

Evaluación de riesgos de un pasivo ambiental en la comercialización de hidrocarburos

Yamila Navarro Sosa

E-MAIL: yamilan@ceinpet.cupet.cu

Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET)

José Carlos Rojas Acosta

E-MAIL: josecarlosrojasacosta98@gmail.com

Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría

Lester Rivas Trasancos

E-MAIL: lester@ceinpet.cupet.cu

Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET)

Carlos C. Cañete Pérez

E-MAIL: carlosc@ceinpet.cupet.cu

Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET)

Yuletsis Díaz Rodríguez

E-MAIL: yuletsis@ceinpet.cupet.cu

Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET)

RESUMEN

El análisis de riesgos evalúa la probabilidad de ocurrencia con el impacto de dichos riesgos. En el sector de hidrocarburos, un pasivo ambiental es una instalación abandonada inadecuadamente, suelo contaminado por derrames u otros. El objetivo de este trabajo es definir un plan de gestión de riesgo. Se realizó la caracterización del residuo y de la zona. Se identificaron los eventos peligrosos: derrame por desborde, contaminación del suelo por infiltración, así como calor por radiación y humos sofocantes y tóxicos de un incendio. Se aplicó el método de las matrices considerando la probabilidad de ocurrencia contra la vulnerabilidad. El peligro de infiltración implicó un nivel alto de riesgo. Se elaboró el plan de gestión de riesgo siendo su principal acción la liquidación de la piscina y el saneamiento del área.

PALABRAS CLAVES:

eventos peligrosos, pasivo ambiental, residuo, riesgo, vulnerabilidad

Risk assessment of an environmental liability in the commercialization of hydrocarbons

ABSTRACT

The risk analysis evaluates the probability of occurrence with the impact of said risks. In the hydrocarbon sector, an environmental liability is an improperly abandoned facility, soil contaminated by spills or others. The objective of this work is to define a risk management plan. The characterization of the residue and the area was carried out. Hazardous events were identified: overflow spill, soil contamination by infiltration, as well as radiant heat and suffocating and toxic fumes from a fire. The matrix method was applied considering the probability of occurrence against vulnerability. The danger of infiltration implied a high level of risk. The risk management plan was drawn up, its main action being the liquidation of the pool and the sanitation of the area.

KEYWORDS: hazardous events, environmental liability, waste, risk, vulnerability

01 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la industria petrolera se encuentra entre las que más perjuicios ocasionan al medio ambiente, ya que esta pretende mantener la creciente demanda del crudo a través de una mayor explotación de este recurso natural; no obstante muchas de las empresas que forman parte de esta actividad han comenzado a desarrollar acciones para minimizar los daños que se originan al medio ambiente, debido a: la emisión de gases contaminantes, derrames de petróleo y la deforestación de zonas productivas (Díaz y Baujín 2020).

Los pasivos ambientales son zonas que, por el desarrollo de alguna actividad o proyecto, fueron contaminadas por sustancias peligrosas que se dispersaron. En el sector de los hidrocarburos, un pasivo ambiental es una instalación pozo o ducto abandonado inadecuadamente, suelo contaminado por efluentes o derrames, restos de residuos u otros. Para que sea considerado un pasivo ambiental, se requiere que genere daño o riesgo de daño al medio ambiente o a la salud de las personas (Díaz y Baujín 2020; Nilles y Goenaga 2019).

La importancia de la identificación y valoración de los pasivos ambientales en el sector de los hidrocarburos radica en que cualquier depósito o sitio que se encuentre contaminado o haya estado expuesto de una manera prolongada a sustancias de hidrocarburos u otros considerados como residuos peligrosos, ocasionan un daño potencial y vigente para el ambiente y la salud (Oblasser y Chaparro 2008, Posada 2017, Valdés 2011). Siendo así, todos estos residuos deben ser dispuestos con el fin de garantizar la mitigación del riesgo que representan y minimizar el daño que ocasionaron una vez que fueron generados (Cárdenas y Piñeros 2019).

El análisis cualitativo de riesgos se encarga de priorizar los mismos para el análisis, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia con el impacto de dichos riesgos. Este proceso permite reducir el nivel de incertidumbre y concretarse en los riesgos de alta prioridad.

Una vez identificados y cuantificados los riesgos, se debe dar una respuesta oportuna a estos, para ello se establece un plan de gestión de riesgos a partir del análisis de causa y efecto. De esta información se desarrollarán e implementarán acciones preventivas y correctivas, la asignación de recursos de la organización, ya sea de presupuesto, así como, responsables de la ejecución e implementación (Cárdenas y Piñeros 2019, Díaz y Baujín 2020, Díaz 2021).

En correspondencia con lo anterior es necesario la caracterización del pasivo ambiental y la evaluación de los riesgos asociados para proponer un plan de gestión de riesgos que permita minimizar los peligros que se derivan de estos. Por tal motivo esta investigación presenta como objetivo general definir un plan de gestión de riesgo para el manejo del pasivo ambiental piscina de residuales de hidrocarburos de una comercializadora de combustibles.

02 MÉTODOS

CARACTERIZACIÓN DEL PASIVO AMBIENTAL

La piscina de residuos petrolizados, constituye un pasivo ambiental petrolero que se generó por la acumulación de residuos provenientes de drenajes de los tanques de combustibles y otros desechos petrolizados (figura 1).



Figura 1. Pasivo ambiental piscina de residuos petrolizados

Las dimensiones aproximadas de la piscina son 100 x 60 x 0,4 m, con un estimado de residuos de 2400 m³ y la misma se encuentra ubicada en una depresión natural de un terreno sin impermeabilizar.

Con el objetivo de caracterizar el residuo contenido en la piscina fue analizada una muestra del mismo. La muestra petrolizada fue deshidratada con la finalidad de determinar el contenido de agua emulsionada y prepararla para los ensayos físico-químicos. Los métodos utilizados para la caracterización físico-química del residuo deshidratado se describen a continuación (tabla 1).

Tabla 1. Métodos de ensayos utilizados en el análisis de la muestra

Ensayo	Método
Viscosidad cinemática a 100°C (mm ² /s)	ASTM D445-2019
Cenizas totales (% mm)	ASTM D482-2013
Densidad a 15 °C (kg/m ³)	ASTM D287-2012b
Densidad a 20 °C (kg/m ³)	
°API	
Azufre total (% m/m)	ASTM D1552-2008
Residuo de carbón (Micro) (% m/m)	ASTM D4530-2015
Sedimentos en petróleo crudo (% v)	ASTM D4807-2005 (reaprobada 2015)
Valor calórico neto (kcal/kg)	ASTM D4809-2018
Punto de fluidez en petróleo crudo (°C)	ASTM D5853-2017a
pH(25 °C)	NC 32:2009
Conductividad (25 °C) (μS/cm)	
Grasas y Aceites (G y A) (mg/kg)	APHA 5520:2017
Hidrocarburos Totales (HCT)(mg/kg)	
HC Saturados (S) (mg/kg)	EPA 3540C:1996
HC Aromáticos (A) (mg/kg)	
Resinas (R) (mg/kg)	
Asfáltenos (A)(mg/kg)	
Metales	LSA-PT-29, Medición por ICP-OES(método interno)

UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA

Se emplearon imágenes satelitales para la ubicación de la piscina, lo que permite calcular la distancia a objetos vulnerables, corroborado mediante observación en visita realizada al área de estudio. La caracterización geológica de la zona proviene del Estudio de riesgos naturales de la entidad (Rubio et al. 2019). Se utiliza además el Mapa geológico digital de la República de Cuba escala 1:100 000.

EVALUACIÓN DE RIESGO

Referido a un accidente el riesgo se expresa en la magnitud de sus consecuencias y esta a su vez es directamente proporcional al nivel de vulnerabilidad de los componentes del medio físico ubicados en el área de efecto, por lo que es posible determinar el nivel de riesgo mediante la siguiente ecuación (Camejo y Alfonso 2016):

$$R = P_A V_T \quad (1)$$

R : riesgo de accidente

P_A : probabilidad de accidente

V_T : vulnerabilidad de todos los elementos que pudieran ser afectados

IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS QUE PUDIERAN OCURRIR

Para identificar los riesgos asociados al pasivo ambiental se realizó una visita al lugar y se determinaron cualitativamente las posibles afectaciones en el área circundante.

Los eventos peligrosos que pudieran producirse en este caso serían derrames e incendios. Estos traen consigo efectos peligrosos tales como: contaminación del suelo, aguas subterráneas y superficiales por la infiltración ahí presente, así como por desbordamiento en caso de la ocurrencia de algún fenómeno meteorológico. Además, producto de un incendio se puede producir calor por radiación y generarse humos tóxicos y sofocantes.

Derrame por desborde

Se considera que la piscina de residuales tiene una altura del talud de 0,7 m, y se asume un radio de efecto de 200 m, distancia máxima aproximada a la cual pueden llegar los residuos que se desbordan teniendo en cuenta que la pendiente es mínima.

Contaminación del suelo por infiltración

A partir de la caracterización geólogo-geomorfológica de la zona se conoce que el coeficiente de infiltración es muy elevado, lo que justifica la abundancia de procesos cársicos subterráneos de disolución originando cavernas y grietas. Se estima el riesgo según estas características y por el tiempo que lleva depositado el residual dentro del pasivo ambiental.

Calor de radiación por incendio

Para determinar el riesgo que representa un incendio y la magnitud de sus consecuencias la expresión siguiente define el flujo de calor radiante recibido a una distancia (d) a partir de una llama cualquiera (Camejo y Alfonso 2016):

$$q_r = 0,0796 \frac{\varphi m \Delta H_c}{d^2} \quad (2)$$

q_r : flujo de calor radiante recibido a distancia d desde el centro de la llama (BTU/hpie²).

φ : fracción del calor emitido que se convierte en radiación.

ΔH_c : calor de combustión de los gases o vapores incendiados (BTU/lb).

m : caudal másico de gases o vapores quemados (lb/hr).

d : distancia desde el punto central de la llama hasta el punto considerado (pies).

Para el cálculo del flujo de calor radiante se considera una fracción de calor emitido por radiación igual a 0,21, el poder calórico del residuo es de 9430 kcal/kg, la distancia es de 20 m, la densidad a

20°C es de 1,0275 g/cm³, el volumen de residuos de la piscina es de 2400 m³ y el tiempo aproximado de quema del residuo es de 7 días.

Se determina la masa del residuo, a partir de la densidad y del volumen, que será afectado por 0,7 ya que contiene un 30 % de agua. Se calcula el caudal másico referido a los 7 días que se quema la masa de residuo. Se compara el flujo de calor radiante qr con los valores expuestos en la bibliografía, relacionados con los daños a las personas y estructuras (Camejo y Alfonso 2016). A partir de los daños y la distancia se establece la probabilidad de ocurrencia de ese evento.

Humos sofocantes y tóxicos del incendio

Para un flujo másico igual al calculado anteriormente, se realiza un balance de masa global en la piscina, donde se considera que la cantidad de residuo existente es igual a la cantidad que se quema despreciando las cenizas producidas durante el proceso, por tanto, se calcula la carga de contaminantes presentes en el humo con la cual se estima la magnitud de las consecuencias de este efecto peligroso.

MÉTODO UTILIZADO PARA ESTIMAR LOS NIVELES DE RIESGOS

Para estimar los niveles de riesgo presentes se utiliza el método de matrices de riesgo, seleccionando una matriz simple de probabilidad de ocurrencia contra vulnerabilidad del medio físico. Para ambos indicadores se consideran las categorías: baja; media y alta, como aparece en la figura 2. Las celdas o cuadrículas rojas indican niveles altos de riesgos; las verdes, niveles aceptables y las amarillas indican niveles medios (Camejo y Alfonso 2016).

La probabilidad de ocurrencia de un accidente determinado depende del nivel de seguridad existente y se estima según la experiencia de accidentes ocurridos o por la influencia de agentes externos. La magnitud de sus consecuencias o afectaciones a la vida y salud humana, económicas y/o al medio ambiente están determinadas tanto por la magnitud del peligro, como por la vulnerabilidad de dicho entorno, determinado por la presencia de elementos que pueden ser afectados por los efectos peligrosos de un accidente.

P R O B A B I L I D A D	Alta	Amarela	Rojo	Rojo
	Media	Verde	Amarela	Rojo
	Baja	Verde	Verde	Amarela
		Baja	Media	Alta
		VULNERABILIDAD		

Figura 2. Matriz simple de riesgo de probabilidad vs vulnerabilidad

A los componentes de los elementos vulnerables se les asigna una puntuación (tabla 2) para determinar el Factor de vulnerabilidad (FV) para cada efecto peligroso mediante la ecuación siguiente:

$$FV = \sum F_i \quad (3)$$

F_i : puntuación para cada indicador

Tabla 2. Modelo general para la evaluación de la vulnerabilidad del entorno

No.	Descripción de los elementos vulnerables presentes en el área de efecto	Existencia en el área (X)	Distancia aproximada(m)
1.	Instalaciones en el área de efecto cuya actividad y usuarios podrían afectarse. Existe 1: 5 puntos, 2 o 3: 15 puntos, más de 3: 25 puntos		
	Hospital u otro centro de atención médica		
	Escuela o Círculo Infantil		
	Área o centro cultural, deportivo o recreativo		
	Terminal de transportación (ómnibus, ferrocarril, aérea, etc.)		
	Centro o área comercial o servicios		
	Edificio administrativo (de oficinas o sede de organismos)		
2.	Población residente en el área de efecto. Menos de 50: 10ptos, de 50 a 100: 15 puntos, más 100: 25 puntos		
3.	Otros elementos y personas vulnerables en el área de efecto. Existe 1 o 2: 10 puntos, existen 3 o más: 15 puntos		
	Puntos de venta de GLP		
	Gasolineras		
	Taller o instalación industrial		
	Subestación eléctrica o red de alto voltaje		
	Conductora de agua potable o sistema de alcantarillado		
4.	Trabajadores		
	Vulnerabilidad ecológica y zonas patrimoniales en el área de efecto. Existe 1: 15 puntos, 2 o 3: 25 puntos, más de 3: 35 puntos		
	Área protegida (Reserva natural o ecológica, otras)		
	Área boscosa		
	Cuenca hidrográfica		
	Río, arroyo, laguna o embalse de agua		
	Bahía o zona costera		
Agua subterránea			
Área de cultivo o de cría de animales			

La vulnerabilidad total se clasifica como baja, media o alta atendiendo a la puntuación del FV(Camejo y Alfonso, 2016):

$$FV < 15 \text{ Vulnerabilidad baja}$$

$$15 \geq FV < 25 \text{ Vulnerabilidad media}$$

$$FV \geq 25 \text{ Vulnerabilidad alta}$$

PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS

Para elaborar el plan de gestión de riesgos se tuvo en cuenta el resultado de la matriz de riesgo y la disponibilidad de recursos. Se incluyen acciones preventivas y correctivas que garantizan eliminar o mitigar el riesgo.

03 DISCUSIÓN

Los residuos petrolizados contenidos en la piscina son considerados desechos peligrosos según el Anexo VI Clasificación general de desechos peligrosos, de la Resolución 253/2021 del CITMA.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL RESIDUO DESHIDRATADO

Los resultados de los ensayos (tabla 3) muestran que el residuo petrolizado es semejante a un petróleo ultrapesado de acuerdo a la densidad y a la gravedad API y con respecto al contenido de azufre se clasifica como altamente sulfuroso, según (Linares et al. 2011).

Al comparar el valor del poder calórico obtenido del residuo con los datos de combustibles se puede observar que es semejante al crudo, aspecto favorable para la posibilidad de aprovechamiento energético.

Tabla 3. Resultados de la caracterización físico-química

Ensayo	Resultados
Viscosidad cinemática a 100 °C (mm ² /s)	721,7
Cenizas totales (% mm)	0,80
Densidad a 15 °C (kg/m ³)	1030,7
Densidad a 20 °C (kg/m ³)	1027,5
°API	5,7
Azufre total (% m/m)	8,3
Residuo de carbón (Micro) (% m/m)	15,7
Sedimentos en petróleo crudo (% v)	20,1
Valor calórico neto (kcal/kg)	9430
Punto de fluidez en petróleo crudo (°C)	26
Insolubles en n-heptano (asfáltenos) (% m/m)	17,8
pH(25 °C)	4,51
Conductividad (μS/cm)	1391
G y A (mg/kg)	970183 (97,0 %)
HCTP (mg/kg)	697337 (69,7 %)
S (mg/kg)	374508(37,4 %)
A (mg/kg)	322829(32,2 %)
R (mg/kg)	31570(31,5 %)
A (mg/kg)	241276(24,1 %)

Al comparar los resultados de la caracterización con la NC 521: 2007 “Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas – Especificaciones”, los valores obtenidos de hidrocarburos del petróleo y compuestos relacionados resultan muy elevados, lo que indica la presencia de un residuo muy contaminante.

UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS VULNERABLES

En la tabla 4 se registran los elementos vulnerables cercanos a la piscina de residuales y la distancia a que se encuentran de la misma.

Tabla 4. Distancia de la piscina a los elementos vulnerables

Elementos	Calderas	Tanques							Bahía
		13	22	23	27	28	29	43	
Distancia (m)	19	59	51	32	63	179	72	34	285

CARACTERIZACIÓN GEÓLOGO-GEOMORFOLÓGICA DE LA ZONA

Geomorfológicamente la zona presenta cuatro niveles de terrazas marinas emergidas. La costa es tipo carso-regular y abrasiva con la presencia de un acantilado que llega a tener alturas de hasta 2 m sobre el nivel medio del mar. La zona está caracterizada además por sistemas de grietas, tanto perpendiculares como paralelas a la línea de costa, estas últimas son las que evidencian un mayor desarrollo. Las grietas perpendiculares se cierran hacia el interior de la zona y se abren hacia el mar (Rubio et al. 2019).

El coeficiente de infiltración es muy elevado lo que justifica la abundancia de procesos cársicos subterráneos de disolución originando cavernas y grietas. Estos rasgos definen un relieve joven en una superficie de origen marino, sobre un basamento carbonatado, con desarrollo de procesos cársicos cuya evidencia se aprecia, en las formas de relieve cársico superficial, localizadas en el terreno como dolinas, lapiaz, cavernas y grietas del mismo origen. Litológicamente las formaciones están constituidas por sedimentos con una gran porosidad y permeabilidad por lo que la infiltración de cualquier fluido sería relativamente rápida sobre la base de la viscosidad del mismo.

El relieve actual en la zona de estudio se caracteriza por el alto nivel de modificación debido a los procesos constructivos, tanto de viales, instalaciones e infraestructura portuaria, en este último caso, incluye la rectificación de tramos del litoral y el relleno de superficies marinas con material de préstamo. Una parte del área industrial se encuentra sobre una superficie cársico- denudativa.

Las características hidrogeológicas de las formaciones presentes son de acuífero litoral, parcial o totalmente afectado por instrucción marina. Es de destacar que el buzamiento de las capas geológicas hacia el sureste coincide con la pendiente del relieve, indicando que es la dirección preferencial de escurrimiento tanto en superficie como en profundidad (Molerio et al. 2014).

EVALUACIÓN DE RIESGO

Se confeccionaron los modelos para los peligros derrame por desborde, contaminación por infiltración, calor de radiación por incendio, humos sofocantes y tóxicos de un incendio y se determinó la probabilidad de ocurrencia cuyos resultados se muestran en la tabla 5. La representación esquemática de los resultados en la matriz, se muestra en la figura 3.

Tabla 5. Resultados de la evaluación de riesgo

No.	Peligro	Factor de vulnerabilidad	Vulnerabilidad	Probabilidad	Nivel de riesgo
1	Derrame por desborde	10	Baja	Media	Bajo
2	Contaminación del suelo por infiltración	15	Media	Alta	Alto
3	Calor de radiación por incendio	15	Media	Baja	Bajo
4	Humos sofocantes y tóxicos de un incendio	30	Alta	Baja	Medio

P R O B A B I L I D A D	Alta		2	
	Media	1		
	Baja		3	4
		Baja	Media	Alta
		VULNERABILIDAD		

Figura 3. Matriz de riesgo

Para los peligros de derrame por desbordamiento (1) y calor de radiación por incendio (3) se considera un nivel de riesgo aceptable. Se requiere actuar sistemáticamente en función de que el mismo se mantenga en ese nivel, en particular mediante la elaboración y cumplimiento de los programas de inspección y mantenimiento requeridos, tanto para equipamiento tecnológico, como para los sistemas y medios de protección (prevención y mitigación) existentes, con el objetivo de conservar sus condiciones técnicas iniciales.

En el caso del peligro humos sofocantes y tóxicos de incendio (4) resulta un nivel de riesgo medio y deben reducirse hasta aceptables siempre que la reducción se justifique técnica y económicamente.

El peligro de contaminación del suelo por infiltración (2) resultó tener un nivel alto de riesgo que se considera inaceptable, por lo que se requiere actuar inmediatamente para su disminución hasta niveles aceptables (cuadrículas verdes), para lo cual será necesario disminuir la probabilidad de ocurrencia del escenario, o la probabilidad del escenario conjuntamente con la magnitud de las consecuencias.

PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO

Teniendo en cuenta los resultados anteriores existen dos peligros que merecen atención con mayor prioridad (humos sofocantes y tóxicos de incendio y contaminación del suelo por infiltración) aunque en el plan de gestión de riesgos se incluyen acciones que permitan mantener el nivel de riesgo aceptable en los restantes peligros analizados.

Acciones a ejecutar para gestionar los riesgos:

- Eliminar los aportes de residuos hacia la piscina
- Elevar los taludes
- Mantener un sistema de vigilancia para la detección oportuna de incidentes
- Realizar frecuentemente simulacros de incendios
- Realizar mantenimiento a los extintores
- Mantener los hidrantes con disponibilidad de agua
- Dar mantenimiento a los medios de protección
- Señalizar el área con los posibles peligros
- Eliminar la piscina de residuos y sanear el área impactada

La eliminación del pasivo ambiental es la medida que permite la anulación de los riesgos identificados y es la solución para evitar la infiltración de contaminantes en el suelo, pero su ejecución depende de las condiciones técnicas y económicas para su implementación por lo que se requiere aplicar el resto de las acciones para disminuir los niveles de riesgo hasta que sea posible eliminar la piscina.

04 CONCLUSIONES

La caracterización del residuo arrojó niveles de contaminación elevados en la piscina.

La evaluación de riesgos demostró que el peligro de contaminación del suelo por infiltración presenta un nivel alto de riesgo, con posible impacto negativo en zonas de la bahía.

Se presenta una propuesta de plan de gestión de riesgo para minimizar y/o eliminar los riesgos identificados.

05 REFERENCIAS

- Camejo J. J. y Alfonso M.** (2016). "Seguridad Industrial: Aspectos Básicos", Instituto Superior Politecnico "José A. Echeverría" (CUJAE), ISBN 978-959-261-497-0, La Habana, Cuba.
- Cárdenas E. A. y Piñeros C. A.** (2019). "Diseño de una metodología que permita la identificación y la valorización de los pasivos ambientales huérfanos petroleros mediante el uso de una plataforma digital". Tesis de Ingeniero de petróleos, Fundación Universidad de América, Bogotá DC, Colombia.
- Díaz Y. y Baujín P.** (2020). "Procedimiento para la identificación, cuantificación y registro contable de los pasivos ambientales en la industria petrolera cubana". Revista Cubana de Finanzas y Precios, Volumen 4 No. 1, 63-72. ISSN-e 2523-2967, Cuba.
- Díaz J. M.** (2021). "Construcción del Plan de Gestión de Riesgos asociados a las actividades del Proceso de Gestión Inmobiliaria de Servidumbres Petroleras aplicado a la empresa Codeinsu S.A.S". Proyecto de Grado Especialización en Gestión de Proyectos, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – Unad, Bogotá, Colombia.
- Linares E., García D., Delgado O., López J. G y Strazhevich V.** (2011). "Yacimientos y Manifestaciones de Hidrocarburos de la República de Cuba", Centro de Investigaciones del Petróleo, Centro Nacional de Información Geológica (CNIG), ISBN 978-959-7117-33-9, La Habana, Cuba.
- Molerio L. F., Escalera V., y Balado E. J.** (2014). "Desarrollo gasopetrolífero y gestión de los recursos hidráulicos subterráneos en el área cársica protegida de Punta Guanós", Gota a gota, ISSN-e 2340-1346, No. 6, 2014, págs. 10-20, Matanzas, Cuba.
- Nilles V. y Goenaga A.** (2019). "Pasivos ambientales e información socioambiental en empresas petroleras argentinas". Revista CEA, Volumen III, No. 1, 23, ISSN: 2390-0725, Colombia.
- Oblasser Á. y Chaparro E.** (2008). "Estudio comparativo de la gestión de pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos", CEPAL – Serie recursos naturales e infraestructura, publicación de las Naciones Unidas, ISSN versión impresa 1680-1-323175-3, ISBN 978-92-1-323175-3, Santiago de Chile.

Posada Y. Y. (2017). “Formulación del Plan de Gestión Ambiental de la Compañía Drillsite Fluid Treatment bajo lineamientos de la Norma ISO 14001”, Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayan, Colombia.

Rubio M., Hernández K., Olivera W., Cervera D., y Aponte N. (2019). “Estudio de Riesgos Naturales ECC Matanzas”. Matanzas, Cuba.

Valdés W. (2011). “Tratamiento Físico Químico de Residuos Oleosos”, tesis para optar por el título de ingeniero de petróleo, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Yamila Navarro Sosa

<https://orcid.org/0000-0002-6053-2872>

Elaboró, desarrolló y dirigió la investigación. Realizó la búsqueda y análisis de la información de referencia. Participó en el desarrollo experimental de la investigación y en la discusión de los resultados. Realizó la escritura del artículo.

José Carlos Rojas Acosta

<https://orcid.org/0000-0002-3733-7809>

Participó en el desarrollo de la investigación y en la discusión de resultados. Realizó la búsqueda y análisis de la información de referencia. Participó en la escritura y revisión del artículo.

Lester Rivas Trasancos

<https://orcid.org/0000-0001-9521-4420>

Participó en el desarrollo experimental de la investigación, en la realización de los análisis químicos y procesamiento de los resultados.

Carlos César Cañete Pérez

<https://orcid.org/0000-0002-8609-2553>

Participó en el desarrollo de la investigación y colaboró con la discusión de resultados.

Yuletsis Díaz-Rodríguez

<https://orcid.org/0000-0002-0705-1439>

Participó en la discusión de estos resultados.