

Derrames de petróleo en el Perú: ¿qué más podemos hacer?

Aponte *et al.*

haponte@cientifica.edu.pe

Material suplementario

Tabla S1. Impactos, procedimientos de evaluación, actores e indicadores de éxito relacionados con los derrames de hidrocarburos en los ecosistemas acuáticos continentales. NI = no identificado.

IMPACTO	PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN	ACTOR	INDICADORES DE ÉXITO DESPUÉS DEL PLAN DE ACCIÓN	COMENTARIOS
Contaminación del agua	<ul style="list-style-type: none"> * Análisis de concentración de hidrocarburos en agua * Evaluación biológica ambiental * Estudios hidrobiológicos * Análisis de sedimentos de río y lagunas * Análisis ecotoxicológicos 	Laboratorios certificados, universidades (UNMSM, Científica), ALS Perú, SGS Perú, Certimin, CERPER, Produce (Imarpe, Sanipes), Senasa, ANA, OEFA, Instituto Geofísico Nacional (sedimentos)	<ul style="list-style-type: none"> * Niveles de hidrocarburos en agua según ECA * Metales pesados (Pb, Hg) * Oxígeno disuelto (>6 mg/L) * Biodiversidad acuática restaurada 	Existen otras instituciones como Imarpe, SGS Perú, ALS Perú y CERPER
Contaminación del suelo	<ul style="list-style-type: none"> * Toma de muestras y comparación con ECA o línea base socioambiental * Fracción de HC presentes y espectrometría de masas * Análisis microbiológicos 	Consultoras ambientales registradas en Senace, Instituto Geofísico Nacional (sedimentos), ALS Perú, SGS Perú, Certimin, CERPER, OEFA, Minam, Digesa, Senasa	<ul style="list-style-type: none"> * Concentración de hidrocarburos en suelos * Niveles de metales pesados * Biodiversidad y estabilidad del suelo restauradas * ATENCIÓN: No hay ECA 	Uso de indicadores clave, complementados con otras evaluaciones para obtener un análisis mínimo adecuado. Existen otras instituciones como OEFA, Minam y Digesa.
Contaminación de plancton	<ul style="list-style-type: none"> * Filtración de agua para capturar organismos * Análisis de hidrocarburos en plancton por técnicas de extracción en fase sólida y HPLC 	Imarpe, OEFA, ANA, universidades, empresas, autoridades ambientales, Minam (Sernanp, OEFA), empresas prestadoras de servicios (Aiuká, ERM)	* Condiciones similares a las del sitio de control	INIA y universidades evalúan el impacto en cultivos comerciales y forestales; OEFA regula las medidas correctivas.
Contaminación de ictiofauna y otros invertebrados menores	<ul style="list-style-type: none"> * Recolección de moluscos e invertebrados * Análisis de hidrocarburos en tejidos por Soxhlet y GC-MS * Análisis histopatológico de peces y otras especies 	ALS Perú, Imarpe, OEFA, universidades (LAPAD/UFSC, Brasil), Científica, Aiuká	<ul style="list-style-type: none"> * Niveles de hidrocarburos en tejidos de peces (<0,5 mg/kg) * Recuperación de biodiversidad piscícola * Análisis toxicológicos 	Imarpe evalúa el impacto en especies comerciales; OEFA regula la mitigación de daños ambientales.
Contaminación de fauna	<ul style="list-style-type: none"> * Análisis de hidrocarburos en tejidos y órganos de fauna silvestre * Extracción de hidrocarburos por HPLC y GC-MS 	Universidades (LABCAI/UFSC [Brasil], Científica), empresas, autoridades ambientales, Aiuká, ERM, Minam (Sernanp, OEFA), Imarpe, Senasa, ALS Perú, Certimin, INIA	<ul style="list-style-type: none"> * Análisis de residuos de hidrocarburos en tejidos (<5 µg/g) * Recuperación de hábitats y diversidad de fauna * Reducción de HAP, TPH, metales 	INIA monitorea fauna terrestre, mientras que OEFA investiga el impacto ambiental y regula medidas correctivas.
Impacto en la salud humana	<ul style="list-style-type: none"> * Encuestas y sondeos * Monitoreo de bioacumulación de hidrocarburos en sangre, orina, leche materna y tejidos humanos mediante cromatografía de gases (GC-MS) y pruebas toxicológicas" 	Defensoría del Pueblo, Minsa, Minedu, ONG, consultoras ambientales registradas ante Senace	<ul style="list-style-type: none"> * Evaluación de exposición a hidrocarburos (sangre, orina) * Niveles de contaminación en alimentos y agua potable 	NI
Afectación de actividades productivas	<ul style="list-style-type: none"> * Encuestas y sondeos * Medición de volumen de hidrocarburos perdidos 	Defensoría del Pueblo, Minsa, Minedu, Minem, Mincetur, ONG, consultoras ambientales, gobiernos locales y regionales	NI	NI
Sedimentos de ríos y lagos	* Toma de muestras y comparación con valores de referencia internacionales	Remediadoras, laboratorios acreditados, OEFA, ANA	* Concentración de hidrocarburos en sedimentos comparada con valores de control y referencias internacionales	NI



GLOSARIO DE SIGLAS

HPLC: High-Performance Liquid Chromatography (cromatografía líquida de alta resolución)
GC-MS: Gas Chromatography-Mass Spectrometry (cromatografía de gases, espectrometría de masas)
SPE: Solid Phase Extraction (extracción en fase sólida)
GC-FID: Gas Chromatography with Flame Ionization Detector (cromatografía de gases con detector de ionización de llama)
VOC: Volatile Organic Compounds (compuestos orgánicos volátiles)
ECA: Estándares de calidad ambiental
HAP: Hidrocarburos aromáticos policíclicos
TPH: Total Petroleum Hydrocarbons (hidrocarburos totales de petróleo)
Pb: Plomo
Hg: Mercurio

Organizaciones y entidades

UNMSM: Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú)
Científica: Universidad Científica del Sur (Perú)
ALS Perú: ALS Global (empresa de servicios de análisis y pruebas en el Perú)
SGS Perú: Sociéte Générale de Surveillance (empresa internacional de inspección, verificación, pruebas y certificación)
Certimin: Laboratorio y empresa de servicios de análisis en el Perú
CERPER: Centro de Investigación y Servicios de Análisis en el Perú
Produce: Ministerio de la Producción (Perú)
Imarpe: Instituto del Mar del Perú
Sanipes: Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (Perú)
Senasa: Servicio Nacional de Sanidad Agraria (Perú)
ANA: Autoridad Nacional del Agua (Perú)
OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Perú)
Minam: Ministerio del Ambiente (Perú)
Digesa: Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria (Perú)
Inacal: Instituto Nacional de Calidad (Perú)
INIA: Instituto Nacional de Innovación Agraria (Perú)
LABCAL: Laboratório de Biomarcadores de Contaminação Aquática e Imunoquímica (Brasil, Universidad Federal de Santa Catarina)
UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil)
Aiuká: Empresa brasileña especializada en manejo y rescate de fauna en emergencias ambientales
ERM: Environmental Resources Management (consultora internacional de gestión ambiental)
CIMM T&S: CIMM Testing and Services (empresa de servicios de análisis en el Perú)
Defensoría del Pueblo: Institución de defensa de los derechos de la ciudadanía en el Perú
Minsa: Ministerio de Salud (Perú)
Minedu: Ministerio de Educación (Perú)
Minem: Ministerio de Energía y Minas (Perú)
Mincetur: Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (Perú)
Cenepred: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (Perú)

Tabla S2. Impactos, procedimientos de evaluación, actores e indicadores de éxito relacionados con los derrames de hidrocarburos en los ecosistemas acuáticos marinos. NI = no identificado.

IMPACTO	PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN	ACTOR	INDICADORES DE ÉXITO DESPUÉS DEL PLAN DE ACCIÓN	COMENTARIO
Contaminación en fauna (recursos hidrobiológicos, incluidos peces e invertebrados)	* Monitoreo sistemático y colecta de material biológico * Técnicas: HPLC, HAPS, TPH * Análisis ecotoxicológicos.	Aiuká, laboratorios y remediadoras, universidades (LAPAD/UFSC, Brasil), OEFA, Produce, Imarpe, Sanipes, Digesa.	Niveles de hidrocarburos en tejidos por debajo de los estándares de calidad	* Necesidad de profesionales capacitados para la recolección de muestras biológicas para análisis específicos * Coordinación entre autoridades y ejecutores de seguimiento ambiental * Especialización en ictiofauna y validación de metodologías (Imarpe, UNMSM)
Contaminación en fauna (fauna silvestre)	* Monitoreo sistemático, transectos y captura de especímenes para evaluaciones sanitarias (hemograma, bioquímica, toxicología, examen físico) * Biomarcadores: citocromo P450, GST, análisis histopatológico	Universidades (LABCAI/UFSC, Brasil), empresas, laboratorios (CEIMIC), Científica, URP, Aiuká, OEFA, Sernanp, Serfor, Osinfor, Minam, laboratorios privados	Recuperación de biodiversidad y condiciones ecológicas similares al sitio de referencia	* Creación de guía de monitoreo para fauna silvestre marina * Estandarización de metodologías científicas * Necesidad de centros de rescate para animales en áreas afectadas
Contaminación de flora y algas	* Monitoreo de parámetros de calidad ambiental (HAP, TPH) * Análisis microbiológicos y ecotoxicológicos	Universidades (Científica, URP), consultoras ambientales, ERM, OEFA, Sernanp, Serfor, Osinfor	* Valores sanguíneos y enzimáticos dentro de los rangos normales * Reducción de contaminantes (HAP, TPH, metales) a niveles aceptables	Limitaciones para la obtención de permisos para la recolección de muestras
Contaminación del agua	* Recolección de muestras para análisis de HPLC, espectrometría de masas (TPH, HAP) * Análisis microbiológicos y DBO	Laboratorios certificados, universidades (UNMSM, Científica), Imarpe, laboratorios (ALS, AGQ, SGS), remediadoras, PNSR	Resultados alineados con estándares de literatura científica y regulaciones de la FDA, EPA, EU, OEFA	Distinción entre análisis académicos y legales con fines de responsabilidad. Protocolos de muestreo autorizados.
Ingreso de hidrocarburos y otros contaminantes (metales, microplásticos)	* Evaluaciones biológicas, poblacionales, ambientales y oceanográficas en zonas afectadas	Serfor, Aiuká, Imarpe, International Bird Rescue, PCM, Minem, Minam, OEFA, universidades (Cayetano, San Marcos, Científica), empresas privadas	* Hidrocarburos por debajo del LMP y ECA * Cumplimiento de la categoría ECA específica	* Estado de ecosistemas marinos en condiciones previas al impacto * Informes trimestrales de censos de aves por Agro Rural
Contaminación de suelo/sedimento	* Recolección de muestras para análisis de HPLC, espectrometría de masas * Análisis microbiológico y de macrobentos	Laboratorios (CEIMIC, ALS, SGS, TYPASA), remediadoras, Minam, Serfor, universidades, laboratorios certificados (CERPER)	Cumplimiento de los ECA de suelo según D. S. 011-2017-MINAM	* Ausencia de líneas base * Diferenciación entre análisis con fines académicos y legales * Métodos de análisis acreditados por Inacal
Impacto de actividades económicas	* Valorización económica de actividades * Análisis de impacto en calidad de vida * Estadísticas de índices económicos	Ministerio de Trabajo, Produce, Ministerio de Cultura, Minedu, Ministerio de Economía, empresa responsable, PCM, universidades, INEI, PCM, Dicapi, Indeci	Índice de pobreza o nivel socioeconómico en áreas afectadas	Limitaciones para obtener permisos para muestras en áreas sensibles. Ausencia de líneas base.
Impacto en la salud humana	* Evaluaciones clínicas y ocupacionales en poblaciones cercanas * Monitoreo de salud y evaluaciones psicológicas	Sanipes, municipalidades, PCM, gobiernos regionales, Indeci, Censopas, Diresa, Minsa, Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables, universidades, Digesa, centros de salud ocupacional	* Reportes trimestrales de la DGE * Plataforma web de sala situacional de la DGE * Política de atención a personas afectadas	Ausencia de pruebas para detección de tóxicos en sangre y evaluación de residuos de petróleo en personas afectadas

GLOSARIO DE SIGLAS

HPLC: High-Performance Liquid Chromatography (cromatografía líquida de alta resolución)

HAPS: Hydrocarbon Absorption Products in Soils (productos de absorción de hidrocarburos en suelos)

TPH: Total Petroleum Hydrocarbons (hidrocarburos totales de petróleo)



Organizaciones y entidades

LAPAD: Laboratório de Análise e Processamento de Águas e Resíduos (Laboratorio de Análisis y Procesamiento de Aguas y Residuos) (UFSC, Brasil)
UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina (Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil)
OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Perú)
Produce: Ministerio de la Producción (Perú)
Imarpe: Instituto del Mar del Perú
Sanipes: Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (Perú)
Digesa: Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria (Perú)
UNMSM: Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú)
Científica: Universidad Científica del Sur (Perú)
URP: Universidad Ricardo Palma (Perú)
Sernanp: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Perú)
Serfor: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Perú)
Osinfor: Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (Perú)
ALS: ALS Global (empresa internacional de servicios de análisis y pruebas)
AGQ: AGQ Labs (laboratorio de análisis químico y ambiental)
SGS: Société Générale de Surveillance (empresa de inspección, verificación, pruebas y certificación)
PNSR: Programa Nacional de Saneamiento Rural (Perú)
Inacal: Instituto Nacional de Calidad (Perú)
ECA: Estándar de calidad ambiental
LMP: Límites máximos permisibles
FDA: Food and Drug Administration (Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos)
EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos)
EU: European Union (Unión Europea)
DS: Decreto supremo
DICAPI: Dirección General de Capitanías y Guardacostas (Perú)
INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática (Perú)
Indeci: Instituto Nacional de Defensa Civil (Perú)
Censopas: Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud (Perú)
DIRIS: Dirección de Redes Integradas de Salud (Perú)
Gores: Gobiernos regionales (Perú)
DGE: Dirección General de Epidemiología (Perú)
PCM: Presidencia del Consejo de Ministros (Perú)
Minem: Ministerio de Energía y Minas (Perú)
Minsa: Ministerio de Salud (Perú)
Agro Rural: Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural (Perú)