

Sistema de información geográfica como peritaje en los delitos de vertidos de sustancias tóxicas en áreas protegidas

MACIAS, MADELAINE

Universidad Metropolitana De Educación, Ciencia Y Tecnología
Panamá Oeste, Panamá

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6220-0707>

UREÑA, KIMBERLY

Universidad Metropolitana De Educación, Ciencia Y Tecnología
Panamá Oeste, Panamá

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7608-9805>

Abstract

The incorporation of Geographic Information Systems (GIS) as an expert tool in criminal proceedings for environmental crimes, specifically for the dumping of toxic substances in protected areas, is analyzed in accordance with Article 399 of the Panamanian Criminal Code. The study focuses on the landfill in the district of Chame, where damage to mangroves and natural resources has been identified, highlighting the need for technical means to document environmental damage. The objective is to evaluate the usefulness of GIS as an expert tool and propose its incorporation into the Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences in order to strengthen criminal investigations. The methodology used was a mixed approach, based on document review, technical analysis of GIS platforms, use of remote sensors, and surveys of the area's population. The results show that GIS allows for comparison of the state of the area before and after contamination using georeferenced maps and dispersion models. The surveys reflect the environmental impacts. In conclusion, the implementation of GIS would strengthen technical evidence in environmental crimes and improve expert services in Panama.

Keywords: Environment, crime, expertise, toxic substances, investigations.

Resumen

Se analiza la incorporación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta pericial en los procesos penales por delitos ambientales, específicamente por vertido de sustancias tóxicas en áreas protegidas, conforme al artículo 399 del Código

Penal panameño. El estudio se centra en el vertedero del distrito de Chame, donde se han identificado afectaciones al manglar y a los recursos naturales, lo que evidencia la necesidad de medios técnicos para documentar el daño ambiental. El objetivo es evaluar la utilidad de los SIG como peritaje y proponer su incorporación al Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses, con el fin de fortalecer las investigaciones penales. La metodología empleada fue de enfoque mixto, basada en revisión documental, análisis técnico de plataformas SIG, uso de sensores remotos y encuestas a la población del área. Los resultados muestran que los SIG permiten comparar el estado del área antes y después de la contaminación mediante mapas georreferenciados y modelos de dispersión. Las encuestas reflejan las afectaciones ambientales. En conclusión, la implementación de los SIG fortalecería la prueba técnica en los delitos ambientales y mejoraría los servicios periciales en Panamá.

Palabras claves: Ambiente, delito, pericial, tóxicos, investigaciones.

1. INTRODUCCIÓN

La investigación tiene como finalidad analizar la utilidad del Sistema de Información Geográfica (SIG) como peritaje en la investigación de delitos ambientales por vertido de sustancias tóxicas en áreas protegidas, específicamente en el manglar del distrito de Chame, donde anteriormente operaba un vertedero. El uso de los SIG permite una visualización precisa del daño ambiental, facilitando la comprobación de las conductas delictivas y la vinculación de personas naturales o jurídicas en los procesos penales.

Estas herramientas, junto con sensores y análisis geoespacial, contribuyen al monitoreo responsable de los recursos naturales y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente los ODS 13 y 15. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas tecnológicas que permiten recopilar, analizar y visualizar datos georreferenciados para comprender fenómenos que ocurren en el territorio. Su capacidad para integrar información espacial los convierte en instrumentos fundamentales para la gestión ambiental, especialmente en la detección, monitoreo y prevención de vertidos tóxicos que afectan la biodiversidad y los recursos hídricos en áreas protegidas. La incorporación de la teledetección, mediante imágenes satelitales y drones, ha fortalecido la vigilancia ambiental al facilitar la identificación de cambios físicos, químicos y térmicos en suelos y cuerpos de agua.

Un SIG se compone de hardware, software, datos geográficos y personal especializado, y puede operar desde niveles básicos de elaboración de mapas hasta sistemas avanzados de apoyo a la toma de decisiones que permiten modelar escenarios ambientales. En el ámbito medioambiental, los SIG son esenciales para la gestión sostenible de recursos como el agua, los bosques y la biodiversidad, así como para el seguimiento de especies y la conservación

de hábitats en zonas protegidas.

En Panamá, los SIG son utilizados por diversas instituciones públicas para el monitoreo ambiental, la planificación urbana, la cartografía oficial y la gestión de recursos hídricos. Su desarrollo combina software libre y propietario, el uso de imágenes satelitales y drones, y la integración de bases de datos espaciales. Estos sistemas permiten detectar anomalías, generar alertas tempranas y servir de apoyo técnico en la toma de decisiones y en procesos legales relacionados con delitos ambientales.

Estudios de la Universidad de Panamá, la Organización Panamericana de la Salud y el Ministerio de Ambiente evidencian altos niveles de contaminación, presencia de metales pesados y deterioro progresivo del ecosistema en la zona.

Pese a que el área se encuentra protegida por la Resolución AG-0364 de 2009, la falta de vigilancia constante y de pruebas técnicas efectivas ha dificultado la sanción de los responsables. En este contexto, los SIG se presentan como una herramienta clave para detectar, documentar y judicializar los daños ambientales de manera objetiva y oportuna.

2. MÉTODO

La investigación se desarrolló bajo un método mixto (cuantitativo y cualitativo) basado en la revisión de fuentes científicas, normativas ambientales y estudios de caso nacionales relacionados con la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la detección de vertidos tóxicos en áreas protegidas. Se efectuó diferentes etapas para lograr los objetivos de la investigación.

1. Recolección de datos secundarios provenientes de artículos científicos, informes institucionales, plataformas satelitales y normativa panameña vigente.
2. Análisis teórico-técnico sobre la estructura y funcionamiento de los SIG en Panamá.
3. Revisión de casos aplicados como el sistema de monitoreo de la Bahía de Chame.
4. Identificación de componentes técnicos clave: sensores remotos, plataformas SIG (QGIS, ArcGIS), drones, bases de datos espaciales y modelos de dispersión. Evaluación de la utilidad probatoria del SIG dentro del marco penal panameño (artículos 399 del Código Penal).
5. Se trabajó con una población directa específicamente en el área de Chame.

3. RESULTADOS

Los SIG no son la prueba en sí misma, pero sí son herramientas técnicas esenciales que producen evidencia pericial robusta. El sistema produce datos como mapas georreferenciados que indican el sitio preciso del derrame, modelos de dispersión de contaminantes, estudios satelitales del perjuicio y series de tiempo del suceso, puede ser incorporada en un informe pericial y presentada ante un tribunal.

La encuesta realizada a la población cercana al vertedero de Chame en su mayoría coincide que puede percibir afectaciones en el agua, fauna cercana a este; además tienen conocimiento sobre las denuncias que se han interpuesto por el vertido de sustancias tóxicas en el área. Sin embargo, respecto a los SIG, muy pocas personas conocen la existencia de los mismos. El uso de esta tecnología hará más fácil para los fiscales sustentar imputaciones formales de cargos y respaldar medidas cautelares, sirviendo como evidencia técnica clave en juicios orales.

Se propone la implementación formal de los SIG en el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses (IMELCF), mediante la creación de un departamento especializado para el análisis geoespacial, que sea responsable de elaborar los informes periciales.

Figura 1. número de denuncias por delitos ambientales de enero a julio de 2025.

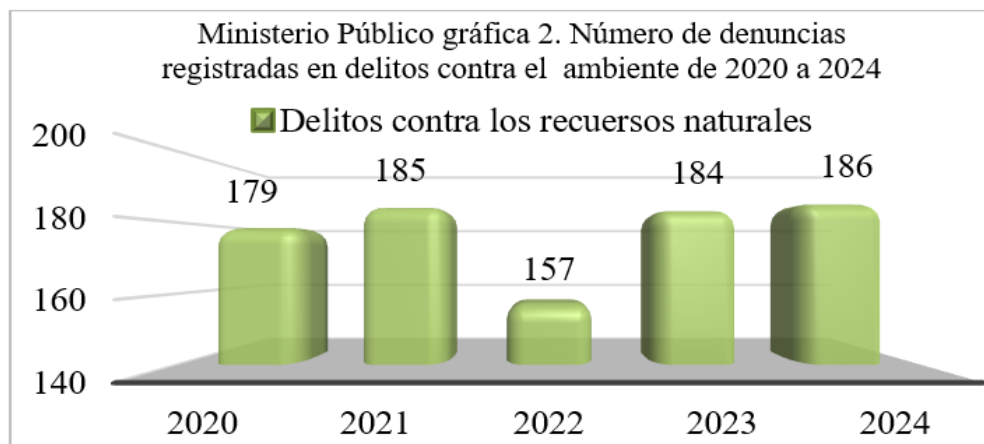
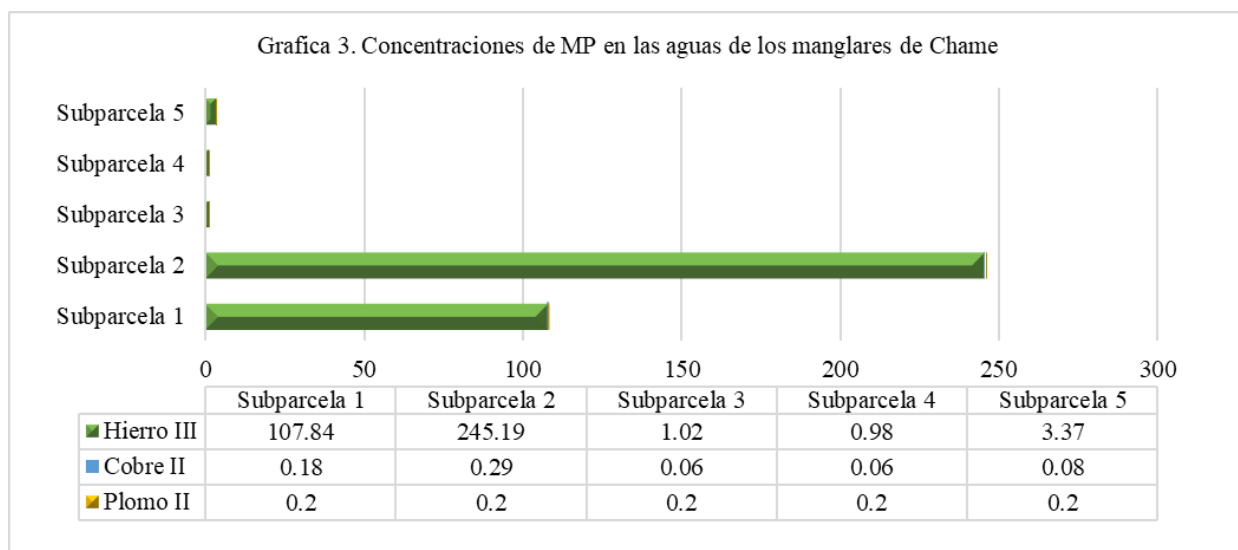


Figura 2. concentración de metales pesados en el agua del vertedero de chame



Se encuestaron a 31 personas de la comunidad cercana al vertedero de Chame.

Tabla 1. Resultados de la población encuestada de Chame cercana al vertedero.

Preguntas	Respuestas		
¿Conoce que son los vertidos tóxicos?	SI 26 (83.9%)	NO 5(16.1%)	
¿Conoce qué son los delitos Ambientales?	SI 28 (90.3%)	NO 3 (9.7%)	
¿Sabe usted que son los Sistemas de Información Geográfica?	SI 6 (19.4%)	NO 25 (80.6%)	
¿Cómo describiría el impacto del vertedero en su vida diaria?	Ninguno 9 (29%)	Poco 16 (51.6%)	Mucho 6 (19.4%)
¿Considera que la presencia del vertedero ha afectado la calidad del aire o el olor en su comunidad?	Si, mucho 11 (35.5%)	Si, poco 19(61.3%)	NO 1 (3.2%)
¿Cree que el vertedero ha tenido un impacto en la fauna o el medio ambiente local?	SI 25 (80.6%)	NO 0 (0%)	No lo se 6 (19.4%)

4. CONCLUSIONES

La implementación de un sistema de investigación geográfica inteligente para la detección, monitoreo y análisis de vertidos tóxicos en áreas protegidas de Panamá representa una herramienta fundamental para fortalecer la vigilancia ambiental. Los resultados confirman que los SIG no sustituyen la prueba pericial tradicional, sino que la complementan y refuerzan, al proporcionar evidencia técnica objetiva, verificable y comprensible para los operadores de justicia. Los mapas georreferenciados, modelos de dispersión de contaminantes y análisis espaciales producidos por estos sistemas facilitan la labor de fiscales y jueces al momento de sustentar imputaciones, medidas cautelares y decisiones judiciales en el marco del artículo 399 del Código Penal panameño. Asimismo, se constató que, aunque la población local percibe claramente las afectaciones ambientales derivadas de los vertidos tóxicos, existe un bajo nivel de conocimiento sobre el uso de los SIG, lo que resalta la necesidad de fortalecer la divulgación y capacitación en estas tecnologías.

A lo largo del estudio, se comprobó la viabilidad de integrar tecnologías avanzadas como sensores remotos, drones, estaciones ambientales y plataformas SIG, QGIS, ArcGIS, para obtener datos precisos y en tiempo real sobre la calidad del suelo y cuerpos de agua, especialmente en zonas vulnerables como la bahía de Chame. El sistema tiene la capacidad de detectar cambios químicos y físicos en los ecosistemas, identificar fuentes potenciales de contaminación y activar alertas automáticas, lo que permite una respuesta temprana y eficaz ante emergencias ambientales, no solo en la jurisdicción administrativa sino también

en la penal. El Directorio e Servicios Periciales del Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses no tiene este peritaje para la investigación de delito ambiental, comprobando con esta investigación la necesidad de implementar el mismo, además la creación de este departamento especializado en análisis geoespacial permitiría optimizar la recolección y presentación de pruebas técnicas, contribuir a una respuesta más oportuna frente a los delitos ambientales y reforzar el compromiso del Estado panameño con la protección del ambiente, la sostenibilidad de los recursos naturales y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Referencias

- [1] Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). Principles of geographical information systems. Oxford University Press.
- [2] Arcgis.com. [online] <https://www.arcgis.com/home/index.html>
- [3] Spatial without Compromise. [online] <https://qgis.org/>
- [4] Darracott, M. (2022, mayo 16). How GIS can help in managing the environment. MGISS. [online] <https://mgiss.co.uk/managing-the-environment/>
- [5] Google Earth Engine [online] https://www.google.com/intl/es-419_ALL/earth/education/tools/google-earth-engine/
- [6] Explore Copernicus satellite missions. [Online]. <https://sentinels.copernicus.eu/>
- [7] CATHALAC. (2007). Diagnóstico del estado actual de los manglares, su manejo y su relación con la pesquería en Panamá. Autoridad de los recursos acuáticos de Panamá. Panamá: CATHALAC.
- [8] JP. (2016, febrero 2). Nuevo sistema inteligente para la etección de vertidos tóxicos en el mar. Campus de Gandia Ciencia; Campus de Gandia de la Universitat Politècnica de València [online] UPV. <https://cienciagandia.webs.upv.es/2016/02/nuevo-sistema-inteligente-para-la-deteccion-de-vertidos-toxicos-en-el-mar/>
- [9] Medioambiente, E. (2020, junio 29). Los Sistema de Información geográficos en la Evaluación de Impacto ambiental. Emberiza Medioambiente. [online] <https://www.emberizamedioambiente.es/noticia-medio-ambiente/los-sistema-de-informacion-geograficos-en-la-evaluacion-de-impacto-ambiental>
- [10] Rodríguez, E. L. (2024, noviembre 7). Los SIG y la gestión del Medio Ambiente. Geoinnova; GEOINNOVA SL. [online] <https://geoinnova.org/blog-territorio/los-sig-aplicados-al-medio-ambiente/>
- [11] MiAMBIENTE. (2024). Establecerán plan de manejo para evitar la contaminación de los manglares de la Bahía de Chame. [online] <https://miambiente.gob.pa/estableceran-plan-de-manejo-para-evitar-la-contaminacion-de-los-manglares-de-la-bahia-de-chame>
- [12] Agustín Jiménez Riley. (2021). Bacterias resistentes a metales pesados, aisladas en aguas de los manglares Chame, Panamá.
- [13] Universidad de Panamá – Facultad de Ciencias Naturales. [13] Gob.pa. [En línea]. Disponible en: <https://ministeriopublico.gob.pa/wp-content/uploads/Informe-Estadistico-Delitos-Ambientales-Junio-2025.pdf>. [Consultado: 19-ago-2025].
- [14] “Delitos Ambientales - Procuraduría General de la Nación”, Procuraduría General de la Nación, 16-mar-2017. [En línea]. Disponible en: <https://ministeriopublico.gob.pa/estadisticas-judiciales/delitos-ambientales/>. [Consultado: 19-ago-2025].

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.