

Análisis de la subsidencia de la Isla Gardí Sugdub de San Blas: causas, consecuencias y estrategias de mitigación mediante teledetección

Analysis of subsidence on Gardí Sugdub Island in San Blas: causes, consequences, and mitigation strategies through remote sensing

Irving Isaac Isaza Santos

Universidad de Panamá. Panamá

irving.isaza@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-4029-0992>

Italo Biancheri Torero

Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá

italo.biancheri@utp.ac.pa <https://orcid.org/0009-0003-6829-7613>

Arquímedes Carrasco Morales

Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá

arquimedes.carrasco@utp.ac.pa <https://orcid.org/0009-0000-4899-302X>

Recepción: 29 de septiembre de 2024

Aprobación: 10 de febrero de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.7227>

Resumen-

La isla de Gardí Sugdub es una de las numerosas islas que pertenecen a la parte insular del archipiélago de San Blas donde se está enfrentando una amenaza crítica debido al hundimiento y la erosión costera, por lo cual este estudio analiza las causas incluyendo la del cambio climático y la erosión utilizando métodos de teledetección mediante satélite y análisis geoestadístico donde se obtienen datos precisos y actualizados para evaluar la magnitud y el ritmo del hundimiento donde los hallazgos sugieren, la necesidad de una acción urgente y coordinada para abordar las causas subyacentes y de desarrollar soluciones sostenibles. Este artículo ofrece una visión comprensiva del fenómeno de subsidencia de la isla Gardí Sugdub, destacando la importancia de integrar el conocimiento científico, las prácticas tradicionales y la tecnología avanzada en la gestión ambiental.

Palabras clave: adaptación, mitigación, cambio climático, erosión costera, teledetección

Abstract-

The island of Gardí Sugdub is one of the numerous islands that belong to the insular part of the San Blas archipelago where it is facing a critical threat due to subsidence and coastal erosion, for which this study analyzes the causes, including climate change. and erosion using satellite remote sensing methods and geostatistical analysis where accurate and up-to-date data is obtained to assess the magnitude and pace of subsidence where the findings suggest the need for urgent and coordinated action to address the underlying causes and develop solutions sustainable. This article offers a comprehensive view of the subsidence phenomenon of Gardí Sugdub Island, highlighting the importance of integrating scientific knowledge, traditional practices and advanced technology in environmental management.

Keywords: adaptation, mitigation, climate change, coastal erosion, remote sensing

INTRODUCCIÓN

La subsidencia se refiere al hundimiento gradual de la corteza terrestre, ya sea continental o submarina que es un fenómeno que implica el asentamiento de la superficie terrestre (Corapcioglu, 1984), ya que (Roberto Tomás, 2010) indica que puede ser causado por diversas razones y generar considerables daños en las infraestructuras asentadas sobre ella.

Aunque la subsidencia es un riesgo natural generalmente caracterizado por lentos movimientos de tierra, rara vez se convierte en un peligro para la vida humana. Sin embargo, puede afectar diversas áreas durante largos periodos, causando deformaciones que varían desde unos pocos milímetros hasta varios metros. Si afecta áreas metropolitanas, puede ocasionar importantes daños estructurales e infraestructurales con altos costos consecuentes

El archipiélago de San Blas, situado en la costa caribeña de Panamá, es un conjunto de más de 365 islas e islotes que no solo destacan por su belleza natural, sino también por su significancia cultural para el pueblo indígena Guna. Estas islas, conocidas por sus aguas cristalinas y su rica biodiversidad, están experimentando un fenómeno preocupante: el hundimiento y la erosión costera. Las razones detrás de este problema son diversas y complejas, involucrando tanto factores naturales como antropogénicos.

El cambio climático, manifestado a través del aumento del nivel del mar y el incremento en la frecuencia y severidad de eventos climáticos extremos, es una de las principales causas del hundimiento de las islas. Además, la erosión natural de las costas se ve acelerada por actividades humanas, como la construcción, la deforestación y el turismo no regulado, que alteran los procesos ecológicos y geomorfológicos de la región.

Este aumento del nivel del mar representa una seria amenaza para el hábitat de la población Guna, con el riesgo de que desaparezca a finales de este siglo. Según el escenario de emisiones moderadas del IPCC RCP4.5, se proyecta una elevación del nivel del mar de 55 cm hacia el año 2090, con una probabilidad del 50% de superarse, y de 75 cm si se quiere reducir esta probabilidad al 10%. Es necesario realizar estudios específicos de dinámica costera y de impacto para buscar alternativas razonables y consensuadas con la población Guna. (Ros García et al., 2020)

Este artículo pretende abordar las causas y consecuencias del hundimiento de la isla de Gardí Sugdub utilizando métodos de teledetección avanzados, utilizando imágenes satelitales georreferenciadas y geoestadística, ya que estas tecnologías permiten obtener datos precisos sobre la dinámica costera y el cambio en la topografía de las islas. A través de una revisión exhaustiva de la literatura científica y el análisis de datos empíricos en el presente estudio.

Analizar las causas, consecuencias y posibles soluciones al fenómeno del hundimiento, de la isla Gardí Sugdub de San Blas con el fin de proporcionar una visión comprensiva, utilizando métodos avanzados de teledetección como imágenes satelitales georreferenciadas y geoestadística.

MATERIALES Y MÉTODOS

Georreferenciación de la Isla Gardí Sugdub:

Se va a utilizar las imágenes de Google Earth para determinar y georreferenciar el área total de la isla Gardí Sugdub, ubicada en las coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM):

Tabla 1.

Puntos UTM de georreferenciación de la Isla Gardí Sugdub con el Datum EPSG:4326 - WGS 84.

Punto	Este	Norte
1	724014.00	1047457.00
2	723720.00	1047429.00
3	723697.00	1047622.00
4	723883.00	1047620.00

Figura 1.

Ubicación del área de estudio de la Isla Gardí Sugdub.

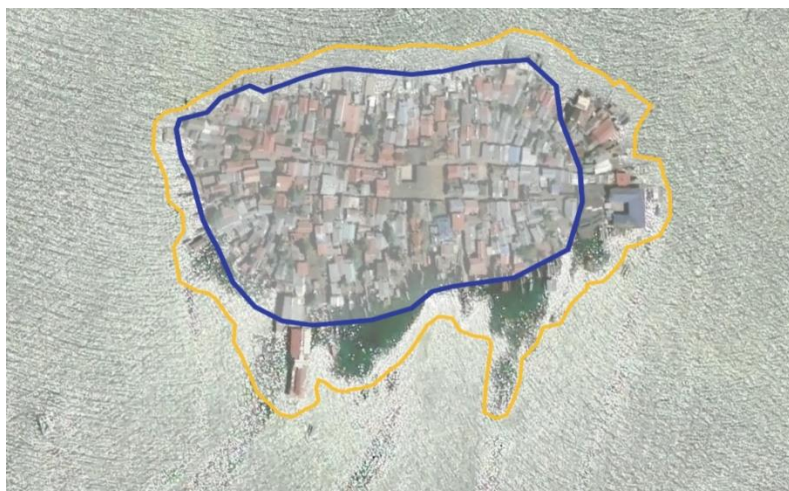


Georreferenciación del Área Habitada y No Inundada:

Delimitar las áreas habitadas y no inundadas en la isla utilizando imágenes satelitales, asegurando la georreferenciación precisa y la creación de polígonos correspondientes en Google Earth.

Figura 2.

Imagen de Zonas Inundadas y No Inundadas: Donde el área dentro del contorno azul es el área habitada y al exterior es la inundada respectivamente

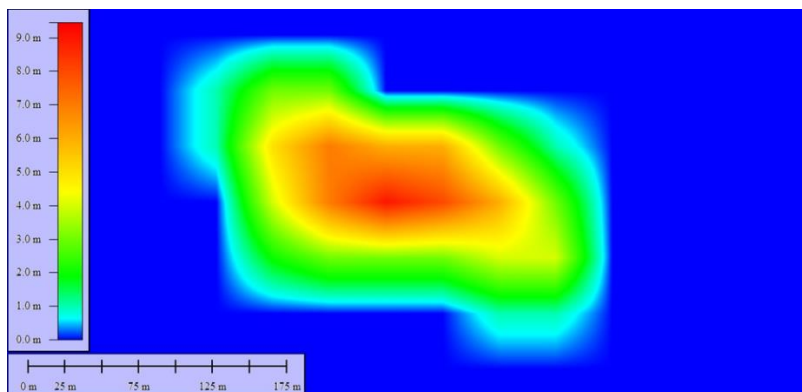


Generar un Ráster de Elevación Mediante Interpolación IDW:

Utilizar curvas de nivel de elevación para crear un raster de elevación de la isla mediante el método de Interpolación por Ponderación Inversa de Distancia (IDW), ajustado al sistema Datum EPSG:4326 - WGS 84.

Figura 3.

Imagen del ráster de elevación generada mediante interpolación IDW de la Isla Gardí Sugdub año 2024.

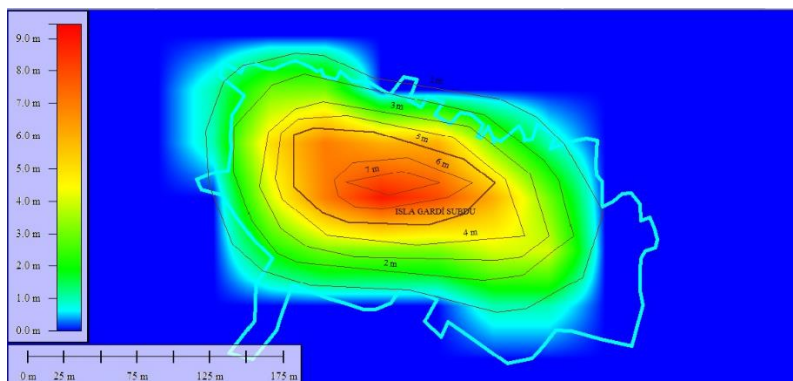


Clasificar las Áreas Inundadas y No Inundadas:

Identificar y clasificar las áreas inundadas y no inundadas en la isla Gardí Sugdub utilizando el ráster de elevación generado, estableciendo un umbral para el nivel del mar (alrededor de 1 a 0 metros de elevación).

Figura 4.

Imagen del ráster de elevación generada mediante interpolación IDW junto con las curvas de nivel de la isla Gardí Sugdub.



Delimitar el área total de la Isla Gardí Sugdub:

Se utilizó imágenes satelitales de Google Earth por los años 2011, 2013 y 2019 para hacer una comparativa del área observada en la isla y se muestra en la siguiente tabla:

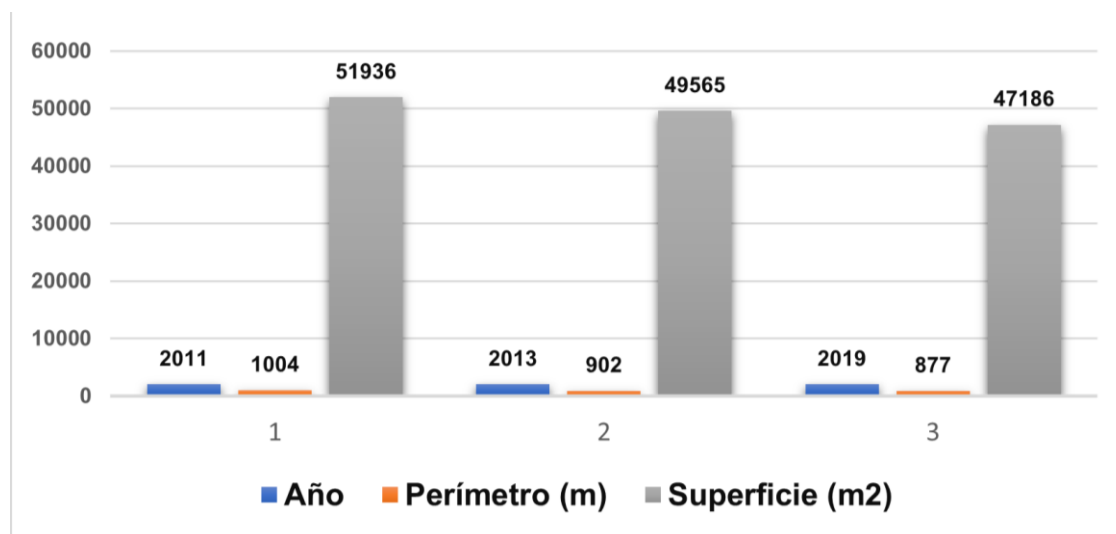
Tabla 2.

Tabla comparativa del perímetro y superficie de la Isla Gardí Sugdub en los años 2011, 2013 y 2019.

Año	Perímetro (m)	Superficie (m ²)
2011	1004	51936
2013	902	49565
2019	877	47186

Figura 5.

Comparación – Datos de superficie año 2011-2019



Datos Utilizados:

Curvas de Nivel de Elevación: Datos topográficos de la isla obtenidos de fuentes geoespaciales.

Imágenes Satelitales: Imágenes de Google Earth para la visualización y georreferenciación de la isla.

Sistema de Referencia

Sistema de Referencia: Datum EPSG:4326 - WGS 84 y Universal Transverse Mercator (UTM), utilizado para asegurar la consistencia espacial en la georreferenciación y análisis de datos.

Georreferenciación:

Área Total de la Isla: Utilizar imágenes satelitales de Google Earth para georreferenciar el área total de la isla Gardí Sugdub, creando un polígono en el sistema EPSG:4326 - WGS 84.

Figura 6.

Imagen de la Isla Gardí Sugdub con polígono representativo del año 2011



Figura 7.

Imagen de la Isla Gardí Sugdub con polígono representativo del año 2013

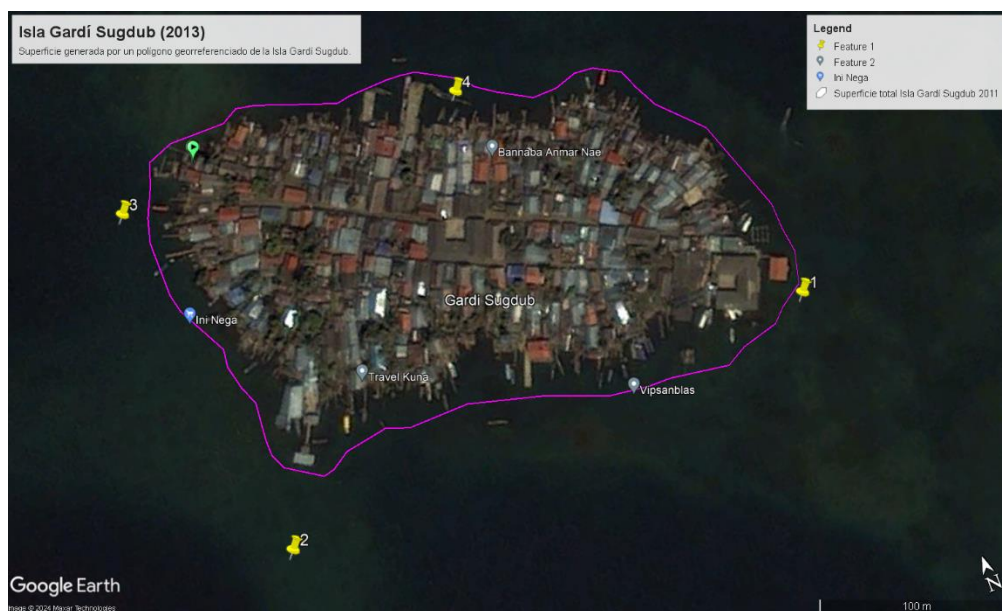


Figura 8.

Imagen de la Isla Gardí Sugdub con polígono representativo del año 2019



Identificación de Áreas Inundadas:

Definición del Umbral de Inundación: Establecer un umbral para el nivel del mar (0 metros de elevación) para clasificar las áreas como inundadas o no inundadas.

Clasificación del Raster: Reclasificar el raster de elevación para identificar las áreas por debajo o a nivel del mar y, por lo tanto, inundadas.

Análisis de Datos

Cálculo de Áreas:

Área Total de la Isla: Determinar el área total de la isla como 62 674,67 m², utilizando imágenes satelitales de Google Earth y georreferenciación.

Área Habitante y No Inundada: Determinar el área habitada y no inundada como 37 704,61 m², correspondiente a áreas al menos 1 m sobre el nivel del mar.

Área Inundada: Calcular el área inundada como la diferencia entre el área total de la isla y el área habitada y no inundada.

Área Total de la Isla: 62 674,67 m².

Área Habitante y No Inundada: 37.704,61 m², correspondiente a áreas al menos 1 m sobre el nivel del mar.

$$Area\ Inundada = Area\ total - Area\ no\ Inundada$$

$$Area\ Inundada = 62\ 674,67\ m^2 - 37\ 704,61\ m^2$$

$$Area\ Inundada = 24\ 970,06\ m^2$$

Software Utilizado: QGIS - ArcGIS para la interpolación IDW y análisis espacial, trabajando en el sistema de referencia EPSG:4326 - WGS 84.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

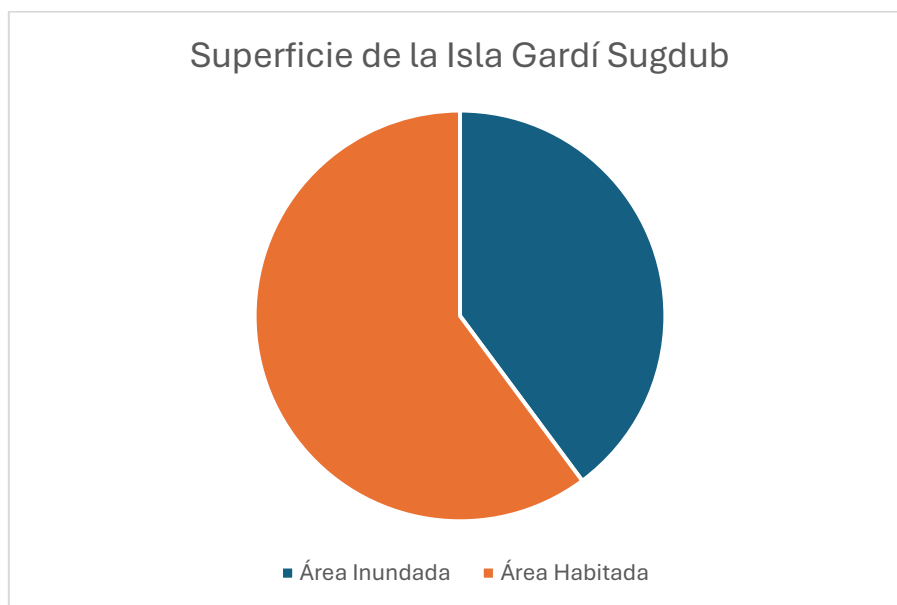
Figura 9.

Muestra la isla Gardí Sugdub georreferenciada utilizando imágenes satelitales de Google Earth con las curvas de nivel generadas en la Isla.



Figura 10.

Distribución de la superficie habitada



Nota. El color naranja para el área habitada de la isla Gardí Sugdub y el color azul para el área inundada de la isla Gardí Sugdub.

Interpretación de Resultados

- **Distribución de Áreas:**
 - El análisis espacial muestra que aproximadamente el 39.8% del área total de la isla Gardí Sugdub está actualmente inundada, mientras que el 60.2% se encuentra por encima del nivel del mar y no está inundada. Este resultado es significativo ya que indica una porción considerable de la isla que está afectada por inundaciones.
- **Impacto en la Comunidad:**
 - La identificación de áreas inundadas revela un riesgo importante para la infraestructura y los habitantes de la isla. Las zonas inundadas podrían estar afectando viviendas, vías de comunicación, y servicios esenciales, lo que sugiere la necesidad de intervenciones para mitigar estos riesgos.

- **Uso del Terreno:**
 - La clasificación de las áreas inundadas y no inundadas puede servir para planificar el uso del terreno en la isla. Por ejemplo, las zonas que están por encima del nivel del mar pueden ser priorizadas para desarrollo residencial o infraestructura crítica, mientras que las áreas propensas a inundaciones pueden ser destinadas para usos menos vulnerables o ser objeto de proyectos de mitigación de inundaciones.
- **Validación del Método:**
 - La utilización de IDW y curvas de nivel de elevación para generar el raster de elevación ha demostrado ser una técnica eficaz para evaluar las condiciones de inundación en la isla. La combinación de datos de teledetección y análisis en Global Mapper ha permitido obtener una representación precisa y detallada del terreno y su vulnerabilidad a las inundaciones.
- **Posibles Cambios Futuro:**
 - Considerando los cambios climáticos y el aumento del nivel del mar, es probable que las áreas actualmente no inundadas puedan estar en riesgo en el futuro. Este estudio puede servir como línea base para monitorear y proyectar cambios en la vulnerabilidad de la isla a largo plazo.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten una mejor comprensión de la distribución de áreas inundadas en la isla Gardí Sugdub. La metodología empleada, utilizando IDW y datos geoespaciales, ha demostrado ser efectiva para la evaluación precisa del terreno en términos de inundación.

La información sobre las áreas inundadas puede ser útil para la planificación y gestión del riesgo de inundaciones en la isla. Puede servir como base para el desarrollo de estrategias de mitigación y para la toma de decisiones en relación con el uso del suelo y la infraestructura.

Se sugiere la integración de datos adicionales y más detallados, como modelos de elevación más precisos o datos de eventos de inundación pasados, para mejorar la precisión del análisis. Además, explorar otros métodos de interpolación y técnicas de análisis espacial podría proporcionar perspectivas adicionales sobre la dinámica de inundación en la isla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agard, J., L. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M. Prather, M. Rivera-Ferre, O.C. Ruppel, A. Sallenger, K. Smith, A. St. Clair, (2014), “Glossary”, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on ClimateChange.
- Albarracín González, S., Alcántara Carrió, J., & Fontán Bouzas, Á. (2012). Riesgo de hundimiento en la Laguna de Santos Morcillo (Lagunas de ruidera). *Avances de la geomorfología en España, 2010-2012: actas de la XII Reunión Nacional de Geomorfología, Santander, 17-20 septiembre de 2012, 2012, ISBN 978-84-86116-54-5, págs. 190-193, 190-193.*
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8205749>.
- Carvajal, A. (2008). Fenomeno de la subsidencia en minería subterránea. Serena; Chile: Universidad de la Serena.
- Céspedes Plasencia, J. J., & Soto Oblea, C. R. (2023). Análisis de imágenes de satélite por teledetección para determinación de erosión y sedimentación de manera natural y antropogénica de la bahía del Callao. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/671684>.
- Corapcioglu. (1984). Land subsidence a state-of-the-art review. NATO ASI Series E.82, Martinus Nijhoff Publishers.

- García Mirquez, N. J. & Silva Guevara, E. E. (2015). Estado Del Arte Fenómeno De La Subsistencia En Bogotá. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/4907>.
- Penejaute Alemán, I. (2009). Propuesta de seguimiento, mediante técnicas de teledetección, de la dinámica de los sedimentos en el litoral meridional de la isla de Gran Canaria. *Vector plus: miscelánea científico - cultural*, 34, 49-56.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3384923>.
- Prokopovich. (1979). genetic clasification on land subsidence. Florida; New York: pensacola Beach.
- Roberto Tomás, G. H. (2010). Subsistencia De La Tierra. En Enseñanza De Las Ciencias De La Tierra, Vol 17 (págs. 295-302). Mexico.
- Ros García, J. M., Irastorza Ruigómez, L., & González, R. (2020). Previsiones del impacto sobre el cambio climático. Archipiélago de San Blas (Panamá). *Ciudad y territorio: Estudios territoriales*, 205, 575-590.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7615999>
- Tessitore, S. (2014). Application od DInSAR techniques to the monitoring of ground deformations. Barcelona: UNIVERSITAT POLIÈCNICA DE CATALUNYA.