 2015). Su aplicación en la geografía y en otras ciencias ha permitido realizar análisis multiescalares y multitemporales con una precisión y eficiencia antes impensables. Uno de los aportes de los SIG es su capacidad para manejar datos cronológicos a través de series de imágenes satelitales, registros censales históricos y bases de datos espaciales. Esta funcionalidad permite elaborar mapas comparativos entre distintos momentos del tiempo, modelar tendencias y realizar simulaciones. El análisis espacial cuantitativo es un conjunto de métodos que se auxilian de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y se engloba dentro de la Geografía Aplicada, que principalmente se dirige en la búsqueda de generalidades y regularidades dentro del comportamiento espacial, lo que permite obtener modelizaciones espaciales de los fenómenos (Buzai, 2022).

Dentro del análisis espacial cuantitativo en su enfoque temporal, se intenta captar las variaciones en las distribuciones espaciales durante el tiempo, ya que ningún fenómeno es estático y siempre está en proceso de cambio; de esta forma, se puede iniciar un análisis histórico o prospectivo. Asimismo, la evolución espacial no solo va a hacer énfasis en los cambios físicos de los patrones de distribución, sino también toma en cuenta factores geográficos, económicos, sociales y ambientales que generan esas modificaciones (Batty, 2005). Los métodos empleados para analizar los fenómenos temporales y en este caso las transformaciones urbanas han ido evolucionando conforme también avanza el desarrollo tecnológico, ya que, hasta antes de 1970, este tipo de análisis se realizaba a través de la comparación analógica (análisis de superposición) (mapas o fotografías aéreas) de diferentes periodos; lo cual requería mayor tiempo y presentaba muchas limitaciones, por ejemplo, escasa exactitud en la digitalización o sobreposición, el tipo de escala o proyección de la información a analizar, así como se limitaba a la subjetividad en la interpretación (Jiménez *et al.*, 2011).

Con el desarrollo e implementación de los SIG, se revolucionó el método de superposición de capas, disminuyendo el tiempo en la digitalización y obteniendo mayor precisión en el cálculo de superficies. Asimismo, con el acceso a imágenes satelitales como (Landsat, SPOT), se comenzó a utilizar el método de post - clasificación, el cual consiste en agrupar rasgos geográficos en clases o categorías de acuerdo con características comunes y posteriormente generar un matriz cruzada o de transición del cambio entre las imágenes multitemporales (Mamdouh, 2016). Conforme avanzó el tiempo los softwares utilizados para realizar análisis temporales (Idrissi ahora TerrSet; ENVI; ERDAS) fueron evolucionando, por lo que, los procesos se sintetizaron obteniendo resultados en menor tiempo. De igual manera, los análisis evolucionaron de lo descriptivo a lo predictivo, comenzando a utilizar modelos predictivos aplicados en SIG que simulan las transformaciones territoriales, ejemplo de ello son los modelos de crecimiento urbano tipo CA-Markov o los modelos de redes (Malczewski, 1999), Land Change Modeler o SLEUTH que permiten anticipar escenarios futuros de expansión o densificación urbana, incorporando variables como redes de transporte, restricciones geográficas y tendencias demográficas (Clarke *et al.*, 1997). En este sentido el análisis espacial desde la perspectiva temporal (evolución espacial) con tecnologías como los SIG y la aplicación de métodos cuantitativos como los modelos de simulación espacial pueden contribuir a formular políticas o estrategias públicas para mejorar las condiciones sociales y territoriales.

2 Metodología

2.1 Caracterización de la zona de estudio

El Municipio de Acapulco de Juárez se encuentra localizado en el sur del estado de Guerrero y conforma parte de los 81 municipios del estado. Cuenta con una superficie de 1,883.60 km², lo cual representa el 2.6 % del total estatal, además de un litoral costero de 62 km, que significan el 12.3 % guerrerense. Colinda al norte con los Municipios de Juan R. Escudero y Chilpancingo de los Bravo, al este con San Marcos, al sur con el Océano Pacífico y al oeste con Coyuca de Benítez y está organizado en 67 comisarías y 57 delegaciones, siendo la ciudad y puerto de Acapulco su cabecera municipal. En 2020, el municipio se registró una población total de 779,566 habitantes, donde el 47.7 % son hombre y 52.3 % mujeres; asimismo es el municipio más habitado a nivel estatal con el 22 % de la población guerrerense, siendo el grupo de población entre los 30 y 64 años el de mayor concentración con el 41.8 %, mientras el de menor población fue el de los adultos mayores con 9.4 % (INEGI, 2020). Por otra parte, la ciudad de Acapulco (Figura 1) es un puerto turístico de fama mundial localizado al sur del estado mexicano de Guerrero. Actualmente, posee una superficie de 205.03 km² y su litoral costero tiene una extensión de 49.59 km. Sus colindancias son en el norte con el poblado Km. 21, al este con el Río Papagayo, la laguna de Tres Palos y el poblado

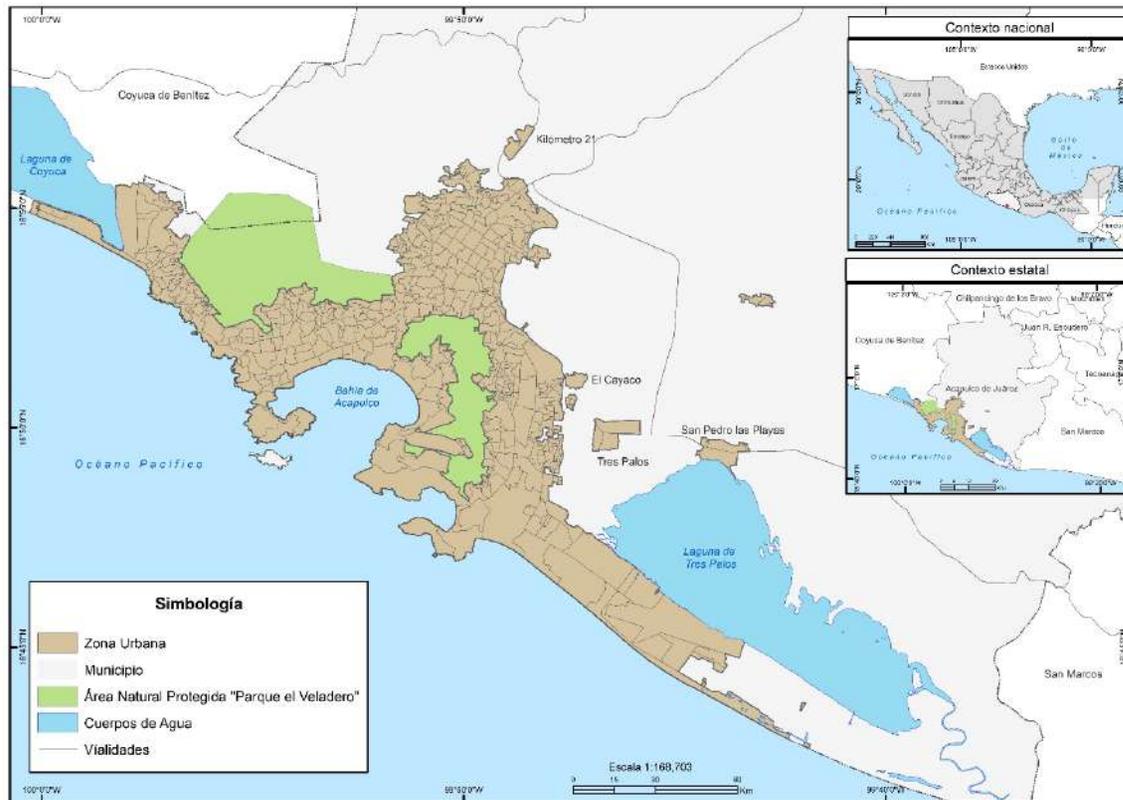


Figura 1: Mapa de la zona de estudio. Elaboración propia con datos de INEGI (2024).

del mismo nombre, así como el poblado del Lomas de Chapultepec, al oeste con los poblados de Cerrito de Oro y Luces en el mar, pertenecientes al municipio de Coyuca de Benítez, así como con la laguna de Coyuca y al sur con el Océano Pacífico.

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020), la población de la ciudad es de 658,609 habitantes y tiene una densidad poblacional de 7,923 habitantes por kilómetro cuadrado. El 47.61 % de su población se considera económicamente activa, donde sólo el 21.7% de su población tiene un empleo formal y el resto trabaja en la informalidad. La economía del Puerto de Acapulco principalmente se aboca a la oferta de servicios turísticos y al comercio, por su parte, la agricultura y la pesca son actividades también de importancia, no obstante, estas presentan menor remuneración económica y menor población dedicada a estos sectores. Por otra parte, la ciudad y puerto de Acapulco posee 25 majestuosas playas, las cuales se encuentran divididas en las zonas turísticas de Acapulco Tradicional, Acapulco Dorado y Acapulco Diamante. Asimismo, dentro de las principales características físico - geográficas que posee la ciudad de Acapulco está la zona de conservación denominada Parque Nacional El Veladero, ubicado en la región CONANP Centro y Eje Neovolcánico y que posee una superficie de 3,617.41 ha. Otras reservas naturales localizadas dentro de la ciudad son la isla Roqueta y el Parque Papagayo (CONANP, 2024).

2.2 Datos y procesamiento de la información

La información de esta investigación se obtuvo a partir de los planes de desarrollo municipal de la ciudad de Acapulco para los años de 1930 al 2020 del Gobierno Municipal de Acapulco, con la cual se identificó la traza urbana de la ciudad cada 20 años; la información referente a la población se recopiló de la serie

histórica de los Censos de Población y Vivienda desde 1930 al 2020 y por último para analizar el cambio de uso de suelo se utilizaron las series de vegetación I que corresponde al año de 1980 (INEGI, 1997) y serie VII del año 2020 (INEGI, 2021), ambas pertenecientes al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Para llegar al objetivo principal se aplicó el método de superposición cartográfica histórica que consiste en “la definición de estilos a través de la observación y de la comparación” (Moreno, 2014), este método constituye una herramienta eficaz para analizar los cambios en las configuraciones espaciales del crecimiento urbano y cambios de uso de suelo en un periodo determinado, por lo que, esta metodología se orienta al análisis de la evolución espacial de los patrones de distribución (Humacata, 2011). Para ello, se realizó una restitución planimétrica a través de la vectorización de imágenes antiguas (Van Der Maas, 2011) y la información se validó mediante relatos orales de fuentes vivas; posteriormente, se calcularon los índices de crecimiento urbano absoluto (CUA) (ver ecuación 1) que se refiere a la cantidad total en que ha crecido la población y traza urbana en un periodo de tiempo determinado; y crecimiento urbano relativo que mide el porcentaje del crecimiento de la población y traza urbana en un periodo determinado en relación con la población inicial. (CUR) (ver ecuación 2) (Humacata, 2011) a través de las siguientes fórmulas:

$$\text{CUA} = \text{valor final} - \text{valor inicial} \quad [1]$$

$$\text{CUR} = \left(\frac{\text{valor final} - \text{valor inicial}}{\text{valor inicial}} \right) \times 100 \quad [2]$$

Después se calculó la tasa de crecimiento poblacional durante el periodo de 1930 al 2020, es decir, cada 10 años (ver ecuación 3), lo que permitió analizar la dinámica demográfica de la ciudad.

$$\text{TC} = \left(\sqrt[n]{\frac{P_f}{P_i}} - 1 \right) \times 100 \quad [3]$$

Donde:

TC = tasa de crecimiento

P_f = población al final del período

P_i = población al inicio del período

n = número de años en el período

Ya calculado el crecimiento urbano y poblacional, se procedió a la combinación de las categorías (agricultura, bosque, manglar, pastizal, sabana, cuerpo de agua, vegetación de dunas costeras, vegetación secundaria de selva y asentamientos humanos) de las dos series de uso de suelo y vegetación; y con ello verificar los cambios o permanencias de los usos de suelo. Una vez, identificadas las categorías se realizó una tabulación cruzada de la información, generando una matriz de cambio (cuadro 1), la cual se organiza en filas y columnas; en las filas se encuentran las categorías de los mapas de corte temporal 1 (T1), es decir el primer periodo, mientras que en las columnas se representan las categorías del último año (T2). La interpretación de la matriz de cambio refiere a que los datos que se encuentran en la diagonal indican las superficies que no han sufrido alguna modificación y las que se encuentran fuera son las que han presentado alguna transición a otras categorías durante el periodo analizado; asimismo en esta matriz se tienen los totales de las dos temporalidades que representan la suma de cada categoría, como también se tienen los datos de pérdidas y ganancias que indican ya sea la disminución o aumento de las superficies de cada clase entre los dos años (Tabla 1).

Tabla 1: Matriz de cambios. Fuente: elaboración propia con base en Pontius *et al.* (2003) y Humacata (2011).

Categorías	Categorías 1	Categorías 2	Categorías 3	Categorías n	Total T1	Pérdidas
Categorías 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{1n}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Categorías 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{2n}	P_{2+}	
Categorías 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{3n}	P_{3+}	
Categorías n	P_{n1}	P_{n2}	P_{n3}	P_{nn}	P_{n+}	
Total T_2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+n}	1	
Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+n} - P_{nn}$		

Los resultados obtenidos se sintetizaron en tablas y cartografía temática dinámica; que se utilizarán como insumos para analizar la magnitud de las transformaciones urbanas y cambios de uso de suelo.

3 Resultados

3.1 Evolución espacial de la transformación urbana del Puerto de Acapulco 1930 -2020.

La ciudad de Acapulco en la época colonial fungió como un importante puerto comercial marítimo entre las Filipinas y la Colonia de la Nueva España, por lo que los asentamientos se encontraban principalmente en lo que hoy en día es el zócalo de la ciudad y la terminal marítima, en este sentido, en el año de 1899 la zona de asentamientos humanos era apenas de 221.30 Ha. (Lallier, 1899) (Figura 2).

En el año de 1927, con la inauguración de la nueva carretera que conectaba a la ciudad con la Ciudad México y con la creación de infraestructura de transportes más modernos, facilitaron la conectividad de personas y entre ciudades, por lo que, Acapulco se vuelve un polo de atracción tanto para turistas como inversionistas y comienza un proceso de migración de personas para trabajar en el puerto. Tras las nuevas inversiones y desarrollo económico que surgieron en la ciudad de Acapulco, se comienza a planificar el desarrollo urbano de la ciudad (Figura 3), a través de un plan director en el año de 1932.

Esto origino que, a partir del año 1930, la traza urbana comenzará una acelerada expansión en el litoral costero a zonas como el Fraccionamiento Las Playas, Barrio de La Pinzona, Club Residencial Las Américas y el Fraccionamiento Hornos. Durante este período, las políticas de desarrollo implementadas por los gobiernos de la época favorecieron a las expropiaciones ejidales, mismos que se ubicaban próximos a la ciudad y la mayoría de los terrenos pegados a la costa eran destinados para uso agrícola (Alcaraz *et al.*, 2021)). Del mismo modo, sumado a las expropiaciones de predios, el elevado costo del suelo urbano y las constantes migraciones de personas en búsqueda de mejores condiciones de vida y oportunidades laborales, facilitaron la invasión de otros terrenos en zonas más alejadas de la costa, originando un crecimiento de la traza urbana con dirección hacia el noroeste, donde aparecen colonias como Hogar Moderno, La Progreso, Cuauhtémoc y Hornos Insurgentes; y hacia el norte y suroriente con los Fraccionamientos Magallanes, Costa Azul, Playa Guitarrón y Las Brisas que significó un crecimiento absoluto de 471.9 ha y relativo de 117.7, para el final de este periodo de veinte años (año 1950).

Para la década de 1970, Acapulco era ya el destino turístico por excelencia, con una gran inversión por parte de los gobiernos de estos periodos, sin embargo, al interior de la ciudad, se siguió un camino de crecimiento urbano acelerado y descontrolado. Cada vez más población se vio obligada a reubicarse, algunas



Figura 2: Zona Urbana de Acapulco en 1899. Fuente: Elaboración propia con base en imagen de Enrique Lallier (1899).

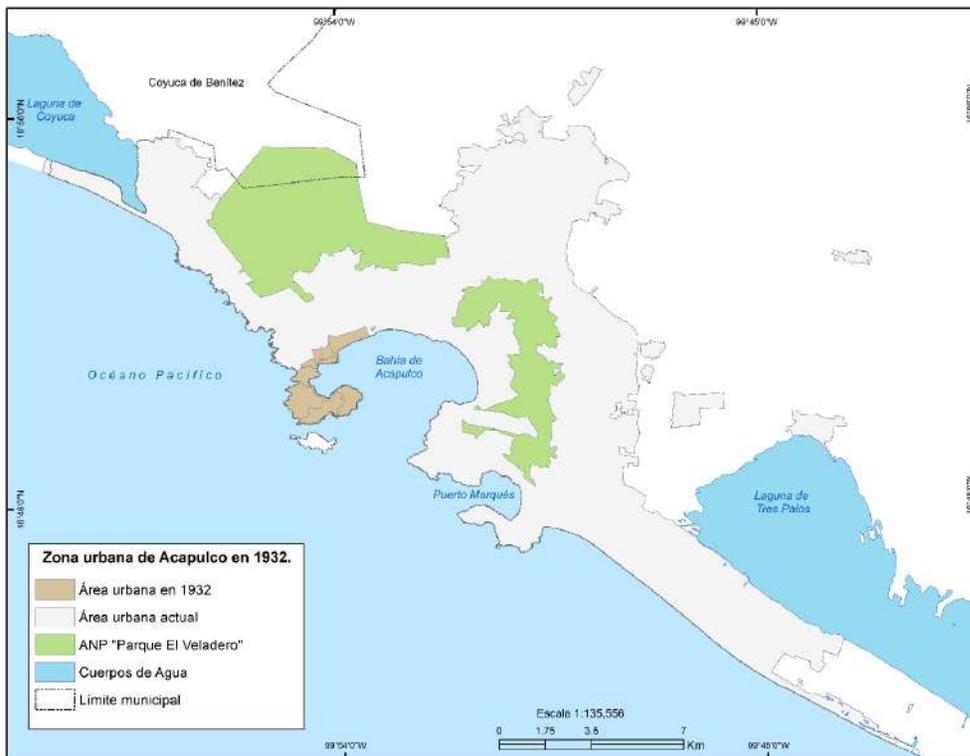


Figura 3: Acapulco: Zona Urbana en 1932. Elaboración propia con base en imagen de Fernández (1932).

de las veces, bajo el auspicio de los gobernantes, como el caso de la reubicación de personas hacia la nueva Ciudad Renacimiento, sin embargo, las invasiones hacia El Veladero continuaron sin poder ser controladas, además, del otorgamiento de cada vez más predios ejidales expropiadas a los locales, en beneficio de la industria turística e inmobiliaria. El crecimiento de la ciudad en este periodo se presenta hacia oriente y noroeste, aparecen nuevos asentamientos hacia la zona de Llano Largo, así como al poniente de la ciudad, se establecen colonias como Marbella, Balcones al Mar y Jardín, así como en el Ex Ejido de Santa Cruz se establecen colonias irregulares, en las partes alta del Anfiteatro y a los costados de la Carretera Nacional México – Acapulco. Asimismo, en este periodo se originan colonias producto de invasiones que ocupan la parte alta del Ex Ejido de Santa Cruz, así como la Garita y la Laja, en las partes altas del Anfiteatro y a los costados de la Carretera Nacional a México. Como resultado de todos estos crecimientos, para el año de 1970, la ciudad se había extendido otras 1,134.57 ha lo que equivalió a un crecimiento relativo de 240.4 (Tabla 2) (Figura 4).

Tabla 2: Evolución del espacio urbano de Acapulco 1930 – 2020. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (1930 – 2020).

Periodo	Superficie inicial (Ha.)	Superficie final (Ha.)	Crecimiento Absoluto	Crecimiento Relativo
1930 - 1950	401.0	872.9	471.9	117.7
1950 - 1970	471.9	1,606.5	1,134.6	240.4
1980 - 2020	6,252.10	14,962.92	8,710.82	139.33

Así también, las políticas públicas implementadas, buscaban atender problemas de salubridad de la ciudad y de la bahía. Se realizaron obras de infraestructura y se suministró de agua potable a varias colonias de la ciudad, se regularizaron y se crean colonias en el Valle de la Sabana, sin el éxito deseado, esto debido a la lejanía en que, para la época, se ubicaba esta zona de la ciudad con las fuentes de trabajo de la población. De igual forma, se realizaron obras de equipamiento como escuelas y hospitales (Castellanos *et al.*, 2015).

Como se ha mencionado con anterioridad, debido a la apertura de nueva infraestructura turística en el puerto, se originó el fenómeno migratorio de personas de las localidades y ciudades cercanas a Acapulco, lo que provocó un incremento poblacional, similar en intensidad y rapidez al del crecimiento de la ciudad. De esta forma, Acapulco paso de ser un pequeño pueblo dedicado en su mayoría a la agricultura o la pesca, con no más de 5,000 habitantes, a una población total de 9,993 habitantes en el año de 1940, que represento una tasa de crecimiento de 4.35, y finalmente de 31,368 en la siguiente década (año 1950) con una tasa equivalente a 12.12 (Tabla 3).

Durante este periodo de tiempo, la ciudad presentaba una tipología compacta, con los servicios y la vida central de los habitantes, cercanos al centro histórico, debido a esto, se observaba una densidad poblacional elevada, con un valor para el año de 1950 de 3,605.52, hab/km², mientras que para el final del período, la densidad de población alcanzo los 10,873.55 hb/km², con el mayor número de habitantes asentados en la zona denominada Anfiteatro, que es la parte frontal del Parque El Veladero con respecto a la famosa bahía de la ciudad (Tabla 4).

Durante la década de 1980, aparecen asentamientos de tipo condominal para personas trabajadoras a consecuencia de nuevas políticas de viviendas implementadas tanto a nivel nacional como global, ejemplo de esto es la Unidad Habitacional El Coloso, que fue el más grande de América. Esto favorece aún más la

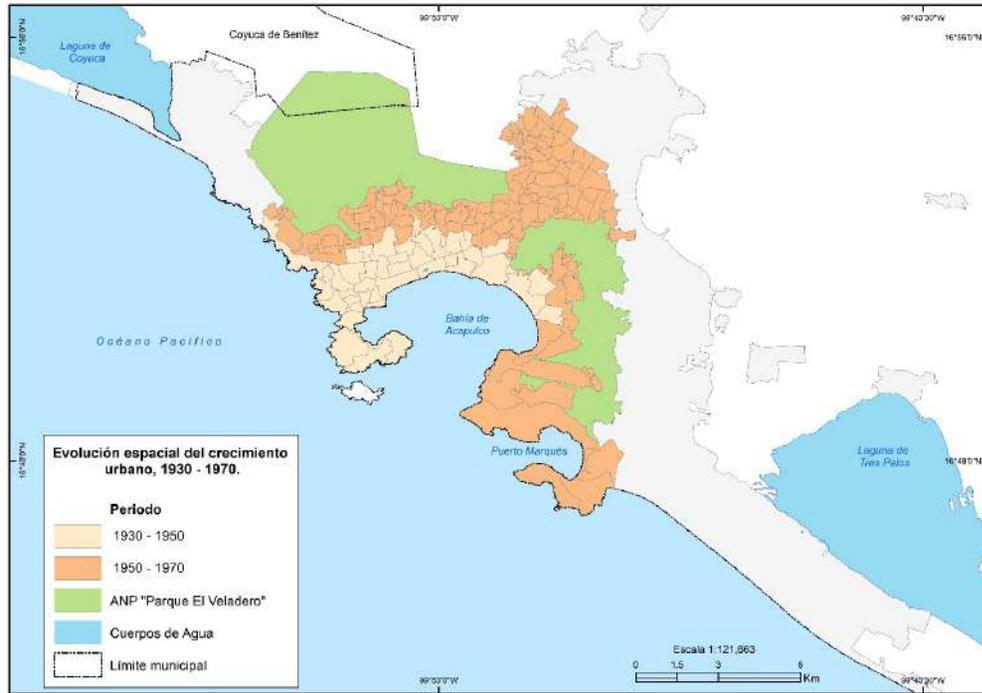


Figura 4: Acapulco: Evolución espacial de 1930 a 1970. Fuente: Elaboración propia con base a Planes de Desarrollo Municipales 1930 - 2020 e INEGI (2020).

Tabla 3: Tasa de crecimiento poblacional de Acapulco 1930 – 2020. Elaboración propia con datos de INEGI (1930 – 2020).

Período	Inicial	Final	Tasa de Crecimiento
1930 - 1940	6,529	9,993	4.35
1940 - 1950	9,993	31,368	12.12
1950 - 1960	31,368	51,766	5.14
1960 - 1970	51,766	174,738	12.94
1970 - 1980	174,738	301,902	5.62
1980 - 1990	301,902	515,374	5.49
1990 - 2000	515,374	620,656	1.88
2000 - 2010	620,656	673,479	0.82
2010 - 2020	673,479	515,374	-2.64

migración de personas del campo a la ciudad, además de que facilita la conversión de usos de suelo en esta zona, además, las invasiones constantes a la ahora Área Natural Protegida del Veladero no pueden ser frenadas, con lo que aparecen más asentamientos irregulares en zonas de alto riesgo, lo que a futuro traería consecuencias fatales para la ciudad y sus pobladores. Durante esta década se presenta una baja en la construcción de hoteles, sin embargo, se incrementa la construcción de condominios de segunda residencia turística, en consecuencia, de las tendencias mundiales. A comienzos de la década de los 90's, el gobierno del Estado inicia la creación de la zona Diamante como nueva alternativa turística para inversión, se construye la Autopista del Sol, mejorando la comunicación terrestre con la Ciudad de México,

Tabla 4: Densidad poblacional de Acapulco en el periodo de 1930 a 2020. Elaboración propia con datos de INEGI (1930 – 2020).

Periodo	Población	Extensión en km ²	Densidad (hab/km ²)
1930 - 1950	31,368	8.70	3,605.52
1950 - 1970	174,738	16.07	10,873.55
1980 - 2020	515,374	149.63	3,444.32

la que se vuelve en el principal mercado turístico de Acapulco, sin embargo, esta zona lujosa se asienta en terrenos bajos, cercanos a la Laguna de 3 Palos, así como abundante de manglares, por consecuencia, poco apta para uso habitacional.

El crecimiento urbano de esta década se caracteriza por la saturación de espacios en la carretera Cayaco – Puerto Marqués, proliferando la venta informal de predios de tipo ejidal. Se integran localidades como La Sabana, El Cayaco, Punta y Playa Diamante, Barra Vieja y otras localidades al norte de la Laguna de Tres Palos al sector Diamante, esto para poder darle usos habitacionales, turístico, agropecuario e Industrial a la zona (Castellanos *et al.*, 2015). Sin embargo, en 1997, la naturaleza comienza a dar avisos de las carencias de la planificación aplicada. La madrugada del 09 de octubre de ese año, el huracán “Paulina” golpeó las costas de Guerrero, causando graves daños en Acapulco, así como la pérdida de muchas vidas. Por esta razón, el gobierno municipal en turno convocó a especialistas en el tema para la formación de brigadas cuyo objetivo era el trabajar en la reconstrucción de la ciudad. El resultado fue la elaboración de un nuevo plan de desarrollo urbano que fue aprobado en el año 2001. En este nuevo plan, se disminuyó la reserva del crecimiento urbano, ampliando áreas de conservación, suponiendo la preservación de las poblaciones de manglares que se localizan en la zona, sin embargo, la Zona Diamante ha sido utilizada para la realización de nuevos y numerosos desarrollos habitacionales de lujo, con una mezcla de unidades habitacionales de menor costo, convirtiéndose en un rentable negocio para desarrolladores. Muchas de estos desarrollos son comprados por personas que no viven en la ciudad, por lo que se convierte en una segunda residencia, provocando zonas poco densas en cuanto a población pero con un crecimiento marcado en la ocupación de zonas no aptas para uso habitacional, lo cual, sigue dejando a la población en una situación de vulnerabilidad ante los fenómenos naturales, que; con el cambio climático, cada vez se han presentado de formas más impredecibles, como fue el caso del huracán Otis, el cual, la noche del 24 al 25 de octubre del 2023, impactó en la ciudad de Acapulco, pero en especial en esta zona, dejando viviendas de lujo e interés social, igualmente inundadas y con graves daños materiales (Figura 5).

Todo este crecimiento territorial se ve reflejado en un incremento absoluto de 8,710.82 ha, así como de un crecimiento relativo de 139.33, crecimiento presentado principalmente en las zonas nor este y oriente de la ciudad, acercándose cada vez más hacia la carretera vieja hacia la Ciudad de México con asentamientos de tipo condominal vertical, como Ciudad San Agustín, así como la Zona Diamante, cercano a la Laguna de 3 Palos y el aeropuerto (Tabla 2).

El desarrollo de nuevas zonas de atractivo turístico, la apertura de la Autopista del Sol a finales de la década de los 80 y las implementaciones de nuevas políticas tanto en lo respectivo a vivienda como al desarrollo urbano de Acapulco, propiciaron la aparición de nuevos centros de población hacia las periferias de la entonces traza urbana, como ya se ha escrito con anterioridad, de esta forma, la población continua un crecimiento exponencial durante este periodo de 1980 a 2020. En el año de 1980, se contabilizaron 301,902 habitantes resultado de una tasa de crecimiento de 5.62, durante la década transcurrida

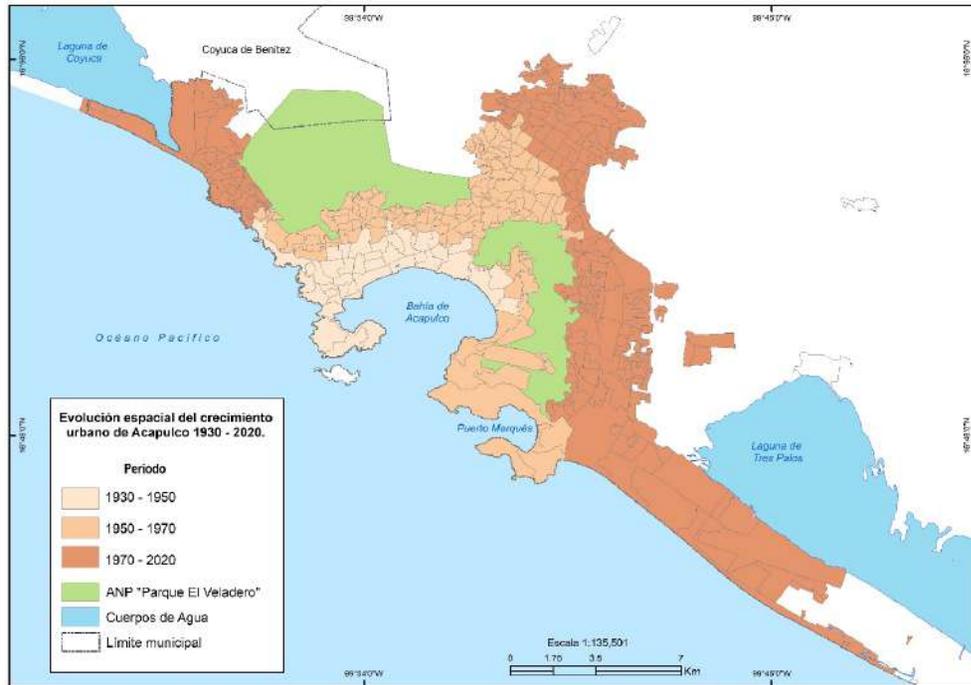


Figura 5: Acapulco: Evolución Espacial de 1970 a 2020. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2020).

de 1970 a 1980, Este nuevo incremento poblacional origino la a aparición de nuevas colonias en las zonas circundantes al Valle de la Sabana, así como la de Pie de la Cuesta y el poniente de la ciudad. Esta cifra, se incremento a través de una tasa de 5.49, se incremento a 515,374 habitantes para el año de 1990 Es a partir de esta década, que debido a la caída en las cifras de visitantes al puerto ante la aparición de cada vez más destinos turísticos de diverso tipo en México, las migraciones hacia la ciudad menguan, por tanto, las tasas de crecimiento poblacional presentan los números más bajos en 80 años, sin embargo, de 1990 al año 2,000, la cifra de habitantes continua en ascenso, alcanzando las 626,656 personas y una tasa de 1.88, mientras que para los primeros diez años del siglo XXI, el número llego a 673,579 habitantes, producto de una tasa incremental de 0.82.

A partir del año 2006, México se ha visto envuelto en un clima generalizado de violencia producto de la llamada “guerra contra el narco”, clima que se ha generalizado y del cual, Acapulco no ha podido afectar, siendo uno de los puntos más críticos como lo demuestran las cifras internacionales, debido a esto, se puede explicar que del año 2010 al 2020, la población acapulqueña haya decrecido (515,374 habitantes), así como que presente una tasa de crecimiento negativa (-2.64) (Tabla 3).

Debido a las restricciones naturales del terreno en el que se asienta la ciudad de Acapulco, así como a que la mayoría de los habitantes no podían tener fácil acceso a los créditos gubernamentales de vivienda o apoyos con el mismo fin, la mala calidad de las construcciones, entre algunos otros factores, la mayoría de los desarrollos condominales de tipo interés social desarrollados durante varias décadas en Acapulco, tanto en la Zona Diamante como a la circuncidante a la salida a la Ciudad de México, la ciudad mantiene una tipología compacta en su estructura, como lo demuestran los datos de la Tabla 4, con una densidad de 3,444.32 hab/km².

3.2 Análisis espacio temporal del cambio de uso de suelo en la ciudad de Acapulco

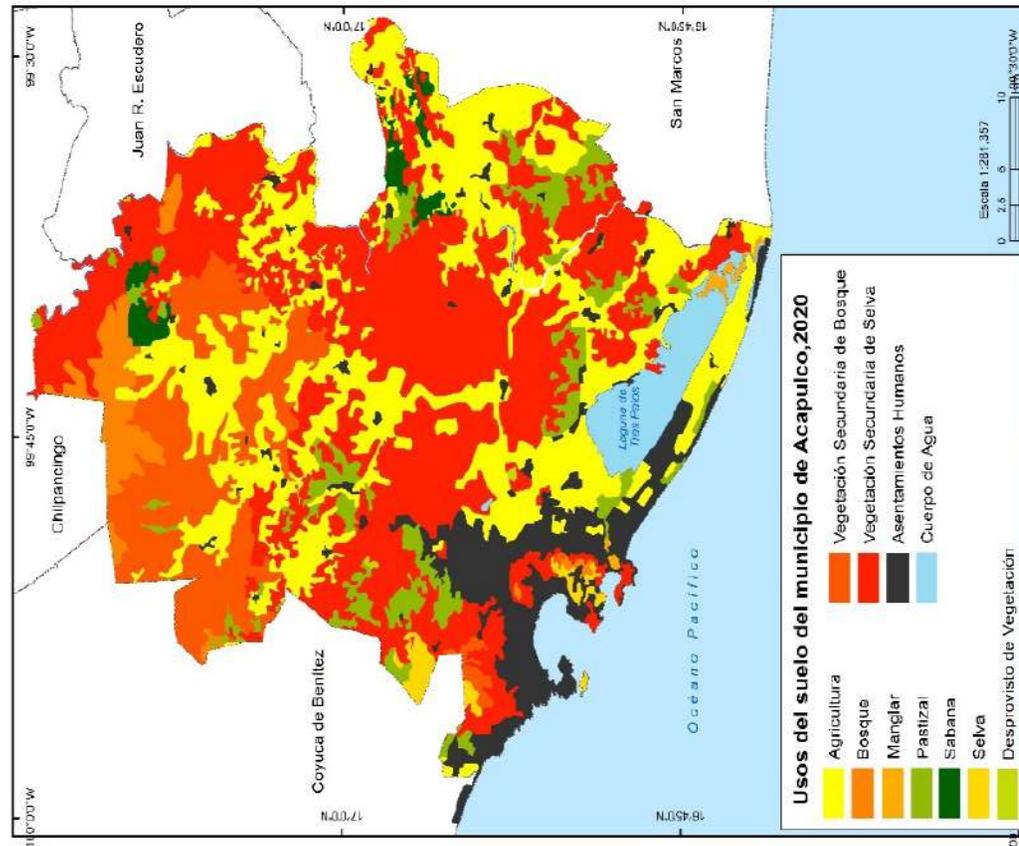
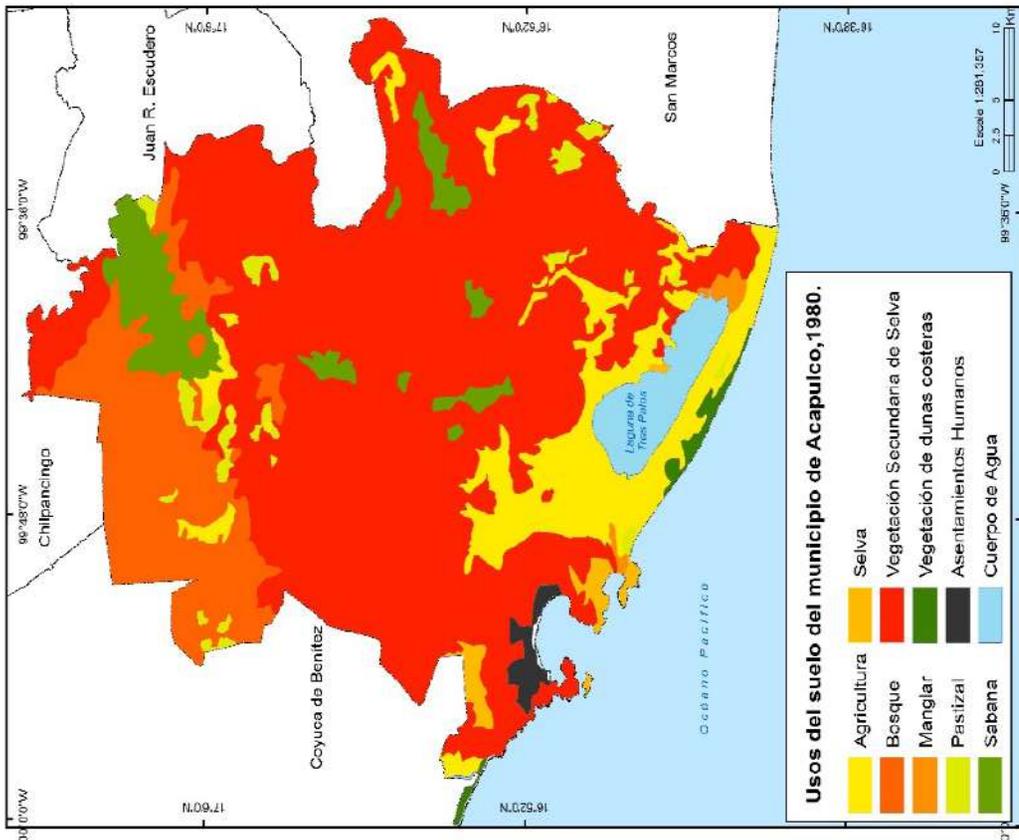
Los términos usos y coberturas del suelo son confundidos e indistintamente utilizados en estudios e investigaciones que se relacionan con los procesos que conllevan a los cambios en los usos y coberturas de suelo, la transformación del entorno paisajístico, así como los impactos ocasionados, estos no hacen referencia al mismo concepto. Por un lado, la cobertura del suelo se refiere a la cobertura física – biológica que se observa en la tierra, así como a la vegetación o las características antrópicas realizadas por el ser humano, mientras que el uso de suelo implica la forma en que las actividades de la sociedad, manipula los atributos físicos originales del suelo. El cambio de uso de suelo es la denominación del proceso de la transformación de la cobertura vegetal existente para una utilidad diferente a la original, lo que puede provocar la degradación de la calidad de la vegetación, modificando la densidad y composición florística, en la que intervienen factores como la agricultura, ganadería, asentamientos humanos, entre otros más.

Los datos del Conjunto de Datos Vectoriales de Usos de Suelo y Vegetación de INEGI en su Serie I (1997), muestra que para el año 1980 en el municipio de Acapulco, la categoría Vegetación Secundaria de Selva, era la más extensa dentro de su territorio, ubicándose prácticamente en la parte centro, este, oeste, suroeste y noreste del mismo con una extensión de 102,391.80 ha, mientras que la Agricultura, se desarrollaba en las zonas aledañas a la Laguna de 3 Palos, así como cercano a la línea costera en la hoy denominada Zona Diamante, con un total de extensión de 18,883.02 ha. La categoría Asentamientos Humanos, por otro lado, se ubicaba preferentemente en la zona central de la bahía, conocido como zona Anfiteatro y poseía una extensión de 6,252.10 ha. En contraparte, para el año 2020, el Conjunto de Datos Vectoriales de Usos de Suelo y Vegetación en su Serie VII (2021), muestra que la categoría Agricultura se ha incrementado, aunque su desarrollo es fragmentado, desarrollándose en algunas partes al norte, noreste del municipio y manteniéndose en las zonas cercanas a la Laguna de 3 Palos, con una extensión a dicho año de 46,382.66 ha, mientras que la Vegetación Secundaria de Selva, mantiene una extensión de 64,584.88 ha, que se ubican preferentemente en la zona central del municipio. Por otro lado, se observa el incremento exponencial de la categoría Asentamientos Humanos, que se ha extendido hacia la Zona Diamante, así como hacia el poniente del Municipio, con una extensión total de 14,962.92 ha (Figura 6).

Los resultados de la tabulación cruzada realizada para el estudio de la evolución espacial de Acapulco durante el periodo 1980 – 2020, muestran que el componente Asentamientos Humanos en el año de 1980, poseía una extensión territorial de 6,252.10 ha, concentradas principalmente en la zona costera al sur de la ciudad, comenzando su expansión hacia el noreste y sureste del municipio. Asimismo, este componente presenta un crecimiento absoluto de 16,325.39 ha durante este periodo de 40 años, mientras que perdió 4,889.62 ha en este mismo lapso, por otro lado, las persistencias equivalieron a 1,362.8 ha, extendiéndose por la parte suroeste – sureste del municipio, así como hacia el norte – noreste, en la salida hacia la Ciudad de México, para un total en el año 2020 de 14,962.92 ha, crecimiento presentado sobre las direcciones sureste y noreste del municipio.

La Vegetación Secundaria de Selva era el uso de mayor extensión territorial para el año 1980 en el municipio, con una cobertura de 102,391.80 ha, extendiéndose por el centro, noreste, sur, sureste y suroeste de este. Las ganancias presentadas por esta categoría fueron de 122,379.54 ha, pérdidas de 44,597 ha y persistencias por 57,794.66 ha durante este periodo de 1980 – 2020, observándose actualmente sobre la zona central y norte del municipio de Acapulco de Juárez con una extensión total de 64,584.88 ha.

El componente Cuerpos de Agua poseía una extensión de 18,389.84 ha en el inicio del periodo analizado, con la Laguna de Tres Palos como el principal cuerpo de agua de la ciudad, además del Río Papagayo. Para el final del periodo, se mantuvieron 5,427.77 ha, ganó 12,084.85 ha, las pérdidas fueron por una total de



(b) Año 2020. Fuente: Elaboración propia con datos de la Serie Cartográfica VII de INEGI (2021).

(a) Año 1980. Fuente: Elaboración propia con datos de la Serie Cartográfica I de INEGI (1997).

Figura 6: Coberturas y usos del suelo en el municipio de Acapulco.

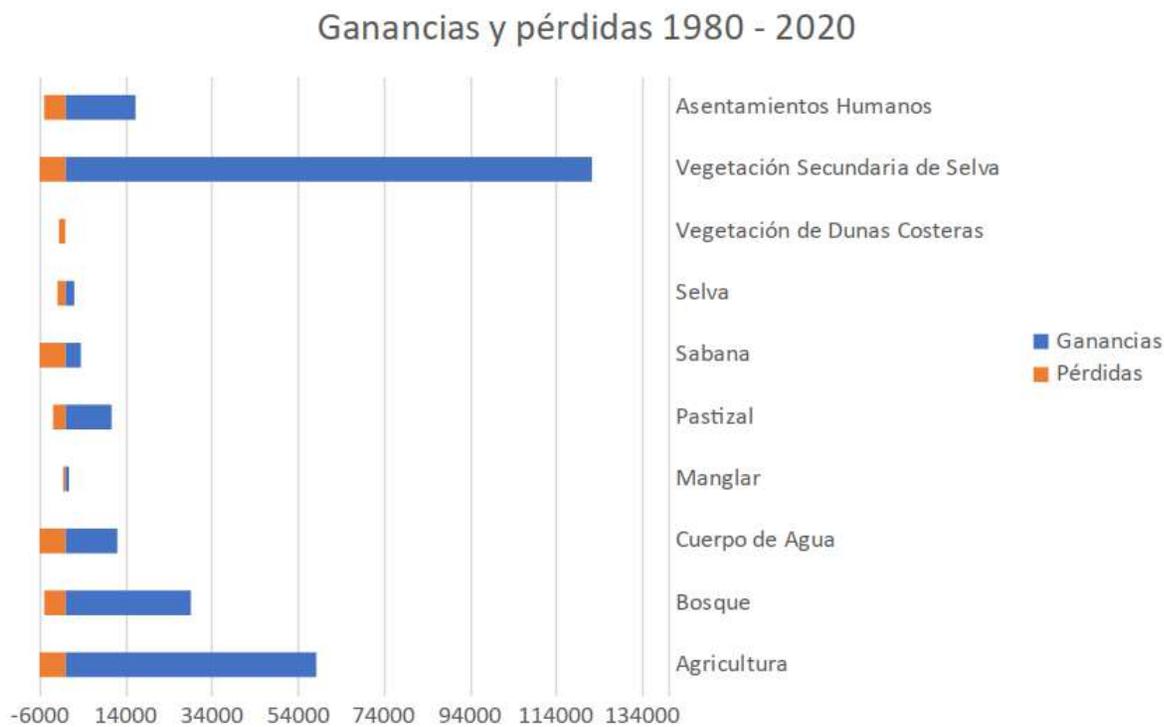


Figura 7: Gráfico de ganancias y pérdidas de las diversas coberturas analizadas. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (1980 - 2021)

12,962.07 ha, explicadas en la gran cantidad de permisos de construcción entregados a desarrolladores en terrenos de manglares no aptos para el hábitat humano. Localizados alrededor de la laguna mencionada, en la Zona Diamante de la ciudad, y que, sin embargo, proliferaron durante este periodo, para el año 2020, el valor de este componente es de 6,656.68 ha.

Con referencia a las ganancias y pérdidas del periodo, se puede observar que la Vegetación Secundaria de Selva fue el componente que más ganancias presentó durante el periodo analizado, seguido de la Agricultura y en tercer lugar los Asentamientos Humanos. Por otro lado, la Vegetación de Dunas Costeras, ha casi desaparecido del ecosistema, al presentar una gran cantidad de pérdidas con apenas unas cuantas ganancias. Los Cuerpos de Agua, por otro lado, han presentado un equilibrio en cuanto a las pérdidas con las ganancias, siendo de los que mayores de estas últimas presenta (Figura 7).

En el gráfico de la Figura 8 se puede observar, que el componente Vegetación Secundaria de Selva presenta los mayores cambios netos del periodo, seguido de la Agricultura y en tercer sitio, los Asentamientos Humanos, que han ido extendiéndose por la Zona Diamante del Municipio, cada vez más cercano a la Laguna de 3 Palos y el aeropuerto. Por otra parte, los componentes Manglar y Selva no presentaron cambios significativos durante este mismo lapso, mientras que finalmente, Sabana, Vegetación de Dunas Costeras y Cuerpos de Agua, presentan los mayores cambios negativos del periodo.

4 Discusión y conclusiones

Las transformaciones urbanas son procesos donde ocurren cambios importantes en la estructura, uso de suelo y dinámicas sociales de una ciudad, por lo que deben ser entendidos como un fenómeno multidi-

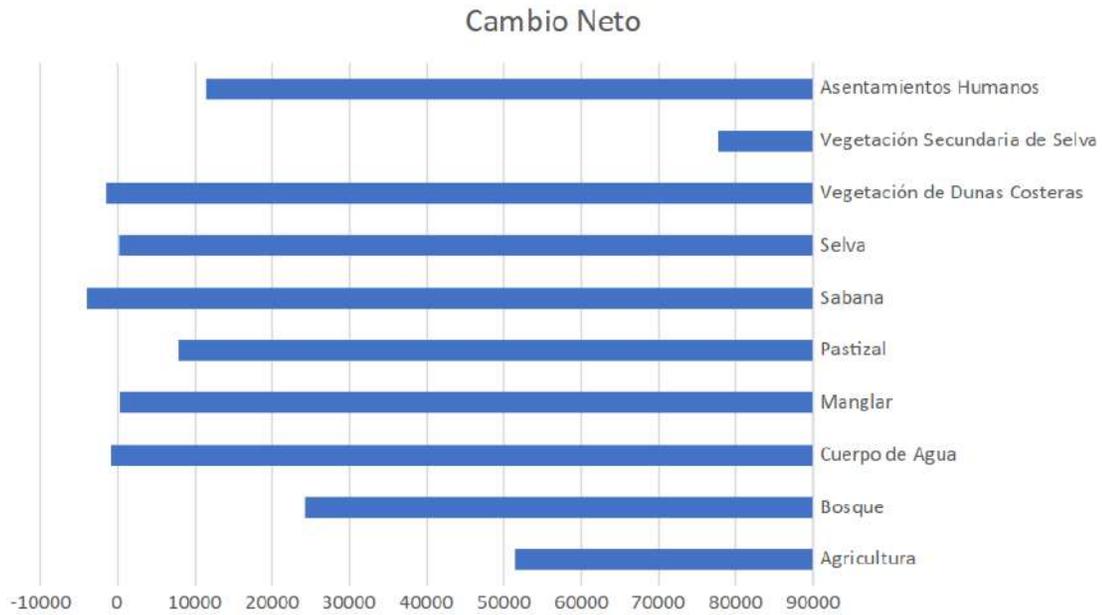


Figura 8: Gráfico de cambio neto de las diversas coberturas analizadas. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (1997 - 2021).

mensional. Desde una perspectiva geográfica y del análisis espacial, el estudio de las transformaciones urbanas permite comprender cómo interactúan las dinámicas espaciales con los factores estructurales de la sociedad y con apoyo de los SIG se coadyuva al modelado de condiciones pasadas y proyectar escenarios futuros; desde esta perspectiva integradora se fortalece la capacidad de apoyar a la toma de decisiones urbanas más informadas y sostenibles. Los métodos derivados del análisis espacial con un enfoque temporal o de evolución como lo fueron la superposición cartográfica y la matriz de transición, resultaron ser técnicas claves en el análisis espacio-temporal de las transformaciones urbanas, ya que no solo cuantifican los cambios, sino también contribuyen al entendimiento espacial de las transformaciones, por lo que son métodos que si son combinados con modelos predictivos pueden coadyuvar a la planificación urbana y a la toma de decisiones con la finalidad de mitigar los impactos negativos de los procesos de transformación urbana del puerto de Acapulco. La ciudad y puerto de Acapulco fue testigo de innumerables transformaciones urbanas desde sus inicios hasta su consolidación como un importante centro turístico, donde estos cambios la mayoría de ellos derivaron principalmente por factores económicos y sociales, que no solo trazaron su crecimiento urbano, sino también moldearon la dinámica urbana y social del puerto. El análisis espacio-temporal de la transformación urbana de la ciudad de Acapulco durante el periodo de 1930 al 2020 evidenció un proceso de expansión territorial desordenado y carente de una planificación adecuada durante sus transformaciones urbanas; pasando de ser un asentamiento costero de carácter portuario, con apenas 221.3 hectáreas urbanizadas a una importante ciudad turística con más de 14,962.9 hectáreas urbanas en 2020. Este crecimiento urbano estuvo directamente vinculado a la apertura de la carretera México-Acapulco en 1927, inversiones en infraestructura turística y la implementación de políticas enfocadas al desarrollo turístico de sol y playa. Las políticas implementadas para fomentar la oferta de infraestructura turística y zonas habitacionales, provocó cambios drásticos en el uso de suelo de la ciudad, pasando de suelo agrícolas, ejidales o de conservación a usos turísticos, habitacionales y comerciales, muchas veces sin un ordenamiento adecuado y bajo una lógica de mercado e interés privado.

Si bien, estas transformaciones trajeron consigo beneficios económicos, también generaron consecuencias

negativas, ejemplo de ello fueron el uso inadecuado del suelo, provocando asentamientos que hoy en día sean zonas de riesgo para la población, aunado a la profundización de las desigualdades sociales e incrementando la vulnerabilidad. Las políticas implementadas para fomentar la oferta de infraestructura turística y zonas habitacionales, provocó cambios drásticos en el uso de suelo de la ciudad, pasando de suelo agrícolas, ejidales o de conservación a usos turísticos, habitacionales y comerciales, muchas veces sin un ordenamiento adecuado y bajo una lógica de mercado e interés privado. Si bien, estas transformaciones trajeron consigo beneficios económicos, también generaron consecuencias negativas, ejemplo de ello fueron el uso inadecuado del suelo, provocando asentamientos que hoy en día sean zonas de riesgo para la población, aunado a la profundización de las desigualdades sociales e incrementando la vulnerabilidad. Entender las transformaciones urbanas desde un enfoque integral y con apoyo de los Sistemas de información geográfica es fundamental, ya que no solo es analizar la morfología del lugar, sino que también es necesario considerar las dinámicas sociales y económicas, las políticas de desarrollo urbano, la gobernanza territorial y las formas de participación social; con la comprensión de estos aspectos se podrán desarrollar planes de urbanización u ordenamientos territoriales inclusivos, resilientes y sostenibles como se plantean en los Objetivos del Desarrollo Sostenible.

Tabla 5: Matriz de transición de coberturas del suelo. Nota: Los usos "DESPROVISTO DE VEGETACIÓN" y "VEGETACIÓN SECUNDARIA DE BOSQUE" no presentaron datos relevantes. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (1997 – 2021).

Categorías	Agricultura	Bosque	Cuerpo de Agua	Manglar	Pastizal	Sabana	Selva	Vegetación de Dunas Costeras	Vegetación Secundaria de Selva	Asentamientos Humanos	Total T1	Pérdidas
Agricultura	11953.33		349.54	69.12	859.09	34.73			1002.22	4614.98	18883.02	6929.69
Bosque	2281.30	4848.32			374.18	296.65			1864.25	62.94	9727.64	4879.32
Cuerpo de Agua	74.99	12808.03	5427.77	14.03	29.87				9.22	25.91	18389.84	12962.07
Manglar	71.34		276.53	304.81	22.56				9.41	118.61	803.24	498.44
Pastizal	2106.16	71.44	1.89		286.77				511.54	149.07	3108.87	2840.10
Sabana	3748.51	404.10	25.97		408.78	1102.53			2695.75	284.40	8670.04	7567.51
Selva	13.08	759.19	18.75				508.12		697.82	339.58	2336.54	1828.42
Vegetación de Dunas Costeras	363.89	433.49	0.02		156.70					531.87	1485.97	1485.97
Vegetación Secundaria de Selva	25657.74	235.93	556.20	154.07	8382.96	1070.56	1066.59		57794.66	7473.08	102391.80	44597.14
Asentamientos Humanos	112.31	4766.60						10.70		1362.48	6252.10	4889.62
Total T2	46382.66	24327.11	6656.68	542.03	10502.91	2504.48	1574.71	10.70	64584.88	14962.92	1.00	
Pérdidas	58335.99	29175.42	12084.45	846.84	10771.68	3607.01	2082.83	10.70	122379.54	16325.39		

5 Referencias

- Alcaraz, O., Salgado, A., y Chavelas, E. (2021). Acapulco: Desarrollo urbano, fenómenos naturales y riesgos. En Villaseñor, A., Campos, B., y Guinto, E., (Eds.), *Estudios De Riesgos Y Desastres. Aspectos Teóricos Y Prácticos.*, pp. 104–122. Ediciones Navarra, México.
- Baer, L. (2010). Transformaciones urbanas y de la estructura social de un barrio de la ciudad de buenos aires. *Economía, sociedad y territorio*, 10(33):283–325. Disponible en línea: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212010000200002.
- Batty, M. (2005). *Cities and Complexity: Understanding Cities Through Cellular Automata, Agent-Based Models and Fractals*. The MIT Press eBooks. Disponible en línea: <http://discovery.ucl.ac.uk/1391692/>.
- Brenner, N. y Schmid, C. (2013). The ‘urban age’ in question. *International Journal Of Urban And Regional Research*, 38(3):731–755.
- Burrough, P. A., McDonnell, R., y Lloyd, C. (2015). *Principles of Geographical Information Systems*. OUP Oxford.
- Buzai, G. D. (2022). Sistemas de información geográfica como base de la geografía global. En Buzai, G. D. y Montes Galbán, E., (Eds.), *Pensando Los Sistemas De Información Geográfica Desde Iberoamérica.*, pp. 23–46. INIGEO, Argentina.
- Castellanos, C., Palacios, R., y Martínez, M. (2015). La expansión territorial de acapulco y el uso inadecuado del suelo, derivado de las políticas de planeación urbana. En *Pasado, presente y futuro de las regiones en México y su estudio*. Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C. Disponible en <https://ru.crim.unam.mx/handle/123456789/2005>.
- Clarke, K. C., Hoppen, S., y Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the san francisco bay area. *Environment And Planning B Planning And Design*, 24(2):247–261.
- CONANP (2024). *Decretos, Programas de Manejo CONANP, Estudios Previos Justificativos*. CONANP. Disponible en línea: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=74®=7>.
- Dureau, F., Le Roux, G., y Piron, M. (2016). Cambio social, trayectorias residenciales y anclajes territoriales de los habitantes del centro de bogotá (1993-2009). En Conteras, Y., Lulle, T., y Figueroa, O., (Eds.), *Cambios Socioespaciales en las ciudades latinoamericanas: procesos de gentrificación.*, pp. 151–188. Universidad del Externado, Colombia.
- Fernández, J. (1932). *Aportación a la monografía de Acapulco*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes: Instituto Nacional de Bellas Artes.
- García, L. M. (2001). Elitización: propuesta en español para el término gentrification. *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, 6. Disponible en línea: <https://raco.cat/index.php/Biblio3w/article/view/66372>.
- González, J. R. Q. y González, L. E. Q. (2001). Infraestructuras públicas y recursos naturales en la ciudad de tunja, colombia: valoración del estado de línea de parques en la comuna 5 centro. *Urbs*, 9(2):97–109. Disponible en línea: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7336190.pdf>.

- Gülersoy, N. Z. y Gürler, E. (2015). Conceptual challenges on urban transformation. *A|Z ITU Journal Of The Faculty Of Architecture*, 8(1):10–24. Disponible en línea: <https://www.az.itu.edu.tr/azv8nolweb/04-zeren-gulersoy-gurler-8-1.pdf>.
- Harvey, D. (2003). The right to the city. *International Journal Of Urban And Regional Research*, 27(74):939–941.
- Holmes, T. J., Fujita, M., Krugman, P., y Venables, A. J. (2000). The spatial economy: Cities, regions, and international trade. *Southern Economic Journal*, 67(2):491.
- Humacata, L. (2011). Análisis espacio-temporal de cambios de coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Luján (1990-2010). *Huellas.*, 26(1):145–160.
- INEGI (1997). *Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación Escala 1:250,000. Serie I*. INEGI. Disponible en línea: <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250kcs1agw.html>.
- INEGI (2020). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2020*. INEGI. Disponible en línea: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>.
- INEGI (2021). *Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación Escala 1:250,000, Serie VII*. INEGI. Disponible en línea: <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s7gw.html>.
- Jiménez, M. J., González, M., Escalona, M., Valdez, J. R., y Aguirre, C. A. (2011). Comparación de métodos espaciales para detectar cambios en el uso del suelo urbano. *Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(3):389–406. Disponible en línea: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182011000300009&lng=es&nrm=iso.
- Lallier, E. (1899). *Perfil longitudinal desde la orilla del mar hasta el Hospital Civil (Acapulco)*. Disponible en Mapoteca Manuel Orozco y Berrio, Colección General, Guerrero, varilla, CGROV5-32-CGE- 7271-a, escala 1:2000.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Wiley.
- Mamdouh, E.-H. (2016). Applying post classification change detection technique to monitor an Egyptian coastal zone (abu qir bay). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 19(1):23–36.
- Moreno, F. J. (2014). Arqueología de la arquitectura: Una visión conciliadora desde la historia del arte. *Arqueología de la Arquitectura.*, 11.
- Pontius, R. G., Shusas, E., y McEachern, M. (2003). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture Ecosystems & Environment.*, 101(2-3):251–268.
- Páez, X. y Samaniego, R. (2023). Transformaciones urbanas: un análisis de la gentrificación en la ciudad de Quito (barrios mariscal sucre, la floresta, centro histórico.). *Kalpána-Revista de Investigación*, (24):84–104.
- Quintero, J. R., Castro, L. C., y Soler, A. Y. (2021). Transformaciones urbanas como estrategia de desarrollo urbano sostenible: experiencias, propuesta tipológica, prospectiva para Colombia. *Revista Nodo*, 15(30):45–60.

Revelo Rebolledo, J. (2014). Transformación urbana de Leticia. Énfasis en el periodo 1950-1960. La construcción de una ciudad en la selva amazónica y en una región trifronteriza. *Razón Pública*. Disponible en línea: <https://razonpublica.com/ttransformacion-urbana-de-leticia/>.

Reynaud, E. y Castells, M. (1974). La question urbaine. *Revue Française de Sociologie*, 15(4):617.

Ruiz, J. F. (2015). La transformación urbana como estrategia de cambio social: El caso de bilbao. *Confines de Ciencia Política y Relaciones Internacionales*, 11(21):155–159. Disponible en línea: http://scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-35692015000100009.

Sayin, Ö. (2013). Rebel cities: from the right to the city to the urban revolution. *Choice Reviews Online*, 50(5).

Seto, K. C. y Reenberg, A. (2014). *Rethinking Global Land Use in an Urban Era*. The MIT Press eBooks.

Sánchez, D. (2013). Aproximaciones a las transformaciones urbanas a través de la globalización, identidad y envejecimiento. *Revista de la Facultad de Arquitectura UANL*, 7(7):5–7. Disponible en línea: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4421373.pdf>.

Valencia, S. (2018). Vida digna y ordenamiento territorial. actores y luchas por el derecho a la ciudad. *Cuadernos De Vivienda Y Urbanismo*, 11(21).

Van Der Maas, S. (2011). El diagrama en la arquitectura. *Dearq.*, 8.

Zhao, J., Chen, G., Yu, L., Ren, C., Xie, J., Chung, L., Ni, H., y Gong, P. (2022). Mapping urban morphology changes in the last two decades based on local climate zone scheme: A case study of three major urban agglomerations in china.). *Urban Climate*, (47).

COMPATIBILIDAD EN SOLUCIONES GNSS APLICANDO CORRECCIÓN DIFERENCIAL VÍA RADIO Y NTRIP EN UNA RED URBANA EN COSTA RICA

Dr.-Ing. Jorge Moya Zamora^{1,*}, Ing. Kenneth Ovares Sánchez, M.Sc.^{1,†},
Ing. Hazel Espinoza Mora^{2,‡}, Ing. Jennifer López Flores^{3,§},
Ing. María Nikole Salazar Barrantes^{1,¶}, Ing. Efraín Menjívar Pérez, M.Sc.^{1,||}

¹Universidad Nacional, Costa Rica

²Rumbo Topografía

³Proceso de Supervisión de Alianzas Público-Privadas. JAPDEVA

Recibido: 19/marzo/2025

Aceptado: 22/mayo/2025

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v16i1.20508>

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de la compatibilidad de las soluciones de coordenadas cartográficas y altura elipsoídica determinadas por medio de la aplicación de las metodologías de levantamiento GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) en las modalidades de corrección diferencial RTK (*Real Time Kinematic*) vía radio y por medio de internet vía NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*). Este último con una demanda que ha venido creciendo desde la puesta en marcha del servicio a inicio del año 2023. La metodología de levantamiento con corrección vía NTRIP implica realizar observaciones en tiempo de unos cuantos segundos; mientras que el uso de radio requiere de mayor tiempo de medición. Ambas, ofrecen soluciones adecuadas dentro de los parámetros de tolerancia establecidos por la legislación nacional. Se determinaron seis conjuntos de datos con las diferencias de coordenadas horizontales y vertical tomando las soluciones estáticas patrón. Se utilizó el lenguaje R como herramienta para la generación de los resultados. Estos reflejaron una consistencia entre el RTK vía radio en promedio de 1,3 cm en horizontal y -7 cm en vertical; mientras que para las soluciones NTRIP fue de 8 cm horizontalmente y 2 cm en vertical. Los resultados presentados ofrecen una primera cuantificación entre ambas soluciones, sin embargo, los usuarios deben conocer que las dos metodologías tienen una alta dependencia de las coordenadas y época de referencia de las estaciones base. En este estudio se quiere ofrecer un primer parámetro de discrepancia en el uso de NTRIP para levantamientos topográficos.

Palabras clave: GNSS, RTK, corrección vía radio, corrección vía NTRIP, CR-SIRGAS.

*jorge.moya.zamora@una.cr  <https://orcid.org/0000-0001-6953-4885>

†kenneth.ovares.sanchez@una.cr  <https://orcid.org/0009-0005-7381-0594>

‡921topografia@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0005-9835-2315>

§jlopez@japdeva.go.cr  <https://orcid.org/0009-0006-7079-9243>

¶nikolebarrantes56@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0005-2317-3013>

||efrain.menjivar.perez@una.cr  <https://orcid.org/0009-0000-2415-2285>

ABSTRACT

The results obtained from the evaluation of the compatibility of the solutions of cartographic coordinates and ellipsoid height determined through the application of GNSS (Global Navigation Satellite Systems) survey methodologies in the differential correction modalities RTK (Real Time Kinematic) via radio and via internet via NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) are presented. The demand for the latter has been growing since the service was launched at the beginning of the year 2023. The survey methodology with correction via NTRIP involves making observations in a few seconds, while the use of radio requires more measurement time. Both offer adequate solutions within the tolerance parameters established by national legislation. Six data sets with horizontal and vertical coordinate differences were determined by taking standard static solutions. The R language was used as a tool for generating the results. These reflected a consistency between the RTK survey via radius of approximately 1.3 cm horizontally and -7 cm vertically. The results presented offer a first quantification between both solutions, however, users should be aware that both methodologies have a high dependence on the coordinates and reference epoch of the base stations. In this study we want to offer a first discrepancy parameter in the use of NTRIP for topographic surveys.

Keywords: GNSS, RTK, radio correction, NTRIP correction, CR-SIRGAS.

1 Introducción

En Costa Rica se cuenta con una red de 14 estaciones GNSS de operación continua que materializan el marco geodésico nacional de referencia denominado como CR-SIRGAS. Actualmente ofrecen también a los usuarios correcciones diferenciales vía NTRIP ([Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica, 2022](#)). El creciente uso de este servicio como complemento a las distintas metodologías de levantamiento han venido en aumento debido, a entre otros aspectos a una facilidad de acceso del servicio, eficiencia en los resultados y a una considerable reducción en la inversión de equipos. A pesar de estas y otras ventajas, aun se depende de la cobertura de la señal de internet que en Costa Rica alcanza casi un 90% ([Superintendencia de Telecomunicaciones, 2024](#)), situaciones en las cuales los profesionales recurren a técnicas de corrección diferencial vía radio o a combinación de metodologías GNSS y convencionales. Si la finalidad de los levantamientos topográficos es surtir algún efecto catastral y legal, se cuenta con una reglamentación que regula principalmente las exactitudes finales que los profesionales deben cumplir para garantizar una adecuada georeferenciación al marco nacional. Sin embargo, los levantamientos NTRIP ofrecen una solución de coordenadas instantánea, la cual está totalmente correlacionada con la época de referencia de la estación base, la cual en el caso de Costa Rica es 2019,24.

En este estudio particular se tomó como base un campo puntual establecido por medio de mediciones GNSS estáticas enlazadas al marco geodésico nacional de referencia CR-SIRGAS y localizado en la zona urbana de la ciudad de San Pablo de Heredia ([Espinoza *et al.*, 2023](#)). Posteriormente, se efectuaron levantamientos en la modalidad RTK y NTRIP para evaluar la compatibilidad tanto en magnitud como en dirección de dichas soluciones de coordenadas cartográficas y de altura elipsoídica respecto del conjunto de coordenadas estáticas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos los cuales fueron evaluados inicialmente por medio de parámetros estadísticos determinados con el lenguaje R.

1.1 Levantamientos GNSS en la modalidad relativa estática

La determinación de la posición por medio de técnicas GNSS depende inicialmente de la posibilidad de conocer la distancia entre los distintos satélites en órbita y los equipos receptores en tierra. Los resultados obtenidos de un posicionamiento estático relativo GNSS dependen, además, de una combinación de

distintos elementos como, por ejemplo, los métodos de observación de campo, el tiempo contemplado en las mediciones, las condiciones físicas donde se realizan los levantamientos, el instrumental utilizado, el procesamiento de las mediciones y el sistema de referencia al cual se requiera hacer la georreferenciación. En este tipo de posicionamiento diferencial intervienen al menos dos equipos donde el objetivo principal es la determinación de las componentes del vector espacial en los puntos considerados. En esta técnica se cancelan y reducen los errores de tipo sistemático y aleatorios (Hofmann-Wellenhof *et al.*, 2007; Leick *et al.*, 2015). Entre sus aplicaciones clásicas se encuentran la determinación de puntos con finalidades principalmente topográficas, catastrales y geodésicas. En la Figura 1 se describe el principio del posicionamiento relativo GNSS en el cual dos receptores denominados A y B reciben simultáneamente señales satelitales (líneas punteadas de color rojo). Luego del procesamiento de la información se determinan las componentes del vector tridimensional (ΔX_{AB} , ΔY_{AB} , ΔZ_{AB}) entre los dos puntos A y B representado por la línea de color azul.

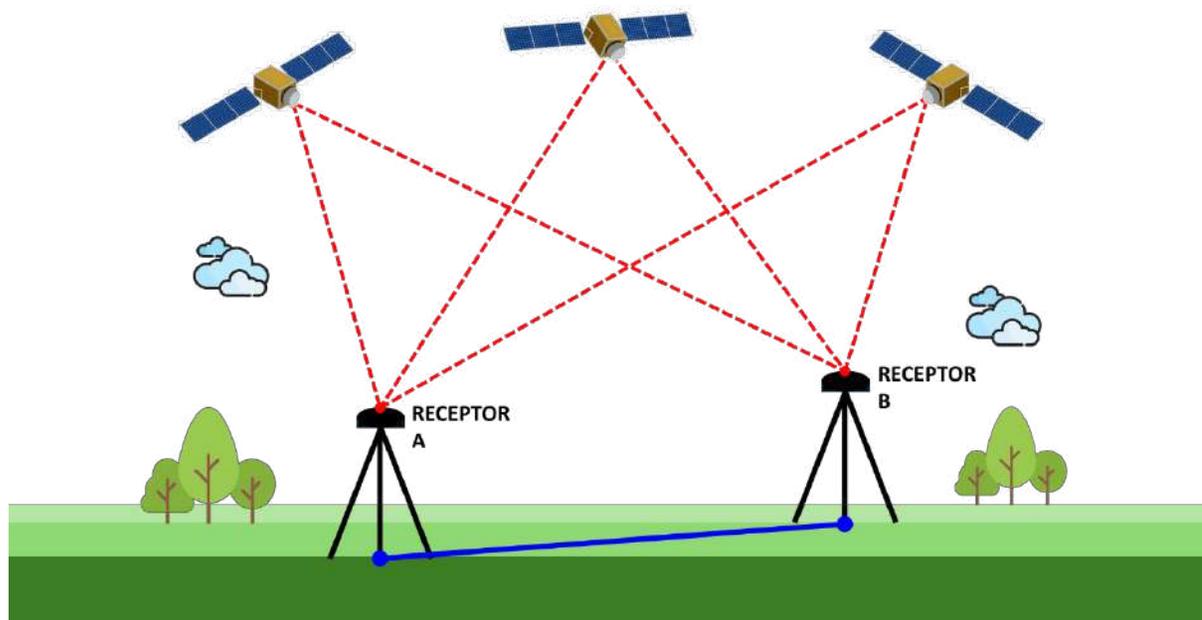


Figura 1: Principio del posicionamiento relativo estático GNSS usando dos receptores A y B para la determinación de las componentes tridimensionales del vector espacial. Fuente: elaboración propia.

1.2 Levantamientos GNSS en modalidad RTK

El posicionamiento relativo puede trabajarse en la modalidad de tiempo real, la cual ha cobrado un amplio interés en la última década, no solo por su rapidez, sino que también debido a la relativa alta exactitud en coordenadas que se obtiene prácticamente en segundos. Lo anterior como una consecuencia de los fuertes avances tecnológicos en informática y telecomunicaciones que han permitido desarrollar distintos algoritmos que reducen la influencia de muchas de las principales fuentes de incertidumbre en las observaciones GNSS, tanto para el posicionamiento en postproceso como en la variante del tiempo real.

El concepto fundamental de las mediciones basadas en RTK (*Real Time Kinematic*) consiste en usar mediciones cortas del tiempo por medio de las mediciones de fase (Lee y Ge, 2006). El principio de la técnica se presenta con ayuda de la Figura 2, en la cual se tienen dos receptores denominados como base y rover. Sobre este punto de coordenadas conocidas se ubica el receptor base. Modernamente también se pueden

aplicar varias técnicas para determinar coordenadas del punto base. Luego, tanto el receptor base como el rover o receptor móvil inician medición (líneas punteadas de color rojo) y fijan ambigüedades. En el receptor base se genera un modelo de corrección, el cual se transmite en casi tiempo real al rover para obtener coordenadas corregidas (línea continua de color azul). El retardo entre la emisión y la recepción podrá ser de un par de segundos dependiendo de la distancia, condiciones físicas del lugar y calidad de los equipos.

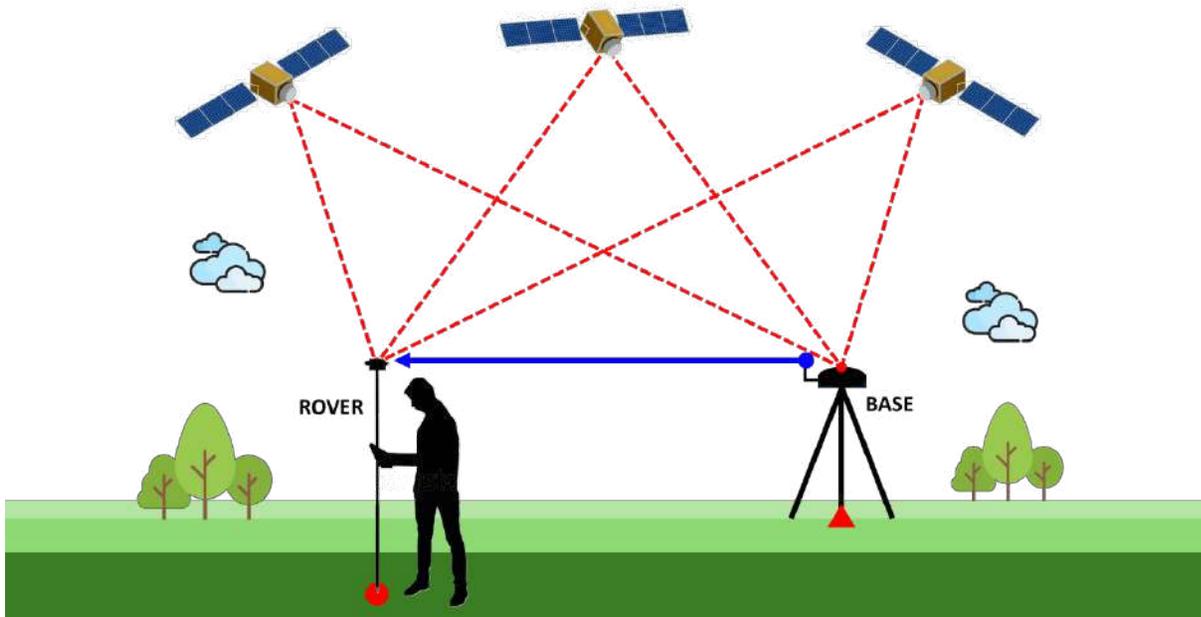


Figura 2: Principio del posicionamiento relativo GNSS modalidad RTK. Desde un receptor base ubicado en un punto de coordenadas conocidas se envían correcciones al receptor rover vía radio. Fuente: elaboración propia.

El formato de transmisión fue establecido por la *Radio Technical Commission for Maritime* (RTCM), la cual tiene varios comités especializados (SC) los cuales están encargados de determinar estándares internacionales la comunicación y navegación radial. Específicamente el SC104 determina y establece los formatos para la transmisión de las correcciones en GNSS, inició en 1983 con la versión 1.0 y fue reemplazado en 1990 por la versión 2.0. Es el formato internacional estandarizado para la interoperabilidad entre diferentes tipos y marcas de receptores GNSS cuando se trabaja con datos en tiempo real. El CRM evolucionó debido a los avances en las señales GNSS (Berné Valero *et al.*, 2019).

1.3 Levantamiento GNSS en modalidad NTRIP

En septiembre de 2004 la RTCM completó la norma que definió un protocolo para la transmisión de datos GNSS vía internet denominada como Red de Transporte de RTCM a través de Protocolo de Internet (NTRIP). El desarrollo fue iniciado la Agencia de Geodesia y Cartografía de Alemania (BKG) y la Universidad de Dortmund, el cual está basado en un Protocolo de Transferencia de HiperTexto (*Hiper Text Transfer Protocol* (HTTP)) que permite transmitir cualquier flujo o “stream” de datos GNSS desde una fuente a receptores fijos o móviles por medio de internet y con una alta precisión. El NTRIP, por lo tanto, es el protocolo a nivel de aplicación que envía los datos sobre http, siendo el estándar actual en la transmisión de correcciones diferenciales a través de internet (Weber *et al.*, 2005). La configuración para levantamientos NTRIP consta de los siguientes componentes básicos (Berné Valero *et al.*, 2019):

- a. NTRIP source: corresponde con las estaciones GNSS generadoras de las correcciones diferenciales y desde el cual se transmiten,
- b. NTRIP server: es un programa que envía las correcciones desde la fuente al caster,
- c. NTRIP caster: es un servidor HTTP que actúa de nodo distribuidor entre el NTRIP server y el NTRIP client verificando y autenticando a los usuarios, también revisa constantemente la integridad y calidad de las correcciones,
- d. NTRIP client: es un programa que permite confirma a la lista de fuentes para acceder a sus correcciones diferenciales y que son enviadas al rover.

En la Figura 3 se representa el principio del posicionamiento GNSS por medio de NTRIP. Una serie de receptores GNSS generalmente estaciones de operación continua reciben las señales satelitales (líneas punteadas de color rojo). Modernamente tienen la capacidad de funcionar además de fuente (*source*) como servidor (*server*). Luego, la información de las correcciones se envía a centro (*caster*) que recibe la información y la difunde por medio de una única dirección IP. Finalmente, los usuarios acceden a dichas correcciones por medio un programa cliente (*client*) que accede al *caster* y las envía luego al rover determinar coordenadas corregidas. Una de las claras ventajas del sistema es que la transmisión se hace vía internet y ésta puede ser capturada desde cualquier dispositivo que disponga de una conexión a red.

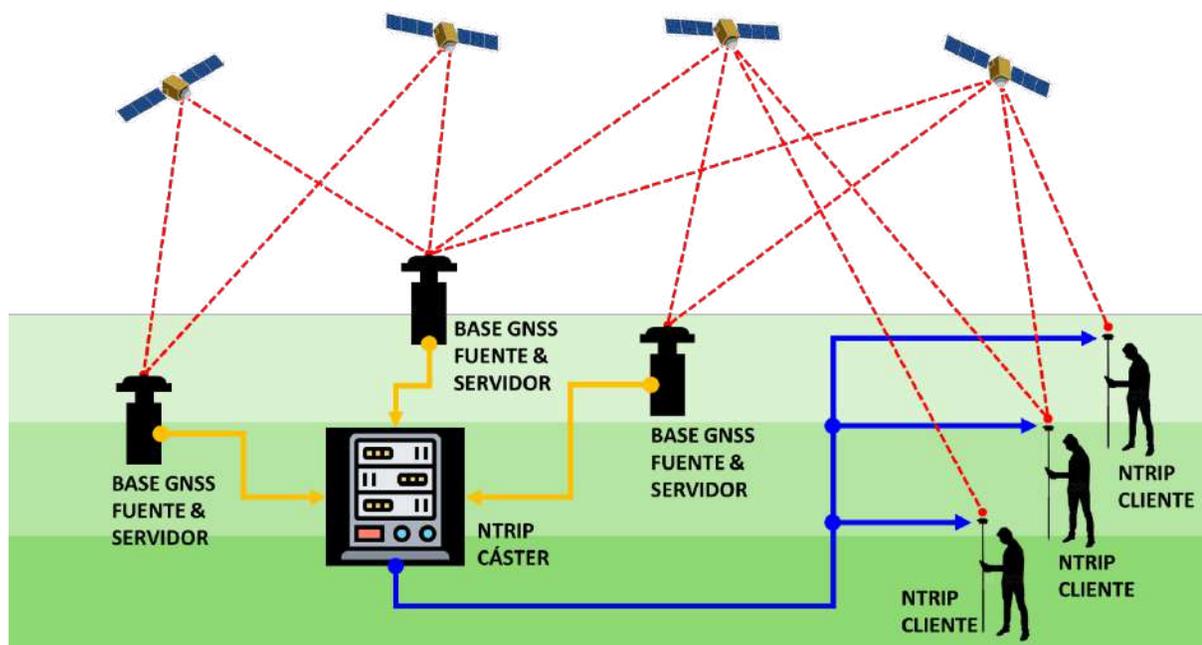


Figura 3: Principio del posicionamiento relativo GNSS modalidad RTK con transmisión por protocolo NTRIP. Las bases envían correcciones diferenciales a un caster al cual se conectan los usuarios vía internet. Fuente: elaboración propia.

1.4 El Marco Geodésico de Referencia de Costa Rica

La base geodésica de Costa Rica está conformada inicialmente por un total de 14 estaciones GNSS de operación continua administradas por el Instituto Geográfico Nacional. Se le suman adicionalmente una

serie de puntos pasivos. Particularmente las estaciones GNSS forman parte de la Red de Operación Continua del Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS) denominada como (SIRGAS-CON) (SIRGAS, 2024). Esto quiere decir que semanalmente se calculan las coordenadas tridimensionales geocéntricas de cada una de las estaciones por medio de los Centro de Procesamiento SIRGAS. El Marco Geodésico Nacional de Referencia de Costa Rica denominado como CR-SIRGAS se definió inicialmente con referencia a la época 2014,59 y contemplando el IGB2008 (Decreto Ejecutivo 40962-MJP). Actualmente se trabaja con la segunda versión de CR-SIRGAS la cual tiene como época de referencia 2019,24 y marco de referencia internacional IGS2014 (Moya Zamora, 2022).

Lo anterior implica que todos los productos topográficos independientemente de la metodología de levantamiento que requieran de oficialización por parte de la Subdirección Catastral deberán estar georreferenciados a CR-SIRGAS (Moya Zamora *et al.*, 2025). Debido a la pluralidad de técnicas para realizar el proceso de georreferenciación de la información, es necesario conocer bien la legislación respectiva cuyos alcances escapan de los objetivos de este estudio, sin embargo, el lector puede consultar a Moya Zamora *et al.* (2025), donde se presentan una serie de consideraciones relacionadas con esta temática.

1.5 El Servicio de Corrección Diferencial Vía NTRIP de Costa Rica

Actualmente el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (IGNCR) tiene una red de estaciones GNSS de operación continua las cuales por un lado sustentan de manera física el marco de referencia geodésico nacional CR-SIRGAS y, por otro lado, desde el año 2022, se ha dado un enorme paso con la implementación del servicio de corrección diferencia en tiempo real vía NTRIP desde cada una de las 14 estaciones (Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica, 2022). Por medio de este servicio, los usuarios poseen ahora una herramienta más que proporciona datos debidamente georreferenciados de acuerdo con las directrices del IGNCR. Las coordenadas de las estaciones GNSS de operación continua en la época de referencia 2019,24, marco CR-SIRGAS. El protocolo de acceso a este servicio es sencillo y se puede consultar en el siguiente enlace: <https://www.snitcr.go.cr>. De momento el servicio está restringido solamente a profesionales costarricenses.

Actualmente, algunas empresas privadas han colocado sus propias bases GNSS y ofrecen el servicio de corrección diferencial NTRIP a los profesionales costarricenses. En el siguiente enlace https://qgiscloud.com/jalpizar/VISOR_DE_CORS_NTRIP2 se puede revisar la ubicación de algunas de estas estaciones. Sin embargo, es necesario que los usuarios confirmen la integridad de las correcciones, así como también el marco y la época de referencia de las coordenadas de estas bases.

1.6 Análisis exploratorio de datos

Modernamente existen muchas y diferentes herramientas informáticas que facilitan el tratamiento estadístico de datos derivados de procesos experimentales. Entre los más usados y citados en los últimos años están los lenguajes de código abierto Python y R (Wallin, 2024); siendo R un lenguaje creado y orientado específicamente al análisis, modelamiento estadístico y visualización de información (R Core Team, 2024).

Independientemente de la herramienta utilizada, lo que corresponde inicialmente es realizar un análisis exploratorio de datos (AED), el cual consiste en hacer una exploración de la información, analizando la estructura de las variables e indagando la distribución que pueden seguir variables numéricas. En el AED se buscan posibles patrones dependiendo del tipo de datos con los cuales se podrán establecer potenciales hipótesis que luego se confirmarán o rechazarán con los métodos estadísticos aplicados posterior al AED (Soto-Rojas, 2022). Miranda-Salas y Condal en (2003) señalan que el análisis exploratorio permite detectar problemas de representatividad en el muestreo, describir la existencia de dependencia espacial en los

datos, y eventualmente ajustar un modelo de representación, así como estimar el error asociado antes de aplicar un algoritmo de interpolación espacial. En este artículo se usó el lenguaje R para realizar los cálculos respectivos (R Core Team, 2024). A continuación, se describen de manera general algunos de los parámetros usualmente usados como parte del AED.

1.6.1 Covarianza

La covarianza se define como la medida estadística que refleja cómo se relacionan conjuntamente dos variables respecto a sus medias. Una covarianza positiva refleja que las variables aumentan conjuntamente, mientras que una covarianza negativa implica disminución de una de las variables respecto a la otra. Una covarianza nula indica que no hay relación entre las variables. La covarianza posee unidades. La formulación es ampliamente conocida y para un conjunto de datos asumidos como muestra se calcula según la Ecuación 1.

$$S_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad [1]$$

Donde:

- S_{xy} : Covarianza entre X e Y
- x_i : Valores de la variable X en una muestra
- y_i : Valores de la variable Y en una muestra
- \bar{x} : Media de los valores de la muestra X
- \bar{y} : Media de los valores de la muestra Y
- n: Tamaño de la muestra

1.6.2 Correlación

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida estadística de la relación lineal que existe entre pares de variables (X, Y) cuantitativas y continuas, sin embargo, no aporta información sobre las relaciones más allá de datos bivariados, además, no es sensible a valores atípicos y no puede detectar correctamente correlaciones curvilíneas. Este coeficiente varía entre -1 y 1. Un valor -1 indica una relación lineal inversa perfecta entre las variables; mientras que un valor de 1 representa una relación lineal directa perfecta entre las variables. Un valor nulo indica que las variables son linealmente independientes. El coeficiente de correlación es adimensionado debido a que es el cociente de covarianza y el producto de las desviaciones estándar de las variables. La formulación es ampliamente conocida y se calcula según la Ecuación 2.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad [2]$$

Donde:

- r_{xy} : Coeficiente de correlación
- x_i : Valores de la variable X en una muestra
- y_i : Valores de la variable Y en una muestra
- \bar{x} : Media de los valores de la muestra X
- \bar{y} : Media de los valores de la muestra Y

1.6.3 Representación gráfica

Trabajando con pares de variables surge la necesidad de conocer inicialmente el comportamiento de la variable asumida como dependiente respecto de la variable independiente. Un primer vistazo gráfico permite detectar eventuales patrones o agrupamientos en los datos o cualquier otro comportamiento. El gráfico de dispersión, de histograma, el boxplot y el Q-Q plot son ampliamente conocidos y su construcción con herramientas modernas ya sean libres o de pago o bien en línea es sencillo, por lo que en este trabajo se le recomienda al lector consultar a [Gómez \(2016\)](#).

Por medio del diagrama de dispersión se logra una visualización global de las variables, mientras que con el histograma se representa la frecuencia de los datos para determinados intervalos o clases previamente establecidas. Su forma, permite, por lo tanto, conocer la tendencia de su distribución. El boxplot facilita una visualización de la distribución de los datos dentro de los cuartiles del 25 % y el 75 %. Por su parte un Q-Q plot compara si los datos provienen de la misma distribución. Habitualmente se compara si el conjunto muestral sigue la distribución teórica, generalmente la normal los cual se ve cuando los datos aparecen alineados.

1.6.4 Normalidad de los datos

La determinación de la normalidad de un conjunto de datos se puede cuantificar por medio de diferentes pruebas. Este proceso es fundamental ya que muchos de los procedimientos estadísticos asumen que los datos siguen una distribución normal. Una distribución normal es aquella distribución de probabilidad simétrica que se describe por medio de dos parámetros denominados media y desviación estándar (m , s). La media representa el valor central de la distribución y la desviación estándar ofrece información de la variabilidad de los datos respecto de la media. Algunas de las características clásicas de una distribución normal son su forma de campana donde las desviaciones estándar sucesivas con respecto a la media establecen valores de referencia, en el centro de la distribución coinciden la media, la mediana y la moda lo que implica que el área bajo la curva a ambos lados de la media es igual. La distribución de probabilidad normal es simétrica alrededor de la media. La curva desciende en ambas direcciones a partir del valor central siendo asintótica ([Romero Saldaña, 2016](#)).

1.6.5 Igualdad de las varianzas

Considerando dos vectores de datos se calculan sus respectivas varianzas y la determinación de la homocedasticidad o igualdad de varianzas se hace a partir del cociente de las estas. La prueba plantea una hipótesis nula (H_0) en la cual se asume que no hay diferencia entre las varianzas; y una hipótesis alternativa (H_1) la cual asume que esa diferencia no es nula. El estadístico compara con el respectivo cuantil de la distribución Fisher. La formulación se presenta en la Ecuación 5 y en el lenguaje R, se puede aplicar esta prueba por medio de la función "*var.test()*".

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2} \quad [3]$$

Donde:

F : Estadístico

S_1^2 : varianza del vector de datos 1

S_2^2 : varianza del vector de datos 2

1.6.6 Comparación de dos medias

De acuerdo con [Gómez \(2016\)](#) en muchas ocasiones se tienen resultados que se efectúan sobre muestras dependientes o pareadas cuando, por ejemplo, se realizan sobre el mismo objeto, lo que implica que realmente lo que se tiene son muestras de pares y lo que corresponde es determinar si las diferencias ($d_i = y_i - x_i$) de los pares son significativamente diferentes de cero. La prueba de comparación plantea dos hipótesis: una hipótesis nula (H_0) en la cual se asume que la diferencia d es cero y una hipótesis alternativa (H_1) en la cual, dicha diferencia no es nula. El planteamiento matemático es conocido y el resumen de la formulación se presenta en el conjunto de Ecuaciones 4. En el lenguaje R la aplicación de esta prueba se realiza con la función “*t.test()*” configurando la opción “*paired = TRUE*” ([R Core Team, 2024](#)).

$$t = \frac{d}{S_d} \quad [4]$$

$$S_d = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

d : diferencias promedio entre las muestras x_i e y_i

t : varianza del vector de datos 1

S : varianza del vector de datos 2

S_d : desviación estándar del vector de diferencias

n : tamaño de la muestra

1.6.7 Contrastes de normalidad

Corresponde con determinadas pruebas estadísticas que se utilizan para la comprobación de que un cierto conjunto de datos sigue una distribución normal. También existen herramientas gráficas que permiten identificar la distribución de los datos, las cuales según [Luzuriaga Jaramillo et al. \(2023\)](#) deben ser trabajadas de manera complementaria para una comprensión más completa. La aplicación de pruebas de normalidad pretende garantizar la robustez de los análisis estadísticos ([Flores y Flores, 2021](#)). Los contrastes se basan en el planteamiento de hipótesis de trabajo, siendo la denominada hipótesis nula (H_0) en la cual se asume que los datos siguen una distribución normal y una hipótesis alternativa (H_1) en la cual se asumirá que los datos no siguen una distribución normal.

Un aspecto que debe considerarse es el tamaño de la muestra por analizar. En este estudio de trabajó con un conjunto de datos de tamaño $n = 22$ por lo que se utilizó la prueba Shapiro-Wilk, en la cual, además, de acuerdo con [Roco-Videla et al. \(2023\)](#) debe ser complementado con los respectivos gráficos de histograma y Q-Q plot.

La prueba Shapiro Wilk data de los años 1960 y se utiliza para comprobar la normalidad de conjuntos de datos pequeños ($n < 50$) ([Shapiro y Wilk, 1965](#); [Mohd Razali y Bee Wah, 2011](#); [de la Garza et al., 2013](#)). Esta prueba paramétrica que mide la correlación entre los datos y las puntuaciones normales correspondientes. Calcula un estadístico de prueba (W) y lo compara con los valores críticos para determinar si los datos se desvían significativamente de la normalidad. Se plantea como hipótesis nula H_0 que los datos provienen de una distribución normal con un nivel de incertidumbre del $\alpha = 5\%$. La hipótesis alternativa H_1 plantea por lo tanto que la distribución de los datos no es normal. La formulación se plantea en la Ecuación 5:

$$W = \frac{[\sum_{i=1}^n (a_i [X_{n-i+1} - X_i])]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad [5]$$

Donde:

W : Estadístico Shapiro-Wilk

a : Coeficiente Shapiro-Wilk

n : Total de datos

X_i : Variable a probar en la observación i

\bar{X} : media de la variable

s : Número de diferencias

2 Metodología

2.1 Área de trabajo

El área de trabajo se localizó en la zona central urbana del cantón 09 llamado San Pablo perteneciente a la provincia de Heredia, Costa Rica. La zona de estudio se encuentra ubicada entre las coordenadas cartográficas norte 1105000 m y 1106000 m y coordenadas este 489000 m y 491000 m según la proyección cartográfica nacional de Costa Rica CRTM05 y con una altura media de sobre el nivel de 1200 m (Costa Rica, 2017). Dentro de esta zona se estableció una red topográfica que abarcó un área aproximada de 18 hectáreas y cuyo objetivo fundamental fue brindar apoyo para levantamientos y georreferenciación de información dentro de la zona (Espinoza *et al.*, 2023). En la Figura 4 se puede apreciar la distribución de los puntos sobre los cuadrantes urbanos.

2.2 Campaña de medición GNSS en la modalidad estática

Esta campaña de medición fue desarrollada aplicando el principio de vectores independientes entre los puntos de la red y tres estaciones GNSS de operación continua pertenecientes al Marco Geodésico Nacional de Costa Rica CR-SIRGAS (Moya Zamora, 2022). Se utilizaron cuatro receptores modelo R10 de la cada comercial Trimble. El procesamiento fue realizado con el programa Trimble Business Center (TBC) versión 5.2 (Espinoza *et al.*, 2023) en el cual se contemplaron archivos de coordenadas semanales finales determinadas por los Centros de Procesamiento del Sistema de Referencia Geodésico para las Américas SIRGAS (SIRGAS, 2024) y archivos de órbitas finales del IGS (Crustal Dynamics Data Information System, 2023; Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica, 2022). El procesamiento se hizo a la época de observación $t_i = 2022,8630$ y se usaron como vínculo al marco nacional tres estaciones GNSS de operación continua, las denominadas RIDC, PUNT y CIQE. Los resultados finales en coordenadas cartográficas (Norte y Este) ajustadas en la proyección nacional CRTM05 y sus errores se presentan en la Tabla 1 (Espinoza *et al.*, 2023).

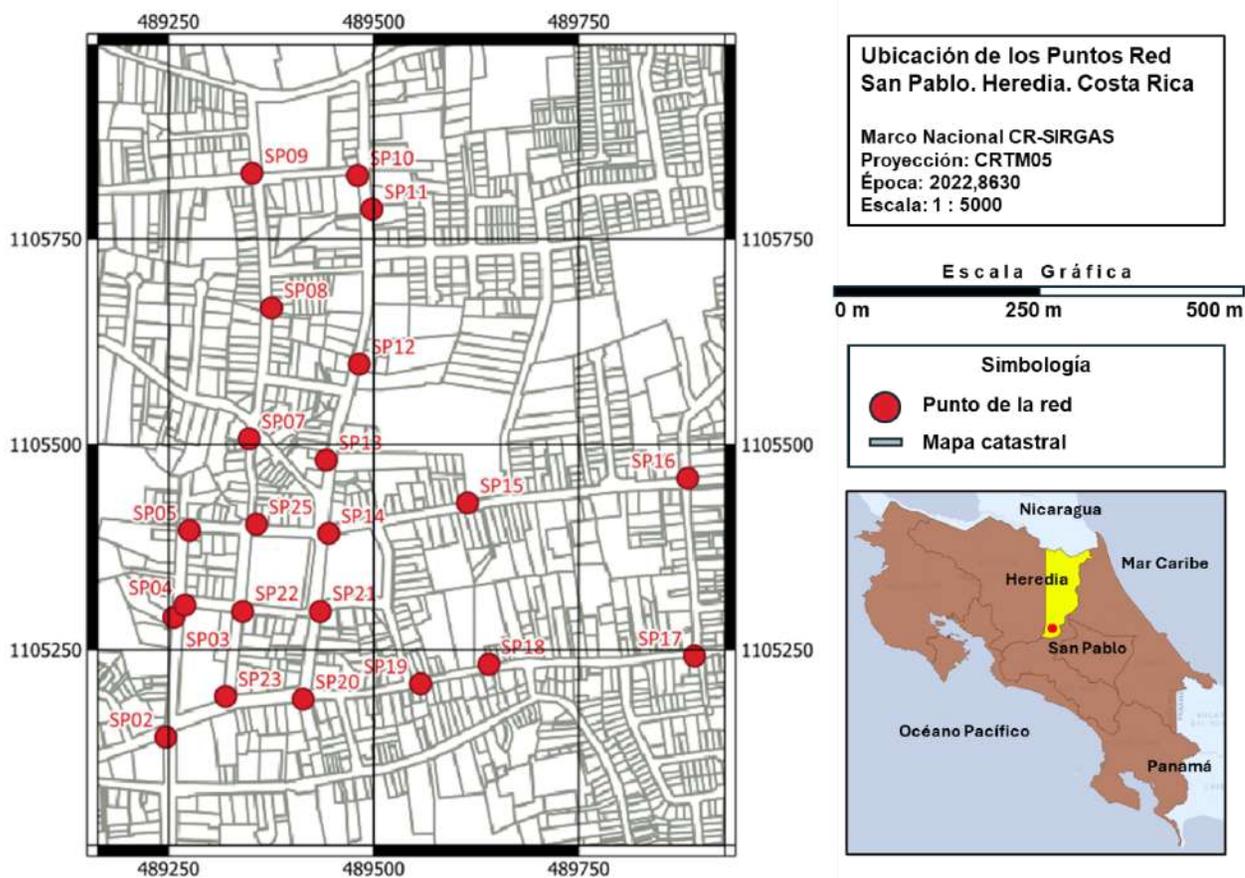


Figura 4: Ubicación de los puntos de la red geodésica en el cantón de San Pablo de Heredia. Fuente: elaboración propia a partir del programa QGIS (QGIS, 2024).

Tabla 1: Coordenadas cartográficas ajustadas y errores en proyección CRTM05 resultado de la campaña de medición GNSS modalidad estática y del procesamiento con el programa TCB. Época de referencia 2022,8630 y marco de referencia CR-SIRGAS. Fuente: elaboración propia a partir de (Espinoza *et al.*, 2023).

Punto	Este [m]	s_E [cm]	Norte [m]	s_N [cm]	Punto	Este [m]	s_E [cm]	Norte [m]	s_N [cm]
SP02	489247,200	0,8	1105143,775	0,7	SP14	489445,800	1,0	1105391,905	0,7
SP03	489256,860	1,0	1105289,494	0,8	SP15	489615,180	1,0	1105429,018	0,7
SP04	489270,620	1,4	1105304,508	1,2	SP16	489883,790	0,8	1105458,914	0,7
SP05	489275,940	1,2	1105395,385	1,0	SP17	489891,860	0,8	1105242,547	0,7
SP07	489348,930	0,9	1105506,944	0,7	SP18	489641,050	1,3	1105232,412	0,9
SP08	489376,170	0,8	1105666,334	0,6	SP19	489557,830	2,2	1105208,856	1,2
SP09	489352,280	1,0	1105830,246	0,9	SP20	489414,550	1,3	1105190,076	0,9
SP10	489481,004	0,8	1105827,564	0,6	SP21	489435,440	1,6	1105296,885	1,2
SP11	489498,580	0,9	1105786,496	0,7	SP22	489340,930	0,9	1105296,889	0,6
SP12	489482,970	1,0	1105597,986	0,7	SP23	489320,130	0,9	1105193,332	0,7
SP13	489442,890	1,2	1105481,181	0,7	SP25	489357,690	1,6	1105402,954	1,5

2.3 Campaña de medición GNSS en la modalidad RTK

En la campaña de medición GNSS en tiempo real se utilizaron receptores modelo R10 de la casa comercial Trimble. Estas mediciones se efectuaron seis meses después del levantamiento estático, específicamente el 8 de mayo de 2023 siguiendo un recorrido previamente planificado. Se colocaron los receptores designados como base en los puntos SP10 (ver Figura 4) a partir de los cuales se levantaron los restantes puntos (Espinoza *et al.*, 2023). Los resultados obtenidos de esta campaña en coordenadas cartográficas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Coordenadas cartográficas ajustadas y errores en proyección CRTM05 resultado de la campaña de medición GNSS modalidad RTK. Época de referencia 2022,8630 y marco de referencia CR-SIRGAS. Fuente: elaboración propia a partir de Espinoza *et al.* (2023).

Punto	Este [m]	s_E [cm]	Norte [m]	s_N [cm]	Punto	Este [m]	s_E [cm]	Norte [m]	s_N [cm]
SP02	489247,223	7,8	1105143,789	7,8	SP14	489445,806	5,7	1105391,912	5,7
SP03	489256,859	7,1	1105289,523	7,1	SP15	489615,203	14,8	1105429,004	14,8
SP04	489270,633	9,2	1105304,523	9,2	SP16	489883,805	13,4	1105458,909	13,4
SP05	489275,959	19,1	1105395,394	19,1	SP17	489891,898	17,0	1105242,549	17,0
SP07	489348,950	7,8	1105506,933	7,8	SP18	489641,087	5,7	1105232,387	5,7
SP08	489376,249	8,5	1105666,337	8,5	SP19	489557,859	14,8	1105208,850	14,8
SP09	489352,273	8,5	1105830,224	8,5	SP20	489414,562	9,2	1105190,104	9,2
SP10	489480,996	0,0	1105827,565	0,0	SP21	489435,455	11,3	1105296,882	11,3
SP11	489498,568	8,5	1105786,467	8,5	SP22	489340,957	7,8	1105296,896	7,8
SP12	489482,970	21,2	1105597,989	21,2	SP23	489320,150	14,8	1105193,324	14,8
SP13	489442,890	19,1	1105481,162	19,1	SP25	489357,723	13,4	1105402,962	13,4

2.4 Campaña de medición GNSS en la modalidad NTRIP

La campaña de medición en la modalidad NTRIP se realizó el día 7 de febrero de 2024. Se trabajó con receptor modelo RS2+ de la casa comercial Emlid. La metodología consistió en la configuración del instrumento para establecer la conexión con el caster del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica. En la etapa de medición el equipo brinda la cantidad de estaciones de vínculo disponibles, sin embargo, se escogió siempre como referencia la estación de operación continua GNSS denominada RIDC por ser la más cercana a la zona de trabajo aproximadamente a unos 10 km del centro de la ciudad de San Pablo. Se usaron en promedio 5 segundos de tiempo en cada uno de los puntos. Los resultados de la medición en coordenadas cartográficas y errores según el registro del equipo se encuentran en la Tabla 3. Como parte del proceso de medición se brindó una incertidumbre general de $\pm 1,0$ cm en cada una de las determinaciones. El archivo de salida de resultados solamente ofrece esta información. Además, como ya se mencionó anteriormente, las coordenadas de las estaciones base están referidas a la época 2019,2400 (Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica, 2022).

Tabla 3: Coordenadas cartográficas ajustadas y errores en proyección CRTM05 resultado de la campaña de medición GNSS modalidad NTRIP. Época de referencia 2019,2400 y marco de referencia CR-SIRGAS. Fuente: elaboración propia a partir del archivo de salida levantamiento NTRIP.

Punto	Este [m]	s_E [cm]	Norte [m]	s_N [cm]	Punto	Este [m]	s_E [cm]	Norte [m]	s_N [cm]
SP02	489247,162	1,0	1105143,706	1,0	SP14	489445,766	1,0	1105391,842	1,0
SP03	489256,820	1,0	1105289,427	1,0	SP15	489615,162	1,0	1105428,934	1,0
SP04	489270,575	1,0	1105304,435	1,0	SP16	489883,758	1,0	1105458,835	1,0
SP05	489275,906	1,0	1105395,313	1,0	SP17	489891,824	1,0	1105242,461	1,0
SP07	489348,908	1,0	1105506,859	1,0	SP18	489641,030	1,0	1105232,337	1,1
SP08	489376,182	1,0	1105666,292	1,0	SP19	489557,822	1,0	1105208,780	1,0
SP09	489352,255	1,0	1105830,193	1,0	SP20	489414,526	1,0	1105190,011	1,0
SP10	489480,960	1,0	1105827,502	1,0	SP21	489435,404	1,0	1105296,785	1,0
SP11	489498,549	1,0	1105786,437	1,0	SP22	489340,880	1,0	1105296,821	1,0
SP12	489482,941	1,0	1105597,937	1,0	SP23	489320,086	1,0	1105193,264	1,0
SP13	489442,867	1,0	1105481,094	1,0	SP25	489357,629	1,4	1105402,852	1,1

2.5 Determinación de la componente vertical

Los resultados derivados de cada una de las tres metodologías de medición usadas permitieron obtener el valor de altura elipsoídica (h) sobre cada uno de los puntos. Se trabajó exclusivamente con este resultado y se descartó el valor de la denominada altura nivelada o física, la cual, se obtiene eventualmente por medio de la aplicación de un determinado modelo de ondulación y el cual no fue objetivo de este estudio. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos y sus errores para cada una de las tres modalidades empleadas. La época de referencia y marco de referencia corresponde con los datos de coordenadas horizontales presentados en las Tablas 1, 2 y 3 para las modalidades estática, RTK y NTRIP respectivamente.

3 Resultados

3.1 Cuantificación de los vectores de diferencias

La investigación se centró en determinar y analizar las diferencias de coordenadas según cada una de las dos metodologías empleadas (vía radio y vía NTRIP), usando como patrón el conjunto de coordenadas ajustadas obtenido de la campaña de medición GNSS estática relativa (ver Tabla 1) (Moya Zamora, 2022). Del conjunto original de puntos 24, se trabajó únicamente con un total de 22 ya que los restantes fueron destruidos. La cuantificación de las diferencias y los correspondientes análisis se realizaron por medio del lenguaje R, la cual es una herramienta mundialmente usada para el análisis estadístico y modelamiento (R Core Team, 2024).

La codificación usada para distinguir los resultados fue una G para indicar coordenadas obtenidas de mediciones GNSS estáticas relativas, mientras que la R se usó para identificar coordenadas obtenidas de RTK y una N indicar coordenadas derivadas de mediciones NTRIP. De esta manera, se establecieron las siguientes etiquetas para identificar los resultados: dE.RG, dN.RG y dh.RG son las diferencias en coordenadas este, norte y altura elipsoídica entre los resultados R (RTK) y G (estáticos). Análogamente la codificación dE.NG, dN.NG y dh.NG son las diferencias de coordenadas respectivas entre los resultados N (NTRIP) y G (estáticos). Los resultados de las mediciones fueron primeramente dispuestos en un archivo de formato MS.Excel el cual fue posteriormente cargado dentro del ambiente de R. En la Tabla 5 se

Tabla 4: Valores del componente de altura elipsoidal y errores para cada uno de los puntos de la red y para cada una de las tres metodologías empleadas. Fuente: elaboración propia a partir de Espinoza *et al.* (2023) y archivo de levantamiento NTRIP.

Punto	Estática		RTK		NTRIP	
	h [m]	s_h [cm]	h [m]	s_h [cm]	h [m]	s_h [cm]
SP02	1206.313	5.5	1206.244	2.2	1206.341	1.1
SP03	1211.783	3.4	1211.725	1.9	1211.782	1.0
SP04	1212.465	4.2	1212.406	2.6	1212.495	1.2
SP05	1215.525	3.4	1215.446	5.1	1215.567	1.1
SP07	1218.330	2.7	1218.069	1.8	1218.344	1.3
SP08	1226.060	2.1	1225.802	2.3	1226.088	1.1
SP09	1229.142	7.2	1228.883	2.4	1229.161	1.3
SP10	1229.553	2.3	1229.283	0.0	1229.564	1.3
SP11	1228.227	2.2	1227.994	2.3	1228.263	1.2
SP12	1224.852	2.8	1224.605	4.4	1224.907	1.5
SP13	1219.553	2.6	1219.338	4.4	1219.539	1.1
SP14	1214.727	2.4	1214.658	4.4	1214.735	1.1
SP15	1214.603	2.2	1214.504	5.5	1214.614	1.2
SP16	1213.578	5.6	1213.486	4.6	1213.575	1.0
SP17	1209.061	5.7	1208.971	6.0	1209.063	1.0
SP18	1207.628	3.1	1207.558	1.8	1207.653	1.4
SP19	1209.872	3.6	1209.769	4.6	1209.875	1.1
SP20	1211.394	3.6	1211.344	3.0	1211.401	1.0
SP21	1212.407	3.5	1212.300	3.5	1212.414	1.0
SP22	1214.046	2.7	1214.015	2.3	1214.063	1.2
SP23	1209.292	3.3	1209.205	4.8	1209.336	1.1
SP25	1217.258	4.3	1217.183	3.4	1217.288	1.7

presentan las diferencias de coordenadas junto con algunos de los estadísticos básicos determinados por medio del lenguaje R.

3.2 Análisis estadístico inicial de los datos

Con el objetivo de conocer la dispersión de las seis variables se usó la función *"pairs()"* (R Core Team, 2024) del lenguaje R con la cual se obtiene una matriz gráfica en cuya diagonal están las variables y fuera de ella los respectivos gráficos de dispersión. En la Figura 5 se muestra el resultado donde las líneas rojas en los gráficos de dispersión representan las líneas de regresión suavizadas.

Posteriormente se determinó la determinación de la matriz de covarianzas por medio de la función *"cov()"* del lenguaje R (R Core Team, 2024). A partir de esta función se obtiene la matriz completa en cuya diagonal están las varianzas y fuera de la diagonal las covarianzas. Los valores del triángulo superior de dicha matriz se presentan en la Tabla 6 cuyas unidades, para este estudio, son [cm²].

Al considerar que se cuenta con un conjunto de datos que son el resultado de diferencias de coordenadas de un mismo punto físico, se decidió calcular la correspondiente matriz de correlación para el conjunto de datos. Para esto se usó el paquete *"ggplot2"* (Wickham, 2016) y la función *"corrplot()"* (Wei y Simko, 2021) del lenguaje R. El resultado se presenta en la Figura 6, donde se valores numéricos de la correlación

Tabla 5: Diferencias de coordenadas cartográficas y altura elipsoidal para las modalidades RTK y NTRIP respecto de la estática y resumen de los parámetros estadísticos básicos. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados con el lenguaje R (R Core Team, 2024).

Punto	dE.RG [cm]	dN.RG [cm]	dh.RG [cm]	dN.NG [cm]	dE.NG [cm]	dh.NG [cm]
SP02	2,3	1,4	-6,9	-3,8	-6,9	2,8
SP03	-0,1	2,9	-5,8	-4,0	-6,7	-0,1
SP04	1,3	1,5	-5,9	-4,5	-7,3	3,0
SP05	1,9	0,9	-7,9	-3,4	-7,2	4,2
SP07	2,0	-1,1	-6,1	-2,2	-8,5	1,4
SP08	-2,1	0,3	-5,8	-3,8	-4,2	2,8
SP09	-0,7	-2,2	-5,9	-2,5	-5,3	1,9
SP10	-0,8	0,1	-7,0	-4,4	-6,2	1,1
SP11	-1,2	-2,9	-3,3	-3,1	-5,9	3,6
SP12	0,0	0,3	-4,7	-2,9	-4,9	5,5
SP13	0,0	-1,9	-4,5	-2,3	-8,7	-1,4
SP14	0,6	0,7	-6,9	-3,4	-6,3	0,8
SP15	2,3	-1,4	-9,9	-1,8	-8,4	1,1
SP16	1,5	-0,5	-9,2	-3,2	-7,9	-0,3
SP17	3,8	0,2	-9,0	-3,6	-8,6	0,2
SP18	3,7	-2,5	-7,0	-2,0	-7,5	2,5
SP19	2,9	-0,6	-10,3	-0,8	-7,6	0,3
SP20	1,2	2,8	-5,0	-2,4	-6,5	0,7
SP21	1,5	-0,3	-10,7	-3,6	-10,0	0,7
SP22	2,7	0,7	-3,1	-5,0	-6,8	1,7
SP23	2,0	-0,8	-8,7	-4,4	-6,8	4,4
SP25	3,3	0,8	-7,5	-6,1	-10,2	3,0
Resumen de parámetros estadísticos básicos						
Mínimo [cm]	-2,1	-2,9	-10,7	-6,1	-10,2	-1,4
Máximo [cm]	3,8	2,9	-3,1	-0,8	-4,2	5,5
Rango [cm]	5,9	5,8	7,6	5,3	6,0	6,9
Moda [cm]	2,3	0,3	-6,9	-3,4	-6,8	3,0
Mediana [cm]	1,5	0,2	-6,9	-3,4	-7,0	1,6
Q1 [cm]	0,0	-1,0	-8,5	-3,9	-8,3	0,7
Q2 [cm]	1,5	0,2	-6,9	-3,4	-7,0	1,6
Q3 [cm]	2,3	0,8	-5,8	-2,4	-6,4	2,9
RIC [cm]	2,3	1,8	2,7	1,5	1,9	2,2
Promedio [cm]	1,3	-0,1	-6,9	-3,3	-7,2	1,8
s_0 [cm]	1,6	1,6	2,1	1,2	1,5	1,7
s_x [cm]	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4
Coefficiente de asimetría	-0,3	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,3
Curtosis	-0,7	-0,3	-0,6	0,5	0,0	-0,4

se presentan en el triángulo inferior y complementando la matriz, se tienen cuadros de colores y tamaños diferentes para dichos valores.

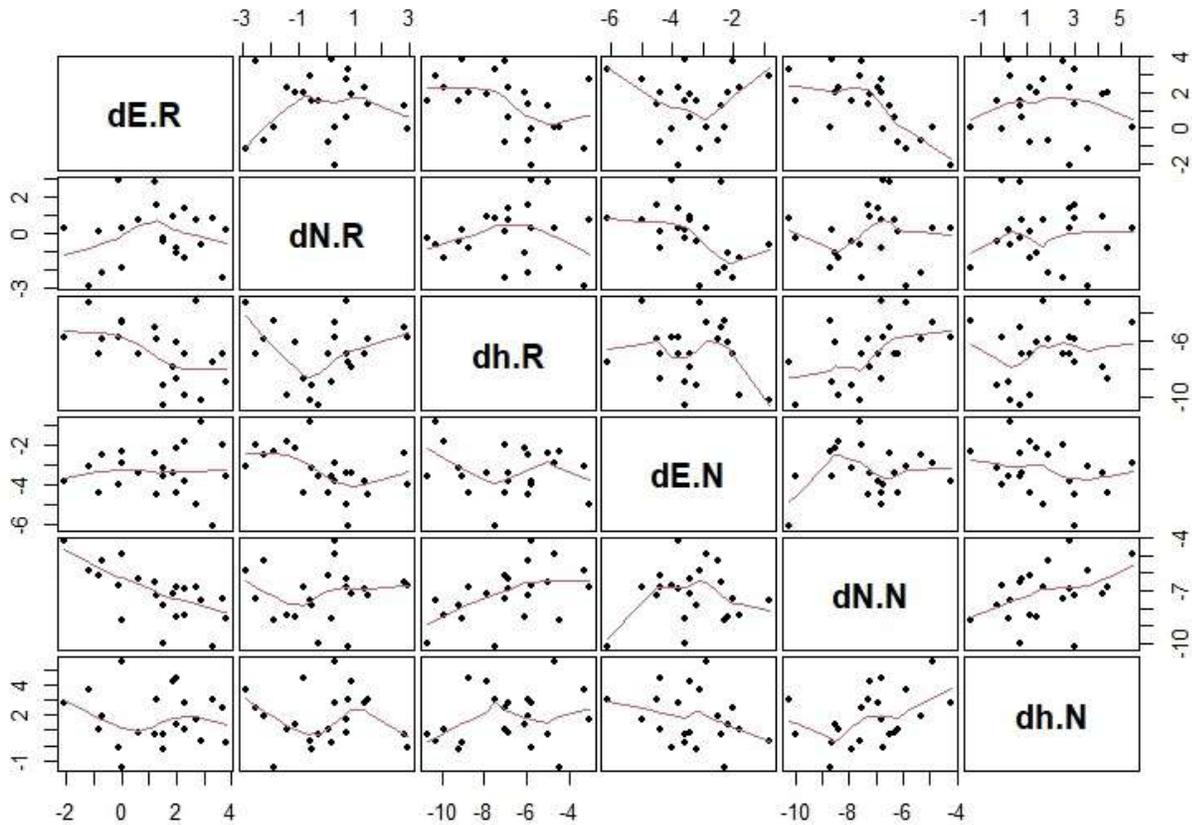


Figura 5: Matriz de dispersión de los vectores de coordenadas cartográficas y altura elipsoidal. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados con el lenguaje R (R Core Team, 2024).

Tabla 6: Valores de la matriz de covarianzas para los vectores de diferencias. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados con el lenguaje R (R Core Team, 2024).

	dE.R	dN.R	dh.R	dE.N	dN.N	dh.N
dE.R	2,67	0,13	-1,65	0,02	-1,63	-0,17
dN.R		2,41	0,19	-0,82	0,17	-0,07
dh.R			4,57	-0,44	1,66	0,77
dE.N				1,42	0,12	-0,60
dN.N					2,26	1,03
dh.N						2,97

En la Figura 7 se presentan en conjunto en la parte superior los histogramas de las diferencias de coordenadas R-G en la primera fila, mientras que en la segunda fila se tienen los histogramas para las diferencias N-G, ambos para diferencias de coordenadas en Este (color rojo), Norte (color azul) y Altura (color verde) respectivamente en las columnas de izquierda a derecha. En la parte inferior se presentan los Q-Q plot. Esta figura fue generada con la función `geom_histogram()` que es parte del paquete `ggplot2` y la función `qqqplot()` del lenguaje R (R Core Team, 2024).

Complementando el AED se presentan en la Figura 8 los boxplot para cada uno de los dos conjuntos de diferencias. El punto de color rojo corresponde con el promedio respectivo.

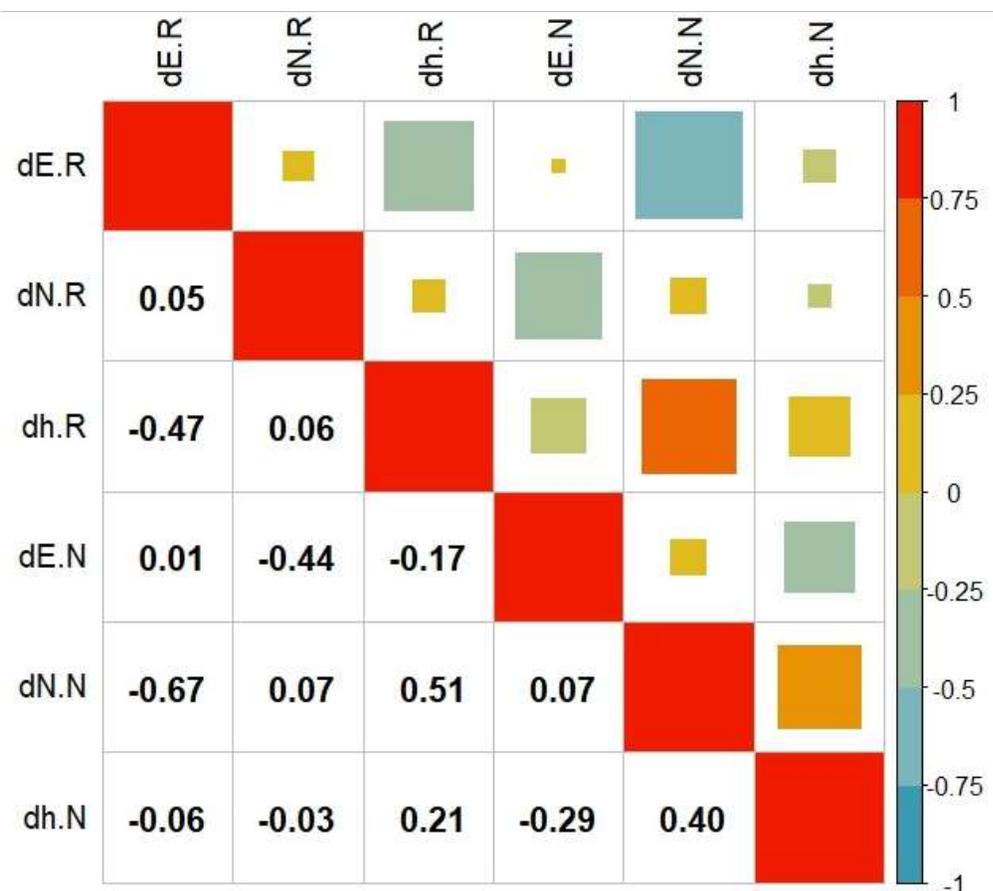


Figura 6: Matriz de correlación de los vectores de coordenadas cartográficas y altura elipsoidal. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados con el lenguaje R (Wickham, 2016; Wei y Simko, 2021).

3.3 Análisis de varianzas y medias de los vectores diferencia

Comprobada la normalidad de los conjuntos de datos, se aplicó primeramente una prueba para verificar la homocedasticidad u homogeneidad de varianza a pares de vectores correspondientes para cada una de las coordenadas (dE.R y dE.N, dN.R y dN.N, dh.R y dh.N). En ambiente R esta prueba se aplica con la función llamada “var.test()” (R Core Team, 2024). Los resultados respectivos en los que se incluyen los límites del intervalo de confianza del estadístico se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7: Resultados de la prueba de comprobación de homocedasticidad aplicada a pares vectores de diferencias de coordenadas cartográficas (R y N) y altura elipsoidal. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados con el lenguaje R (R Core Team, 2024).

Parámetros de la función var.test	dE.R y dE.N	dN.R y dN.N	dh.R y dh.N
Estadístico F	1.8777	1.0662	1.5363
p-valor	0.1570	0.8846	0.3328
Límite inferior	0.7796	0.4427	0.6378
Límite superior	4.5225	2.5680	3.7003

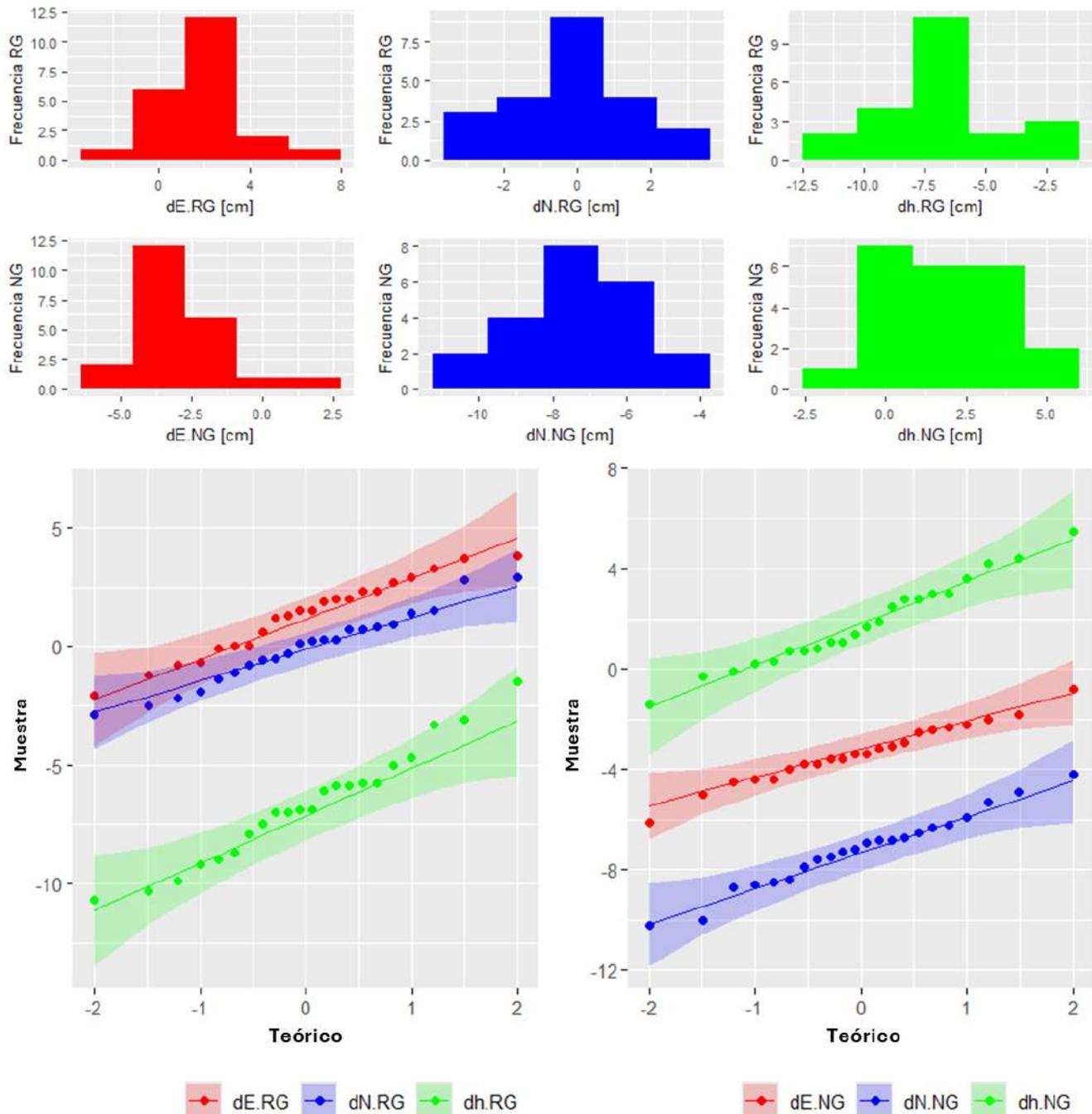


Figura 7: Conjunto de histogramas y Q-Q plot de las diferencias de coordenadas cartográficas y altura elipsoidal de los resultados RTK y NTRIP respecto de los resultados estáticos. Fuente: elaboración propia a partir de lenguaje R (R Core Team, 2024).

Luego, se realizó un contraste de hipótesis con el objetivo de verificar si las medias respectivas se pueden considerar iguales con un nivel de significancia del $\alpha = 5\%$. Esta prueba considera como hipótesis nula H_0 que las medias de las muestras son iguales y como hipótesis alternativa H_1 que dichas muestras no son iguales, por medio del planteamiento del estadístico t como cociente de las varianzas de las dos muestras (Gómez, 2016). Los resultados respectivos junto con los límites del intervalo de confianza del estadístico

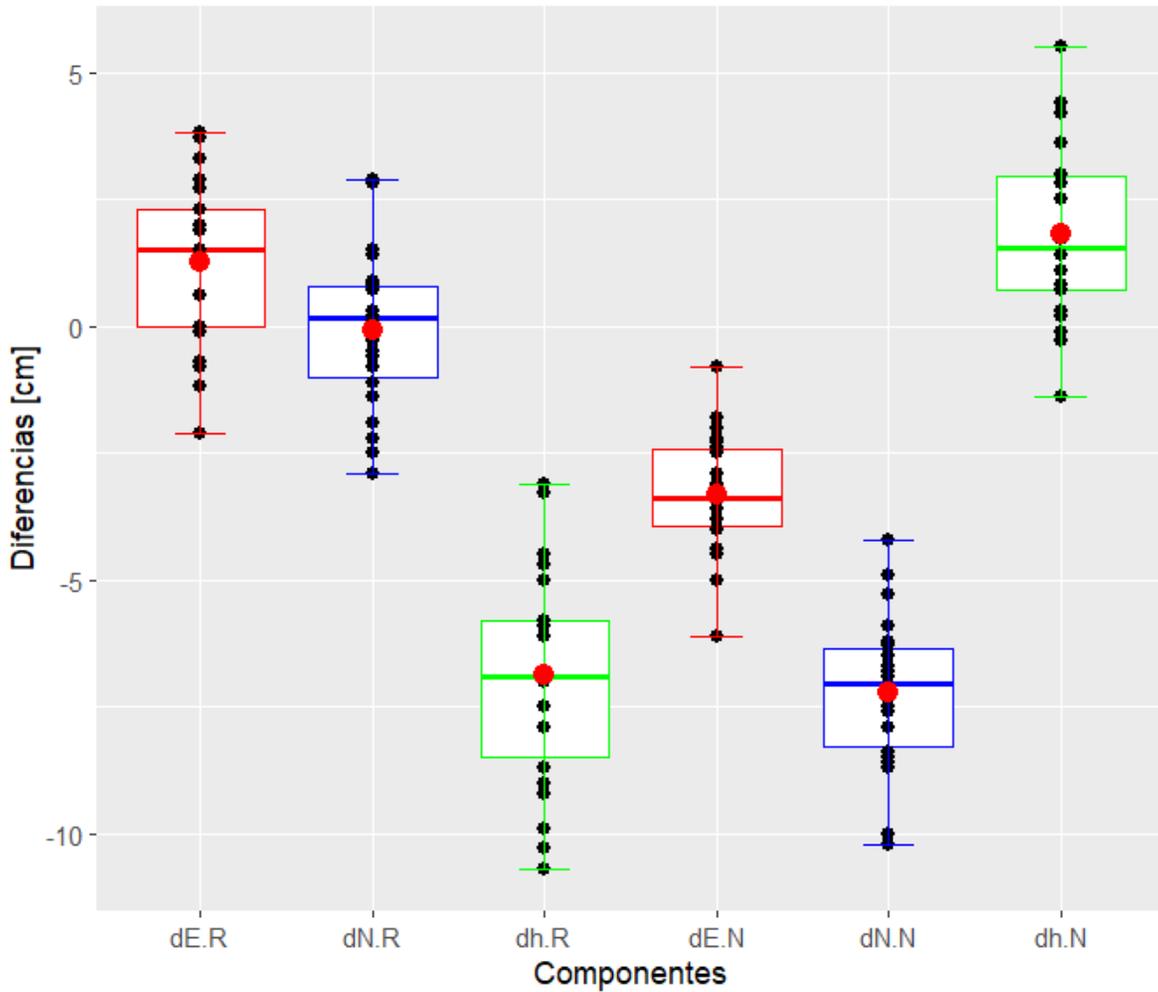


Figura 8: Conjunto de gráficos boxplot de las diferencias de coordenadas cartográficas y altura elipsoidal de los resultados RTK y NTRIP respecto de los resultados estáticos. Fuente: elaboración propia a partir del lenguaje R (R Core Team, 2024).

producto de la aplicación de la función “*t.test()*”, se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Resultados de la prueba de comprobación de medias aplicada a pares vectores de diferencias de coordenadas cartográficas (R y N) y altura elipsoidal. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados con el lenguaje R (R Core Team, 2024).

Parámetros de la función <i>t.test</i>	dE.R y dE.N	dN.R y dN.N	dh.R y dh.N
Estadístico <i>t</i>	10.724	16.045	-16.6250
<i>p</i> -valor	5.62E-10	2.92E-13	1.46E-13
Diferencia promedio	4.6045	7.1273	-8.6818
Límite inferior	3.7116	6.2035	-9.7678
Límite superior	5.4974	8.0511	-7.5958

Finalmente, se aplicó la prueba Shapiro-Wilks el cual contrasta la normalidad de una muestra cuando su tamaño es menor a 50. Esta prueba plantea como hipótesis nula H_0 que los datos provienen de una

distribución normal y como hipótesis alternativa H_1 que los datos no siguen una distribución normal. En ambiente R esta prueba se ejecuta con la función denominada “*shapiro.test()*”, cuyo resultado se expresa en términos del conocido p-valor (p-value) (R Core Team, 2024). En la Tabla 9 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los seis vectores diferencia considerando un nivel de significancia $\alpha = 5\%$.

Tabla 9: Resultados de la prueba de comprobación de normalidad Shapiro-Wilks aplicada a los vectores de diferencias de coordenadas cartográficas y altura elipsoidal. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del lenguaje R (R Core Team, 2024).

Parámetros de la función shapiro.test	dE.R	dN.R	dh.R	dE.N	dN.N	dh.N
Estadístico W	0,9670	0,9761	0,9706	0,9886	0,9822	0,9799
p-valor	0,6424	0,8456	0,7247	0,9941	0,9467	0,9147

3.4 Determinación de los vectores de desplazamiento

Una de las tareas usuales dentro de las labores de la ingeniería topográfica y geodésica consiste en la determinación del vector de desplazamiento entre pares de coordenadas asociadas a un mismo punto. Un vector es una magnitud física que tiene una magnitud y una dirección dentro de un determinado sistema de referencia. El resultado de este cálculo permite visualizar el movimiento relativo a uno de los puntos asumidos como fijo. Se tomaron como coordenadas de comparación las obtenidas de la metodología GNSS estática, por lo tanto, se calcularán los vectores de desplazamiento para los resultados R y N.

Con el objetivo de brindar una idea de la variación de los vectores de desplazamiento, se presenta en la Tabla 10 los valores mínimo y máximo de las componentes de magnitud y dirección, dada por el azimut cartográfico. En el caso de la componente vertical, los resultados se pueden consultar directamente en la Tabla 5, columnas 4 y 7 para diferencias R y N respectivamente.

Tabla 10: Valores mínimo y máximo de las componentes horizontales de los vectores de desplazamiento. Fuente: elaboración propia.

Vector	Distancia [cm]			Azimut [°]		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RG	0.3	4.5	2.4	0.0	358.0	124.9
NG	5.7	11.9	8.0	211.8	265.6	242.7

En la Figura 9 se presentan en la parte superior los vectores de desplazamiento producto de las diferencias entre las soluciones vía radio y estáticas; mientras que en la parte inferior están los correspondientes vectores de desplazamiento entre las determinaciones vía NTRIP y estáticas. La componente vertical se presenta en la Figura 10 donde las flechas de color negro representan las diferencias de las soluciones con corrección vía radio y estáticas, y las de color naranja representan las diferencias de las soluciones con corrección vía NTRIP y estáticas.

4 Discusión

El campo de puntos definido por el levantamiento GNSS en la modalidad estática ofreció un patrón adecuado para realizar este estudio. La exactitud obtenida estuvo entre los 9 mm y los 15 mm (Espinoza *et*

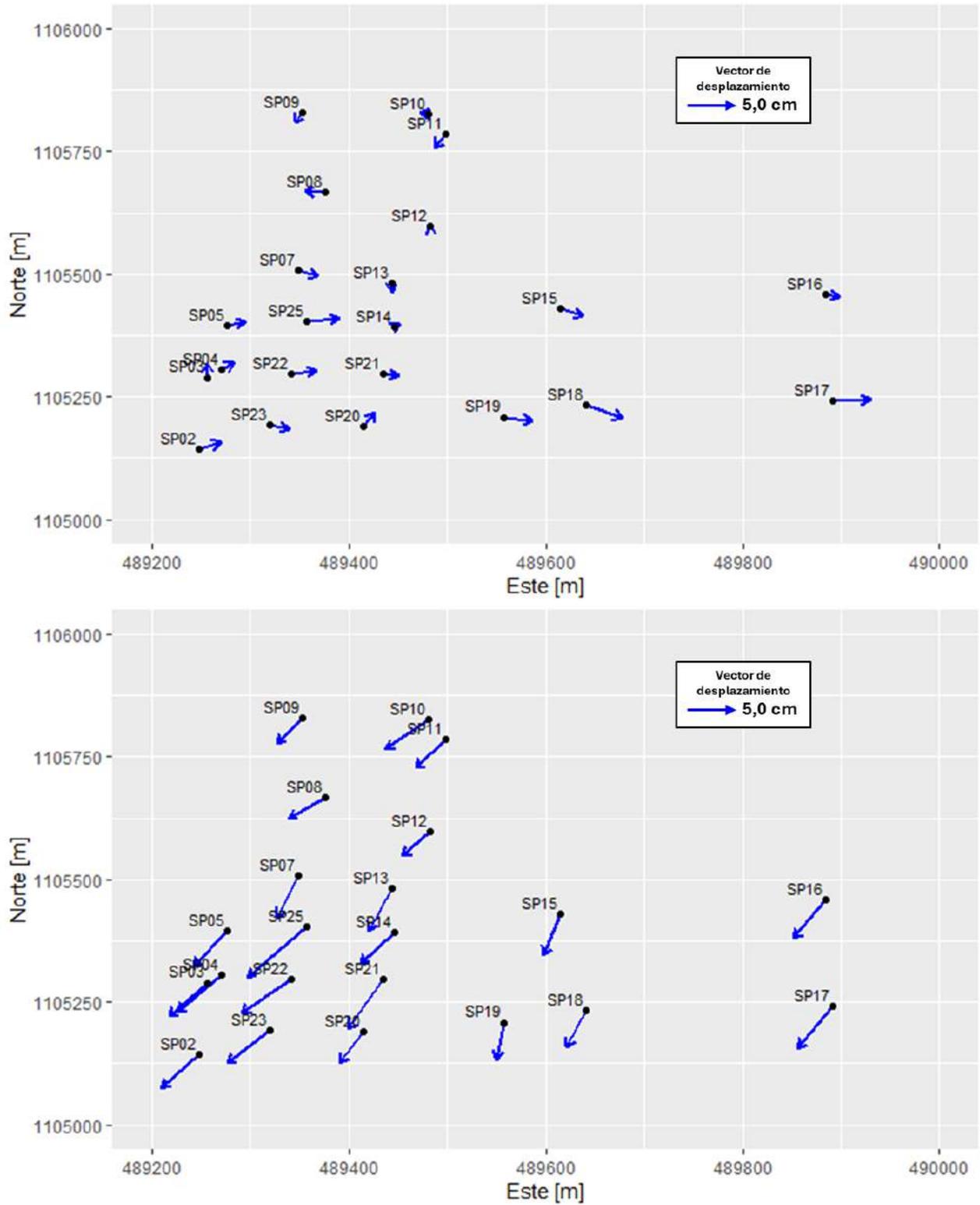


Figura 9: Vectores de desplazamiento producto de las diferencias de coordenadas cartográficas determinadas con corrección diferencial vía radio (superior) y NTRIP (inferior) respecto a la solución estática. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados con el lenguaje R (R Core Team, 2024).

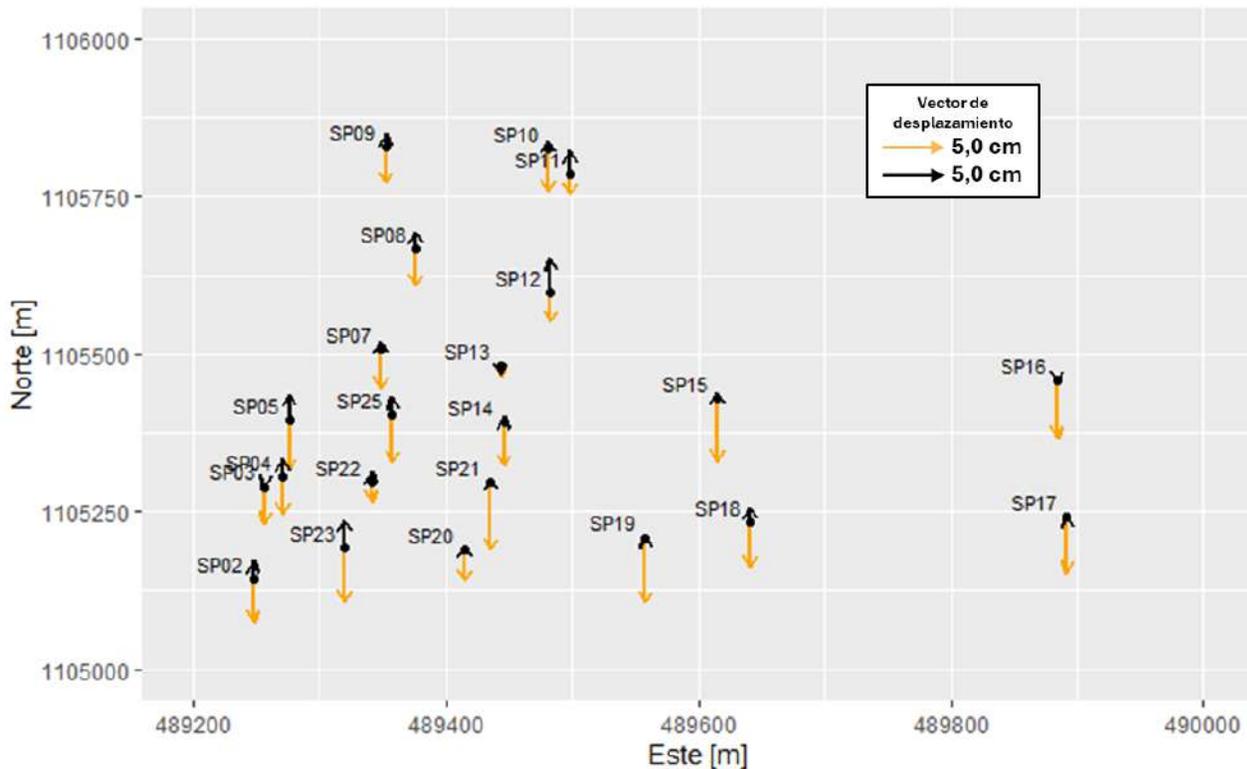


Figura 10: Vectores de desplazamiento vertical producto de las diferencias de coordenadas determinadas con corrección diferencial vía radio (superior) y NTRIP (inferior) respecto a la solución estática. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados con el lenguaje R (R Core Team, 2024).

al., 2023). Este rango de exactitud es totalmente suficiente para servir de apoyo a prácticamente todo tipo de levantamientos topográficos y catastrales, así como también servir como apoyo a otras metodologías de captura de información.

Los cálculos estadísticos utilizados demostraron en primer lugar que los conjuntos de coordenadas cartográficas y de altura elipsoidal no presentan diferencias significativas en cuanto a sus varianzas como consecuencia de la prueba respectiva, cuyos valores se presentan en la Tabla 7, donde los p-valores demostraron que no se tiene suficiente evidencia estadística para descartar la hipótesis nula. Adicionalmente, los resultados obtenidos de la aplicación de la prueba de medias demostraron por medio de los p-valores presentados en la Tabla 8, que existe evidencia significativa para descartar la hipótesis nula, por lo tanto, los conjuntos de datos no tienen la misma media. Lo anterior también se pudo apreciar también revisando el boxplot de la Figura 8.

Los resultados en la ejecución del contraste de normalidad por medio de la prueba Shapiro-Wilks, confirmaron, por medio de los p-valores que no se tuvo suficiente evidencia para descartar la hipótesis nula, por lo tanto, los seis conjuntos de datos siguen una distribución normal. Gráficamente esta se puede apreciar también en la Figura 7 donde los Q-Q plots presentan una alineación donde los datos muestrales prácticamente siguen una línea recta.

El comportamiento de las diferencias de coordenadas por medio de los correspondientes vectores de desplazamiento se presenta en la Figura 9 para las componentes horizontales. En primer lugar, se nota como las magnitudes de los vectores para las diferencias RG son máximas de 4,5 cm (ver Tabla 10) con un azimut promedio en sentido de la dirección este franco. Por su parte, el comportamiento de los vectores

para las diferencias NG tienen magnitudes mayores con el caso extremo de casi 12 cm en un azimut 243° (ver Tabla 10). En esta Figura 9 se manejó la misma escala para mostrar gráficamente las magnitudes de los desplazamientos.

Se nota como en las diferencias RG hay una mejor consistencia entre las soluciones debido principalmente a la época de la referencia. Se debe recordar que este levantamiento utilizó correcciones vía radio, pero las coordenadas usadas como referencia para las mediciones, fueron las coordenadas estáticas del punto SP10, es decir, se trasladó todo el levantamiento a esta referencia temporal y espacial. En el caso de las diferencias NG, la situación es similar, solo que se aprecia que las diferencias son mayores (ver Tabla 5); sin embargo, llama la atención que prácticamente el azimut de los vectores tiene una dirección en sentido suroeste. Esto se debe a que la época de referencia de las bases GNSS para levantamientos NTRIP es 2019,24, con lo cual, las mediciones son trasladadas al pasado y al contar con coordenadas estáticas en una época más actualizada, se detecta en dichos cambios la influencia de la época de referencia y observación (Moya Zamora, 2022).

La componente vertical mostró un sistematismo claro (ver Tabla 5) lo cual gráficamente se aprecia en la Figura 10, en la cual se nota como los vectores de color naranja son claramente mayores que las flechas de color negro y con una dirección vertical negativa prioritariamente, lo cual quiere decir que producto del levantamiento con corrección vía radio, las alturas determinadas fueron en su mayoría menores que las dadas por las soluciones estáticas. La situación obtenida con las mediciones corregidas vía NTRIP brindaron resultados en las alturas elipsoidicas prácticamente levemente mayores en magnitud respecto a las soluciones estáticas.

5 Conclusiones

En Costa Rica las investigaciones de Irías y Valderrama (2019) y Espinoza *et al.* (2023) son prácticamente las primeras experiencias que han trabajado con datos provenientes de metodologías GNSS corregidas diferencialmente bajo la modalidad radio. No obstante, en este artículo se presenta una comparación entre las tres metodologías GNSS usadas por los profesionales costarricenses. De ahí que los resultados obtenidos representan un aporte en cuanto a la cuantificación de las diferencias entre dichas metodologías.

Los resultados obtenidos de este estudio aplicado bajo las condiciones e instrumental definido para el área de trabajo reflejaron que existen diferencias significativas en las coordenadas cartográficas y de altura elipsoidica determinadas por medio de mediciones GNSS en la modalidad RTK con correcciones diferenciales vía radio y vía NTRIP. Estas diferencias de coordenadas presentaron medias significativamente diferentes, pero con homocedasticidad, además se distribuyeron normalmente.

Las diferencias estuvieron en un rango de variación de entre 5 cm y 6 cm para los dos tipos de soluciones respecto de las coordenadas estáticas. Estas diferencias, debido a la alta exactitud de las coordenadas estáticas, son estadísticamente significativas. En la parte vertical el rango estuvo entre los 6,9 cm y 7,6 cm, sin embargo, como ya se mencionó, se obtuvo una alta consistencia en las soluciones derivadas de correcciones vía NTRIP.

Desde el punto de vista de la aplicación profesional práctica, ambas metodologías de corrección diferencial son métodos válidos, pues las diferencias, salvo otras fuentes de incertidumbre como aspectos físicos, lejanía de las estaciones base y otros propios del instrumental, dependerán de las coordenadas de referencia de las estaciones base. Si las coordenadas de las estaciones base del NTRIP se actualizaran en época y marco, las discrepancias se reducirían. Sin embargo, a efectos de generar legalidad a partir de los levantamientos topográficos, se demostró que, de momento, las discrepancias, por lo menos en la zona de

estudio catalogada como urbana, son suficientes para cumplir con las disposiciones de la Subdirección Catastral de Costa Rica.

6 Referencias

Berné Valero, J., Garrido Villén, N., y Capilla Romá, R. (2019). *GNSS: GPS, Galileo, Glonass, Beidou. Fundamentos y métodos de posicionamiento*. Editorial Universitat Politècnica de València. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/118522>.

Costa Rica (2017). *División territorial administrativa de la República de Costa Rica*. Imprenta Nacional de Costa Rica. ISBN: 978-9977-58-477-5.

Crustal Dynamics Data Information System (2023). CDDIS Data and Derived Products - GNSS - orbit products. Disponible en: https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/orbit_products.html.

de la Garza, J., Morales Serrano, B. N., y González Cavazos, B. A. (2013). *Análisis estadístico multivariante: Un enfoque teórico y práctico*. McGraw Hill Interamericana. ISBN: 978-607-15-0817-1.

Espinoza, H., Flores, J., y Salazar, M. (2023). Densificación del Marco Geodésico Nacional CR-SRIGAS como insumo para la captura, la georreferenciación y la actualización de la información geoespacial en la zona urbana central del cantón de San Pablo de Heredia. Tesis de máster, Universidad Nacional de Costa Rica.

Flores, C. y Flores, K. (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov. *Societas. Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas*, 23(2). Obtenido de: <https://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/index.html>.

Gómez, M. (2016). *Elementos de Estadística Descriptiva*. EUNED. ISBN: 978-9968-48-240-0.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., y Wasle, E. (2007). *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more*. Springer Vienna. ISBN: 978-3-211-73012-6.

Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (2022). Servicio ntrip caster del instituto geográfico nacional. Disponible en: <https://www.snitcr.go.cr/Noticias/detallenoticia2?id=bm90aWNpYTo6MTY3NTE5NTU5MQ==>.

Irías, R. y Valderrama, T. (2019). Metodología para la transmisión de datos gnss a través del ntrip para las estaciones de referencia de operación continua pertenecientes a la red geodésica nacional de referencia horizontal de costa rica. Tesis de máster, Universidad de Costa Rica. Disponible en: <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/eb4203c9-83dd-46d4-ac00-98d634e1ce78/full>.

Lee, I.-S. y Ge, L. (2006). The performance of RTK-GPS for surveying under challenging environmental conditions. *Earth, Planets and Space*, 58:515–522. doi: <https://doi.org/10.1186/BF03351948>.

Leick, A., Rapoport, L., y Tatarnikov, D. (2015). *GPS Satellite Surveying*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-1-118-67557-1.

- Luzuriaga Jaramillo, H. A., Espinosa Pinos, C. A., Haro Sarango, A. F., y Ortiz Román, H. D. (2023). Histograma y distribución normal: Shapiro-Wilk y Kolmogorov Smirnov aplicado en SPSS. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 4(4):596–607. doi: <https://doi.org/10.56712/latam.v4i4.1242>.
- Mohd Razali, N. y Bee Wah, Y. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk , Kolmogorov-Smirnov , Lilliefors and Anderson-Darling tests. *J. Stat. Model. Analytics*, 2:21–33.
- Moya Zamora, J. (2022). Procesamiento GNSS en el marco geodésico CR-SIRGAS: influencia de las épocas de observación y referencia. *Ingeniería*, 32(2):52–86.
- Moya Zamora, J., Bastos Gutiérrez, S., Ovares Sánchez, K., Murillo Arroyo, P., Menjívar Pérez, E., Céspedes Argüello, Y., y Sánchez, E. O. (2025). Consideraciones Técnicas en los Proceso de Georreferenciación dentro del Marco Geodésico Nacional CR-SIRGAS. *Revista Geografica de America Central*, 1(74):55–74.
- QGIS (2024). Spatial Without Compromise - QGIS WebSite. Disponible en <https://qgis.org/>.
- R Core Team (2024). The R Project for Statistical Computing. Disponible en: <https://www.R-project.org>.
- Roco-Videla, A., Landabur-Ayala, R., Maureira-Carsalade, N., y Olguin-Barraza, M. (2023). ¿Como determinar efectivamente si una serie de datos sigue una distribución normal cuando el tamaño muestral es pequeño? *Nutrición Hospitalaria*, 40(1):234 – 235. doi: <https://dx.doi.org/10.20960/nh.04519>.
- Romero Saldaña, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería del Trabajo*, 6(3).
- Shapiro, S. S. y Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4):591–611. doi: <https://doi.org/10.2307/2333709>.
- SIRGAS (2024). Coordenadas de las estaciones SIRGAS-CON. Disponible en: <https://sirgas.ipgh.org/red-gnss/coordenadas/>.
- Soto-Rojas, C. (2022). Mapas interactivos: una herramienta para el análisis exploratorio de datos ético. *Revista Tecnología en Marcha*, 35(6):24–31. doi: <https://doi.org/10.18845/tm.v35i6.6232>.
- Superintendencia de Telecomunicaciones (2024). Informes FONATEL. Disponible en: <https://sutel.go.cr/fonatel/informes-fonatel>.
- Wallin, G. (2024). An introduction to R and Python for Data Analysis: A Side-by-Side Approach. *The American Statistician*, 78(2):265–265. doi: <https://doi.org/10.1080/00031305.2024.2320949>.
- Weber, G., Dettmering, D., y Gebhard, H. (2005). Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP). En Sansò, F., (Ed.), *A Window on the Future of Geodesy*, pp. 60–64. Springer Berlin Heidelberg. doi: https://doi.org/10.1007/3-540-27432-4_11.
- Wei, T. y Simko, V. (2021). corrplot: Visualization of a Correlation Matrix. R package version 0.92. Disponible en <https://CRAN.R-project.org/package=corrplot>.
- Wickham, H. (2016). *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer Cham. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>.

CIENCIAS AERONÁUTICAS

IMPLANTANDO LA SEGURIDAD DE LA AVIACIÓN CIVIL (AVSEC) EN TALLERES DE MANTENIMIENTO AERONÁUTICO: CASO MÉXICO

M.E. Roberto Sánchez Escobar^{1,*}, Josué Ismael Núñez Morales^{2,†}

¹Escuela Nacional de Protección Civil Campus Chiapas

²Instituto Politécnico Nacional

Recibido: 13-03-2025

Aceptado: 28-05-2025

DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v16i1.20510>

RESUMEN

La aviación civil es una de las industrias más reguladas en materia de seguridad y es a través del Convenio sobre aviación civil internacional, mejor conocido como Convenio de Chicago, donde se establecen metodologías, normas y métodos recomendados para la protección de personas, instalaciones y sus bienes contra tentativas o actos de interferencia ilícita y son derivados de instrumentos de orden legal por el derecho internacional y de las mejores prácticas de la industria. Los organismos dedicados al mantenimiento aeronáutico no son la excepción y es hasta las recientes reformas de las leyes de aviación civil y de aeropuertos, incluidos sus reglamentos, que comienza a cobrar especial relevancia su aplicación en estas prestadoras de servicios complementarios dedicadas al mantenimiento de aeronaves. Estos instrumentos legales, tanto a nivel internacional como nacional, han estado tradicionalmente enfocados en el transporte aéreo de personas, sus pertenencias y la carga. Por ello, este documento busca orientar a los talleres aeronáuticos en la implementación de procesos y procedimientos adecuados a la naturaleza de sus actividades. Se hace énfasis en que las medidas adoptadas para mitigar riesgos frente a actos de interferencia ilícita no deben seguir un enfoque de securitización, ya que las operaciones de los talleres difieren significativamente de las de los concesionarios y permisionarios del transporte de pasajeros y de los aeropuertos. La securitización, es mayormente utilizada como una herramienta financiera que permite transformar activos ilíquidos en valores negociables; sin embargo, en la acepción de la palabra derivada del inglés “security”, de la misma forma es trasladada hacia procesos por medio de los cuales un asunto en particular es declarado como problema de seguridad y que al ser “securitizado”, se estructura un prejuicio de existencia de una amenaza hacia un objeto, un interés o un bien jurídico. Bajo el análisis documental y exploratorio en publicaciones de la OACI, Leyes, normas, circulares obligatorias y métodos recomendados en materia de seguridad de la aviación civil, así como publicaciones científicas en materia de seguridad y gestión integral de riesgos desde la perspectiva sociocultural, se sustenta la propuesta de mitigar en la ecuación los factores del miedo y la angustia que pudieran esparcir posibles perpetradores ante la posibilidad de la comisión de tentativas o actos de interferencia ilícita en talleres de mantenimiento de aeronaves dado sus inexistentes registros de acontecimiento en México.

Palabras clave: AVSEC; SeMS; MRO; Amenaza; Securitización.

ABSTRACT

*sanchezescobarroberto@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-6059-0338>

†josue.nm@hotmail.com

Civil aviation is one of the most regulated industries in terms of security and it is through the Convention on International Civil Aviation, better known as the Chicago Convention, where methodologies, standards and recommended methods are established for the protection of persons, facilities and their property against attempts or acts of unlawful interference and are derived from legal instruments by international law and the best industry practices. The organizations dedicated to aeronautical maintenance are not the exception and it was not until the recent reforms of the civil aviation and airport laws, including their regulations, that their application begins to gain special relevance in these providers of complementary services dedicated to aircraft maintenance. These legal instruments, both internationally and nationally, have traditionally focused on the air transport of people, their belongings and cargo. Therefore, this document seeks to guide aeronautical repair station in the implementation of processes and procedures appropriate to the nature of their activities. It is emphasized that the measures adopted to mitigate risks in the face of illicit interference acts should not follow a securitization approach, since the operations of the repair station differ significantly from those of the concessionaires and permittees of passenger transport and airports. Securitization is mostly used as a financial tool that allows illiquid assets to be transformed into negotiable securities; however, in the meaning of the word derived from the English "security", in the same way it is transferred to processes through which a particular matter is declared a security problem and that when it is "securitized", a prejudice of the existence of a threat to an object, an interest or a legal good is structured. Based on documentary and exploratory analysis in ICAO publications, laws, standards, mandatory circulars and recommended practices in the field of civil aviation security, as well as scientific publications on security and risk management from the sociocultural perspective, this study supports the proposal to mitigate in the equation the factors of fear and anguish that could spread possible perpetrators in the face of the possibility of the commission of attempts or acts of unlawful interference in aircraft maintenance workshops given their non-existent records of incidents in Mexico.

Keywords: AVSEC; SeMS; MRO; Threat; Securitization.

1 *Introducción*

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), desde su creación como agencia especializada de las Naciones Unidas, ha recomendado métodos y establecido normas sistemáticas a los Estados contratantes con la intención de ordenar y regular la actividad aérea internacional. En materia de seguridad aérea, contribuye a mantener e incrementar las medidas de seguridad en la protección de la aviación civil contra tentativas y actos de interferencia ilícita de acuerdo con lo convenido en sus Anexos 17 de seguridad (OACI, 2022) y 9 de facilitación (OACI, 2011a).

Para ello, en la actualidad cuenta con la segunda edición del Plan mundial de seguridad de la aviación (GASeP por sus siglas en inglés), mediante el cual este organismo a través de seis áreas prioritarias globales para focalizar esfuerzos de manera conjunta "reafirma la meta aspiracional de lograr y mantener un sistema de seguridad de la aviación mundial sólido, respaldado por la implementación plena y efectiva de las normas de seguridad de la aviación de la OACI en todos los Estados miembros" (OACI, 2024).

Por su parte, México crea el marco regulatorio en la materia para dar cumplimiento a las normas y métodos recomendados de la OACI, basado en lo que se establece en el Anexo 17 al Convenio sobre aviación civil internacional (OACI, 2022) y, como doctrina ha implementado leyes, reglamentos, normas oficiales y diversas circulares propias de la Agencia Federal de Aviación Civil (AFAC).

Entre otros documentos se encuentran las circulares obligatorias de seguridad aérea con el designador CO-SA y el numeral 17 (en consonancia con el Anexo 17 de la OACI) aplicables a la seguridad de la aviación civil (AVSEC), mismas que incluyen métodos disuasivos y normativos en tareas de prevención y sistematización de la actividad.

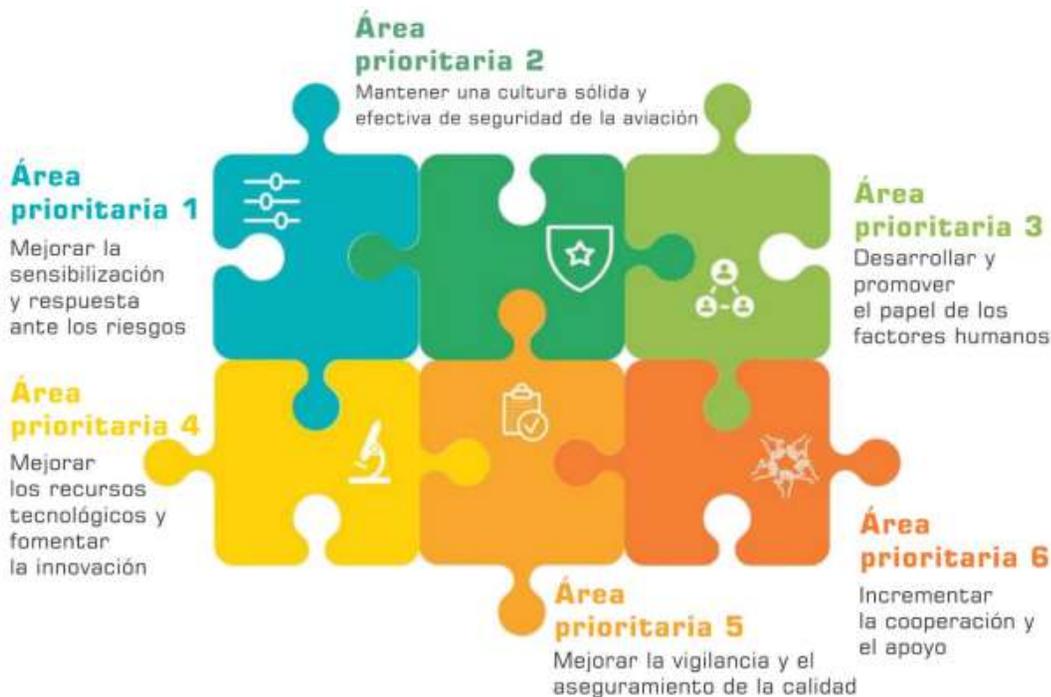


Figura 1: Aspectos prioritarios mundiales. Doc. 10118 Plan global para la seguridad de la aviación civil (OACI, 2024).

A partir de los eventos terroristas del 9-11, la pertinencia de la seguridad de la aviación civil se ha encauzado casi en su totalidad a las operaciones comerciales y los aeropuertos en sus modalidades doméstica e internacional, así como para la carga aérea, pero desatendiendo y postergando a otros sectores de la industria aeronáutica, como lo son los talleres de mantenimiento de aeronaves y los servicios complementarios, entre otros.

Al año 2024 no se cuenta con una Norma oficial mexicana (NOM) respecto a la implantación de algún sistema de gestión de la seguridad de la aviación civil (SeMS por sus siglas en inglés de *Security Management System*).

Por el contrario, se cuenta con la NOM-064-SCT3-2012, "Que establece las especificaciones del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional" (SMS por sus siglas en inglés de *Safety Management System*) (Diario Oficial de la Federación, 2013).

Esta última no considera aquellos actos cometidos con el propósito de ocasionar daños a personas, instalaciones, aeronaves y la industria en general, por lo que su enfoque es la prevención de incidentes y accidentes más que el de protección contra amenazas, como lo es en AVSEC.

Para el caso México, se puede atribuir la creación de la circular obligatoria del 9 de febrero del 2024:

Que establece los requisitos mínimos de ciberseguridad que deberán implementar las personas concesionarias, asignatarias y permisionarias del transporte aéreo, aeródromos civiles, y prestadores de servicios aeroportuarios y complementarios para prevenir actos de interferencia ilícita perpetrados mediante medios de ataque remotos, cibernéticos, informáticos y/o tecnológicos (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2024).

Además de la categorización y el señalamiento de los requisitos de las permisionarias de talleres aeronáuticos dentro de la Ley de aviación civil en su artículo 2º, párrafo XXVIII con base en la reforma de fracciones en su totalidad publicadas en el DOF 03-05-2023 ([Ley de Aviación Civil, 2023](#)).

De acuerdo con las últimas reformas a la Ley de aviación civil del mes de mayo del 2023, queda establecida la obligatoriedad de la observancia de las disposiciones emitidas en materia de seguridad de la aviación civil por parte de las prestadoras de servicio (permisionarios de taller aeronáutico).

Del mismo modo; en estas se reformas se requiere a las prestadoras de servicios complementarios (mantenimiento y reparación de aeronaves como objeto de regulación en la Ley de aeropuertos), el cabal cumplimiento de las disposiciones emitidas, ello con base en su artículo 48 ([Ley de Aeropuertos, 2023](#)).

En lo concerniente a las circulares obligatorias emitidas por la AFAC en materia AVSEC, con las reformas integradas en el 2023 a la Ley de aviación civil y Ley de aeropuertos, estas han quedado obsoletas por no tener considerados estos talleres de mantenimiento de aeronaves, al menos con la claridad y precisión que a derecho corresponde, con excepción de la CO SA-17.18/24 publicada en el año 2024 al declarar en su contenido a los servicios complementarios como una actividad regulada en materia de ciberseguridad ([Dirección General de Aeronáutica Civil, 2024](#)). Con ello se sientan las bases para la integración futura de estas actividades en el resto de las circulares obligatorias en cuanto a AVSEC refiere, o su actualización y pertinencia global actual frente a los Estados contratantes, particularmente con quienes se mantienen convenios bilaterales o multilaterales.

Bajo la perspectiva de la cercana actualización de las circulares obligatorias e integración de posibles cambios respecto a la inclusión de la obligatoriedad del cumplimiento de medidas, asignación de recursos humanos y materiales destinados a la protección la aviación civil contra los actos y tentativas de interferencia ilícita en los talleres de mantenimiento de aeronaves (por considerarse permisionarios y prestadores de servicios complementarios), se propone a través de esta investigación al sector del mantenimiento de aeronaves el anticipar los protocolos de implantación de la seguridad de la aviación civil en México, tomando como punto de referencia la naturaleza de sus actividades y no frente al traslado de las medidas aplicables en la actualidad a las aerolíneas, aeropuertos y carga aérea.

De frente a la limitada integración al marco normativo vigente en México, caso particular de los talleres de mantenimiento de aeronaves en materia AVSEC, las autoridades de aviación civil deben ser soportadas formalmente por los permisionarios autorizados con base en sus experiencias adquiridas en la operación; especialistas en la materia; asociaciones y órganos colegiados; así como por investigadores y académicos, para que a través de la gobernanza, la colaboración y la cooperación, se transite en sentido paralelo a los procedimientos tradicionales de aerolíneas y aeropuertos, es decir, un cambio de paradigmas radical considerando las mejores prácticas de estos pero, orientando esfuerzos hacia las particularidades que ofrecen las instalaciones de mantenimiento de aeronaves: sus posibles amenazas, riesgos y vulnerabilidades propios de la actividad.

Ello debe ser acorde a las actividades del mantenimiento de aeronaves sin perder el rumbo del contexto de protección ante tentativas y actos de interferencia ilícita, en particular en controles de acceso y accesos no autorizados a instalaciones, así como por inspecciones para el ingreso a zonas de riesgo prioritarias.

Las medidas deben encontrarse alineadas a los niveles de amenaza prevalecientes en un periodo determinado, ya sea establecidas por experiencias propias o de cara con la arquitectura de data e indicadores específicos de los interesados.

Reglas formales e informales por la interacción de los actores en el proceso de la toma de decisiones.

Desde sus inicios en 2024, México ha emitido al 17 de enero del 2025 un total de 548 autorizaciones como taller aeronáutico nacional, de las cuales se mantienen vigentes exclusivamente el 47.99 % de estos (263 talleres) de acuerdo con lo publicado por la AFAC en su portal oficial en “Permiso de taller aeronáutico 2025”.

Han sido diferentes los motivos que ocasionaron el retiro de 284 registros desde su autorización, abriendo una gama de oportunidades para investigaciones futuras derivadas de la presente investigación que ofrezcan un análisis exhaustivo y brindar posibilidades de mitigación del efecto en beneficio del desarrollo de la industria del mantenimiento de aeronaves.

Más del 80 % de estos retiros del padrón son derivados de baja documental, seguido por cancelación, suspensión y procedimiento administrativo (Figura 2), que bien merece la pena escudriñar en las causas que propiciaron su salida.

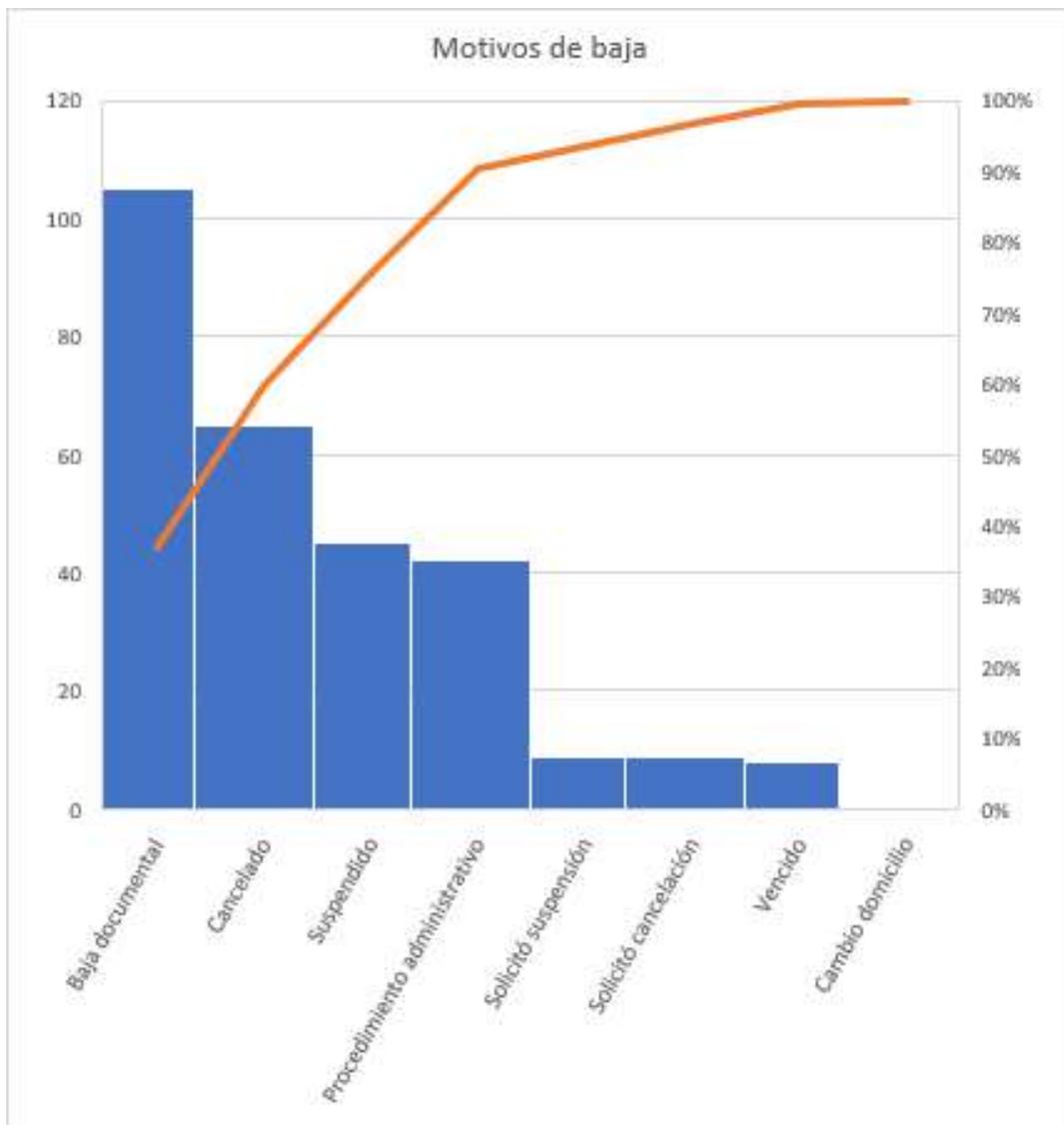


Figura 2: Motivos de retiro del padrón de autorizaciones como taller aeronáutico nacional. Elaboración propia con datos de la AFAC.

2 Metodología

Durante el proceso de investigación se ha empleado una metodología de investigación documental y exploratoria para alcanzar la comprensión general de las condiciones actuales del entorno de los talleres de mantenimiento de aeronaves por sobre la perspectiva AVSEC aplicable en aeropuertos y aerolíneas, dejando abiertas posibilidades de conducir futuras investigaciones en áreas y funciones especiales de los recintos aeroportuarios en donde se conduzca el mantenimiento aeronáutico, proporcionando los motivos de retiro del permiso bajo el modelo de Pareto.

Se utilizaron técnicas de recolección de datos basados en la observación, análisis documental y análisis de contenido de fuentes gubernamentales y organismos internacionales especializados en seguridad de la aviación civil internacional. Los instrumentos de recolección de información son a través de documentos en línea, de archivo, bases de datos, oficios de gobierno y portal de transparencia.

Se han obtenido datos a través de la plataforma nacional de transparencia de México de su sitio web: <https://www.plataformadetransparencia.org.mx/> como fuente de consulta de información pública de datos abiertos de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, manteniendo un insignificante sesgo para su análisis como consecuencia de los tiempos de respuesta y actualización de la información en las fuentes por parte del emisor así como limitaciones importantes por el acceso selectivo de la información específica.

Esto permitió determinar los alcances mediante la sistematización de experiencias en proceso dado la implantación de un programa de seguridad para la protección de actos de interferencia ilícita de un taller aeronáutico mediante las técnicas de análisis de texto, estadística de incidentes registrados, diagnóstico y predicción de probable repetición de eventos, así como por experiencias propias de los autores a través de la aplicación del modelo de gestión de riesgos descrito en la Circular que establece la metodología para evaluación de amenazas y gestión de riesgos en seguridad de la aviación civil, obligatoria CO SA-17.16/19 ([Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019](#)).

Dado el carácter de reservado y confidencial de algunos documentos relativos a la seguridad de la aviación civil, se detectan limitaciones en la difusión, publicación, transcripción y/o divulgación de procesos y procedimientos en esta investigación por ser de exclusiva competencia a personal con atribuciones para la aplicación de los mismos.

3 Resultados

La OACI a través de su marco regulatorio, Anexo 17, documentos 8973 y 10118, ha señalado que debe incluirse a empresas de mantenimiento como responsables de ciertas medidas y procedimientos en cuanto a la seguridad de la aviación civil para mantener pertinencia y precisión en la aplicación de estas; sin embargo, por tratarse de documentos restringidos y con distribución limitada, quedarán fuera del análisis documental de esta investigación de con alcance público preservando en todo momento el derecho de acceso a la información necesaria con arreglo al principio de “acceso selectivo” en donde la información debería difundirse cuando los individuos la necesiten para desempeñar con eficacia sus funciones de acuerdo con [OACI \(2011b\)](#).

El marco regulatorio en México se basa en estos principios, normas y métodos recomendados por tratarse de un Estado contratante en la OACI, debiendo dar cabal cumplimiento a su contenido de acuerdo con lo establecido en el Art. 133 de la Constitución política de los estados unidos mexicanos, por lo que, tomando

como referencia pirámide de “Kelsen” de la jerarquía normativa versus la jerarquización escalonada de las normas aplicables a la aeronáutica y aviación civil expuesto por [Rodríguez Bribiesca \(2022\)](#), para esta investigación, se parte del análisis a nivel Ley (Figura 3).

Otro instrumento normativo con carácter de reservado y confidencial es el Programa Nacional de Seguridad de la Aviación Civil, mismo que por obvias razones queda al margen del análisis de esta investigación con la aclaración pertinente de que este se encuentra alineado a los requerimientos, tanto de aeropuertos como de aeronaves y servicios a la navegación aérea y, probablemente se estará actualizando a la brevedad para la correspondiente inclusión de los talleres de mantenimiento de aeronaves dado el rumbo que están tomando los servicios complementarios dentro el marco normativo para México en el contexto AVSEC.



Figura 3: Jerarquía normativa del derecho aplicable a la aviación civil en México con base en la pirámide de Kelsen.

Se ha visto que la Ley de aviación civil reconoce y otorga personalidad a los permisionarios de talleres aeronáuticos y los clasifica como prestadores de servicios complementarios. Esta Ley es de orden público con el propósito de regular la explotación, uso y/o aprovechamiento del espacio aéreo mexicano en la prestación y desarrollo de los servicios de transporte aéreo civiles y operaciones de Estado ([Ley de Aviación Civil, 2023](#)).

Su artículo 2° define que los talleres aeronáuticos son permisionarios al obtener la debida acreditación por parte de la autoridad de aviación civil (facultades de esta autoridad en la materia), por lo que se deben sujetar los talleres aeronáuticos a esta Ley para la prestación de los servicios complementarios.

Asimismo, consolidada dentro de la sección segunda, de los permisos, a través de su artículo 11 que expresamente señala ser necesario el otorgamiento del permiso para el establecimiento de taller aeronáutico a personas físicas o morales, mexicanas o extranjeras y que tendrá una vigencia de dos años a partir de la fecha de su autorización.

Dentro del Capítulo XV Quáter, de la seguridad de la aviación civil, encontramos 12 artículos nombrados bajo el numeral 78 Octies al 78 Novodicies; sin embargo, como se ha visto, en su mayoría son aplicables

a personas concesionarias, asignatarias o permisionarias del transporte aéreo, por lo que su aplicabilidad a talleres de mantenimiento de aeronaves queda sin efectos y con cierto grado de indefensión legal en tanto no se ejecuten las reformas pertinentes que brinden certeza jurídica ante la previsibilidad de las consecuencias cometidas de los actos de un individuo o grupo delictivo por aquellos actos o tentativas de interferencia ilícita dentro de su recinto.

Mismo caso para la Ley de aeropuertos en su Capítulo IX Bis, de la seguridad de la aviación civil, artículo 73 Bis al 73 Octodecimos aplicable a las personas concesionarias, asignatarias, operadoras aeroportuarias y permisionarias de aeródromos civiles ([Ley de Aeropuertos, 2023](#)).

En el siguiente peldaño inferior de la pirámide de Kelsen se encuentran los Reglamentos de la ley de aviación civil y de la Ley de aeropuertos, cuyo objeto son el de regular y reglamentar las disposiciones que emanan de sus respectivas leyes.

En cambio, el artículo 169, párrafo III, faculta al comandante del aeródromo para coordinar e instrumentar las medidas necesarias a preservar la vida humana y la seguridad de la infraestructura aeroportuaria y de las aeronaves ([Reglamento de la Ley de Aeropuertos, 2018](#)), considerando a los talleres de mantenimiento de aeronaves como parte de su infraestructura por encontrarse dentro de sus límites territoriales. En México se conocen talleres de mantenimiento autorizados que se encuentran ubicados fuera de los límites de recintos aeroportuarios.

Ciertos artículos pueden, bajo interpretación focalizada, contribuir a la creación de las disposiciones en la materia aplicables a talleres de mantenimiento de aeronaves, tales como: la definición de actos de interferencia ilícita; la creación de un Programa de seguridad para la prevención de actos de interferencia ilícita y Programa de instrucción de seguridad de la aviación civil aplicables a talleres de mantenimiento de aeronaves y que son autorizados por la Agencia Federal de Aviación Civil (AFAC), pero, debieran ser estos dentro del contexto específico de las actividades propias de estos talleres y no de las de los aeropuertos y/o concesionarios y permisionarios del transporte aéreo como se ha venido planteando.

Las disposiciones para el establecimiento de un taller de mantenimiento de aeronaves se encuentran detalladas en el Reglamento de la ley de aviación civil y, en su sección tercera, “De las medidas de seguridad para proteger a la aviación contra actos de interferencia” se encuentran las disposiciones en la materia que debe cumplir toda persona concesionaria, asignataria o permisionaria, en donde específicamente su artículo 44 señala la obligación de “... contar con un programa de seguridad para la prevención de actos de interferencia ilícita autorizado por la Agencia Federal de Aviación Civil, que cumpla con lo dispuesto en las normas oficiales mexicanas y en las disposiciones técnico-administrativas correspondientes y que además contenga las medidas pertinentes para que no se lleven a bordo de la aeronave artículos que dificulten su navegación o pongan en peligro la seguridad del personal técnico aeronáutico y de las personas pasajeras” ([Reglamento de la Ley de Aviación Civil, 2023](#)) mismo que se encuentra supeditado a contar con un programa de instrucción y este debe ser impartido por un instructor certificado por dicha autoridad.

El establecimiento del contenido de los programas de seguridad de personas prestadoras de servicios aeroportuarios y complementarios de seguridad y vigilancia es plena atribución de la AFAC (Artículo 6 Bis, párrafo XV, inciso b de la [Ley de Aviación Civil \(2023\)](#)), por lo que debiera tenerse el acercamiento con talleres de mantenimiento de aeronaves como elemento metodológico a través del diálogo en mesas de trabajo que integre todas las aristas de acuerdo con las actividades propias de este sector bajo un contexto multidisciplinario.

El taller de mantenimiento de aeronaves en su carácter de permisionario "... debe aplicar procedimientos para evitar que las personas usuarias, introduzcan artículos, sustancias y materiales que por su naturaleza sean susceptibles de poner en riesgo la seguridad de las personas pasajeras o de la aeronave, tales como sustancias químicas, corrosivas, radiactivas, inflamables; armas de fuego; explosivos; municiones; herramientas u objetos contundentes, dispositivos incapacitantes, semejantes o similares..." de acuerdo con lo señalado en su artículo 45, por lo que se debe asegurar la inspección de seguridad de la aeronave previo a su liberación y entrega a servicio al propietario, representante legal o poseedor del certificado de aeronavegabilidad vigente ([Reglamento de la Ley de Aviación Civil, 2023](#)).

Dentro de las reformas comentadas se adicionan los artículos 47 Ter y 47 Quáter, que expresamente marcan la obligatoriedad de contar con evaluaciones periódicas de vulnerabilidad de amenazas (para la evaluación de riesgo y mejoras), así como contar con un programa de control de calidad de las medidas de seguridad para evaluar la eficacia, respectivamente, en las que se incluye a los proveedores de servicios externos ([Reglamento de la Ley de Aviación Civil, 2023](#)). La Elaboración del Programa General de Control de Calidad de la Seguridad de la Aviación Civil es plena atribución de la Agencia Federal de Aviación Civil de acuerdo con lo estipulado en el Artículo o 78 Quaterdecies de la Ley de Aviación Civil ([Reglamento de la Ley de Aviación Civil, 2023](#)).

No se cuenta con disposiciones aplicables de seguridad de la aviación civil dentro del Título octavo, capítulos I y II de este Reglamento de la Ley de Aviación Civil; sin embargo, los talleres de mantenimiento de aeronaves deben mantener medidas de control de acceso a instalaciones y seguridad a la aeronave para contrarrestar intrusiones no autorizadas que por igual deben ser implementadas dentro del programa contra la prevención de actos de interferencia ilícita para talleres aeronáuticos.

La Ley de Aeropuertos circunscribe al mantenimiento y reparación de aeronaves como servicios complementarios en su artículo 48, obligando además al permisionario a la celebración del contrato correspondiente con la concesionaria, asignataria o permisionaria del aeródromo civil que se trate ([Ley de Aeropuertos, 2023](#)). De igual forma, el Reglamento a la ley de aeropuertos en su artículo 56, párrafo VI establece el mantenimiento y reparación de aeronaves como parte integral de los servicios complementarios ([Reglamento de la Ley de Aeropuertos, 2018](#)).

Tabla 1: Circulares obligatorias aplicables a la seguridad de la aviación civil en México. Fuente: <https://www.gob.mx/afac/acciones-y-programas/obligatorias-co>.

Referencia	Aplicabilidad	Título
CO SA-17.1/10	Concesionarios, permisionarios y operadores aéreos	Que establece el contenido del Manual de Seguridad para la prevención de actos de interferencia ilícita
CO SA-17.2/10 R3	Concesionarios, permisionarios y operadores aéreos	Que establece la regulación de artículos prohibidos a introducir a las aeronaves de Servicio al Público, y su posesión en las zonas estériles de los Aeródromos Civiles de Servicio al Público para la Prevención de Actos de Interferencia Ilícita
CO SA 17.3/19 R2	Concesionarios, permisionarios y operadores aéreos	Que establece medidas de seguridad adicionales para las operaciones de vuelos de alto riesgo
CO SA-17.4/12 R2	Concesionarios, permisionarios y operadores aéreos	Establece los requerimientos y medidas de seguridad para la prevención de actos de interferencia ilícita
CO SA-17.5/16 R1	Concesionarios, permisionarios y operadores aéreos	Que establece los lineamientos para establecer el Sistema de Tarjetas de Identificación Aeroportuaria
CO SA-17.6/16	Concesionarios, permisionarios y operadores aéreos	Procedimiento para la inspección de pasajeros y equipaje de mano

CO SA-17.7/16 R1	Concesionarios, permisionarios y operadores aéreos	Requisitos para la Certificación y Recertificación de Instructores de Seguridad
CO SA-17.8/16	Concesionarios, permisionarios y operadores aéreos	Circular Obligatoria que establece el contenido de los Programas de Instrucción
CO SA-17.9/16	Concesionarios, permisionarios y operadores aéreos	Políticas Generales para la inspección de equipaje facturado
CO SA-17.10/16	Aeropuertos, aeródromos y helipuertos	Circular Obligatoria que establece el contenido mínimo del Programa Local de Seguridad Aeroportuaria
CO SA-17.11/16	Concesionarios, permisionarios y operadores aéreos	Disposiciones a usuarios de los servicios de los Aeropuertos y del Transporte Aéreo
CO SA-17.14/23	Aeropuertos, aeródromos y helipuertos	Que establece los requisitos mínimos de diseño de la infraestructura para la protección de las instalaciones aeroportuarias
CO SA-17.16/19	Aeropuertos, aeródromos y helipuertos	Que establece la metodología para evaluación de amenazas y gestión de riesgos
CO SA-17.17/21	Aeropuertos, aeródromos y helipuertos	Que establece los lineamientos de un sistema de certificación y recertificación
CO SA-17.18/24	Aeropuertos, aeródromos, helipuertos, concesionarios y permisionarios	Que establece los requisitos mínimos de ciberseguridad

Respecto de las circulares obligatorias de seguridad aérea emitidas por la autoridad de aviación civil mexicana y que se encuentran vigentes para el año 2024, de acuerdo con su página oficial (<https://www.gob.mx/afac/acciones-y-programas/obligatorias-co>), se encuentran contabilizadas un total de 15 en materia de seguridad de la aviación civil; sin embargo, la única que en su contenido señala expresamente como obligación de las prestadoras de servicios complementarios para su cumplimiento por parte de los talleres de mantenimiento de aeronaves como se ha dicho, es la circular obligatoria del 9 de febrero del 2024 “Que establece los requisitos mínimos de ciberseguridad que deberán implementar las personas concesionarias, asignatarias y permisionarias del transporte aéreo, aeródromos civiles, y prestadores de servicios aeroportuarios y complementarios para prevenir actos de interferencia ilícita perpetrados mediante medios de ataque remotos, cibernéticos, informáticos y/o tecnológicos” ([Dirección General de Aeronáutica Civil, 2024](#)).

4 Discusión

Desde la creación de las disposiciones de seguridad de la aviación civil internacional han sido considerados los organismos del mantenimiento de aeronaves para la adopción de métodos, medidas y procedimientos en la prevención de tentativas y actos de interferencia ilícita en los documentos pertinentes de la OACI.

Para el caso México, se ha tenido un desfase en la elaboración de los mecanismos ad hoc para las entidades del mantenimiento de aeronaves y su implantación (se ha fortalecido principalmente el transporte de pasajeros, aeropuertos y carga aérea por el alto impacto que representa un evento de este tipo), lo que conlleva al análisis de la implementación de los procesos en estas instalaciones que contribuyan a las medidas de protección de las personas, instalaciones, sistemas y equipos dentro de los límites de talleres de mantenimiento de aeronaves, se ubiquen o no estos dentro del área de competencia de recintos aeroportuarios.

Los documentos publicados por la autoridad de aviación civil contienen un sesgo significativo para los talleres de mantenimiento de aeronaves dado que su orientación conserva tintes de medidas aplicadas para los aeropuertos y aerolíneas sin abarcar el contexto de las actividades desarrolladas por los talleres, lo cual no ha permitido la valoración objetiva de estas medidas y su eficacia al no existir data en México ante la autoridad de aviación civil que compruebe la existencia de actos o tentativas de interferencia ilícita contra talleres de mantenimiento de aeronaves.

Si bien, tanto la Ley de aviación civil como la Ley de aeropuertos, mediante las últimas reformas dan personalidad y formalidad a los talleres de mantenimiento de aeronaves como permisionarias y prestadoras de servicios complementarios, en los instrumentos normativos que de estas derivan no se cuenta con registros de su actualización o inclusión para dar certeza jurídica, por lo que es urgente la inclusión de términos pertinentes y su conceptualización precisa para no dar cabida a interpretaciones equívocas que puedan ir en detrimento del desarrollo y avances en materia de seguridad de la aviación civil en México.

En este sentido, se debe mantener un enfoque preventivo para mitigar cualquier tipo de riesgo técnico ante la probabilidad de que ocurran estas interpretaciones tergiversadas y que cualquier propuesta normativa sea gestionada bajo una perspectiva social fundamentada en la construcción social del riesgo de acuerdo con “las formas en que la sociedad construye contextos vulnerables que provocan desajustes o desadaptaciones al entorno, que este se convierte en una amenaza y en un generador de riesgos” ([García Acosta, 2005](#)).

El cambio de la concepción de riesgos basado en la evolución de los modelos y teorías propicia el desorden para la adopción de las estrategias pertinentes, por lo que para lograr el éxito deben dejarse de lado posturas centralistas y adoptar un enfoque integral y colaborativo mediante la gobernanza en la creación de leyes, reglamentos, normas oficiales y/o circulares obligatorias.

Las fuentes de riesgo principales detectadas en las actividades del mantenimiento de aeronaves recaen en las de categoría operacional y competitiva, primordialmente y en lo legal, por sanciones como resultado del incumplimiento de normas y regulaciones excesivas de acuerdo con ([Rodríguez López et al., 2013](#)), ello sin acotar a las actividades específicas del mantenimiento de aeronaves; en lo operativo, por deficiencias en el recurso humano, procesos, tecnología, infraestructura, sistemas internos o acontecimientos externos y, en lo reputacional ante la pérdida de confianza, imagen y publicidad negativa por el impacto de un posible evento adverso.

Es muy clara la conceptualización del término seguridad de la aviación civil, por lo que no da lugar a interpretaciones erradas que no sean aquellas derivadas de la intencionalidad por parte de los infractores para ocasionar daños, lesiones o infundir terror en la comunidad aeronáutica; en cuyo caso, no deberían estar exentos de las sanciones correspondientes que las leyes les imputen como lo expresa el sistema de cultura justa de la OACI.

Con base en datos obtenidos de la página de OACI respecto al desarrollo económico del transporte aéreo se observa incremento en la comisión de actos de interferencia ilícita para el periodo 2015 - 2022, principalmente por ataques en aeropuertos y otras instalaciones, así como por el apoderamiento ilícito de aeronaves, tal como se aprecia en la [Tabla 2](#).

Para el caso particular de instalaciones de mantenimiento de aeronaves no se cuenta con el registro específico y, de considerarse como parte de la estadística en lo correspondiente a “otras instalaciones” dado que no se precisa, mantendría la misma tendencia al alza para el periodo de estudio.

Tabla 2: Clasificación de actos de interferencia ilícita cometidos globalmente en el periodo 2015-2022. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del mundo del transporte aéreo en “Desarrollo económico del transporte aéreo”, OACI.

Año	Totales	Aeronave en vuelo	Aeropuertos y otras instalaciones	Uso de aeronave como arma	Ciberataques	Apoderamiento ilícito de aeronave	Otro tipo de acto
2015	13	1	4	0	0	4	4
2016	0	0	0	0	0	0	0
2017	21	1	9	1	1	2	7
2018	36	0	16	1	1	2	16
2019	0	0	0	0	0	0	0
2020	12	2	3	0	0	1	6
2021	42	4	9	0	5	9	1
2022	61	7	30	2	2	2	18

Nota: Para los años 2016 y 2019 no se obtuvo acceso a la página de “desarrollo económico del transporte aéreo”, motivo por el cual en la tabla los datos de referencia por actos de interferencia ilícita globales se marcan con cero.



Figura 4: Tendencia de actos de interferencia ilícita globales cometidos en aeropuertos y otras instalaciones.

A través de la identificación de los actos de interferencia ilícita registrados por la OACI, mediante la representación gráfica del modelo de Pareto, se priorizan y ordenan los de mayor ocurrencia para ubicar la problemática presente a nivel global, obteniendo que el 80% de estos son cometidos en aeropuertos y otras instalaciones (sin precisar), así como la designación de otro tipo de actos.

Los aeropuertos son el mayor atractivo para la comisión de este tipo de irrupciones dado que su impacto mediático es de mayor alcance y fácil acceso por parte de la prensa para el registro de los hechos en sitio al momento de estar cometiendo el acto violento o cuando se está intentando causar daño para obtener transmisiones “en vivo” y “en directo” para el mundo, tal como lo sugiere la Teoría de la violencia virtuosa de Alan Page Fiske y Tage Shakti Rai por las motivaciones que llevan a las personas a causar daño a los demás.

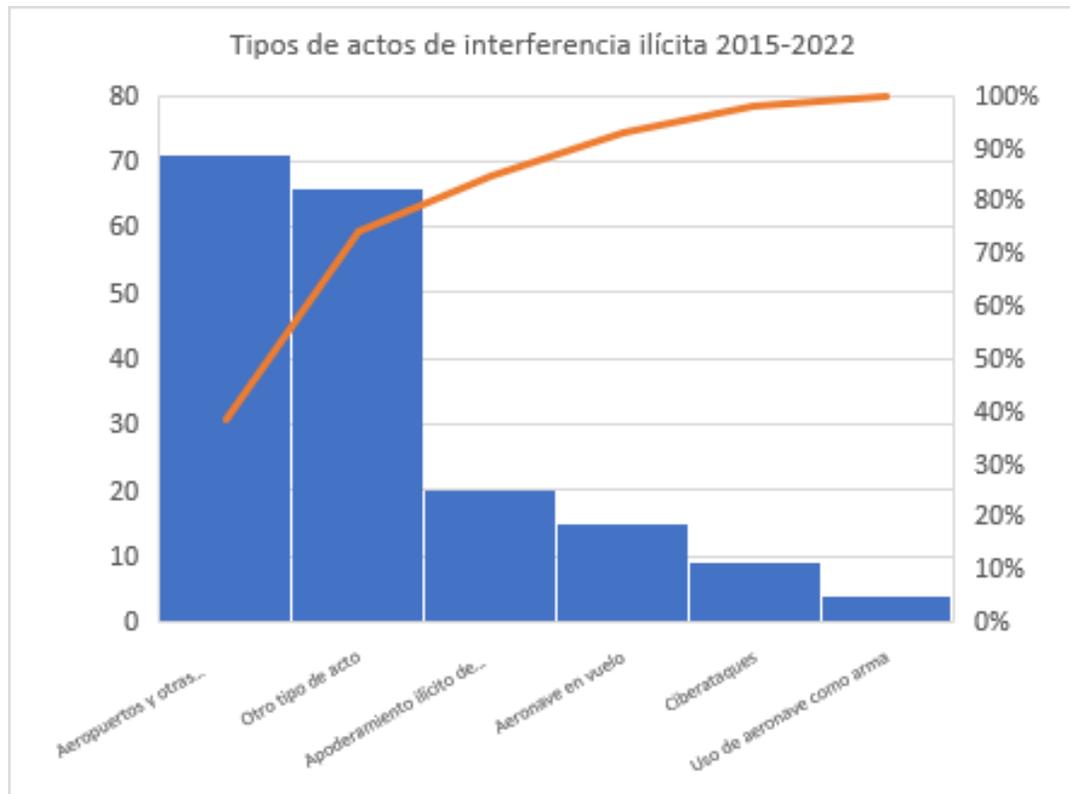


Figura 5: Representación bajo el modelo de Pareto del tipo de actos de interferencia ilícita cometidos globalmente.

Los estudios de seguridad de la aviación civil, se han derivado a consecuencia de los diversos eventos históricos sucedidos globalmente y el Estado mexicano ha estimado a estos como materia de seguridad nacional, tal como se expone en el artículo 5, párrafo VI de la [Ley de Seguridad Nacional \(2021\)](#) que considera como amenaza a la seguridad nacional a los actos en contra de la seguridad de la aviación.

Bajo la figura del “sentido de la seguridad” que debe prevalecer en materia de seguridad de la aviación civil en los talleres de mantenimiento de aeronaves, podemos reflexionar a los postulados de la Escuela de Copenhague por su propuesta de poner especial atención en evitar securitizar el efecto al momento de evaluar los alcances en la movilización de recursos para tener claras las amenazas y su grado de incidencia en este subsector de la aeronáutica, ya que los registros de actos de interferencia ilícita o al menos tentativas de estos, son inexistentes en el caso México como se ha expuesto.

Se ha venido exteriorizando que las medidas de seguridad contra actos de interferencia ilícita tradicionalmente se han enfocado en aeropuertos y aerolíneas y con ello se estaría depurando de esta a aquellos usos que puedan desviar la atención hacia problemas que no requieren una intervención del Estado frente a eventos a instalaciones de mantenimiento de aeronaves, es decir, mantener la integridad de sus instalaciones y evitar sea tratado de primera instancia como una cuestión de seguridad nacional definiendo así

como el “objeto referente de la seguridad” a las amenazas consumadas en las instalaciones de los talleres de mantenimiento aeronáutico en México.

“Uno de los problemas centrales al abordar la seguridad -según la Escuela de Copenhague- consiste en determinar la referencia del mismo concepto, esto es, el objeto referente de la seguridad” (Orozco Restrepo, 2021).

La seguridad de la aviación es medida con base en los niveles de peligro o amenazas detectadas, particularmente en los talleres de mantenimiento de aeronaves en México esta es nula, ello de acuerdo con la información proporcionada por la AFAC, por lo que al ser evaluada de esta forma podemos señalar que se trata de una seguridad relativa que en sentido objetivo mediría la ausencia de las amenazas y, bajo un sentido subjetivo, la ausencia del miedo de que las instalaciones puedan ser atacadas (Chanona, 2015)

Bajo esta perspectiva, de acuerdo con Salazar y Yenissey Rojas (2011), se debe evitar a toda costa la securitización como estrategia Estatal en la construcción de contextos de riesgos inexistentes contra la aviación civil internacional en la prestación de los servicios complementarios en México, específicamente en los talleres de mantenimiento de aeronaves con base en su posible situación de amenaza por interferencias, a efecto de evitar la inserción deliberada de “...un desarreglo en los ejes que dan estabilidad a la vida en todos los sentidos, puesto que el miedo y la angustia desatan una sensación de vivir en peligro...”, reconocido como psicología del terror con la falta de registros de la comisión de tentativas o actos de interferencia ilícita en estos talleres de mantenimiento a la fecha.

El monopolio del uso legítimo de la fuerza para garantizar la unidad, preservación y seguridad de la población pertenece al Estado; sin embargo, existen otros actores en lo nacional e internacional que pueden hacer uso ilegítimo de la violencia para el logro de sus objetivos (Richaud Torres, 2016).

No se tiene conocimiento respecto a actos de interferencia ilícita perpetrados en instalaciones de talleres de mantenimiento de aeronaves, en contraste, estos actos han sido cometidos a bordo de aeronaves o en instalaciones aeroportuarias en su mayoría, por lo que el terrorismo aeronáutico conocido hoy día se encuentra supeditado a las actividades del transporte aéreo más que a las actividades del mantenimiento de aeronaves y sus instalaciones, por el contrario, debe fortalecerse la evaluación de riesgos y amenazas en lo que respecta a instalaciones de mantenimiento de aeronaves como método preventivo para la protección de personas, instalaciones y aeronaves en mantenimiento, así como mecanismos de respuesta a emergencias frente a posibles amenazas.

Por su parte, apegados en las estrategias globales derivadas de las mejores prácticas en la industria, “En el GASep se identifican cinco resultados prioritarios clave en los que la OACI, los Estados y las partes interesadas deberían concentrar con urgencia sus esfuerzos” (OACI, 2021) y que muestran los avances que se han tenido a febrero del 2022 tal como se aprecia en la tabla 3 y se espera que para el 2030 el 100 % de los Estados superen el 90 % de implementación efectiva (EI por sus siglas en inglés).

Respecto de los seis aspectos prioritarios mundiales, el Estado no debe combinar medidas aplicables tradicionalmente a concesionarias, asignatarias y permisionarias del transporte aéreo y aeródromos civiles, toda vez que la naturaleza y actividades difieren de las que operan los talleres de mantenimiento de aeronaves, por lo que es sugerido para cada uno de ellos las medidas siguientes:

- **Prioridad mundial 1:** Mejorar la sensibilización y respuesta ante los riesgos.

La aviación civil, en su rubro de concesionarios y permisionarios del transporte aéreo, ha sido el objetivo ideal para delincuentes y terroristas dado el impacto mediático que representa un atentado

Tabla 3: Nivel de implementación efectiva (EI) del GAsEP al 28 de febrero del 2022

Región de la OACI	APAC	ESAF	EUR/NAT	MID	NACC	SAM	WACAF	Total
Num. de Estados	39	24	56	15	22	13	24	193
Num. de Estados auditados	37	22	54	13	22	13	23	184
Cantidad que superan 80 % de EI	10	5	43	6	4	2	3	73
Porcentaje que superan 80 % de EI	27 %	23 %	80 %	46 %	18 %	15 %	13 %	40 %

a la aviación civil, no solo en lo local, sino hasta lo regional y global.

Esto puede abarcar desde lesiones a personas, daños a instalaciones y aeronaves o simplemente el terror producido por estos actos, por lo que desde una perspectiva epistemológica debiera considerarse el estudio de las circunstancias históricas, psicológicas y sociológicas que conduzcan de fondo a la comprensión del porqué de las situaciones que afectan la seguridad de la aviación civil y conducimos hacia la verdad, objetividad, realidad o justificación en su caso.

A efecto de contribuir en esta prioridad mundial, se propone la difusión objetiva de los actos de interferencia ilícita sucedidos históricamente en la comunidad aeronáutica, particularmente en talleres de mantenimiento de aeronaves a nivel regional o internacional dado que en México no se cuenta con registros de ello. Este método puede considerarse como el mecanismo idóneo para mejorar la sensibilidad del personal, su difusión contribuirá en adecuar un plan específico de respuesta a la emergencia para los riesgos latentes en las instalaciones del mantenimiento de aeronaves, sin olvidar las amenazas internas y las de ciberseguridad que pudieran impactarle.

Un aspecto relevante es considerar la evaluación de riesgos desde el contexto de las actividades del mantenimiento de aeronaves acorde al tipo de instalaciones con las que cuenta para ello.

- **Prioridad mundial 2:** Mantener una cultura sólida y efectiva de seguridad de la aviación.

De acuerdo con la OACI, la cultura organizacional promueve un nivel de seguridad óptimo y la cultura de seguridad no debe aislarse de esta cultura integral de la organización.

La seguridad operacional promueve dentro de sus cánones la no punitividad frente la notificación de incidentes; sin embargo, en términos de “cultura justa”, ante actuaciones malintencionadas o con negligencia comprobada que conduzcan a hechos graves, incidentes, deficiencias o violaciones, debe aplicársele la punibilidad al infractor dado que se trata de elementos secundarios del delito, fijando la pena o sanción en función de este de acuerdo con el código penal aplicable (caso México el Art. 170 del Código penal federal), incluidos los señalados en acuerdos y tratados internacionales si las aeronaves en mantenimiento son de procedencia de otros Estados, dado que la Seguridad de la aviación civil contra actos de interferencia ilícita se destaca por tener una naturaleza jurídico-política y se sustenta tanto en el Anexo 17 como por Acuerdos multilaterales y bilaterales del Derecho Aeronáutico Penal de acuerdo con [Donato \(2015\)](#).

La cultura de seguridad se crea al paso del tiempo con la madurez de la organización y se encuentra basada en las percepciones, comportamientos y comprensión de esta forma de ser, pensar y actuar por parte de los empleados y apuntalada con el ejemplo de los altos directivos. Sólo así se va dando forma a las actitudes y actuaciones de todos dentro de una organización.

- **Prioridad mundial 3:** Desarrollar y promover el papel de los factores humanos.

Desde el espectro psicosocial, algunas personas sienten impulsos para actuar con violencia cuando piensan que es necesario, natural, legítimo, deseable, justificable, admirable y éticamente gratificante para con los demás. No se detienen a justificar sus acciones después de llevarlas a cabo, por el contrario, de acuerdo con la Teoría de la violencia virtuosa de Alan Page Fiske y Tage Shakti Rai, lo hacen en el instante en el que se está cometiendo el acto violento o cuando están intentando causar daño o la muerte a alguien que le parece merece sufrir o morir (Malo, 2015).

Los homicidas múltiples “se creen” con el derecho de actuar en forma destructiva como castigo o represalia contra aquellos a quienes considera como responsables de su desventura, humillación o ruina. Perciben al mal como algo fascinante, que atrae y seduce, y es comparable con la oportunidad de vivir una vida al límite, conseguir prestigio o gloria al crear una nueva identidad personal revestida de orgullo y sensación de control y poder.



Figura 6: Tipología del asesino según James Fox, Universidad de Boston.

Ante estas formas de actuación humana, contribuyendo a esta prioridad mundial que propone la OACI, es pertinente incluir en la capacitación AVSEC al personal de los talleres de mantenimiento de aeronaves, aquellos tópicos desde la perspectiva de la psicología que coadyuvan a los factores humanos y el entendimiento de las motivaciones de los probables perpetradores agudizando con ello su estado de vigilancia en la detección oportuna de posibles tentativas en contra de la organización.

- **Prioridad mundial 4:** Mejorar los recursos tecnológicos y fomentar la innovación.

Si bien se ha avanzado en la identificación de personas que ingresan a un Estado por vía aérea para brindarles facilitación en su despacho a través de la implementación de normas de control fronterizo mitigando así las demoras innecesarias (facilitación), ante el supuesto de instalaciones de talleres aeronáuticos que representan bajo riesgo frente a tentativas o actos de interferencia ilícita, se podría



Figura 7: Tipología del asesino según Vicente Garrido, Criminólogo y Doctor en Psicología.

innovar en sus controles de acceso con la implementación de la inteligencia artificial (IA) en sus sistemas de circuito cerrado de televisión (de contar con ellos), fomentando y apoyando al desarrollo e investigación mediante ensayos y pruebas de nuevos procesos y equipos, tal como lo propone el Doc. 10118 en su prioridad mundial 4 (OACI, 2024).

Se puede iniciar este proceso de accesos a la zona restringida en sus estacionamientos, edificios y oficinas administrativas como método alternativo para poner en marcha la recopilación de data y medir su efectividad en un periodo de tiempo determinado. Posteriormente con un soporte cuantitativo de posibles incidentes registrados, instaurarlo en las zonas de seguridad restringidas de las instalaciones de zonas de mantenimiento, lo cual contribuirá significativamente a la facilitación de accesos a las instalaciones, reduciendo tiempos de entrada/salida del personal y mejorando el control de tiempos y movimientos del personal técnico en la ejecución de tareas y a su vez, a la población en general presente en estos talleres de mantenimiento de aeronaves otorgando facilitación a los altos directivos por sus funciones en tanto los índices de amenaza sean extremadamente bajos.

- **Prioridad mundial 5:** Mejorar la vigilancia y el aseguramiento de la calidad

Si bien esta prioridad es plena competencia del Estado, de acuerdo con lo expuesto en OACI (2024), es prudente el establecimiento de mecanismos de acceso por parte del Estado (autoridades de la aviación civil) a las estadísticas locales, regionales y globales específicas de las acciones y medidas implementadas en talleres de mantenimiento de aeronaves respecto a la incidencia, tipo y frecuencia de tentativas y/o actos de interferencia ilícita.

La autoridad competente de cada Estado, en este sentido, debe ser la que establezca las acciones a implementar para evitar la recurrencia de aquellas tentativas o actos de interferencia ilícita y fungir como ente fiscalizador para medir los resultados logrados para que los talleres de mantenimiento de aeronaves cuenten con controles/defensas efectivas y mantengan o incrementen sus niveles de seguridad para atestar la calidad y eficacia de sus procesos.

Dentro de las propuestas de esta prioridad destaca la de “Dictar talleres periódicos de capacitación y armonización a fin de que todo el personal de auditoría del USAP tenga las competencias necesarias y esté perfectamente familiarizado con los SARPS y los textos de orientación” (OACI, 2024) y el Estado podría extender estos talleres a los responsables de la seguridad de la aviación civil de los talleres de mantenimiento aeronáutico a través de su Centro Internacional de Adiestramiento de Aviación Civil (CIAAC) o previendo autorizaciones a los organismos de capacitación de los permisionarios de talleres de mantenimiento o escuelas debidamente autorizadas para alcanzar el objetivo en menor tiempo.

Estos escenarios nos llevan a reflexionar que la autoridad de aviación civil en México, para la implantación de la seguridad de la aviación civil en talleres de mantenimiento aeronáutico, por sí sola se encuentra rebasada tanto en recursos como en capacidad técnica, por ello, el involucramiento de los diversos actores de la industria aeronáutica y de aviación civil son cruciales, lo que de facto nos conduce a la prioridad mundial número 6 para proponer la cooperación y apoyo entre Estado-industria ello a pesar de encontrarse abierta la posibilidad del uso de otros recursos, toda vez que no se limita a los propuestos por la OACI.

- **Prioridad mundial 6:** Incrementar la cooperación y el apoyo

De esta prioridad mundial, la misma OACI reconoce que presenta grandes dificultades para alcanzar la cooperación y apoyo entre los Estados dado que se tiene la impresión de que se vulnera a las organizaciones por tratarse de datos e información sensible y confidencial que pueda reducir sus actividades y degrade el prestigio alcanzado entre sus clientes o socios estratégicos. Otro mecanismo puede ser el “sabotaje” entre organizaciones del mantenimiento de aeronaves para desacreditar a la competencia y reducir la participación de permisionarios de este rubro.

Al respecto, como sugiere Sánchez (2021), “La solución a cualquier problemática debe abordarse desde perspectivas y visiones específicas de las diversas disciplinas, bajo un ambiente multidisciplinario con una guía y figura de autoridad con las atribuciones que la misma constitución y legislación le confiera que en este caso es el mismo Estado quien debe fungir como tal”, por lo que es de considerarse el modelo de “compartencias” propuesto por el autor para el establecimiento de un sistema de colaboración en la formación, conocimientos y experiencias como alternativa de solución para transitar hacia una educación de calidad y seguridad ampliada en la aviación civil, aplicable a los talleres de mantenimiento de aeronaves, objeto de la presente investigación.

5 Conclusiones

La industria y otras partes interesadas tienen un papel crucial en el mejoramiento de la seguridad de la aviación en el marco del GAsEP y pueden contribuir enormemente a la consecución del objetivo ambicioso a través de sus actividades. (OACI, 2021)

En aras de asistir al Estado bajo criterios de colaboración, cooperación y coordinación adecuados, los talleres de mantenimiento de aeronaves deberían ser quienes establezcan el protocolo correspondiente en apego a los principios rectores del Doc. 10118 (OACI, 2024), para que con base en sus experiencias y consecución de tales tentativas o actos de interferencia ilícita, basados en las actividades propias e infraestructura, presenten avances en la ejecución del plan para la seguridad de la aviación civil (GAsEP) para consolidar el fortalecimiento del Estado, proponiendo para tales efectos la:

1. Identificación, comprensión y gestión de los riesgos inherentes a la naturaleza de sus actividades y características de las zonas de mantenimiento.
2. Disponibilidad de personal profesional para integrar los principios de los factores humanos en las políticas nacionales y en la realidad práctica.
3. Creación y mantenimiento de una cultura de seguridad sólida y eficaz propia de las actividades del mantenimiento de aeronaves.
4. Establecimiento de mecanismos de protección ad hoc a talleres de mantenimiento aeronáutico.
5. Crear registros de eventos a través de la taxonomía con un sentido general en una base de datos Estatal con acceso a permisionarios y concesionarios bajo los preceptos de secretismo profesional.

Otro mecanismo alternativo es la creación de una asociación u órgano colegiado de talleres de mantenimiento aeronáutico gobernado por la industria y en colaboración con investigadores y académicos en la materia a niveles local, regional y global para el establecimiento de relaciones con actores de otros Estados con actividades del mantenimiento de aeronaves para el reconocimiento de problemas mutuos frente a la existencia de alguna posible amenaza derivada del entorno de la globalización. No se conoce en México y Latinoamérica organización exclusiva con estas funciones.

Se debería ampliar la perspectiva de protección a las personas considerando las diversas aristas de la seguridad de acuerdo con lo propuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) publicado en el Informe sobre Desarrollo Humano de 1994 donde se “generó por primera vez un amplio debate internacional sobre la definición de las principales amenazas, riesgos y vulnerabilidades que afectan la seguridad de los individuos” (Rojas Aravena, 2012), bajo la propuesta de cambio de enfoque de la protección del Estado y sus intereses para transitar a la seguridad de las personas y sus intereses.

Adicional, los especialistas en seguridad de la aviación civil deberían profundizar en aquellos tópicos de la psicología y factores humanos que orillan a las personas a cometer actos ilícitos y/o actos temerarios, tomando en consideración contextos políticos, culturales, sociales, históricos y religiosos para tratar de comprender los motivos que los orillan a cometer dichos actos con el propósito de prevenir de fondo las probables amenazas inherentes al sistema.

Debemos por igual adaptar al contexto local conceptos y estrategias para el constructo de una cultura de seguridad bajo un enfoque sistémico en lo personal y organizacional, erradicando la mala praxis de aislamiento de los actores del sistema para estar en posibilidades de cimentar una seguridad integral en la aeronáutica y con ello la implantación de la seguridad de la aviación civil a través de ciertos elementos constitutivos del “soft power” para poder “... influir en las decisiones de otros, de tal manera que se pueda alterar el entorno y así satisfacer los intereses personales” (Ramos Mendoza, 2023), particularmente para los talleres de mantenimiento aeronáutico: caso México, permitiéndoles la elección de los criterios en la concepción AVSEC en sus recintos que sean derivados de las amenazas reales y no bajo el enfoque de securitización para evitar desestimar o sobrevaluar la naturaleza de las posibles amenazas a las que se puedan enfrentar, toda vez que “... al enmarcar, identificar o definir un asunto como amenaza y por lo tanto como una cuestión “especial” que se sitúa fuera o más allá del juego político ordinario y que por ello requiere medidas excepcionales” transitaría a ser una amenaza para la seguridad a la seguridad nacional de acuerdo con Verdes Montenegro Escánez (2015), así como los señalados en la Ley de Seguridad Nacional (2021) en su artículo 5° reformada en el 2021.

Recordemos que las amenazas materializadas que nos han brindado lecciones en la aviación civil corresponden a un momento histórico; sin embargo, son dinámicas y evolucionan constantemente bajo el contexto global de acuerdo a los avances en la ciencia y tecnología, así como por la difusión mediática que propicia “imitadores y seguidores” o crea conocimiento a quienes desconocían los métodos de perpetrar actos de interferencia ilícita incitándoles a realizarlos.

La primera barrera de seguridad para evitar la introducción de artículos o sustancias prohibidas en cabina de pasajeros es la inspección del equipaje de mano y de la persona, ambas conducidas por los aeropuertos previo al ingreso a salas de última espera de pasajeros, empleados y tripulaciones; sin embargo, como método de duplicidad, los talleres de mantenimiento de aeronaves podrían conducir la inspección de seguridad de la aeronave previa a la entrega de esta a servicio.

Se debe tomar en consideración los diferentes instrumentos que promueven la represión de los actos o tentativas de interferencia ilícita a la aviación civil y analizar aquellas particularidades aplicables a las instalaciones de mantenimiento de aeronaves para adoptarles y/o modificarles de mantener pertinencia, tales como el Convenio de Tokio; Convenio de la Haya; Convenio de Montreal y su posterior protocolo; Convenio de Pekín; Convenio de Beijing; Convenio Internacional para la represión de la financiación del terrorismo; entre otros y los emitidos en materia de Ciberseguridad dados los recientes eventos que afectaron a la aviación civil internacional a finales del 2024. “... el conjunto de herramientas que dispone hoy día la comunidad aeronáutica Internacional asegura una red de prevención contra la comisión de actos de interferencia Ilícita” (Donato, 2015); sin embargo, no debemos olvidar que “... la OACI no tiene más poder que el que cada uno de los Estados contratantes soberanos quiera ejercer en procura de los objetivos estratégicos señalados, a efectos de que puedan concretarse en una red mundial de seguridad contra los actos de interferencia ilícita” (Donato, 2015).

El perfeccionamiento de la implantación de los programas en materia de seguridad de la aviación civil para talleres de mantenimiento aeronáutico, caso México, y su difusión a niveles local y regional serán ejemplo y modelo idóneo para la industria en la aplicación de estas medidas y modelo de protección, contribuyendo a la mejora continua mediante las mejores prácticas de la industria.

A través de la gobernanza e investigaciones futuras derivadas de esta investigación, se pueden proponer modelos o teorías y acciones que anticiparía acciones frente a las posibles amenazas de las que pudiera ser objeto este subsector de la industria aeronáutica, desde la praxis y expertise por parte de los actores, hasta el análisis teórico producto de la percepción del riesgo por parte de la autoridad de aviación civil, industria, sociedad y academia, denotando su posible impacto y consecuencias al Estado-nación.

6 Referencias

Chanona, A. (2015). *La Comunidad de Seguridad en América del Norte. una perspectiva comparada con la Unión Europea*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Diario Oficial de la Federación (7 de Enero de 2013). NOM-064-SCT3-2012, “Que establece las especificaciones del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional”. En Diario Oficial de la Federación (México). Gobierno de la República.

Dirección General de Aeronáutica Civil (09 de Febrero 2024). CO SA-17.18/24: Que establece los requisitos mínimos de ciberseguridad que deberán implementar las personas concesionarias, asignatarias y permisionarias del transporte aéreo, aeródromos civiles, y prestadores de servicios aeroportuarios y

complementarios para prevenir actos de interferencia ilícita perpetrados mediante medios de ataque remotos, cibernéticos, informáticos y/o tecnológicos. (México). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/893544/co-sa-17-18-24-1r-19022024rev.pdf>.

Dirección General de Aeronáutica Civil (Diciembre 2019). CO SA-17.16/19: Que establece la metodología para evaluación de amenazas y gestión de riesgos en seguridad de la aviación civil. (México). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/598317/co-sa-17-16-19.pdf>.

Donato, Á. M. (2015). La oaci y el terrorismo aeronáutico. *Revista Jurídica de Buenos Aires*, (90):71–94. Disponible en: https://repositorioubi.sisbi.uba.ar/gsd/collect/juridica/index/assoc/HWA_3972.dir/3972.PDF.

García Acosta, V. (2005). El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. *Desacatos*, (19):11–24. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-050X2005000300002&lng=es&tlng=es.

Ley de Aeropuertos (3 de mayo del 2023). Reformada Diario Oficial de la Federación [DOF] (México). Disponible en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/833984/ley-de-aeropuertos-03-05-23u-220623.pdf>.

Ley de Aviación Civil (2023). Reformada Diario Oficial de la Federación [DOF] 3 de mayo del 2023, (México). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/834913/ley-aviacion-civil-ur-vigente.pdf>.

Ley de Seguridad Nacional (2021). Reformada Diario Oficial de la Federación [DOF] 20 de mayo del 2021, (México). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LSN.pdf>.

Malo, P. (2015). La violencia virtuosa. Evolución y Neurociencias. <https://evolucionyneurociencias.blogspot.com/2015/06/la-violencia-virtuosa.html#:~:text=La%20violencia%20es%20virtuosa%20cuando,que%20deben%20ser%20las%20relaciones.https://www.icao.int/Security/Documents/GLOBAL%20AVIATION%20SECURITY%20PLAN%202nd%20Ed.SP.pdf>.

OACI (2011a). Manual de facilitación: Doc. 9957.

OACI (2011b). Manual de Seguridad de la Aviación Civil: Doc. 8973/8 (8.a ed.).

OACI (2021). Ejecución del plan global para la seguridad de la aviación (GASep) (No A41-WP/4). Comité ejecutivo, Asamblea 41 periodo de sesiones. https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/WP/wp_004_es.pdf.

OACI (2024). Doc. 10118 Plan global para la seguridad de la aviación civil (Segunda edición). Disponible en: <https://www.icao.int/Security/Documents/GLOBAL%20AVIATION%20SECURITY%20PLAN%202nd%20Ed.SP.pdf>.

OACI (Julio 2022). Anexo 17 Seguridad de la aviación civil Protección de la aviación civil internacional contra los actos de interferencia ilícita (Décimo segunda edición). <https://www.icao.int/Security/SFP/Pages/Annex17.aspx>.

Orozco Restrepo, G. A. (2021). El aporte de la escuela de copenague a los estudios de seguridad. *Revista Fuerzas Armadas y Sociedad*, 1(20):141–162. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/96323954/El-aporte-de-la-escuela-de-copenhague-a-los-estudios-de-seguridadpdf/>.

Ramos Mendoza, K. F. (2023). La importancia del soft power y la diplomacia cultural en México. *Cámara Periodismo Legislativo*. <https://comunicacionsocial.diputados.gob.mx/revista/index.php/pluralidad/la-importancia-del-soft-power-y-la-diplomacia-cultural-en-mexico>.

Reglamento de la Ley de Aeropuertos (2018). Reformada Diario Oficial de la Federación [DOF] 21 de junio del 2018, (México). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/880617/reg-ley-aero-210618-11012024.pdf>.

Reglamento de la Ley de Aviación Civil (2023). Reformada Diario Oficial de la Federación [DOF] 31 de mayo del 2023, (México). https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LAC.pdf.

Richaud Torres, J. I. (2016). Los actos de interferencia ilícita en la aviación civil y la seguridad nacional: el atentado del 11 de septiembre de 2001. Tesis de máster, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM. Disponible en: <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000742571/3/0742571.pdf>.

Rodríguez Bribiesca, A. (2022). La “pirámide de Kelsen” versus la jerarquización escalonada de las normas y su importancia en la validez normativa dentro de la enseñanza del derecho. *Hechos y Derecho*, (67). Disponible en <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/hechos-y-derechos/article/view/16701/17295>.

Rodríguez López, M., Piñeiro Sánchez, C., y De Llano Monelos, P. (2013). Mapa de riesgos: Identificación y gestión de riesgos. *Atlantic Review Of Economics*, 1(2):11–24. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4744304>.

Rojas Aravena, F. (2012). *Seguridad humana: nuevos enfoques*. FLACSO. Disponible en: <https://www.corteidh.or.cr/tablas/30032.pdf>.

Salazar, P. R. y Yenissey Rojas, I. (2011). La securitización de la seguridad pública: una reflexión necesaria. *El Cotidiano*, (166):33–43. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/325/32518423004.pdf>.

Sánchez, R. E. (2021). *Repensando la educación superior: prospectiva de la ingeniería aeronáutica en México*. Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey.

Verdes Montenegro Escáñez, F. J. (2015). Securitización: agendas de investigación abiertas para el estudio de la seguridad. *Relaciones Internacionales*, (29):111–131. Disponible en: <https://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/cd2/index/assoc/ri20030.dir/ri20030.pdf>.

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, Ciencias Aeronáuticas, Ciencias Astronáuticas y Ciencias Afines.

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.

La revista Ciencias Espaciales publicará artículos originales, utilizando un software especializado para la detección de plagio como garantía de la originalidad de los trabajos recibidos. Sólo se permitirá la publicación de artículos no originales en el marco de convenios realizados con otras publicaciones de las mismas disciplinas comprendidas por la Revista Ciencias Espaciales, informando expresamente de esta situación.

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 las bases de datos de Central American Journal Online (CAMJOL) y Latindex.

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 - Compartir igual (CC BY-NC-SA), de acuerdo con la "Declaración de México a favor del ecosistema latinoamericano de acceso abierto no comercial".



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 <https://cienciasespaciales.unah.edu.hn/revista-ciencias-espaciales/> 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, en su séptima edición, 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: 4 de diciembre de 2024.

Fecha de aprobación: 4 de diciembre de 2024.



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>