



ARTÍCULO ORIGINAL

RIESGO AMBIENTAL POR CONTAMINACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LA COMUNIDAD DE CORAPATA, DISTRITO DE PUSI PUNO

ENVIRONMENTAL RISK DUE TO HYDROCARBON POLLUTION IN THE CORAPATA COMMUNITY, DISTRICT OF PUSI PUNO

María Rodríguez Melo¹

¹Universidad Nacional del Altiplano – Puno Av. Floral 1153.

RESUMEN

En Pusi, los acontecimientos de exploración, socioambientales y cierre de pozos petroleros, interfirieron directa e indirectamente a terrenos de cultivo, agua, suelo; generando efectos negativos a la población de Corapata. El objetivo del estudio fue evaluar el riesgo ambiental, con lineamientos establecidos en la Guía de Evaluación de Riesgo Ambiental MINAM, sustentada en la Norma UNE 150008 2008, la metodología recurrió a la revisión bibliográfica, trabajo de campo y gabinete; identificando entornos humano, ecológico y socioeconómico; se caracterizó agua, suelo y se evaluó el riesgo ambiental. Los resultados de las dos áreas contaminadas indican escenarios de riesgo en los tres entornos, al comparar los límites de tolerancia ECA, para los parámetros fisicoquímicos del agua superan T, CE, CL, OD, HTP y HEM, DBO₅, DQO no superan; respecto al suelo de uso agrícola As, B, Ca, K, Na y P superan, no superan Ag, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Na, Sr, Se, V y Zn; todos los parámetros se tabularon mediante el programa MINITAB, permitiendo predicciones de contaminación. El criterio de valoración de riesgo es producto de la probabilidad y la gravedad de consecuencias, cuyos resultados en entorno humano: agua es 39,7 % (AC-1) y 42,8 % (AC-2); para el suelo, 32,5 % (AC-1) y 30,8 % (AC-2). Entorno ecológico 43,7 % (AC-1) y 47,9 % (AC-2) respecto al agua, y suelo 30,8 % (AC-1) y 29,18 % (AC-2). Entorno socioeconómico 62 %. Se concluye un riesgo moderado de 55 % en Corapata.

Palabras clave: Escenario de riesgo, gravedad, parámetros fisicoquímicos, probabilidad, riesgo ambiental.

ABSTRACT

In Pusi, the exploration, socio-environmental events and closure of oil wells, directly and indirectly interfered with farmland, water, soil; generating negative effects to the population of Corapata. The objective of the study was to evaluate the environmental risk, with guidelines established in the MINAM Environmental Risk Assessment Guide, based on the UNE 150008 2008 Standard, the methodology resorted: bibliographic review, field work and office identifying human, ecological and socioeconomic environments; water and soil and environmental risk was evaluated. The results of the two contaminated areas indicate risk scenarios in the three environments, when comparing the ECA tolerance limits, for the physicochemical parameters of the water exceed T, CE, CL, OD, HTP and HEM, BOD₅, COD do not exceed; Regarding land for agricultural use, As, B, Ca, K, Na and P exceed, but do not exceed Ag, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Na, Sr, Se, V and Zn; all parameters were tabulated using the MINITAB program, allowing contamination predictions. The risk assessment criterion is the product of the probability and severity of consequences, whose results in the human environment: water is 39,7 % (AC-1) and 42,8 % (AC-2); for the soil, 32,5 % (AC-1) and 30,8 % (AC-2). Ecological environment 43,7 % (AC-1) and 47,9 % (AC-2) with respect to water, and soil 30,8 % (AC-1) and 29,18 % (AC-2). Socioeconomic environment 62 %. A moderate risk of 55 % is concluded in Corapata.

Keywords: Risk scenario, severity, physicochemical parameters, probability, environmental risk

*Auto para correspondencia: mariarodriguez@unap.edu.pe
ORCID: [0000-0002-3357-5105](https://orcid.org/0000-0002-3357-5105)



INTRODUCCIÓN

En Corapata, después de las perforaciones petroleras por “Titi Caca Oil Company”, el abandono de los pozos, la presencia de emanaciones ha ocasionado la acumulación de sustancias divididas del petróleo y contaminantes, afectando los recursos naturales, medio ambiente y siendo una seria amenaza para la biodiversidad (Goyzueta 2005; Gonzales *et al.*, 2007; Pinedo 2014; Huisa 2017; OEFA 2019), el estudio se realizó en dos sitios contaminados.

Un sitio contaminado, es considerado pasivo ambiental, cuando genera daño, riesgo al ambiente, a la salud de las personas; primero se define el área afectada, luego las características físicas, químicas, biológicas o toxicológicas de los contaminantes presentes, así como su nivel de riesgo alto, medio y bajo (OEFA 2016). La evaluación del riesgo ambiental, indica la probabilidad que ocurra un efecto adverso como resultado de la exposición a contaminantes que dañan receptores (Moran 2016).

Cualquiera sea la afectación, se presenta el riesgo bajo tres enfoques: riesgo humano; ecológico, y socioeconómico. El riesgo humano se da esencialmente cuando hay hidrocarburos volátiles y ligeros alojados en espacios abiertos donde existe oxígeno, a temperatura ambiente, la inhalación e ingestión y el contacto dérmico se deben a su solubilidad en agua (Saval *et al.* 2004; Castro, 2009; Zavala 2017; Luque *et al.* 2005). El riesgo ecológico, supone la afectación a la integridad de agua, suelo, flora y fauna debido a la presencia de hidrocarburos y sustancias contaminantes (Saval *et al.* 2004; Gonzales *et al.* 2007; Castro 2009). El riesgo socioeconómico es la exposición potencial de espacios físicos.

Se considera que las principales fuentes antropogénicas de contaminación del suelo, son los químicos utilizados, producidos como subproductos de actividades industriales, residuos domésticos, ganaderos y municipales (incluyendo aguas residuales), agroquímicos y productos derivados del petróleo. Estos químicos son liberados al ambiente accidentalmente, por ejemplo derrames de petróleo (Rodríguez *et al.* 2019), derrames que consumen oxígeno, que aumentan la demanda bioquímica del agua y puede generar condiciones anóxicas.

El comportamiento de los suelos presentan, una capacidad de adsorción y retención

impidiendo de esta forma que los contaminantes sean absorbidos por especies vegetales o impidiendo su movilización hacia aguas subterráneas, otros con poca cantidad de materia orgánica facilitan la movilidad afectando los ecosistemas puntualmente (Petro & Mercado 2014), algunos muestran concentración moderada de sales, pero exceso de Ca, CO_3^{2-} , Cl^- ; los sulfatos exteriorizan toxicidad y problemas de permeabilidad en el agua (Acevedo 2012); el vertido de hidrocarburos en los suelos generan riesgo ambiental alteran el pH reduciendo en un promedio de 3,50 % y 4,90 %; la humedad del suelo en un 23,25 %, variaciones en la textura y materia orgánica, incrementando el CO en 500 % cambiando su condición natural, principalmente en las capas expuestas (Castellanos *et al.* 2015); la presencia de metales pesados (indicadores de toxicidad) en el suelo se debe a la presencia de petróleo líquido en las capas superficiales (Luque *et al.* 2005).

Con respecto, al agua la medición de parámetros fisicoquímicos, como la temperatura 7,2 °C a 24,2°C; es un patrón de ascenso y descenso que se debe tomar en cuenta por su lento calentamiento, varía el pH entre 7,9 upH y 8,3 upH, el OD presenta concentraciones mayores durante el invierno y finales del verano, las concentraciones variaron entre los 4,7 mg/L y los 10,8 mg/L (Acevedo 2012). En estudios anteriores, el resultado de análisis de agua en ríos a veces no registran alta presencia de HTP, aceites y grasas, metales, sin embargo en la temporada de lluvia las concentraciones superan el ECA por los procesos exógenos de erosión y transporte (OEFA 2019) y el arrastre por acción de la lluvia es un riesgo de afectación de las aguas superficiales y subterráneas (Saval *et al.* 2004; Castro 2009); la presencia de HTP en 5 ríos desde 0,26 a 2,65 mg/L es baja pero diseminados por año superan las 6,3 toneladas de HC (Mamani *et al.*, 2002).

Cervantes & Quito (2019) en su estudio estiman el riesgo ambiental en entorno humano, natural y socioeconómico, la tolva de mineral (PAS-1) y la bocamina (PAS-14) representan un nivel de riesgo moderado y la relavera (PAS-8) y la bocamina (PAS-16) representa un nivel de

riesgo significativo para la calidad de agua superficial.

La Guía de Evaluación de Riesgos del MINAM (2010), instrumento que aplica toda la normatividad ambiental vigente, señala que la evaluación de riesgo ambiental, es el proceso mediante el cual se determina una amenaza potencial que compromete la calidad del agua, aire o suelo, poniendo en peligro la salud del ser humano como consecuencia de la exposición a los productos tóxicos presentes en un sitio, incluyendo contaminantes que son producto de actividades industriales ajenas al sitio o cualquier otra fuente de contaminación

El estudio de Zavala (2017), ha demostrado, que la evaluación de riesgo ambiental con respecto a los parámetros fisicoquímicos presenta un riesgo moderado de 42,0 %, a pesar de tener un grado de contaminación por la presencia de cadmio, plomo, HTP.

El objetivo de la investigación, es evaluar el riesgo ambiental de dos áreas contaminadas teniendo como componentes agua, suelo y socioeconómico.

MÉTODOS

Ámbito y lugar de estudio

La investigación se realizó en la Comunidad de Corapata, distrito de Pusi, Puno, ubicada a 3,923 m.s.n.m.; en $-69^{\circ} 57' 51.1''$ Longitud Oeste y $-15^{\circ} 24' 16.2''$ Latitud Sur (Figura 1)



Figura 1 Mapa de ubicación de la comunidad de Corapata

1. Diagnóstico y estimación de aspectos ambientales para entornos del área de influencia.

Diseño

Se realizó mediante la revisión bibliográfica, trabajo de campo y gabinete, identificando las fuentes de peligro, escenarios de riesgo, suceso indicador, así como causas y efectos.

Materiales y Equipos

El levantamiento de la información utilizó: material bibliográfico, documentos de información de la Municipalidad de Pusi, proyectos de Inversión Pública, GPS, cámara Fotográfica, fichas de Campo, Información del Instituto Nacional de Estadística

Variables

Se identificó las áreas contaminadas, dos componentes ambientales de estudio agua superficial y suelo, la actividad de la población, área de influencia: instituciones educativas y centros de recreación

2. Caracterización del agua superficial y suelo

Diseño

En el periodo noviembre del 2019 a enero 2021, se recolectaron muestras del agua superficial y suelo; en el perímetro de la Institución Educativa Inicial “Corapata” (AC-1) y alrededor de la Canchita Deportiva (AC-2).

La evaluación $T^{\circ}C$, pH UpH, C.E. $\mu S/cm$, ue in situ, siguiendo el protocolo de la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA; los parámetros del agua olor NUO, Aceites y grasas HEM, Cloruro mg/L, DBO₅ mg/L, DQO mg/L, OD mg/L, HTP y para suelo salinidad, metales e HTP se analizaron en laboratorio acreditado en mg/kg. El muestreo y monitoreo se repitió cuatro veces.

Materiales y Equipos

Para la medición “in situ” del agua superficial y suelo, se utilizó un multiparámetro con sondas, los análisis realizados en laboratorio acreditado siguió las indicaciones según los métodos SMEWW-APHA-AWWA-WEF, HTP EPA Method, EPA Method, NOM-021-SEMARNAT-2000; Method 200.7 Rev. 4.4. EMMC

Análisis Estadístico

Mediante el software estadístico MINITAB, se evaluaron las predicciones de comportamiento de contaminación, asignándole un valor de rangos de estimación probabilística desde 1 a 5 según su probabilidad de un mes a cinco años.

3. Estimación del riesgo ambiental

Diseño

El producto de la probabilidad por la gravedad de las consecuencias calculadas, permitió la estimación del riesgo ambiental.

Se estimó los posibles daños y consecuencias en cada escenario de riesgo, asignándoles puntuación para la cantidad, población, peligrosidad, extensión, población afectada,

calidad del medio, patrimonio y capital productivo para los tres entornos establecido con las siguientes formulas:

Gravedad para el entorno humano, Salud = $C + 2(P) + Eh + Población$

Gravedad para el entorno ecológico, Calidad del ambiente = $C + 2(P) + Eh + CM$

Gravedad para el entorno socioeconómico,

Socioeconómico = $C + 2(P) + Eh + Pcp$

Para la evaluación final del riesgo ambiental se elaboran tres tablas de doble entrada una para cada entorno, en la que gráficamente debe aparecer cada escenario teniendo en cuenta su probabilidad y consecuencias, resultado de la estimación del riesgo realizado (ver Figura 2).



Figura 2. Escala de Significancia del Riesgo Ambiental

La ubicación de los parámetros de los componentes ha permitido emitir un juicio siguiendo la escala de evaluación Tabla 1.

Tabla 1 Establecimiento del riesgo alto en la escala de evaluación de riesgo ambiental

Valor Matricial	Equivalente porcentual (%)	Promedio (%)
16-25	64-100	82
6-15	24-60	42
1-5	1-20	10.5

FUENTE: Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales - MINAM

Materiales

Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales del Ministerio del ambiente.

Análisis Estadístico

La Caracterización del Riesgo Ambiental, se determina como el promedio de los entornos, expresado en porcentaje, resultado final de evaluación de cada componente ambiental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico y estimación de aspectos ambientales.

La revisión bibliográfica, trabajo de campo y gabinete, concluye que la Estación de Monitoreo de Taraco (Estación 115047),

reporta dos estaciones marcadas helada y verano con lluvia, la temperatura promedio es - 11,4 °C en junio y máximo 21,8 °C en noviembre; la humedad relativa en diciembre es más alta llegando a 86,5 % y mínima 31,9 %; la evaporación es alta.

Los estudios geofísicos realizados en la zona de estudio por la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental (Gonzales & Lopez 2015); han evidenciado estructuras anticlinales fallados, donde estarían atrapando el petróleo, esta complejidad tectónica produce levantamientos (*horst*) y algunas actividades insipientes ígneas que favorecen la migración del petróleo hacia pasivos ambientales (IADO 2012).

Huisa (2017) reporta usos agropecuarios en el suelo en 48,0 %, de éstos, el 4,4 % están dedicados a cultivos y el 21,7 % a pastos, 7,0 % a usos agropecuarios y 14,9 % a usos agro-silbó-pastoriles, los cultivos en su mayoría se encuentran en el área de la cuenca Titicaca.

Corapata, es mayormente un pueblo rural, distribuido en viviendas con campos de cultivo y presencia de animales, poseen una cultura andina, campesina y obrera.

Al establecer la relación de contaminación por explotación de hidrocarburos en Corapata, se determinó dos áreas contaminadas, encontrándose escenarios de riesgo en el entorno humano, ecológico y socioeconómico. Estos resultados son corroborados por Cabrera (1996) quien determina la existencia de 2 pozos perforados, que a la fecha ha tenido consecuencias por la presencia de sustancias tóxicas que afectan a la población y que son encausadas al Lago Titicaca. En tal sentido, bajo lo referido y analizando estos resultados confirman que la zona de estudio contiene presencia de sustancias contaminantes para suelo y agua.

Caracterización y estimación del riesgo ambiental del agua superficial en los entornos

Entorno humano

Identificado los peligros de las áreas contaminadas se procede a formular escenarios de riesgo para los parámetros del agua, utilizando rangos de estimación probabilística, se así mismo determinó la estimación de la probabilidad con las predicciones arrojadas en

MINITAB. La gravedad se calcula en la fórmula de salud.

Cada escenario de riesgo está asociado a los parámetros de análisis y las consecuencias; se comparó el análisis promedio de cada parámetro con los ECA resultando que superan en un 40 %. El resultado del porcentaje promedio de riesgo ambiental 39,7 % para AC-1 y 42,85 % AC-2, implica el comportamiento de los parámetros en el entorno, siendo el más alto el cloro que aumenta a medida que acrecienta el contenido de minerales y la conductividad. El resultado del análisis de la conductividad eléctrica es elevado, evidenciando la presencia de sales disueltas, agua mineralizada, percibiendo turbiedad. La variación baja de aceites y grasas no son categorías químicas definitivas, pero se incluye millares de compuestos orgánicos y presencia de larvas deformadas e inactivas. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), varía dependiendo de tiempos de lluvia o sequía que puede aumentar debido al comportamiento del pH que es un poco ácida en dos análisis.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), es bastante baja en todos los puntos, lo que indica que probablemente el oxígeno es consumido por la alta carga biológica del agua.

En cuanto al oxígeno disuelto, su variación es alta, influye notablemente en la tasa de biodegradación de hidrocarburos.

La baja variación de los hidrocarburos no significa que no afecta, su sola presencia es toxica, reduciendo la diversidad y abundancia bacteriana, y en dos de los análisis superan al ECA. Tabla 2

Tabla 2 Estimación del riesgo ambiental para el entorno humano del agua

Parámetros	Escenario de riesgo	AC-1					AC-2				
		Análisis Promedio	Estimación Probabilística Gravedad	Riesgo Ambiental	Porcentaje de Riesgo	Análisis Promedio	Estimación Probabilística Gravedad	Riesgo Ambiental	Porcentaje de Riesgo ambiental		
T°	Actúa sobre la actividad enzimática	17,32	3	3	9	42	20,75	1	3	3	10,5
pH	Generación de aguas ácidas	6,66	2	3	6	42	6,23	3	3	9	42
C.E.	Sales disueltas. aguas mineralizadas y turbiedad	524,75	3	4	12	42	402,25	4	3	12	42
Olor	Generación de mal olor	0,98	1	2	2	10,5	1,025	3	2	6	42
HEM	Reducen la re oxigenación y estética	1,62	4	2	8	42	2,15	3	2	6	42
Cloruros	Es corrosivo	879,45	4	5	20	82	1012,175	4	5	20	82
DBO ₅	Biodegradación	4,19	1	4	4	10,5	2,12	3	4	12	42
DQO	Biodegradación	9,5	3	3	9	42	4,07	5	3	15	42
OD	Degradación de HTP	9,40	3	3	9	42	4,2	3	2	6	42
HTP	Tóxico. afecta a bacterias	0,5	3	3	9	42	0,117	4	3	12	42
Promedio Equivalente del Entorno Humano						39,7%	42,85%				

Los resultados del AC-1 reporta que la temperatura supera al ECA; el pH es ácido con probabilidad de descender; la conductividad eléctrica es uno de los parámetros de más alta concentración, estos datos indican la presencia de sales que modifican la electricidad del agua volviéndole transmisor, el límite del oxígeno disuelto es alto aumentará la corrosión y las concentraciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo; estos resultados encontrados en el agua superficial, se asemejan a los valores encontrados en el estudio realizado por Jiménez (2006) en Argentina en aguas que presentan descargas petroleras.

Los cloruros presentan altas concentraciones, con un porcentaje de riesgo del 82 %, respecto a aceites y grasas, los HTP no superan el ECA,

en referencia con la evaluación ambiental de agua en las quebradas Agua blanca, Kirishari, Solitario y río Picchis realizado por OEFA (2019) no registran presencia de HTP, aceites y grasas pero si sustancias contaminantes.

La tabla de doble entrada de probabilidad y gravedad del entorno, ubica a los parámetros según el grado de significancia del AC-1 y AC-2. Los parámetros Nuo¹, T², DBO₅¹ en las áreas presentan variación leve, mientras los demás parámetros se encuentran en un grado de significancia moderado, y la generación de aguas con contenido de Cloruros CL¹, ², representa un riesgo significativo como se ve en la figura 2 del entorno humano.

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO HUMANO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1		Nuo ¹	T ²	DBO ₅ ¹	
	2			pH ¹ , OD ²		
	3		Nuo ² , HEM ²	T ¹ , pH ² , DQO ¹ , OD ¹ , HTP ¹	DBO ₅ ² , C.E. ¹	
	4		HEM ¹	HTP ² , C.E. ²		Cl ^{1,2}
	5			DQO ²		

Figura 2 Grado de significancia de Riesgo ambiental del entorno humano para el agua.

El grado de significancia de T tiene un riesgo leve y pH, C.E., HTP, presentan un riesgo

moderado, coincidiendo con lo mencionado por Cervantes & Quito (2019)

Entorno Ecológico

Los promedios equivalentes de 43,7 % y 47,9 %, en el entorno ecológico se eleva por la valoración de las consecuencias en relación a la calidad del medio, esta valoración baja, media, elevada y alta se relacionó con los daños a los

recursos naturales dado por cada parámetro fisicoquímico, el escenario más alto de riesgo son las sales disueltas que se encuentran mineralizadas por la conductividad eléctrica y la presencia de los cloruros demostrada con un riesgo del 82 %.Tabla 3.

Tabla 3 Estimación del riesgo ambiental para el Entorno Ecológico del agua

		AC-1				AC-2			
Parámetros	Escenario de riesgo	Estimación	Probabilidad	Gravedad	Riesgo Ambiental	Estimación	Probabilidad	Gravedad	Riesgo Ambiental
					(valor matricial)				(valor matricial)
T°	Actúa sobre la actividad enzimática	3	2	6	42	1	2	2	10,5
pH	Generación de aguas ácidas	2	3	6	42	3	3	9	42
C.E.	Sales disueltas. aguas mineralizadas y turbiedad	4	4	16	82	4	4	16	82
Olor	Generación de mal olor	1	2	2	10,5	3	2	6	42
HEM	Reducen la re oxigenación y estética	4	2	8	42	3	2	6	42
Cloruros	Es corrosivo	4	4	16	82	4	5	20	82
DBO ₅	Biodegradación	1	3	3	10,5	3	3	9	42
DQO	Biodegradación	3	3	9	42	5	3	15	42
OD	Degradación de HTP	3	3	9	42	3	3	9	42
HTP	Tóxico. afecta a bacterias	3	3	9	42	4	3	12	42
Promedio Equivalente del Entorno Ecológico					43,7	47,9			

Los escenarios de riesgos en el entorno ecológico determinan el principal problema percibida por la comunidad la contaminación

del agua, daño a la salud y ambiente que es reconocida y es expuesta por Gómez (2017).

El grado de significancia presentado en la Figura 3 muestra que en el entorno ecológico la C.E.^{1,2} y el Cloruro son riesgo significativos, mientras que pH^{1,2}, HEM^{1,2}, DQO^{1,2}, HTP^{1,2},

OD^{1,2} y en el AC-2 el DBO₅ presenta un riesgo moderado, las aguas que contienen T, NUO, DBO₅ para el punto 1 representando un riesgo leve.

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO ECOLÓGICO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1		T ² , NUO ¹	DBO ₅ ¹ ,		
	2		T ¹	pH ¹ ,		
	3			pH ² , NUO ² , HEM ² , DBO ₅ ² , DQO ¹ , OD ^{1,2} , HTP ¹		
	4			HEM ¹ , HTP ²	CE ^{1,2} , CL ¹	CL ²
	5			DQO ²		

Figura 3 Grado de significancia de Riesgo ambiental del entorno ecológico para el agua.

El mayor porcentaje de parámetros presenta un riesgo moderado, pero advirtiendo propiedades indeseables en el agua, destruyendo parcialmente a una serie de descomposiciones Rodríguez *et al.* (2019), teniendo en cuenta lo anterior, el estado debe preocuparse y velar, atender las quejas y buscar soluciones prontas a las inconformidades de la comunidad afectada, no es sano ni agradable vivir constantemente respirando un aire de mala calidad.

Caracterización y estimación del riesgo ambiental del suelo en los entornos

Entorno humano

En la Tabla 4 el riesgo para los organismos y la salud se presenta en la mayoría de los parámetros, esto es debido a la peligrosidad tóxica que despliegan. El análisis de laboratorio al compararse con los ECA indica 42 % en el AC-1 y 47 % en AC-2, superando en promedio. Sin embargo, la gravedad fue baja esto debido a sus concentraciones, lo cual nos indica riesgo moderado

Tabla 4 Estimación del riesgo ambiental para el entorno humano del suelo

Parámetros	Escenario de riesgo	AC-1					AC-2				
		Análisis Promedio	Estimación Probabilística	Gravedad	Riesgo Ambiental	Porcentaje de Riesgo ambiental	Análisis Promedio	Estimación Probabilística	Gravedad	Riesgo Ambiental	Porcentaje de Riesgo ambiental
T°	Aceleración de reacciones químicas	23,73	2	3	6	42	23,73	3	3	9	42
pH	Genera acidez en el suelo	7,00	4	3	12	42	7,00	3	3	9	42
C.E.	Aumenta la presencia de sales y metales	316	1	3	3	10,5	316	2	3	6	42
Salinidad	Falta de asimilación de nutrientes	1,75	1	3	3	10,5	1,75	2	3	6	42
As	Riesgo para los organismos y la salud humana	59,01	4	5	20	82	59,01	4	5	20	82
B	Riesgo para los organismos y la salud humana	11,03	1	4	4	10,5	11,03	1	3	3	10,5
Cd	Riesgo para los organismos y la salud humana	0,30	1	3	3	10,5	0,30	1	3	3	10,5
Al	Riesgo para los organismos y la salud humana	1966	3	3	9	42	1966	2	3	6	42
Ca	Riesgo para los organismos y la salud humana	58022	1	2	2	10,5	58022	3	2	6	42
Ce	Riesgo para los organismos y la salud humana	0,02	3	3	9	42	0,02	1	3	3	10,5
Fe	Riesgo para los organismos y la salud humana	2554,90	3	3	9	42	2554,90	4	3	12	42
K	Riesgo para los organismos y la salud humana	391,6	2	3	6	42	391,6	3	3	9	42
Li	Riesgo para los organismos y la salud humana	6,67	4	3	12	42	6,67	1	3	3	10,5
Mg	Riesgo para los organismos y la salud humana	1854	3	2	6	42	1854	1	2	2	10,5
Mn	Riesgo para los organismos y la salud humana	171,82	3	2	6	42	171,82	2	2	4	10,5
Na	Riesgo para los organismos y la salud humana	624,22	3	3	9	42	624,22	1	3	3	10,5
P	Riesgo para los organismos y la salud humana	305,92	2	2	4	10,5	305,92	1	2	2	10,5
Sr	Riesgo para los organismos y la salud humana	232,85	3	2	6	42	232,85	3	2	6	42
HTP	Toxico	2,74	1	4	4	10,5	2,74	3	3	9	42
Promedio Equivalente del Entorno Humano						32,5	30,8				

La caracterización del suelo indica que el pH es ligeramente alcalino, la conductividad eléctrica varía y es alto, sodio, potasio, calcio, magnesio cloruros varían en las áreas contaminadas, estos resultados guardan relación con lo que sostiene (Zuñiga 2015), manifiesta que el suelo es alcalino, la conductividad es 2,8 mS/cm, lo cual indica una moderada concentración de sales. Las concentraciones de los iones analizados

fueron sodio 41,22 meq/L; potasio 28,00 meq/L; calcio 604,29 meq/L; magnesio 174,60 meq/L; cloruros 89,85 meq/L; observándose un exceso de calcio, cloruros y sodios que representan el 80 %; encontrándose combinados en el suelo; analizando los resultados la concentración de calcio y magnesio está por encima de los ECA y según. Zavala (2017)

presenta un grado de contaminación por la presencia de cadmio y plomo.

La Figura 4 predice que en AC-1, el Ca, P, C.E., salinidad, Cd, K, B, Mn, y HTP representa un riesgo leve, el Mg, Mn, Sr, T°, Fe, Al, Ce, Na, pH y Li representan un riesgo moderado y

siendo el Arsénico quien presenta un riesgo significativo.

Asimismo en el AC-2, los parámetros Mg, P, Mn, Cd, Li, Ce, Na, tienen un riesgo leve, mientras que Ca, Sr, C.E., Salinidad, Al, K, T°, pH, Fe, HTP, presentan un riesgo moderado, el que tiene un riesgo significativo es el Arsénico.

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO HUMANO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1		Ca ¹ , Mg ² , P ²	C.E. ¹ Sal ¹ , B ² , Cd ^{1,3} , Ce ² , K ¹ , Li ² , Na ²	B ¹ , HTP ¹	
	2		Mn ² , P ¹	T ¹ , C.E. ² , Sal ² , Al ² , Fe ¹ , K ²		
	3		Ca ² , Mg ¹ , Mn ¹ , Sr ^{1,2}	T ² pH ² , Al ¹ , Ce ¹ , Fe ² , Na ¹ , HTP ²		
	4			pH ¹ , Li ¹	As ^{1,2}	
	5					

Figura 4 Grado de significancia de Riesgo ambiental del entorno humano para el suelo.

Entorno Ecológico

En el entorno ecológico, el Arsénico en las dos áreas contaminadas se observa un riesgo alto (rojo). La probabilidad 1 en AC-1 del HTP y su gravedad de 4 indica que su presencia es muy dañina; asimismo se señala que C.E., Sal, Ca, T°, P, B, Cd, HTP presenta un riesgo leve, sin embargo un riesgo moderado presenta Mg, Mn, Na, Sr, K, Al, Ce, Fe, Na, pH, Li.

Los parámetros del AC-2 para el suelo, en su mayoría presentan riesgo moderado con una probabilidad de 3 y gravedad de 3, sigue el Arsénico con su riesgo significativo. Con respecto a la presencia de HTP en el suelo en el AC-2 tiene una probabilidad de 3 resultados de su probabilidad y gravedad de 3.

Tabla 5 Estimación del riesgo ambiental para el Entorno Ecológico del suelo.

Parámetros	Escenario de riesgo	AC-1				AC-2			
		Estimación Probabilística	Gravedad	Riesgo Ambiental	Porcentaje de Riesgo ambiental	Estimación Probabilística	Gravedad	Riesgo Ambiental	Porcentaje de Riesgo ambiental
T°	Aceleración de reacciones químicas	2	2	4	10,5	3	2	6	42
pH	Genera acidez en el suelo	4	3	12	42	3	3	9	42
C.E.	Aumenta la presencia de sales y metales	1	2	2	10,5	2	3	6	42
Salinidad	Falta de asimilación de nutrientes	1	2	2	10,5	2	2	4	10,5
As	Riesgo para los organismos y la salud humana	4	5	20	82	4	4	16	82
B	Riesgo para los organismos y la salud humana	1	3	3	10,5	1	3	3	10,5
Cd	Riesgo para los organismos y la salud humana	1	3	3	10,5	1	3	3	10,5
Al	Riesgo para los organismos y la salud humana	3	3	9	42	2	3	6	42
Ca	Riesgo para los organismos y la salud humana	1	2	2	10,5	3	2	6	42
Ce	Riesgo para los organismos y la salud humana	3	3	9	42	1	3	3	10,5
Fe	Riesgo para los organismos y la salud humana	3	3	9	42	4	3	12	42
K	Riesgo para los organismos y la salud humana	2	3	6	42	3	3	9	42
Li	Riesgo para los organismos y la salud humana	4	3	12	42	1	3	3	10,5
Mg	Riesgo para los organismos y la salud humana	3	2	6	42	1	2	2	10,5
Mn	Riesgo para los organismos y la salud humana	3	2	6	42	2	2	4	10,5
Na	Riesgo para los organismos y la salud humana	3	3	9	42	1	3	3	10,5
P	Riesgo para los organismos y la salud humana	2	2	4	10,5	1	2	3	10,5
Sr	Riesgo para los organismos y la salud humana	3	2	6	42	3	2	6	42
HTP	Toxico	1	4	4	10,5	3	3	9	42
Promedio Equivalente del Entorno Humano					30,84	29,18			

Los Riesgos para los organismos y la salud humana por la presencia de metales en los suelos han generado situaciones de riesgo moderado y significativo por el Arsénico, con la consiguiente alteración de la calidad alterando

propiedades físicas y químicas como el pH, circunstancia que incrementa la vulnerabilidad de estos suelos al tensor ambiental sequía (Castellanos *et al.* 2015).

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO ECOLÓGICO				
		1	2	3	4	
PROBABILIDAD	1		C.E. ¹ , Sal ¹ , Ca ¹ , Mg ² , P ²	B ^{1,2} , Cd ^{1,2} Ce ² , Li ² , Na ²	HTP ¹	
	2		T ¹ , P ¹ , Sal ² , Mn ²	K ¹ , C.E. ² , AL ²		
	3		Mg ¹ , Mn ¹ , Na ¹ , Sr ^{1,2} , T ²	Al ¹ , Ce ¹ , Fe ¹ , Na ¹ , pH ² , Ca ² , K ² , HTP ²		
	4			pH ¹ , Li ¹ , Fe ²	As ^{1,2}	
	5					

Figura 5 Grado de significancia de Riesgo ambiental del entorno ecológico para el suelo.

En la caracterización del suelo para el entorno humano y ecológico, los resultados indican que HTP en el AC-1 presenta un riesgo leve y en el AC-2 riesgo moderado, con respecto al arsénico que presenta un riesgo alto, al compararlo con Acevedo (2012) manifiesta que ningún de sus análisis reporta que han excedido a ECA, siendo el arsénico el de más alto cuidado., mientras que Zavala (2017) manifiesta que todos los parámetros analizados presenta un riesgo moderado de 42 %.

Caracterización y estimación del riesgo ambiental del entorno socioeconómico

El resultado del entorno socioeconómico se considera tanto para el agua y suelo, siendo el riego de áreas agrícolas un riesgo significativo por ende que existe la posibilidad de escorrentía y/o drenaje de las aguas que irán al suelo.

Los elementos de riesgo conflictos y riego que afectan el bienestar de la población, el hábitat y alteración del espacio físico por su cercanía a la población e instituciones su riesgo fue alto 62 %.

Finalmente, los conflictos socio ambientales tienen un riesgo ambiental moderado, pero el riego de áreas agrícolas con aguas contaminadas es significativo como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6 Estimación del riesgo ambiental para el Entorno socioeconómico

Escenarios de Riesgo	Estimación Probabilística	Gravedad	Riesgo Ambiental	Porcentaje de Riesgo ambiental
Conflictos social ambientales				
Causados por la presencia de agua y suelo contaminado	5	2	10	42
Riego de áreas agrícolas con aguas superficiales y suelos afectados	5	4	20	82
Promedio del entorno socioeconómico				62

Debido a los conflictos sociales reportados, el reclamo constante de la población y el riego de áreas agrícolas con las aguas contaminadas; el entorno socioeconómico ha presentado un riesgo significativo, estos resultados son referenciados con Cuesta (2016) en sus entorno ecológico 41,92 % (riesgo moderado) y socioeconómico con 14,93 % (riesgo leve) y Luque *et al.* (2005) manifiesta que los impactos negativos más significativos ocurren sobre el

paisaje, el suelo, y la flora, especialmente en la acumulación de petróleo líquido en las capas superficiales con presencia de metales pesados (aunque por debajo del límite establecido).

Finalmente, los conflictos socio ambientales tienen un riesgo ambiental moderado, pero el riego de áreas agrícolas con aguas contaminadas es significativo como se muestra en la tabla 6.

		GRAVEDAD EN EL ENTORNO SOCIOECONÓMICO				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5		Conflictos social ambientales causados por la presencia de agua y suelo contaminado			Riego de áreas agrícolas con aguas superficiales y suelos afectados

Tabla 6 Grado de significancia de Riesgo ambiental del entorno socioeconómico

Evaluación del riesgo ambiental

Este se obtiene ponderando los equivalentes porcentuales de riesgo para cada uno de los entornos (humano, ecológico y socioeconómico), el valor del promedio de los tres entornos se comparó con la Tabla 1,

Tabla 7 Riesgo Ambiental del Agua

determinándose la significancia del riesgo para las dos áreas contaminadas del agua como del suelo.

Finalmente se promedia estos valores, resultando 55 % que representa el nivel de riesgo ambiental calificado como moderado.

Área Contaminada	Entorno	Equivalente (%)	Promedio (%)	Riesgo % del sitio contaminado	Nivel de Riesgo
AC-1	Humano	39,7	42	55 %	Moderado
	Ecológico	43,7	42		
	Socioeconómico	62	82		
AC-2	Humano	42,85	42	55 %	Moderado
	Ecológico	47,90	42		
	Socioeconómico	62,00	82		

Los tres entornos ambientales estudiados presentan un riesgo moderado, sin embargo, según el software MINITAB, sus probabilidades de mayor concentración en el periodo de tiempo el riesgo puede

incrementarse, es importante mencionar que los contaminantes de HTP presentes se dispersan por año en mayores cantidades (Mamani *et al.* 2002).

Tabla 8 Riesgo Ambiental del suelo

Área Contaminado	Entorno	Equivalente (%)	Promedio (%)	Riesgo % del sitio contaminado	Nivel de Riesgo
AC-1	Humano	32,5	42	55 %	Moderado
	Ecológico	32,5	42		
	Socioeconómico	62,0	82		
AC-2	Humano	30,8	42	55 %	Moderado
	Ecológico	30,8	42		
	Socioeconómico	62,0	82		

Los resultados de riesgo moderado en el entorno humano y ecológico y el entorno socioeconómico de 62%, guarda relación con lo que sostiene [Zavala \(2017\)](#) en el derrame ocurrido en la línea pK-128 de riesgo ecológico moderado, dándose la gravedad en el entorno

humano y socioeconómico, así mismo en el 2013 OEFA en su estudio de estimación de nivel de riesgo de un pasivo ambiental en Zorritos-Tumbes de un pozo abandonado que afecta la calidad de agua y suelo, manifiesta un porcentaje moderado de riesgo.

CONCLUSIONES

- La etapa de identificación de los entornos, evidenció que Corapata presenta una

geología estructural con reservas de petróleo, la población se abastece de agua superficial y subterránea, son agricultores

que vienen padeciendo el impacto de explotación y que los sitios contaminados están cerca a la población.

- Se evidencio en el agua; para el AC-1, los parámetros T°, C.E., Cl⁻, OD y HTP superan a ECA, no superan el Olor, HEM, DBO₅; DQO, mientras que la disminución que presenta el pH indica afectación de contaminación. En el AC-2; los parámetros no superan o están dentro de los rangos del ECA, a excepción del pH, C.E., OD, HTP afectan a la materia orgánica. Con respecto al análisis estadístico los incrementos son periodos continuos.
- La caracterización del suelo de las dos áreas denota la presencia de As, B, Ca, K, Na y P superan los ECA, de ellos el Cd es un riesgo para la salud, el As presenta cantidades preocupantes por su rápida digestión y toxicidad. Los HTP sus concentraciones no son altas, pero están relacionados con el comportamiento de la salinidad, acidez y OD.
- Los resultados de la estimación del nivel de riesgo determina que para el agua y suelo en el entorno humano es Moderado, en el entorno ecológico Moderado y para el entorno socioeconómico es Significativo, teniendo un promedio de Moderado (Ramos *et al.* 2018).
- Con los resultados obtenidos, se sugiere a las autoridades competentes decisiones estratégicas de acciones prevención y mitigación ante un colapso o derrame al haberse identificado los escenarios de riesgo.

REFERENCIAS

- Acevedo, D. 2012. Uso de métodos directo e indirecto en la caracterización de un sitio contaminado por hidrocarburos. Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
<http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/2669>
- Castellanos, M. L., Isaza, R. J., & Torres, J. M. 2015. Avaliação de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) em solo urbano em Maicao, Colômbia. *Revista Colombiana de Química*, 44(3), 11–17.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n3.55605>
- Castro, G. 2009. Impacto ambiental generado

por los derrames de petroleo en el SOTE en el tramo comprendido entre lago Agrio y Baeza. Universidad Técnica del Norte.

<https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/1688>

Cervantes, J., & Quito, S. 2019. Evaluación del riesgo ambiental generado por pasivos mineros en la calidad de agua superficial [Universidad Nacional Agraria la Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3887>

Álvarez, C., Chipec, L. & Panchana. F. 2015. Estudio de los pozos productivos y abandonados como fuente de contaminación de hidrocarburos y su impacto ambiental en el sector de Santa Paula del Cantón Salinas (Tesis de Grado). Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador.

<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2475>

Autoridad Nacional del Agua. ANA. 2016. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos hídricos Superficiales. Resolución Jefatural N°010-2016-ANA. Retrieved from: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos>

Cuesta, I. 2016. Determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en aguas y sedimentos de ríos de la Amazonia ecuatoriana. Universidad San Francisco de Quito. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/5698>.

García F., Luizaga V., & Herbas B., Estela. (2016). Análisis del riesgo ambiental producto de pasivos ambientales de YPFB, generados en la limpieza de contenedores en inmediaciones de la Refinería Gualberto Villarroel (Cochabamba-Bolivia) y propuesta de medidas correctivas. *Revista Cielo ACTA NOVA*; Vol. 7. N° 3, marzo 2016. ISSN 1683-0768. Revibec:http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892016000100008

Gómez, P. 2017. Prácticas sociales en el barrio El Guabo por la contaminación del río Machángara [Universidad Politécnica Salesiana].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13537/1/UPS-QT11307.pdf>

- Gonzales, I., Zuela, R., Pacheco, A., & Sanjines, G. 2007. *Cooperación sobre el Lago Titicaca*. www.unesco.org/water/wwap/pccp
- Gonzales, R., & Lopez, A. 2015. *Proyecto: Desarrollo de capacidades para el ordenamiento territorial de la región Puno. Informe Final Del Área De Geología*. http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/memoria_descriptiva_geologia.pdf
- GORE Gobierno Regional de Puno. 2015. *Informe final del área de Geología Regional de Puno. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Medio Ambiente*. http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/memoria_descriptiva_geologia_0.pdf
- Goyzueta, G. 2005. *Majestuoso Lago Titicaca Fuente de Vida*. San Gabán S.A.FIMART S.A.C. Puno – Perú. 39 p. http://www.sangaban.com.pe/pgw_externos/pgw_memoriaanual/2004pdfSE.pdf
- Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales. Ministerio del Ambiente Perú. (2010). [En línea] Evaluación de los riesgos ambientales. https://higieneyseguridadlaboralcvs.files.wordpress.com/2012/10/4d80cbb8f232b_guia_riesgos_ambientales.pdf
- Huisa, D. 2017. *Determinación del área degradada y biodiversidad de la zona de influencia por la actividad petrolífera en la zona de Ahuallane, distrito de Pusi, Huancane - Puno*. Universidad Nacional del Altiplano de Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5289>
- Instituto Argentino de Oceanografía Bahía Blanca. IADO. 2012. *Programa de Monitoreo de la Calidad Ambiental de la Zona Interior del Estuario de Bahía Blanca. Addenda al Informe Final 2010*. https://www.bahia.gob.ar/subidos/cte/informes/Informe_Final_Quimica_Marina_del_Estuario_de_Bahia_Blanca_2010.pdf
- Jiménez, D. 2006. *Estudio de impacto ambiental generado por un derrame de hidrocarburos sobre una zona estuarina, aledaña al terminal de ECOPETROL en Tumaco*. Universidad de la Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/563/
- Luque, J., Ciano, N., Buono, G., & Vicente, C. 2005. *Gestión Ambiental de pasivos en Cañadón León , Meseta Espinosa y Cañadón León (Pcia de Santa Cruz)*. (Issue 1). https://inta.gob.ar/sites/default/files/scr ipt-tmp-inta_ambientales_petroleo.pdf
- Mamani, W., Suarez, N., & Garcia, C. 2002. *Estudio socioambiental de la contaminación del agua por actividades hidrocarburífera en la serranía aguarague de Tarija*. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaca/e/fulltext/aguarague/aguarague.pdf>
- MINAM. 2010. *Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales*. In V. Mendoza (Ed.), *Observatorio medioambiental* (Primera, Issue 1). www.minam.gob.pe
- Moran, D. 2016. *Propuesta de buenas prácticas ambientales para el restaurante “Hasta la vuelta señor”, ubicado en el sector la mariscal, Centro-Norte de la ciudad de Quito [Universidad Tecnológica Equinoccial]*. http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4691/1/58863_1.pdf
- OEFA. 2016. *La Identificación de Pasivos Ambientales del Subsector de Hidrocarburos*. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=20078
- OEFA. 2019. *Evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto de exploración de hidrocarburos lote 107 - localización OSHEKI de petrolífera Petroleum del Perú S.R.L., durante el 2019*. In *Rpe N°0 065-2020-Servir-Pe* (Vol. 01, Issue 01). www.Juntos.gob.pe%0Awww.digemid.minsa.gob.pe
- Petro, P., & Mercado, G. 2014. *Biorremediación De Suelos Contaminados Por Derrames De Hidrocarburos Derivados Del Petróleo En Colombia. Facultad de Ingeniería de La Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena, I, 12–18*. <http://bibliotecadigital.usb.edu.co/handle/10819/2354>
- Pinedo, J. 2014. *Evaluación de riesgos en suelos afectados por hidrocarburos de petróleo*. [Universidad de Cantabria]. In *TDR (Tesis Doctorales en Red)*. <http://www.tdx.cat/handle/10803/133094>
- Ramos, J., Bermudez, A., & Rojas, T. 2018. *Contaminación odorífera: causas, efectos*

- y posibles soluciones a una contaminación invisible. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 165–180.
<https://doi.org/10.22490/21456453.2053>
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. 2019. La contaminación del suelo: una realidad oculta. In L. Pennock, M. Sala, I. Verbeke, & G. Stanco (Eds.), *Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura FAO* (Primera).
<http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Saval, S., Lara, F., Lesser, M. & Nieto, M. 2004. Contaminación de Acuíferos con Hidrocarburos: causas, efectos, riesgos asociados y medidas de prevención. Instituto de Ingeniería. UNAM; Comisión Nacional del Agua. México.
<http://lesser.com.mx/files/0-Cap.Academia-FINAL-FINAL.pdf>
<https://docplayer.es/71160907-Contaminacion-de-acuiferos-con-hidrocarburos-causas-efectos-riesgos-asociados-y-medidas-de-prevencion.html>
- Zavala, L. 2017. Evaluación del riesgo ambiental originado por el derrame de combustible en la línea PK-128 del cantón la concordia Santo Domingo en el periodo 2011-2015. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
http://www.infoplc.net/files/descargas/scneider/infoplc_net_18t00436.pdf
- Zuñiga, B. 2015. Restauración de suelos salinizados mediante intercambio catiónico en Pirín Puno-Perú [Universidad Nacional del Altiplano de Puno].
<http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6606/EPG962-00962-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>