

Detección del derrame de petróleo mediante teledetección y fotogrametría en zonas costeras de Lima y Callao

Detection of the oil spill through remote sensing and photogrammetry in coastal areas of Lima and Callao

DOI: 10.34188/bjaerv6n3-025

Recebimento dos originais: 05/05/2023

Aceitação para publicação: 30/06/2023

Raúl Méndez Gutiérrez

Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo. Lima, Perú. Docente
E-mail: rmendez@unfv.edu.pe

María Del Carmen Aylas Humareda

Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo. Lima, Perú. Docente
E-mail: maylas@unfv.edu.pe

Alberto Israel Legua Terry

Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo. Lima, Perú. Docente
E-mail: aleguat@unfv.edu.pe

Miqueas Gonzales Gonzales

Red de Prevención y Mitigación del Riesgo de Desastre. Lima, Perú. Gerente General
E-mail: miqueaagonzalesgonzales@gmail.com

Wendy Michel Acuña Cáceres

Red de Prevención y Mitigación del Riesgo de Desastre. Lima, Perú. Especialista GI
E-mail: wmac20896@gmail.com

Jean Paul André Iberos Jiménez

Centro de Estudios y Prevención de Desastres. Lima, Perú. Especialista en GRD
E-mail: iberosa133@gmail.com

Jonathan David Cortez Chiroque

Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima, Perú. Técnico Informático y Cartográfico
E-mail: jonathan.chiroque@hotmail.com

Kristian Rey Jesús Madueño Carrasco

Instituto Especializado de Investigación en Prevención y Mitigación de Desastres. Lima, Perú.
Estudiante Investigador
E-mail: 2017040631@unfv.edu.pe

RESUMEN

La detección precisa es importante para una respuesta rápida a los Accidentes por Derrame de Petróleo (ADP). La investigación tiene como objetivo determinar el nivel de riesgo originado por derrame de petróleo en zonas costeras de Lima y Callao. Se consideraron nueve indicadores espaciales para el proceso de mapeo: Corriente marina; dirección del viento; concentración de derrame de petróleo; lugar de ocurrencia; unidad de conservación; uso actual del suelo; microzonificación ecológica económica; tipo de suelo; geomorfología. Se identificó utilizando un enfoque integrado de Tecnologías de Información Geográfica (TIG), Proceso Analítico Jerárquico (AHP) basado en la toma de decisiones multicriterio. Los resultados revelaron la Zonificación del Riesgo (ZR) originado por ADP: Muy Alto (ADP_{MA}) con $0.244 \leq ZR \leq 0.488$; Alto (ADP_A) con $0.153 \leq ZR \leq 0.244$; Medio (ADP_M) con $0.073 \leq ZR \leq 0.153$ y Bajo (ADP_B) con $0.043 \leq R \leq 0.073$. La cartografía de riesgo ayudará a las instituciones a formular políticas y a los planificadores a implementar medidas de mitigación efectivas para evitar futuros derrames.

Palabras clave: Derrame de petróleo, fotogrametría, teledetección, Ventanilla, zona costera

ABSTRACT

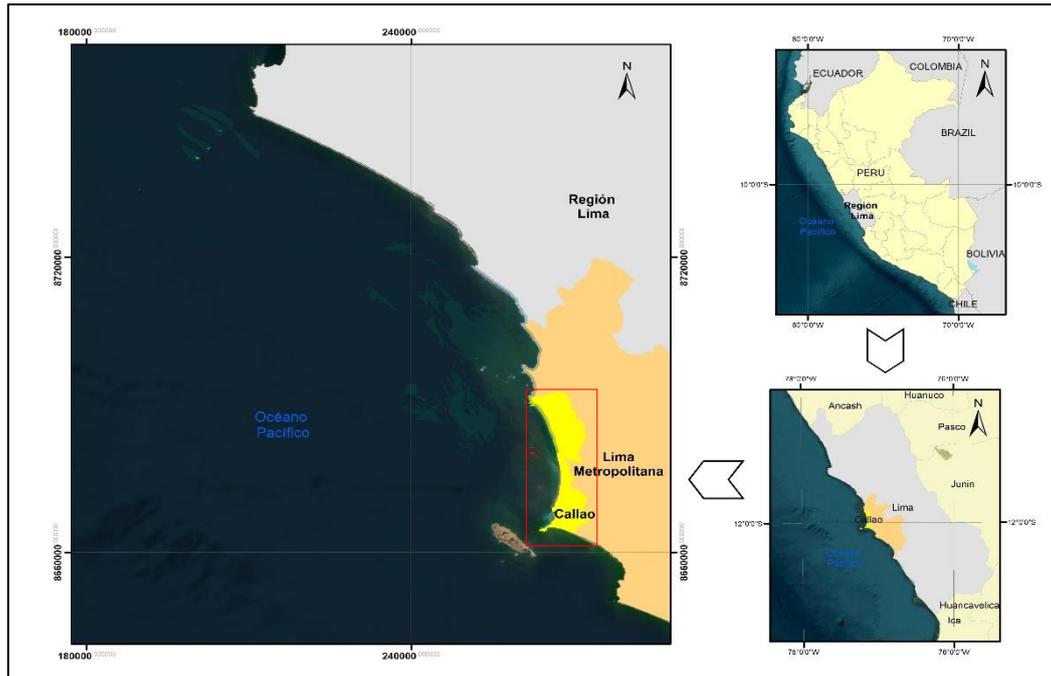
Accurate detection is important for rapid response to Oil Spill Accidents (ADP). The objective of the investigation is to determine the level of risk caused by an oil spill in coastal areas of Lima and Callao. Nine spatial indicators were considered for the mapping process: Marine current; direction of the wind; oil spill concentration; place of occurrence; conservation unit; current land use; economic ecological microzoning; soil type; geomorphology. It was identified using an integrated Geographic Information Technology (GIT) approach, Analytical Hierarchy Process (AHP) based on multi-criteria decision making. The results revealed the Risk Zoning (ZR) originated by ADP: Very High (ADP_{MA}) with $0.244 \leq ZR \leq 0.488$; High (ADP_A) with $0.153 \leq ZR \leq 0.244$; Medium (ADP_M) with $0.073 \leq ZR \leq 0.153$ and Low (ADP_B) with $0.043 \leq R \leq 0.073$. Risk mapping will help institutions to formulate policies and planners to implement effective mitigation measures to avoid future spills.

Keywords: Oil spill, photogrammetry, remote sensing, Ventanilla, coastal zone

1 INTRODUCCION

La Empresa REPSOL encargada de la refinería, responsable del accidente por derrame de petróleo (ADP) vertidos directamente al mar, genera un riesgo a los medios de vida y está puesta bajo emergencia, especialmente afecta la economía de las familias de pescadores y al sector turístico en zonas costeras de Lima y Callao, se extendió 34,4 km desde 15 de enero hasta el 8 de febrero del 2022 (figura 1). Las autoridades no actuaron con rapidez a la emergencia ambiental, ya que no contaron con un plan de contingencia adecuado, ocasionó que la mancha de petróleo se extendiera. Por otra parte, ya tenía antecedentes de incumplimientos normativos ambientales debido a que había sido sancionada por infracciones en la última década.

Figura 1. Ubicación espacial del área de estudio.



Los hidrocarburos como el petróleo tienen un gran impacto en la salud de cualquier ser vivo en el planeta, por ello es preciso saber la importancia de tener un plan de acción rápido ante un derrame de este hidrocarburo. Según Castillo et al. (2020), si un ecosistema se ve afectado, las consecuencias ante este desastre ambiental son fatales para todas las especies bióticas y abióticas que se encuentren dentro, ya que estaría afectando directamente a la cadena alimenticia al que pertenecen, esto hace que la supervivencia sea difícil.

El derrame del petróleo trajo consigo muchas consecuencias las cuales afectaron a la fauna silvestre, así mismo a la población en lo económico y en lo social que se manifiestan en los pescadores y pobladores que habitan en el área afectada aumentado el nivel de vulnerabilidad, el inmediato plazo al perder sus fuentes de ingresos económicos y el sustento de sus familias (Colegio de Ingenieros del Perú, 2022). Los animales marinos que habitan en el mar de Ventanilla fueron los más afectados, debido a que sufrieron varias consecuencias por el derramamiento crudo del petróleo. Según Pulido et al. (2022), los animales no se abastecerán de sus alimentos, lo que puede ocasionar desnutrición combinado con el sufrimiento y finalmente la muerte. El principal efecto del petróleo es que interfiere con las funciones vitales de los seres vivos que habitan en el mar ya que ocasiona la pérdida para regular su temperatura.

El antecedente que se está considerando como importante es la publicación del portal BBC News (2022), donde se informa del ADP por la rotura de una de las tuberías, donde afectó al ambiente, diversidad de fauna, toda la extensión de la costa. En la investigación de Gupta y Shukla (2018), utilizaron vehículos aéreos no tripulados (UAV), para la estimación de las dimensiones y su

reconstrucción en vista tridimensional, la estimación de la extensión es importante al preparar una cartografía para realizar el inventario, lo cual tiene un alto precio para poder adquirirlo, por ello, una alternativa es la aplicación en puntos críticos. La tecnología de procesamiento de imágenes y sensores remotos de alta resolución ha proporcionado la base para diseñar sistemas de monitoreo utilizando sensores remotos y software de procesamiento de imágenes orientado al contexto, pero la configuración de las resoluciones de datos espaciales y temporales de las misiones satelitales operativas aún no es suficiente para monitorear. Para, Yao (2019), la teledetección mediante satélites que utilizan sensores de radar también se está convirtiendo en una técnica común y la fotogrametría mediante vehículos aéreos no tripulados (drones), que siguen siendo la forma más común de seguimiento de derrames de petróleo.

Lucieer et al (2014), realizó mapeo utilizando imágenes de fotografías a partir de vehículos aéreos no tripulados con cámara multitemporales en la cual realizaron la reconstrucción de escenas tridimensionales para monitorear y cartografiar. Se enmarco en clarificar, extraer e implementar un Sistema de Información Geográfica para resolver y modelar a través de programa especializados de ingeniería. Para ello, Madridano et al (2020), revisan en primer lugar los principales sistemas de monitorización, a los que se espera que los vehículos aéreos no tripulados aporten capacidad y rentabilidad. Ozioko y Igwe (2020), utilizó estudios de campo detallados en combinación con estudios de imágenes satelitales para delinear nueve factores condicionantes: La litología, la elevación, la pendiente, el aspecto, la curvatura, la distancia de drenaje, la distancia del camino, la cobertura del suelo y la distancia de alineación se eligieron factores causales en el estudio de la zonificación. Los datos satelitales y las imágenes ópticas se utilizan operativamente para detectar derrames de petróleo en ambientes marinos, donde la firma espectral de los hidrocarburos es muy distintiva.

La investigación tiene como objetivo determinar el nivel de riesgo originado por accidente por derrame de petróleo en zonas costeras de Lima y Callao utilizando un enfoque integrado de Tecnologías de Información Geográfica (TIG), Proceso Analítico Jerárquico (AHP) basado en la toma de decisiones multicriterio. Además, determinar en qué medida el modelo de base de datos permitirá realizar el modelado 3D para entender el comportamiento mediante la cartografía de riesgo que ayudará a las instituciones a formular políticas y a los planificadores a implementar medidas de mitigación efectivas para evitar futuros derrames. Una de las razones principales es el uso de las TIG para cuantificar los daños ocasionados por accidente por derrame de petróleo en la zona marino costera de Lima y Callao, el que permitirá tener más información al detalle a través de mapas de zonificación del área afectada. Permitirá contribuir con información más detallada de la zona afectada por el desastre ambiental mediante el uso de herramientas TIG y de esta manera poder

mitigar los impactos que afecta al ecosistema. Finalmente, contribuirá al conocimiento en la línea de investigación “Procesamiento digital de imágenes y señales” de la Universidad Nacional Federico Villarreal, y será una herramienta de gran utilidad para las dependencias y organismos gubernamentales, con el fin que puedan ser replicados o modelados para reducir eventos futuros.

2 MÉTODO

El nivel de investigación es explicativo – predictivo. En cuanto al tipo de investigación, es explicativa y cuantitativa. El ámbito espacial de interés es el distrito de Ventanilla, siendo la Playa Cavero, una de las áreas más afectadas. En cuanto al ámbito temporal, se realizaron la descarga de imágenes de satélite: PerúSAT-1 del 23 de enero 2022; Landsat-8 del 23 de enero 2022; WorldView del 19 de enero 2022; Sentinel-2 del 18 de enero 2022.

Las herramientas para emplear en el estudio son insumos cartográficos como la cartografía base del distrito de Ventanilla y áreas afectadas por accidente por derrame de petróleo en formato digital, información de imágenes de satélite. Los equipos que se utilizaron son laptop para generar cartografía preliminar, cámara fotográfica, dron DJI Mavic Pro 2 y GPS Garmin Etrex 20 para recoger información en campo. También, se utilizaron programas como el ArcGIS 10.8, Pix4D, Envi 5.3, AutoCAD 2018, Microsoft Excel 2013, para el procesamiento de la información y el Microsoft Word 2013 para la presentación final del informe. Y finalmente, instrumentos de medición como encuestas y formularios. La presente investigación es de carácter transversal para la ejecución del proyecto de acuerdo con el objetivo principal, tendrá tres etapas fundamentales (figura 2).

Primera etapa, se realizó una revisión intensiva de estudios sobre derrames de petróleo en la zona costera y el uso de técnicas de teledetección y fotogrametría para generar cartografía preliminar de la zona afectada. Se delimitó, de acuerdo a la información obtenida, se desarrolló en base a la experiencia del equipo de investigación. También, se generó la cartografía base para la etapa de campo, y se verificó el funcionamiento de los vehículos aéreos no tripulados DJI Mavic Pro 2, GPS Garmin Etrex 20 y se verificó el tiempo meteorológico para realizar el plan de vuelo.

Segunda etapa, se realizó el reconocimiento del área de estudio para el trazado de los puntos de control y posterior ejecución del plan de vuelo. Se levantaron puntos con el GPS Garmin Etrex 20, la información tabular y gráfica son importantes, además de la altura del vuelo, espacio libre de obstáculos, velocidad, parámetros meteorológicos, etc. Se entrevistó a pobladores afectados por accidente por derrame de petróleo, y se programó reuniones específicas con instituciones, estas se desarrollaron para conseguir información específica.

Tercera etapa, se procesaron las imágenes obtenidas de los vehículos aéreos no tripulados DJI Mavic Pro 2 en el programa Pix4D, alineando las imágenes y generando un ortomosaico como resultante, a partir de la cual se realizó la densificación y clasificación de estos. Se generó el Modelo Digital del Terreno (MDT), curvas de nivel y un escenario 3D de las zonas afectadas. Se elaboró la cartografía preliminar para la evaluación e identificación de elementos expuestos en la zona costera de Lima y Callao. Se generaron los descriptores por cada parámetro, para asignar pesos mediante el Proceso de Análisis Jerárquico de Saaty. Cada parámetro y descriptor mantiene un orden de prioridad de acuerdo al grado de importancia. Se determinaron los rangos, estos valores permitirán establecer 4 rangos, estos son utilizados para clasificarlos en 4 niveles, Muy Alto (ADPMA); Alto (ADPA); Medio (ADPM) y Bajo (ADPB) en un entorno de Sistemas de Información Geográfica. Finalmente, se generaron mapas, de peligro, vulnerabilidad y riesgo ante ocurrencia de un accidente por derrame de petróleo en zona costera de Lima y Callao. Y una simulación 3D en un entorno Web.

Figura 2. Diseño del procedimiento metodológico



3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detallan los resultados obtenidos mediante el proceso de análisis jerárquico. Además, se muestran los resultados del modelamiento cartográfico (figura 3), concluyendo con el mapa final que muestra el nivel de riesgo ante un accidente por derrame de petróleo en zonas costeras de Lima y Callao.

Figura 3. Mapa preliminar para determinar el nivel de riesgo originado por derrame de petróleo

Nota. A. Mapa de ubicación y concentración del derrame de petróleo, B. Mapa dirección de la corriente marina, C. dirección del viento, D. Mapa de geomorfología, E. Mapa tipo de suelo, F.

Mapa unidades de conservación, G. Mapa uso actual del suelo, H. Mapa Microzonificación Ecológica y Económica.

Evidentemente si las industrias petroleras tuvieran a su alcance lineamientos y su plan de prevención y reducción de riesgos originados por accidente por derrame de petróleo (ADP), el impacto podría ser menor. Los lineamientos deben ser de carácter obligatorio de igual manera la capacitación constante a todo el personal operativa para una rápida y efectiva comunicación en caso de emergencias que pueden afectar al ecosistema marino y costero. Se determinó el nivel de riesgo originado por ADP, zonificando áreas con nivel muy alto, alto, medio mediante el proceso de análisis jerárquico y base de datos espaciales de la tabla 1: Corriente marina (CM), dirección del viento (DV), ubicación y concentración del derrame de petróleo (UC).

Tabla 1. Peso de los parámetros del peligro

| Desc. | Parámetros del peligro | Mapa | ID | Valor |
|-----------|---|------|---------|-------|
| D1 | Corriente Marina | B | Ppar_CM | 0.492 |
| D2 | Dirección del viento | C | Ppar_DV | 0.309 |
| D3 | Ubicación y concentración del derrame de petróleo | A | Ppar_UC | 0.199 |

Nota: Descriptores (Desc.); Identificación del parámetro (ID); Corriente Marina (CM), Dirección del Viento (DV), Ubicación y concentración del derrame de petróleo (UC).

Tabla 2. Valor del peligro

| Desc. | Corriente Marina | | Dirección del Viento | | Ubicación y concentración del derrame de petróleo | | Val (P) |
|-----------|------------------|-------|----------------------|-------|---|-------|---------|
| | Ppar | Pdes | Ppar | Pdes | Ppar | Pdes | |
| D1 | 0.377 | 0.492 | 0.468 | 0.309 | 0.459 | 0.199 | 0.421 |
| D2 | 0.263 | 0.492 | 0.268 | 0.309 | 0.281 | 0.199 | 0.268 |
| D3 | 0.223 | 0.492 | 0.144 | 0.309 | 0.152 | 0.199 | 0.184 |
| D4 | 0.103 | 0.492 | 0.076 | 0.309 | 0.073 | 0.199 | 0.089 |
| D5 | 0.034 | 0.492 | 0.044 | 0.309 | 0.035 | 0.199 | 0.037 |

Nota: Descriptores (Desc.), Peso del parámetro (Ppar), Peso del descriptor (Pdes), valor del Peligro (Val. P)

En base a criterios de evaluación, se tiene el mapa de ubicación y concentración del derrame de petróleo (A), la permanencia del petróleo en sedimentos, en concentraciones muy alto, alto y medio constituye el mecanismo de contaminación que causa serias alteraciones y daños al paisaje natural. En el mapa de dirección de la corriente marina (B) una velocidad de 10 m/s hasta 20 m/s. y el mapa dirección del viento (C) con una velocidad de 10 km/h hasta 25 Km/h, observamos que estos dos principales parámetros actúan como agente de dispersión del derrame a las playas de la costa de Lima y Callao. También fueron considerados en la base de datos espacial (tabla 3) por orden de prioridad, los parámetros de evaluación de la zona costera vulnerable considerando:

Unidad de conservación (UCO), uso actual del suelo (UAS), Microzonificación Ecológica Económica (MZEE), Tipo de suelo (TSU) y Geomorfología (GMF).

Tabla 3. Peso de los parámetros de la zona costera vulnerable

| Desc. | Zona costera vulnerable | Mapa | ID | Valor |
|-----------|---------------------------------------|------|-----------|-------|
| D1 | Unidad de conservación | F | Ppar_UCO | 0.557 |
| D2 | Uso actual del suelo | G | Ppar_UAS | 0.225 |
| D3 | Microzonificación Ecológica Económica | H | Ppar_MZEE | 0.117 |
| D4 | Tipo de suelo | E | Ppar_TSU | 0.061 |
| D5 | Geomorfología | D | Ppar_GMF | 0.040 |

Nota: Descriptor (Desc.), Identificación del parámetro (ID), Peso del parámetro (Ppar), Unidad de conservación (UCO); Uso actual del suelo (UAS); Microzonificación ecológica económica (MEE); Tipo de suelo (TSU); Geomorfología (GMF)

Tabla 4. Valor de la vulnerabilidad

| Desc. | Unidad de conservación | | Uso actual del suelo | | Microzonificación ecológica económica | | Tipo de suelo | | Geomorfología | | Val (V) |
|-----------|------------------------|-------|----------------------|-------|---------------------------------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------|
| | Ppar | Pdes | Ppar | Pdes | Ppar | Pdes | Ppar | Pdes | Pdes | Pdes | |
| D1 | 0.378 | 0.557 | 0.455 | 0.225 | 0.516 | 0.117 | 0.455 | 0.061 | 0.455 | 0.040 | 0.419 |
| D2 | 0.262 | 0.557 | 0.261 | 0.225 | 0.265 | 0.117 | 0.261 | 0.061 | 0.261 | 0.040 | 0.262 |
| D3 | 0.220 | 0.557 | 0.156 | 0.225 | 0.125 | 0.117 | 0.156 | 0.061 | 0.156 | 0.040 | 0.188 |
| D4 | 0.091 | 0.557 | 0.082 | 0.225 | 0.060 | 0.117 | 0.082 | 0.061 | 0.082 | 0.040 | 0.084 |
| D5 | 0.048 | 0.557 | 0.045 | 0.225 | 0.034 | 0.117 | 0.045 | 0.061 | 0.045 | 0.040 | 0.045 |

Nota: Descriptores (Desc.), Peso del parámetro (Ppar), Peso del descriptor (Pdes) Valor de vulnerabilidad (val (V))

En cuanto al análisis de la vulnerabilidad, se refiere a las zonas que se encuentran expuestas a ADP que pueden afectar los diversos usos del lugar. La base de datos se obtiene relacionando, comparando y manteniendo el orden de prioridad de cada parámetro de la zona costera vulnerable: En el mapa (D) el tipo de geomorfología es afectando: Playa, peñasco, barra de arena, planicie y acumulación marina; en el mapa (E), el tipo de suelo es afectando: Arena mal gradada y/o arenas gravosas (SP), Roca, arena limosa y arcillas inorgánicas de baja compresibilidad con presencia de limos inorgánicos y/o arenas muy finas (SM y CL – ML); en el mapa (F), las unidades de conservación son afectados: Zona marina, zona de amortiguamiento, zona de turismo bioecológico y poca afectación a la zona de humedales de Ventanilla; En el mapa (G), el tipo de uso actual del suelo es afectado: Zona marina, zona de protección insular, zona de protección de borde costero y acantilado; en el mapa (H), las áreas zonificadas son afectados: Zona de pesca artesanal con potencial hidrobiológico alto, potencial maricultura, zona de protección y conservación ecológica, islas, bancos naturales, insular y finalmente playas y acantilados.

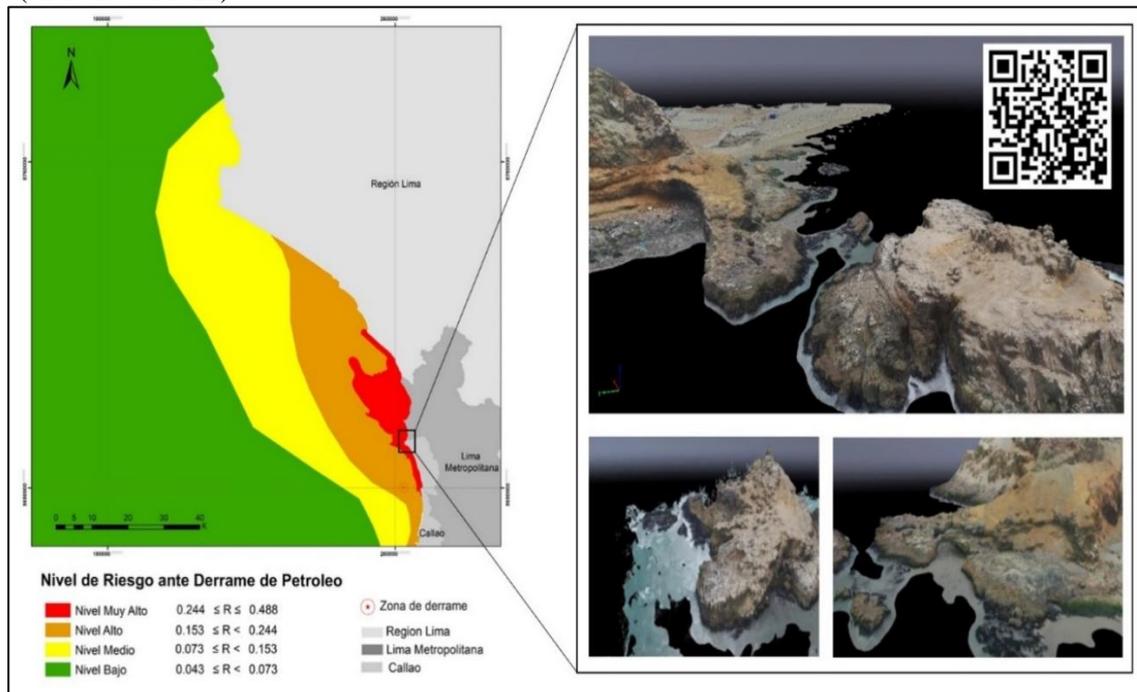
Tabla 5. Valor del riesgo

| Desc. | Valor del Peligro | | Valor de Vulnerabilidad | | Valor del Riesgo |
|-----------|-------------------|--------|-------------------------|--------|------------------|
| | Val_P | Peso_P | Val_V | Peso_V | Val_R |
| D1 | 0.557 | 0.5 | 0.419 | 0.5 | 0.488 |
| D2 | 0.225 | 0.5 | 0.262 | 0.5 | 0.244 |
| D3 | 0.117 | 0.5 | 0.188 | 0.5 | 0.153 |
| D4 | 0.061 | 0.5 | 0.084 | 0.5 | 0.073 |
| D5 | 0.040 | 0.5 | 0.045 | 0.5 | 0.043 |

Nota: Descriptores (Desc.), P (Peligro), V (Vulnerabilidad) y R (Riesgo)

La capa de información espacial para determinar el valor del Riesgo (tabla 5) se genera al relacionar la capa espacial del Peligro (tabla 2) con la capa espacial de la Vulnerabilidad (tabla 4). Los resultados revelaron la Zonificación del Riesgo (ZR) originado por ADP: Muy Alto (ADPMA) con $0.244 \leq ZR \leq 0.488$; Alto (ADPA) con $0.153 \leq ZR \leq 0.244$; Medio (ADPM) con $0.073 \leq ZR \leq 0.153$ y Bajo (ADPB) con $0.043 \leq R \leq 0.073$.

Figura 4. Cartografía del nivel de riesgo por accidentes por derrame de petróleo (ADP) en la zona costera de Lima y Callao (enero 23 del 2022).



Los mapas preliminares y la cartografía del nivel de riesgo por ADP en la zona costera de Lima y Callao, se podrían usar en una variedad de aplicaciones en planificación, mitigación de desastres, etc. A partir de la simple superposición de mapas con varios elementos de exposición, es posible evaluar si un elemento de exposición en particular es vulnerable a una amenaza específica. Por ejemplo, al superponer una capa de ubicación y concentración del derrame de petróleo sobre una capa de riesgo. Por lo tanto, para la evaluación del riesgo de estos peligros antrópicos, se debe cuantificar tanto la exposición como la vulnerabilidad.

Se propone el mapa de riesgo por ADP (figura 4), es posible realizar y recomendar a las empresas encargadas de la industria petrolera a implementar y trabajar en sistemas de alerta temprana en caso de rotura de tubería. No está demás anotar la dificultad para obtener imágenes de satélite para ciertos meses del año por la nubosidad, por ello se debe trabajar también con radar, con vehículos aéreos no tripulados para realizar monitoreo constante. Como tecnología de procesamiento de información, el análisis espacial GIS puede proporcionar un apoyo efectivo para la evaluación de riesgos, análisis de la vulnerabilidad e identificación del peligro. El sistema de factores de impacto se desarrolla a partir de la forma del área de estudio, el tipo de suelo, zonificación espacial del terreno, base de datos meteorológicos, imágenes de satélite y/o vehículos aéreos no tripulados.

Es de gran importante señalar que no se ha realizado ningún trabajo cartográfico del nivel de riesgo por ADP en esta área, aunque los derrames de petróleo representan un riesgo grave que puede alterar los recursos costeros como la pesca, el turismo, la vida acuática y los recursos del entorno ambiental costero. La cartografía preliminar y de riesgo podrían servir como instrumento para la toma de decisiones.

Se proponen las siguientes medidas preventivas y de emergencia para este caso: (1) Usar patrullaje de vehículos aéreos no tripulados (UAV), siendo una forma segura y más eficaz. El estado real del entorno del área de estudio se puede observar claramente mediante el uso de UAV. Además de esto, se pueden realizar más análisis a través de los datos de imagen registrados, lo que mejora drásticamente la eficiencia del monitoreo. (2) Establecer un mecanismo de emergencia ADP, se debe construir un puesto de vigilancia ADP, cerca los puntos de derrame (según registro histórico). Además, la capacitación profesional para profundizar la comprensión de los procedimientos de control de emergencia, prevención de emergencia y la operación, y mejorar la capacidad ante ADP. (3) Preparar un plan de emergencia para ADP con las características del área de estudio, se formula el plan de emergencia para implementar el procedimiento de comando de manera más efectiva.

4 CONCLUSIONES

El monitoreo de derrames de petróleo se ha convertido en un proceso de seguimiento y evaluación para detectar la distribución espacial de las zonas contaminadas, sin embargo; los estudios previos se centran principalmente en la importancia de los lineamientos para la producción cartográfica de mapas de riesgo originado por accidente por derrame de petróleo (ADP). Los resultados evidencian que la circulación superficial está principalmente determinada por la variabilidad diaria e intensidad del viento y la corriente marina, estos dos parámetros son fundamentales para determinar el valor del peligro y son los que tienen mayor peso. El modelo de

base de datos espacial de la información de zona costera permitió realizar el modelado 3D en la Playa Cavero en Ventanilla, donde se ha contaminado todo el entorno ambiental, evidenciando la pérdida de cientos de especies marinas.

Se determinó que el nivel de riesgo originado por accidente por derrame de petróleo (ADP) en la Zonas Costeras de Lima y Callao. Obteniendo cuatro niveles: Muy Alto (ADPMA) con valores de $0.244 \leq ZR \leq 0.488$ que corresponde a zona marina, pesca artesanal con potencial hidrobiológico alto, potencial maricultura, tipo de suelo SP, tipo de geomorfología playa. Nivel Alto (ADPA) con valores de $0.153 \leq ZR \leq 0.244$ que corresponde a zona de amortiguamiento, zona de protección insular, zona de protección de borde costero y acantilado, zona de protección y conservación ecológica; islas, bancos naturales, insular, tipo roca, tipo de geomorfología peñasco. Nivel Medio (ADPM) con valores de $0.073 \leq ZR \leq 0.153$ que corresponde a turismo biotecnológico, protección ecológica, avícola, laguna, zona de protección y conservación ecológica, playas y acantilados, tipo de suelo SM y CL – ML, tipo de geomorfología barra de arena, planicie acumulación marina y el Nivel Bajo (ADPB) con valores de $0.043 \leq R \leq 0.073$ que corresponde a humedal de Ventanilla, área de conservación, sin uso, equipamiento e infraestructura, comercial, centros, áreas, otros usos, zona de protección y conservación ecológica, humedales, lomas costeras, zonas productivas, zonas urbanas, zonas de tratamiento especial, otros, tipo de suelo SP – GM, GP y SP, SM/SC, tipo de geomorfología planicie aluvial, llanura, colinas y Glacis de acumulación, cerro de isla.

El uso de vehículos aéreos no tripulados y tecnología espacial permitió entender el comportamiento a través de las técnicas de teledetección y fotogrametría utilizando el Sistemas de Información Geográfica para generar cartografía preliminar de la zona afectada que ayudará a las instituciones en formular de políticas y a los planificadores a implementar medidas de mitigación efectivas para evitar futuros derrames.

AGRADECIMIENTOS

La presentación de este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración del Instituto Especializado de Investigación para la Prevención y Mitigación de Desastres (INEIPREMID) de la Universidad Nacional Federico Villarreal por el asesoramiento. También, al equipo de profesionales de Red de Prevención y Mitigación del Riesgo de Desastres SAC (PREMID) por las capacitaciones. Así como el buen recibimiento de la población que reside en playa Cavero en Ventanilla.

REFERENCIAS

Angeles G. (2020). Simulación y análisis de derrames de petróleo tipo Ixtoc-I utilizando diferentes formas de advección. [tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California] <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3300>

Aponte, H., Torrejón-Magallanes, J. y Pérez, A. (2022). Marea negra en el Perú: reflexiones sobre un derrame de petróleo en el Pacífico sudamericano. *South Sustainability*, 3(1), 44. <https://doi:10.21142/SS-0301-2022-e044>

BBC News (23 de enero de 2022). Perú declara la emergencia ambiental por el derrame de petróleo provocado por el tsunami en Tonga. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-60034745>

Castillo, R., Rosita T., More C., Francis J., Cornejo La Torre, M., Fernández P., Jaime N., y Mialhe, M. (2020). Aislamiento de bacterias con potencial biorremediador y análisis de comunidades bacterianas de zona impactada por derrame de petróleo en Condorcanqui - Amazonas - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3), 215-225. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.656>

Chen, D., Lawrence, K., Pratt, G., Stenzel, M., Stewart, P. y Groth, C. (2022). Fine Particulate Matter and Lung Function among Burning- Exposed Deepwater Horizon Oil Spill Workers. *Environ Health Perspect*, 130(2) <https://doi:10.1289/EHP89300>.

Colegio de Ingenieros del Perú – CIP (15 de febrero de 2022) Hasta donde se extenderá el derrame de petróleo. <https://geografica.cdlima.org.pe/hasta-donde-se-extendera-el-derrame-de-petroleo/>

Cortes W. (2021). Análisis multitemporal mediante árboles de decisión de un derrame de crudo y su impacto ambiental en la zona de cubará boyacá - Colombia. [tesis de maestría, Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá] <https://repository.udistrital.edu.co>

Defensoría del Pueblo (15 de febrero de 2022). Reporte de conflictos sociales N°203. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/defensoria/informes-publicaciones/1973371-reporte-mensual-de-conflictos-sociales-n-203-enero-2021>

Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA (2022). Monitoreo de playas afectadas por el derrame de petróleo en el marco de la declaratoria de emergencia ambiental http://www.digesa.minsa.gob.pe/DCOVI/mapas/DIGESA_ply_mr_vsply_derrame

Dirección General de Capitanías y Guardacostas DICAPI (20 de agosto de 2022). <https://www.dicapi.mil.pe/noticias/continuan-los-trabajos-de-inspeccion-en-las-zonas-de-aucallama-y-chancay-tras-el-derrame-de-petroleo-ocurrido-en-la-pampilla>

Giordan, D., Adams, M.S. y Aicardi, I. (2020). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications. *Bull Eng Geol Environ* 79, pp. 3437–348. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01766-2>

Gonzales, G. F., Ordoñez, C., & Vásquez-Velásquez, C. (2022). Derrame de petróleo en Ventanilla, Callao, enero del 2022. *Revista De La Sociedad Peruana De Medicina Interna*, 35(1),47-49. <https://doi.org/10.36393/spmi.v35i1.658>

Gonzales, M., Méndez, R., Mucching, C., Pérez, M., Cortez, J., y Iberos, J. (2020). Respuesta a emergencias aplicando Tecnologías de Información Geográfica ante la propagación del COVID-19 en Perú. *Cátedra Villarreal*, 8(1). <https://doi.org/10.24039/cv202081763>

Gupta, S. & Shukla, D. (2018). Application of drone for landslide mapping, dimension estimation and its 3D reconstruction. *Indian Society of Remote Sensing*, (46), 903-914. <https://doi.org/10.1007/s12524-017-0727-1>.

Guerrero-Usedá, M. (2021). Equilibrio ambiental, extracción petrolera y riesgo de desastres en el oleoducto trasandino colombiano. *IPSA Scientia, revista científica multidisciplinaria*, 6(3), 86-101. <https://doi.org/10.25214/27114406.1113>

Lucieer, A., de Jong, S., y Turner, D. (2014). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in Physical Geography*, 38(1), 97-116. <https://doi.org/10.1177/0309133313515293>

Madridano, A., Al-Ka, A., Martín, D. (2020). 3d trajectory planning method for uavs swarm in building emergencies. *Sensors* 20 (3), 642. <https://doi.org/10.3390/s20030642>

Mandar, T., Adil, R., Salman, S., Trond, K., (2017). A full-scale 3D Vs 2.5D Vs 2D analysis of flow pattern and forces for an industrial-scale 5MW NREL reference wind-turbine. *Energy Procedia*, 137(1), pp. 477-486. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.372>

Organización de las Naciones Unidas - ONU (14 de febrero 2022). <https://news.un.org/es/story/2022/02/1504052>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGIM (25 de enero de 2022) Acciones de Osinergmin tras derrame de petróleo en Ventanilla <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/informes-publicaciones/2718298-acciones-de-osinergmin-tras-derrame-de-petroleo-en-ventanilla>

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA (29 de abril de 2022). OEFA presenta el visor Derrame de Petróleo en Ventanilla - Refinería la Pampilla <https://www.oefa.gob.pe/acciones-de-supervision-ambiental-del-oefa-ante-el-derrame-de-petroleo-en-ventanilla/>

Ozioko, O. y Igwe, O. (2020). GIS-based landslide susceptibility mapping using heuristic and bivariate statistical methods for Iva Valley and environs Southeast Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(2), 119. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7951-9>

Pulido, V., Escobar, F., Arana, C., y Olivera, E. (2022). Efectos del derrame de petróleo en la Refinería la Pampilla en las costas del litoral marino, Lima (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 5-8. Epub 21 de febrero de 2022. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.411>

Rusiecki, J., Denic-Roberts, H., Thomas, D., Collen, J., Barrett, J., Christenbury, K., Engel L. (2022). Incidence of chronic respiratory conditions among oil spill responders: Five years of follow-up in the Deepwater Horizon Oil Spill Coast Guard Cohort study. *Environ*, 203(11), pp. 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111824>

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (27 de enero de 2022). Sernanp reporta 170 especímenes de aves cubiertas de petróleo en los islotes Pescadores de la RNSIIPG. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/serfor/noticias/578476-serfor-rescata-51-especimenes-de-fauna-silvestre-costera-afectada-por-derrame-de-petroleo-en-ventanilla>

Servicio Nacional Forestal – SERFOR 21 de enero de 2022. SERFOR rescata 51 especímenes de fauna silvestre costera afectada por derrame de petróleo en Ventanilla <https://www.gob.pe/institucion/serfor/noticias/578476-serfor-rescata-51-especimenes-de-fauna-silvestre-costera-afectada-por-derrame-de-petroleo-en-ventanilla>

SPDA Actualidad Ambiental (16 de noviembre 2020). Según pescadores: no hay “decisión política” para que Repsol asuma su responsabilidad ante derrame de petróleo. <https://www.actualidadambiental.pe/segun-pescadores-no-hay-decision-politica-para-que-repsol-asuma-su-responsabilidad-ante-derrame-de-petroleo/>

Yao, H., Qin, R., y Chen, X. (2019). Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications - A Review. *Remote Sensing*, 11(12), pp. 1443. <https://doi.org/10.3390/rs11121443>