



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i2.2666>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de investigación

*Influencia de actividades petroleras en sedimentos del sistema fluvial alto del Río Amazonas*

*Influence of petroleum activities on sediments of the upper fluvial system of the Amazon River*

*Influência das atividades petrolíferas nos sedimentos do sistema do alto rio Amazonas*

Andrés Agustín Beltrán-Dávalos<sup>I</sup>  
[abeltran@esPOCH.edu.ec](mailto:abeltran@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-6005-8915>

Natali Lissete Figueroa-Jara<sup>II</sup>  
[natali.figueroa@esPOCH.edu.ec](mailto:natali.figueroa@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-9489-1833>

Carlos Rolando Rosero-Eraza<sup>III</sup>  
[carlos.roseroe@esPOCH.edu.ec](mailto:carlos.roseroe@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-2691-5578>

**Correspondencia:** [carlos.roseroe@esPOCH.edu.ec](mailto:carlos.roseroe@esPOCH.edu.ec)

**\*Recibido:** 10 de marzo del 2022 **\*Aceptado:** 31 de marzo de 2022 **\* Publicado:** 07 de abril de 2022

- I. Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Máster en Sistemas de Gestión Ambiental, Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Máster Universitario en Prevención de Riesgos, Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- III. Máster en Biodiversidad y Cambio Climático, Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.

## Resumen

El Sistema fluvial alto del Río Amazonas se encuentra en la cuenca del Río Napo donde desde los años setenta se han desarrollado actividades de extracción y producción de petróleo. Empresas petroleras privadas y estatales han influido en la calidad de sedimentos de esteros y ríos con concentraciones de metales pesados e hidrocarburos totales de petróleo. El interés de esta investigación se concentra en evaluar la calidad de sedimentos y variabilidad espacio-temporal del Cadmio, Plomo, Níquel e Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) que son parámetros establecidos por la normativa ecuatoriana de hidrocarburos. Se seleccionaron 26 sitios de monitoreo durante el período 2012 – 2015 con influencia directa de actividades petroleras donde se recolectó muestras compuestas para análisis de laboratorio bajo protocolos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Los resultados permiten identificar una variabilidad espacial y temporal, concentrándose la menor calidad de sedimentos y mayor concentración de TPH en zonas sur occidentales de la cuenca del Río Napo, mostrando a la vez un decremento temporal en las concentraciones de metales pesados e incremento en los TPH que superan las medias de 703.53 y 2169.13 mg/kg. El estudio de contaminantes antrópicos en sedimentos fluviales permite evaluar la salud de un ecosistema y los efectos crónicos en las especies que lo habitan, incitando esta investigación a formular políticas y normativas que regulen la calidad de sedimentos en el Ecuador.

**Palabras clave:** plomo; calidad de sedimentos; petróleo; extracción y producción de petróleo.

## Abstract

The fluvial system of Napo River it's in the Amazon River basin, where oil extraction and production activities have been carried out since the seventies. Private and state oil companies have influenced the quality of sediments of estuaries and rivers with concentrations of heavy metals and total petroleum hydrocarbons. The interest of this research is assessing the quality of sediments and spatio-temporal variability of parameters set by Ecuadorian regulations hydrocarbon as Cadmium, Lead, Nickel and Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). Twenty-six monitoring sites were selected during the period 2012-2015 with the direct influence of oil activities. We take composite samples for laboratory analysis under protocols Environmental Protection Agency. The results allow identifying a spatial and temporal variability, concentrating the less sediment quality and the higher concentration of TPH in western and southern areas of the Rio Napo, showing both a temporary decrease in the

concentrations of heavy metals and increased TPH exceeding the averages of 703.53 and 2169.13 mg/kg. The study of anthropogenic pollutants in river sediments can assess the health of an ecosystem and chronic effects on species that inhabit it, prompting this research to formulate policies and regulations governing the quality of sediment in Ecuador.

**Keywords:** lead; quality of sediments; petroleum; oil extraction and production.

## Resumo

O sistema do alto rio Amazonas está localizado na bacia do rio Napo, onde as actividades de extracção e produção de petróleo têm sido realizadas desde os anos 70. Empresas petrolíferas privadas e estatais influenciaram a qualidade dos sedimentos dos estuários e rios com concentrações de metais pesados e hidrocarbonetos petrolíferos totais. O interesse desta investigação centra-se na avaliação da qualidade dos sedimentos e da variabilidade espaço-temporal do Cádmio, Chumbo, Níquel e Hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH), que são parâmetros estabelecidos pela regulamentação equatoriana sobre hidrocarbonetos. Vinte e seis locais de monitorização foram seleccionados durante o período 2012 - 2015 com influência directa das actividades petrolíferas, onde foram recolhidas amostras compostas para análise laboratorial ao abrigo dos protocolos da Agência de Protecção Ambiental dos EUA. Os resultados permitem identificar uma variabilidade espacial e temporal, concentrando a menor qualidade de sedimentos e a maior concentração de TPH nas zonas sudoeste da bacia do rio Napo, ao mesmo tempo que mostram uma diminuição temporal das concentrações de metais pesados e um aumento em TPH que excedem as médias de 703,53 e 2169,13 mg/kg. O estudo dos poluentes antropogénicos nos sedimentos dos rios permite-nos avaliar a saúde de um ecossistema e os efeitos crónicos sobre as espécies que o habitam. Esta investigação incentiva a formulação de políticas e regulamentos que regulam a qualidade dos sedimentos no Equador.

**Palavras-chave:** chumbo; qualidade dos sedimentos; petróleo; extracção e produção de petróleo.

## Introducción

La provincia Francisco de Orellana, es el lugar donde mayor concentración de actividades hidrocarburíferas se desarrollan en el Ecuador, desde los años setenta, con el consorcio Texaco – Gulf, seguido de un lento proceso de nacionalización del recurso por la Empresa Petroecuador. (Anna, 2010; Villaverde, X., F. Ormaza, 2005). Desde los años ochenta en este territorio, han operado

Influencia de actividades petroleras en sedimentos del sistema fluvial alto del Río Amazonas.

---

transnacionales petroleras estadounidenses, españolas y brasileñas (PDOT Orellana 2018), produciendo aspectos ambientales significativos como: emisiones atmosféricas, procesos de deforestación, descargas líquidas industriales a ríos y esteros (Elizabeth, 2007).

Con la expedición del Reglamento de Actividades Hidrocarburíferas (RAOHE), en el 2001, se establecen los lineamientos de monitoreo y control de los aspectos ambientales que ocasiona la industria hidrocarburífera, prevaleciendo el control de emisiones de gases de combustión, descargas de aguas industriales y calidad del aire ambiente. (DECRETO EJECUTIVO 1215, 2001). Los sedimentos de los sistemas fluviales constituyen un medio donde se almacenan metales pesados, especialmente el Níquel, el Plomo y el Cadmio, que por sus características químicas intrínsecas de bioacumulación y persistencia pueden estar presentes durante muchos años en la zona abiótica y biótica de los ecosistemas (Ahmed et al., 2015; Strugaru et al., 2018). Estudios varios determinan que los efluentes con metales están asociados a las actividades antropogénicas e industriales y son transportados en su forma disuelta o en partículas (MacFarlane & Burchett, 2002; Ram et al., 2018). Las descargas industriales están asociadas con los metales: Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Cd; (Ali et al., 2013; Banerjee et al., 2012) y también a las actividades naturales como erosión del suelo y erupciones volcánicas (Carolin et al., 2017).

Los metales pesados mantienen alta persistencia en los ecosistemas acuáticos como: agua, sedimentos y biota (Carreño de León, et al., 2018), siendo el agua intersticial entre el agua y el suelo donde mayor concentración de contaminantes se puede localizar. (Pedroza-Benítez et al., 2010). Estas sustancias liposolubles tienden a bioacumularse en los organismos acuáticos como los peces y macroinvertebrados (Goretti et al., 2016) y por biomagnificación llegar mediante la cadena alimenticia al ser humano, generando efectos sub crónicos y crónicos como: daños morfológicos, fisiológicos, de crecimiento y de reproducción (Abraham & Susan, 2017; Kumar et al., 2017). Según las características intrínsecas del contaminante como la forma química (especiación) y su liposolubilidad (Costello et al., 2015; Simpson et al., 2012) y las rutas de exposición determinado: por las fuentes de exposición, los mecanismos de transporte y el lugar de la exposición (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2009).

Otro de los contaminantes de interés son los hidrocarburos totales de petróleo (HTP) descargados de plataformas petroleras, convirtiéndose en fuentes potenciales de contaminación del suelo (Adeniyi & Afolabi, 2002), y efectos ecotóxicos en la biodiversidad de los bosques tropicales amazónicos (Bautista Hugo, 2016) y un problema socioambiental y político, característico de países productores

de petróleo y en desarrollo (E. Ite et al., 2018). Todas las actividades petroleras desde su exploración hasta su producción generan residuos tóxicos con concentraciones elevadas de salinidad, metales pesados y aceites en desecho, siendo la producción de estos últimos de 2100 a 4200 galones diarios (Judith, 1991, 2016), en el Ecuador estudios desarrollados en la Amazonía reportan intensa exposición a los compuestos químicos del petróleo que exceden los límites de seguridad afectando principalmente a comunidades que viven cerca de pozos y estaciones de petróleo (San Sebastián et al., 2001).

La valoración de niveles de contaminación con objetivos de actividades de remediación e identificación de sitios contaminados prioritarios es posible realizarla mediante los índices de calidad de sedimentos (ICS) (MacDonald et al., 2000) que considera dos relaciones: las empíricas que determinan las concentraciones de contaminantes en organismos bentónicos que habitan en los sedimentos y la bioacumulación en peces, aves y mamíferos que los consumen y las teóricas que describen la biodisponibilidad del contaminante. (Burton, 2002; Peluso et al., 2016)

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la variabilidad temporal y espacial de las concentraciones de Níquel (Ni), Plomo (Pb), Cadmio (Cd) e Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) en zonas fluviales con influencia directa de plataformas petroleras, ubicadas en la provincia amazónica Francisco de Orellana para estimar niveles de toxicidad de sedimentos bajo el índice SQG-Q, (Sediment guideline Quotient).

## Metodología

### Área de estudio

La provincia de Francisco de Orellana está localizada a 150 m.s.n.m. en la zona oriental – amazónica del Ecuador (**Fig. 1**), con una temperatura anual entre 24.2 a 22.2 °C y una precipitación entre los 2500 y los 3800 mm/año. En ella se localizan áreas protegidas de importancia ecológica nacional e internacional como: el parque Nacional Sumaco, Yasuní, Limoncocha y Cuyabeno cubriendo 819 222.180 hectáreas (ECOLAP y MAE, 2007; Yáñez, 2016). En esta provincia según los antecedentes del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial se instalaron 13 bloques petroleros cercanos a ríos y esteros aportantes directos de once subcuencas hidrográficas correspondientes a la cuenca baja del río Napo y alta del Río Amazonas.

Las zonas de muestreo se definieron en base a información y experiencia del personal técnico del GAPO (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana), considerando la conflictividad social, técnica y legal de las facilidades petroleras. Fueron tomadas 26 muestras compuestas anuales de sedimentos durante los años 2012, 2013, 2014 y 2015 en las comunidades y parroquias de: La Joya de los Sachas, 3 de noviembre, Enokanqui, San Carlos, Nuevo Paraíso, Inés Arango, Dayuma, Taracoa, La Belleza, García Moreno, El Dorado y Puerto Francisco de Orellana, en los puntos del lecho de los cuerpos hídricos receptores de las zonas de descarga de: plataformas, estaciones, subestaciones y miniestaciones de instalaciones hidrocarburíferas.

### **Muestreo de sedimentos**

Se recolectaron tres muestras compuestas en diferentes días para cada uno de los puntos y cada año en un transecto de 10 metros de la orilla de cada cuerpo hídrico recolectando entre 30 y 40 cm de la columna del muestreador de sedimento. La muestra de sedimento se recubrió con varias capas de papel aluminio para prevenir la descomposición fotoquímica de las cadenas carbonadas y traslado en bolsas plásticas con cierre hermético. El etiquetado fue bajo los criterios establecidos en el protocolo de muestreo de LABSU y fueron transportadas en cajas de refrigeración hasta el laboratorio.

### **Preparación de muestras de sedimentos para análisis de metales pesados**

Se seleccionó los metales pesados auditables a las filiales petroleras que se incluyen en la normativa ecuatoriana para actividades hidrocarburíferas (RAOHE), su determinación se realizó mediante la metodología recomendada EPA 3050B Standard Methods, 3111 B, y los procedimientos de laboratorio LABSU (PEE-LABSU-06), acreditados ante el Sistema de Acreditación Ecuatoriano (SAE). Las muestras recolectadas fueron secadas a una máxima temperatura de 25 °C, triturada, homogenizada y tamizada en un tamiz N° 60 (250 µm); tres gramos de suelo fueron pesados y colocados en matraces Erlenmeyer junto con ácido nítrico al 65% y peróxido de hidrógeno al 30%, la digestión de las muestras para la extracción de metales pesados se realizó por 2 horas y posterior análisis de Cd, Pb y Ni, en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica de Llama Thermo Fisher Scientific ICE 3500.

### **Preparación de muestras de sedimento para análisis Hidrocarburo Total de Petróleo (TPH)**

La determinación de hidrocarburos totales de petróleo se realizó mediante el procedimiento sugerido por la EPA 418.1, 1978 y los procedimientos acreditados por el laboratorio de análisis (PEE-LABSU-04). Se extrajeron los TPH de las fracciones mediante la acidificación de la muestra a pH bajo (<2) y extracción con Fluorocarbono 113 en un embudo de separación, eliminando las interferencias con

absorbente de silica gel. Las muestras preparadas fueron analizadas en el espectrofotómetro de infrarrojo con medición directa y comparación con estándares de referencia, a un rango de detección de 45 – 40 000 mg/kg (Schwartz et al., 2012).

### Categorización de toxicidad de sedimentos

Las concentraciones de Cadmio, Níquel y Plomo en sedimentos fueron relacionados con: a) la concentración Umbral (TEC: *Threshold effect concentration*) por debajo de la cual no se evidencian efectos nocivos en organismo bentónicos y b) la concentración probable de efecto (PEC: *Probable effect concentration*) por encima de la cual se espera observar efectos nocivos en los organismo bentónicos (MacDonald et al., 2000). Para la medición de la significancia biológica de la mezcla de contaminantes se usó el Cociente PEC medio (índice SQG-Q, *Sediment Quality guideline Quotient*), aplicando la ecuación 1.

$$SQG - Q = \frac{\left[ \frac{[metal_1]}{PEC_{metal_1}} \right] + \left[ \frac{[metal_2]}{PEC_{metal_2}} \right] + \left[ \frac{[metal_3]}{PEC_{metal_3}} \right]}{n} \quad (1)$$

Donde  $PEC_{metal}$  (Probable effect concentration) es la concentración de cada metal en la que se espera observar efectos nocivos bajo los criterios establecidos por Turekian y Wedepohl, con 0,3 mg / kg para el Cadmio, 68 mg / kg para el Níquel y 20 mg / kg para el Plomo (Deng et al., 2014) y n corresponde al número total de metales tóxicos analizados. Los criterios de toxicidad de sedimento según el índice SQG-Q para la interpretación de los resultados son los sugeridos en la **tabla 1**.

**Tabla 1:** Criterios de predicción de la toxicidad de sedimentos según el índice SQG-Q

Criterio de predicción (%)	
SQG-Q<0.1	90% probabilidad de ausencia de toxicidad
SQG-Q<0.5	83% probabilidad de ausencia de toxicidad
SQG-Q>0.5	85% probabilidad de presentar toxicidad
SQGC-Q>1	92% probabilidad de presentar toxicidad

**Fuente:** MacDonald et al., 2000



## Análisis estadístico y cartografía GIS

Se realizaron sendas pruebas de normalidad a las distribuciones de los datos correspondientes a los metales pesados (Cd, Pb, Ni) e Hidrocarburos Totales de Petróleo monitoreados in-situ, a fin de elegir la más adecuada estadística, para la respectiva tabulación y tratamiento. Para los datos cualitativos se procedió a establecer un análisis multivariado con fines de reducción de dimensiones que caracterice la fenomenología de las variables en el sistema fluvial de la cuenca alta del Río Amazonas. La técnica utilizada fue la de Análisis de Componentes Principales (ACP) (León González et al., 2008), desarrollada en el statistical software package SPSS versión 20.0 for Windows.

Los Mapas de distribución espacial de las variables: TPH, Metales pesados y calidad de sedimentos fue generado en el programa ArcGIS V9.0 por interpolación espacial, lo que permitió determinar el valor de las variables en otras posiciones espaciales (Rocha, 2006) el método usado fue: la interpolación determinística: Inverse Distance Weighting (Wong, 2017).

## Resultados

### Hidrocarburos Totales de Petróleo

Las concentraciones de TPH en sedimentos del sistema fluvial de la provincia de Francisco de Orellana se resumen en la **Tabla 2**. Las concentraciones máximas oscilaron entre 6286 y 17560 mg/kg en los 4 años de estudio y con una media anual de 1490 mg/kg. Esta tabla se puede usar como una referencia de contaminación y una directriz simplificada de marco lógico para trabajos de evaluación de riesgos en los sitios contaminados con TPHs ocasionados por actividades industriales e hidrocarburíferas (Yang et al. , 2017a).

**Tabla 2:** Concentraciones de metales y THP en sedimentos del sistema fluvial de la provincia de Francisco de Orellana

Meta l	Año	Estadísticos descriptivos			
		mg/kg Min.	mg/kg Max.	mg/kg Media	Dev. Std
Cadmio	2012	1.00	1.50	1.46	0.14
	2013	1.50	1.50	1.50	0.00
	2014	1.50	1.50	1.50	0.00
	2015	1.50	1.50	1.50	0.00
Plomo	2012	10.00	23.20	17.03	2.96
	2013	15.00	21.18	15.96	1.70
	2014	15.00	30.70	16.87	3.69
	2015	15.00	24.98	16.32	2.55



Influencia de actividades petroleras en sedimentos del sistema fluvial alto del Río Amazonas.

Níquel	2012	9.96	56.86	23.53	11.86
	2013	5.00	45.64	20.76	9.90
	2014	9.57	35.76	18.34	6.46
	2015	10.00	26.76	14.08	3.76
	2012	33.33	6286.05	703.53	1427.54
TPH*	2013	42.60	17560.14	1868.58	3803.48
	2014	100.00	11611.85	1221.76	2476.51
	2015	199.45	17178.93	2169.13	4345.97

Fuente: Beltrán, et al. 2022

Según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA) establece que los límites máximos permisibles son: Cd=19 mg/kg; Pb=19 mg/kg; Ni=19 mg/kg and TPH= < 150 mg/kg.

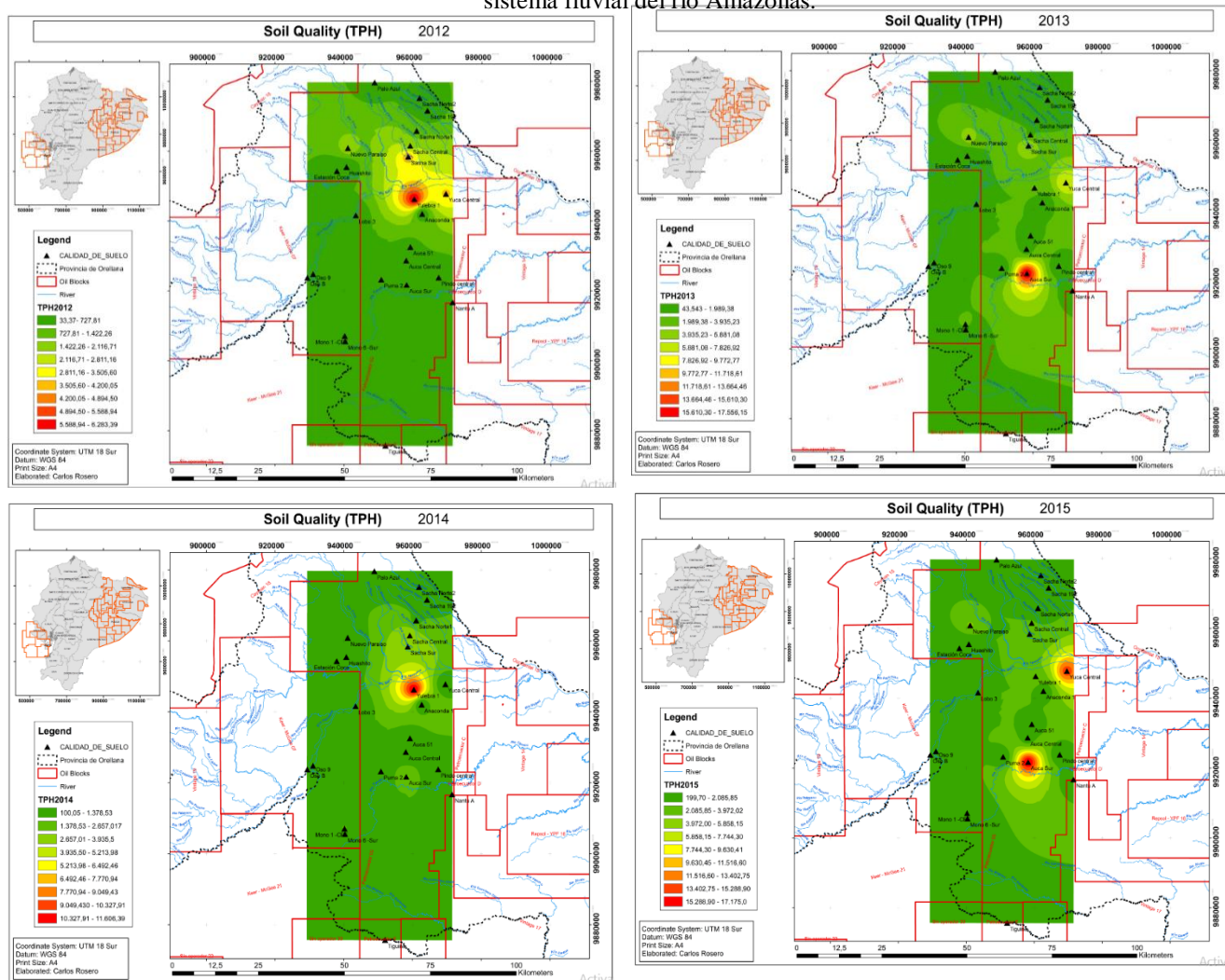
La **Figura 1** de mapas de concentraciones de TPH, permiten visualizar las zonas que superan los criterios de TPHs para calidad del suelo y uso agrícola en el Ecuador ( $\geq 150$  mg/kg); (Registro oficial de Ecuador, 2015); destacando las zonas petroleras de Auca Sur, de Yuca Centra y Yulebra, lugar en que sus concentraciones superan los límites 1000 mg/kg establecido en el Taiwan Regulatory Cleanup Level (TRCL). (Yang et al., 2017b), las adoptadas por el New Jersey Department of Environmental Protection Site Remediation Program, que asume una concentración de TPH de 5000 mg kg<sup>-1</sup>, la sugerida por la legislación Holandesa. (VROM, 2000) y los límites para suelo bajo los Criterios Interinos para la Remediación de Suelos (CIRS) para México D.F. de 2000 mg/kg (Adriana Roldán Martín, 2002; Iturbe-Argüelles et al., 2006).

Los esteros y ríos de sistema fluvial del Río Tiputini, Río Coca, Río Payamino y Río Napo de la cuenca hídrica del Amazonas, mantienen en sus sedimentos superficiales características arcillosas donde se adhieren los hidrocarburos alifáticos de cadena larga (Ordoñez, 2013), sin carga y poco polares, provocando la impermeabilización e hidrofobicidad del suelo lo que provoca un aumento de temperatura por absorción de radiación. Las características intrínsecas del hidrocarburo y las exógenas del medio como la temperatura, la humedad y el pH de las aguas contribuyen a la baja biodegradabilidad, limitado por el oxígeno que contrasta con los incrementos de la concentración de TPHs de un año a otro, llegando a superar de 10 a 117 veces el límite de calidad de suelo propuesto en la normativa ecuatoriana (150 mg kg<sup>-1</sup>) en un período y a nivel espacial en el 85,5% de los puntos monitoreados. De la misma forma se aprecia la baja gestión ambiental por parte de los bloques

### Influencia de actividades petroleras en sedimentos del sistema fluvial alto del Río Amazonas.

petroleros en la remediación de estos sitios contaminados en particular las plataformas o facilidades petroleras de Yulebra, Sacha, Auca, Nuevo Paraíso y Mono (**Fig. 1**), pues refleja cada año posterior un incremento de TPHs, asumiendo lo mencionado en 1991 por (BROOKE., 1991; Judith, 1991): fallas operacionales, descargas accidentales, fugas, regulación ambiental deficiente y poca transparencia de las operadoras petroleras que durante los años noventa generaron mala reputación en el Ecuador contabilizando más de 30 derrames en el principal oleoducto ecuatoriano con 17 millones de galones descargados al medio ambiente comparados con los 10.8 millones de galones del desastre de Epon Valdez.

**Figura 1:** Distribución temporal de los patrones de Hidrocarburos Totales de Petróleo en superficie de sedimentos del sistema fluvial del río Amazonas.

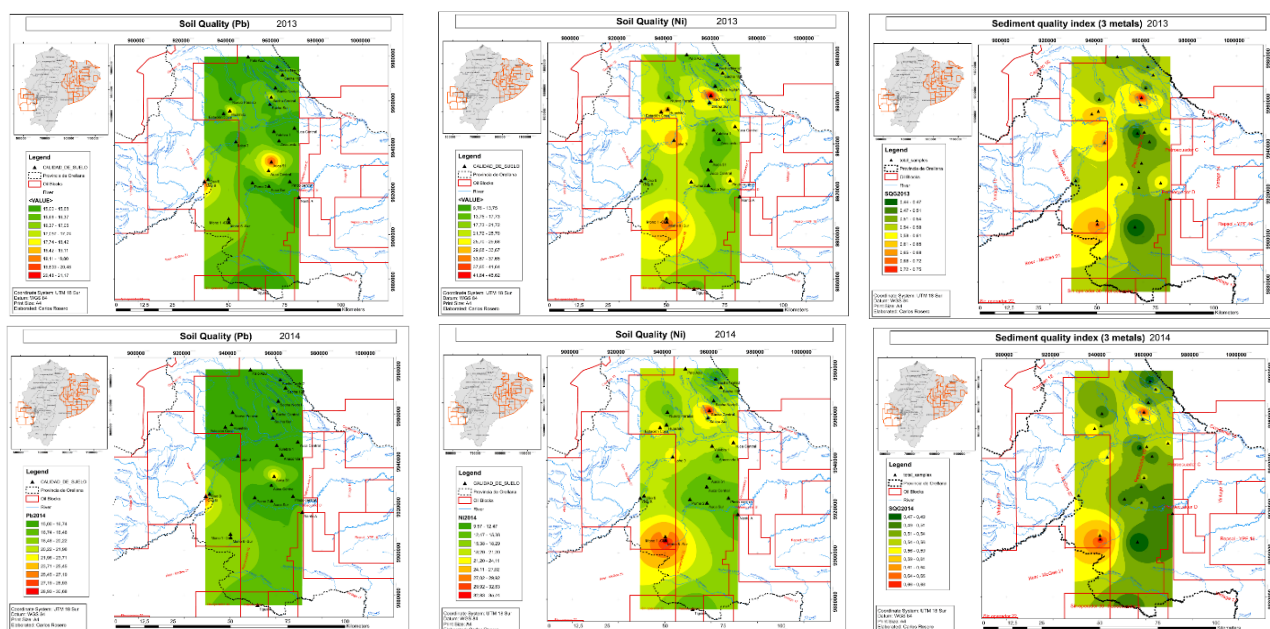


Fuente: Beltrán, et al. 2022

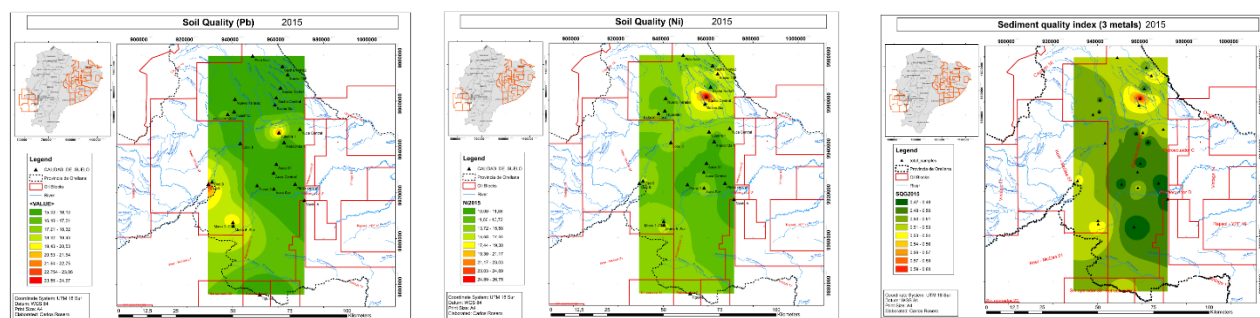
## Metales pesados

Los metales analizados (Plomo, Cadmio y Níquel) seleccionados bajo el criterio de calidad del suelo en actividades hidrocarburíferas del Ecuador (DECRETO EJECUTIVO 1215, 2001), mantiene concentraciones medias que disminuyen en el orden de: Ni>Pb>Cd, como investigaciones desarrolladas en el río Putumayo, Ecuador (Mora et al., 2016). Según la **tabla 2** de Componentes Principales se identifica que: el plomo tiene un comportamiento distinto al Níquel, pudiendo ser distintas sus fuentes de generación. Las concentraciones de Cadmio son menores a 1.5 ppm; las de plomo están en el rango de 10 a 30.7 mg/kg y las de Níquel de 9.96 a 56.86 mg/kg según los límites establecidos en la normativa ecuatoriana (Registro oficial de Ecuador, 2015). Las mayores concentraciones de Plomo se ubican en las zonas con influencia de facilidades petroleras con fuentes fijas significativas de combustión a diésel, donde el material particulado sedimentado en sus áreas de influencia, enriqueciendo al suelo en concentraciones moderadas.

**Figura 2:** Distribución temporal de los patrones de metales pesados en la superficie de sedimentos del sistema fluvial del río Amazonas



Influencia de actividades petroleras en sedimentos del sistema fluvial alto del Río Amazonas.



Fuente: Beltrán, et al. 2022

En la **Figura 2** se muestran las distribuciones espaciales y anuales de concentraciones de plomo y níquel. En los puntos influenciados por plataformas petroleras Mono 1 CPF; Mono Sur, Oso 2 en los años 2012 y 2013, predominan concentraciones superiores a 19 mg/kg para Pb y Ni, establecido en la normativa ecuatoriana como criterio de calidad del suelo (Registro oficial de Ecuador, 2015). Estos valores son inferiores a los evaluados in sediments of the Nansi Lake in China y (Cao et al., 2014) and sediment from Bei Shan River in China(Xun & Xuegang, 2015).

Si se comparan los valores de Pb y Ni con los valores de TPH para todos los puntos evaluados, no existe una buena correlación para el Pb ( $r = 0.35$  correlación máxima y  $r = -0.05$  correlación mínima), tampoco para el Ni ( $r = 0.28$  correlación máxima y  $r = -0.03$  correlación mínima), similar a lo expuesto por (Iturbe-Argüelles et al., 2006), lo que le sugiere que los niveles de metales pesados no está relacionada a los derrames de hidrocarburo o descargas de aguas de plataformas petroleras cercanas a los puntos de muestreo.

El enriquecimiento de sedimentos por plomo y por Níquel tiene un origen distinto según lo representado en la **Tabla 3** de componentes principales. Su correlación entre metales es inferior a ( $r = 0.63$ ) y un mínimo de ( $r = -0.042$ ), valores similares a reportadas en el Sureste de China con: ( $r = 0.68$ ) en los sedimentos de Deep Bay y menores de ( $r = 0.60$ ) en sedimentos de Mirs Bay y de Victoria Harbour (Liu et al., 2015), ( $r = 0.53$ ) en sedimentos de Bei Shan River – China (Xun & Xuegang, 2015) y contraria a la correlación determinada en sedimentos de nueve estuarios de la costa of Bohai Bay, del Norte de China, de  $r = 0.93$  (Wu et al., 2014).

Influencia de actividades petroleras en sedimentos del sistema fluvial alto del Río Amazonas.

**Tabla 3:** Varimax Carga de la matriz del componente rotado para las variables analizadas en muestras de sedimentos.

<b>Matriz de componentes rotados</b>				
<b>Variable</b>	<b>Componentes</b>			
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
Níquel - 2014	0.941	0.142	0.169	
Níquel - 2013	0.911		-0.149	
SQG-Q 2014	0.903	0.333	0.132	
SQG-Q 2013	0.901		-1.61	
Níquel - 2012	0.850	0.338		
SQG-Q 2012	0.837	0.378		
SQG-Q 2015	0.802		0.367	
Níquel - 2015	0.783	-0.234	0.248	0.123
Plomo 2014		0.955		
Plomo 2013		0.775		
Plomo 2015	0.102	0.771	0.451	
Plomo 2012	0.418	0.735	-0.127	-0.104
TPH - 2014			0.940	
TPH - 2012			0.893	0.235
TPH - 2013			0.118	0.971
TPH - 2015		-0.127	0.153	0.968
<b>Varianza Explicada (%)</b>	42.39	19.34	14.45	8.66
<b>Varianza Acumulada (%)</b>	42.39	61.73	76.19	84.85

Fuente: Beltrán, et al. 2022

**Tabla 4:** SQG-Q, guía de calidad de sedimento  
 Cociente en los sedimentos del sistema fluvial en lo alto del río Amazonas.

<b>Punto de monitoreo Lugar</b>	<b>SQG-Q 2012</b>	<b>SQG-Q 2013</b>	<b>SQG-Q 2014</b>
Palo Azul	0.30	0.25	0.29
Sacha Norte 2	0.17	0.22	0.18
Sacha Norte 1	0.28	0.21	0.21
Sacha Central	0.58*	0.61*	0.47*
Sacha 192	0.33	0.33	0.29
Sacha Sur	---	0.35	0.30
Nuevo Paraíso	0.29	0.24	0.22
Huashito	0.28	0.44	0.28
Estación Coca	0.42	0.42	0.35
Tiguino	0.41	0.27	0.23
Chonta este 1	0.23	0.13	0.00
Puma 2	0.29	0.38	0.23
Nantu A	0.21	0.23	0.22
Pindo central	0.34	0.39	0.23
Auca Central	0.23	0.28	0.23
Auca Sur	0.29	0.24	0.24



Influencia de actividades petroleras en sedimentos del sistema fluvial alto del Río Amazonas.

---

<b>Auca 51</b>	0.36	0.26	0.29
<b>Anaconda 1</b>	0.18	0.18	0.22
<b>Yuca Central</b>	0.30	0.38	0.32
<b>Mini Estación Culebra</b>	0.26	0.13	---
<b>Yulebra 1</b>	0.31	0.24	0.31
<b>Mono 1 -CPF</b>	0.71*	0.39	0.37
<b>Mono 6 -Sur</b>	0.76*	0.53*	0.51*
<b>Oso 9</b>	0.37	0.28	0.29
<b>Lobo 3</b>	0.47*	0.46	0.33
<b>Oso B</b>	0.39	0.31	0.33

\* 85% probabilidad de presentar toxicidad

Fuente: Beltrán, et al. 2022

### Categorización de toxicidad de sedimentos

En el sedimento se determinó un bajo grado de riesgo ecológico potencial y grado de contaminación para Plomo, Cadmio y Níquel con los criterios tomados de (Deng et al., 2014) o con un 85% de probabilidad de presentar toxicidad en 4 puntos: Mono 1- CPF, Mono 6 Sur, Lobo 3 y Sacha Central como se observa en la **Figura 2** según (Deng et al., 2014; Turekian & Wedepohl, 1961).

Con el análisis multivariable se determinó la existencia de una estrecha relación entre las concentraciones del Níquel y la calidad de los sedimentos, lo cual se muestra en la **Tabla 3** en la que se interpreta que la fenomenología de contaminación de los sedimentos del sistema fluvial estudiado, es influenciado por las concentraciones de Níquel en los sedimentos, presentando un máximo de 56.86 mg/kg y una media de 19.17 mg/kg (**Tabla 2**) al límite establecido por la normativa ambiental vigente en el Ecuador.

### Conclusión

Hasta la fecha actual el monitoreo de sedimentos no está regulada y no existen los límites máximos permisibles de cumplimiento y se genera un vacío legal en la imposición de sanciones por parte del organismo de control y su remoción ocasiona que los metales pesados incrementen su movilización y los TPH su volatilización y disolución. Los TPHs actualmente en el Ecuador mantienen límites menores a 150 mg/kg para zonas con sensibilidad biológica y zonas agrícolas, lo que aporta significativamente a la protección pronatura de la naturaleza y propone una evolución significativa efectiva en los procesos de remediación.

---

## Referencias

1. Abraham, M. R., & Susan, T. B. (2017). Water contamination with heavy metals and trace elements from Kilembe copper mine and tailing sites in Western Uganda; implications for domestic water quality. *Chemosphere*, *169*, 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.077>
2. Adeniyi, A. A., & Afolabi, J. A. (2002). Determination of total petroleum hydrocarbons and heavy metals in soils within the vicinity of facilities handling refined petroleum products in Lagos metropolis. *Environment International*, *28*(1–2), 79–82. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00007-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00007-7)
3. Adriana Roldán Martín, R. I. A. (2002). SANEAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS MEDIANTE BIOPILAS. *Teorema Ambiental*. Retrieved from [http://www.teorema.com.mx/contaminacion\\_/saneamiento-de-suelos-contaminados-con-hidrocarburos-mediante-biopilas/](http://www.teorema.com.mx/contaminacion_/saneamiento-de-suelos-contaminados-con-hidrocarburos-mediante-biopilas/)
4. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2009). Módulo II - Rutas de exposición | ATSDR en Español. Retrieved from [https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology\\_curriculum/modules/2/es\\_module2.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/2/es_module2.html)
5. Ahmed, M. K., Shaheen, N., Islam, M. S., Habibullah-al-Mamun, M., Islam, S., Mohiduzzaman, M., & Bhattacharjee, L. (2015). Dietary intake of trace elements from highly consumed cultured fish (*Labeo rohita*, *Pangasius pangasius* and *Oreochromis mossambicus*) and human health risk implications in Bangladesh. *Chemosphere*, *128*, 284–292. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.02.016>
6. Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
7. Anna, W. (2010). Explotación petrolera en la Reserva de la Biosfera Yasuní. *OILWATCH*, *1*(1), 1-47.
8. Banerjee, K., Senthilkumar, B., Purvaja, R., & Ramesh, R. (2012). Sedimentation and trace metal distribution in selected locations of Sundarbans mangroves and Hooghly estuary, Northeast coast of India. *Environmental Geochemistry and Health*, *34*(1), 27–42. <https://doi.org/10.1007/s10653-011-9388-0>
9. Bautista Hugo, R. K. M. M. (2016). Effects of Crude Oil Pollution in the Tropical Rainforest



- Biodiversity of Ecuadorian Amazon Region. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12461>
10. BROOKE., J. (1991). New Effort Would Test Possible Coexistence Of Oil and Rain Forest. *The New York Times*, p. 4.
  11. Burton, G. A. (2002). Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, 3(2), 65–75. <https://doi.org/10.1007/s102010200008>
  12. Cao, X., Shao, Y., Deng, W., Wang, H., & Wang, S. (2014). Spatial distribution and potential ecological risk assessment of heavy metals in the sediments of the Nansi Lake in China. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4048-3>
  13. Carolin, C. F., Kumar, P. S., Saravanan, A., Joshiba, G. J., & Naushad, M. (2017). Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environments: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.029>
  14. Carreño de León, C., Zarazúa Ortega, G., Fall, C., Ávila-Pérez, P., & Tejada Vega, S. (2018). Evaluación de la toxicidad de los sedimentos del curso alto del río Lerma, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.10>
  15. Costello, D. M., Hammerschmidt, C. R., & Burton, G. A. (2015). Copper sediment toxicity and partitioning during oxidation in a flow-through flume. *Environmental Science and Technology*, 49(11), 6926–6933. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00147>
  16. DECRETO EJECUTIVO 1215. REGLAMENTO AMBIENTAL DE ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFEROS AS., Pub. L. No. Registro Oficial 265 de 13 de Febrero del 2001., 54 (2001). ECUADOR.
  17. Deng, G., Yang, W., Zhou, G., Li, Y., & Liu, S. (2014). Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Shenzhen River, South China. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2995-4>
  18. E. Ite, A., A. Harry, T., O. Obadimu, C., R. Asuaiko, E., & J. Inim, I. (2018). Petroleum Hydrocarbons Contamination of Surface Water and Groundwater in the Niger Delta Region of Nigeria. *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 6(2), 51–61. <https://doi.org/10.12691/jephh-6-2-2>
  19. ECOLAP y MAE. (2007). *Guía del patrimonio de áreas naturales protegidas del Ecuador. Región Amazónica*.
  20. Elizabeth, B. (2007). Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la
-

- biodiversidad. *Acción Ecológica*, 1–61. Retrieved from [http://www.inredh.org/archivos/documentos\\_ambiental/impactos\\_explotacion\\_petrolera\\_esp.pdf](http://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf)
21. Goretti, E., Pallottini, M., Ricciarini, M. I., Selvaggi, R., & Cappelletti, D. (2016). Heavy metals bioaccumulation in selected tissues of red swamp crayfish: An easy tool for monitoring environmental contamination levels. *Science of the Total Environment*, 559, 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.169>
22. Iturbe-Argüelles, R., Flores-Serrano, R. M., & Torres-Bustillos, L. G. (2006). Análisis de riesgo a la salud de una instalación petrolera del Suroeste de México. *INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII, 1*, 1–15.
23. Judith, K. (1991). *Amazon Crude*. (Susan Henriksen, Ed.) (1st Edition). Virginia: Natural Resource Defense Council.
24. Judith, K. (2016). Habitat as human Rights: Indigenous Huaorani in the Amazon Rainforest, Oil and Ome Yasuni. *40 Vermont Law Review*, 40, 445–522. Retrieved from <https://ssrn.com/abstract=2856620>
25. Kumar, N., Krishnani, K. K., Meena, K. K., Gupta, S. K., & Singh, N. P. (2017). Oxidative and cellular metabolic stress of *Oreochromis mossambicus* as biomarkers indicators of trace element contaminants. *Chemosphere*, 171, 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.066>
26. León González, Á., Llinás Solano, H., & Tilano, J. (2008). Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados. *Ingeniería & Desarrollo. Universidad Del Norte*, 23, 119–142. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85202310>
27. Liu, L., Wang, Z., Ju, F., & Zhang, T. (2015). Co-occurrence correlations of heavy metals in sediments revealed using network analysis. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.068>
28. MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G., & Berger, T. A. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(1), 20–31. <https://doi.org/10.1007/s002440010075>
29. MacFarlane, G. R., & Burchett, M. D. (2002). Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the grey mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.

- Marine Environmental Research*, 54(1), 65–84. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(02\)00095-8](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(02)00095-8)
30. Mora, A., Jumbo-Flores, D., González-Merizalde, M., & Bermeo-Flores, S. A. (2016). Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del río puyango, Ecuador. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.02>
31. Ordoñez, C. (2013). *Caracterización Geoquímica de Sedimentos de la laguna Limoncocha*. Universidad Internacional SEK.
32. Pedroza-Benítez, S., Bussy, A.-L., Barceló-Quintal, I. D., López-Galván, E., & Avila-Pérez, P. (2010). Organic matter biodegradation and metal behaviour in contaminated freshwater sediments. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 12(1). <https://doi.org/10.1504/IJETM.2010.029982>
33. Peluso, M. L., Salibián, A., & Ronco, A. E. (2016). Esquema para la categorización de la peligrosidad de sedimentos de fondo contaminados de sistemas fluviales. *Limnetica*, 35(1), 159–174.
34. Ram, S. S., Aich, A., Sengupta, P., Chakraborty, A., & Sudarshan, M. (2018). Assessment of trace metal contamination of wetland sediments from eastern and western coastal regions of India dominated with mangrove forest. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.201>
35. Registro oficial de Ecuador. (2015). Acuerdo No. 061 Reforma Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria. *Acuerdo No. 061 Reforma Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria*, 80. Retrieved from <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA+-+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>
36. Rocha, P. (2006). Interpolación a partir de puntos e isolíneas. *Capítulo 6*, 99–126. Retrieved from [http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario\\_6.pdf](http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_6.pdf)
37. San Sebastián, M., Armstrong, B., & Stephens, C. (2001). La salud de mujeres que viven cerca de pozos y estaciones de petróleo en la Amazonía ecuatoriana. *Revista Panamericana de Salud Pública*. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892001000600004>
38. Schwartz, G., Ben-Dor, E., & Eshel, G. (2012). Quantitative analysis of total petroleum hydrocarbons in soils: Comparison between reflectance spectroscopy and solvent extraction

- by 3 certified laboratories. *Applied and Environmental Soil Science*.  
<https://doi.org/10.1155/2012/751956>
39. Simpson, S. L., Ward, D., Strom, D., & Jolley, D. F. (2012). Oxidation of acid-volatile sulfide in surface sediments increases the release and toxicity of copper to the benthic amphipod *Melita plumulosa*. *Chemosphere*, 88(8), 953–961.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.03.026>
40. Strugaru, S. A., Nicoara, M., Teodosiu, C., Baltag, E., Ciobanu, C., & Plavan, G. (2018). Patterns of toxic metals bioaccumulation in a cross-border freshwater reservoir. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.079>
41. Turekian, K. K., & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bulletin of the Geological Society of America*, 72(2), 175–192.  
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2)
42. Villaverde, X., F. Ormaza, V. M. & J. J. 2005. (2005). *Parque Nacional y Reserva de Biosfera Yasuní. Historia, Problemas y Perspectivas*. (W. Editorial Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio, FEPP y Wildlife Conservation Society, Ed.). Quito - Ecuador.
43. VROM. (2000). Circular on target values and intervention values for soil remediation. *Netherlands Government Gazette*. <https://doi.org/10.3390/nu7115490>
44. Wong, D. W. S. (2017). Interpolation: Inverse-Distance Weighting. In *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology* (pp. 1–7).  
<https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0066>
45. Wu, G., Shang, J., Pan, L., & Wang, Z. (2014). Heavy metals in surface sediments from nine estuaries along the coast of Bohai Bay, Northern China. *Marine Pollution Bulletin*.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.033>
46. Xun, Y., & Xuegang, L. (2015). Heavy metals in sediment from bei shan river: Distribution, relationship with soil characteristics and multivariate assessment of contamination sources. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1560-2>
47. Yáñez, P. (2016). Las Áreas Naturales Protegidas del Ecuador: Características y Problemática General. *Las Áreas Naturales Protegidas de Ecuador*.
48. Yang, Z. H., Lien, P. J., Huang, W. S., Surampalli, R. Y., & Kao, C. M. (2017a). Development of the Risk Assessment and Management Strategies for TPH-Contaminated Sites Using TPH

Fraction Methods. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 21(1), D4015003.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000290](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000290)

49. Yang, Z. H., Lien, P. J., Huang, W. S., Surampalli, R. Y., & Kao, C. M. (2017b). Development of the Risk Assessment and Management Strategies for TPH-Contaminated Sites Using TPH Fraction Methods. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 21(1), D4015003.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000290](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000290)