

Modelación de riesgos ambientales ocasionados por el derrame de combustibles suscitado en el Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo en el PK – 128 de “Eppetroecuador”

Modeling of environmental risks caused by the spillage of fuels aroused in the Polyducture Esmeraldas - Santo Domingo de Los Tsachilas Case PK-128 from “Eppetroecuador”

Fausto Yaulema Garcés¹

Recibido: Agosto 2015 - Aprobado: Diciembre 2015

RESUMEN

El propósito de este artículo fue la modelación de riesgos debido a un derrame de combustibles en la región costera del Ecuador. Los derrames de combustible constituyen un peligro inminente, debido a la imposibilidad de controlarlos inmediatamente ya que representan un elevado potencial destructivo para el ambiente. Se establece como hipótesis que un sistema de gestión de riesgos permitiría la mejor comprensión en el caso futuros derrames; para el efecto, se propone la utilización de la NORMA UNE 150008 2008 EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES además de la prospección geoelectrica. El área de estudio del derrame comprendió aproximadamente 20 hectáreas de terreno compuesta por la faja de servidumbre o derecho de vía del Poliducto y del Oleoducto así como los terrenos aledaños al sitio del derrame donde presumiblemente se extendió la contaminación. Mediante la caracterización físico química de agua, suelo flora, fauna y socioeconómica se procedió a evaluar los resultados mediante el modelo de flujo y las matrices riesgo – probabilidad, con un valor de 17 equivalente a un promedio del 82 % sobre el entorno humano y natural corresponde a un escenario grave; mientras que el entorno socioeconómico se ubica en el escenario de moderado con un valor de 14 equivalente a un promedio del 42 %. Se realizó un modelo de prevención de riesgos ambientales adecuado a la coyuntura analizada y una caracterización mediante reducción de dimensiones que presentó contaminación tanto por metales pesados cuanto por Hap's.

Palabras clave: Derrames de combustible, poliductos, riesgos ambientales, NORMA UNE 150008 - 2008

ABSTRACT

The purpose of this paper was the modeling of risks due to a fuel spill in the coastal region of Ecuador. Fuel spills are an imminent danger due to the impossibility of controlling them immediately because they represent a high destructive potential for the environment. It is hypothesized that a risk management system would allow better understanding in the case of future spills; for this purpose, it is proposed to use UNE 150008 2008 ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT in addition to geoelectric prospecting. The spill study area comprised approximately 20 hectares of land comprised of the easement belt or right-of-way of the Poliducto and the Pipeline as well as the lands adjacent to the site of the spill where presumably the pollution spread. Through the physical chemical characterization of water, flora, fauna and

1. Centro de Evaluaciones Ambientales. Laboratorio de Suelos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. República del Ecuador. Provincia de Chimborazo. Email: fausto.yaulema@esPOCH.edu.ec

socioeconomic soil, the results were evaluated using the flow model and the risk - probability matrices, with a value of 17 equivalent to an average of 82% on the human and natural environment corresponds to a serious scenario; while the socioeconomic environment is in the moderate scenario with a value of 14 equivalent to an average of 42%. A model of prevention of environmental risks was adapted to the analyzed conjuncture and a characterization by reduction of dimensions that presented contamination by both heavy metals and by Hap's.

The results demonstrated that the human and natural environment presented a grave stage with a value of 17 equivalent to an average of 82%. On the other hand, the socio-economic environment resulted in a moderate scenario. These results leads to the formulation of prevention model of environmental risks, which involves the identified dangers.

Keywords: Spills Fuel, Pipelines, Environmental risk, UNE 150008 2008.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión del sector hidrocarburífero en el Ecuador se encuentra a cargo de la empresa pública, esta se encarga de la exploración, explotación, transporte, almacenamiento, industrialización y comercialización de hidrocarburos, con alcance nacional, internacional y preservando el ambiente; controlando la utilización racional y sostenible de los recursos naturales para el desarrollo integral, sustentable, descentralizado y desconcentrado del Estado, con sujeción a los principios y normativas previstas en la Constitución de la República, la Ley Orgánica de Empresas Públicas, la Ley de Hidrocarburos y Marco Legal ecuatoriano que se relacione a sus específicas actividades.

En diciembre 2011 se detectó un derrame en la línea PK128 del Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo-Quito-Macul km 32 vía Esmeraldas-Santo Domingo, ocasionado por la falla en una abrazadera; después de reportado el incidente, con la inspección del lugar se identifican sitios que presentan derivados de hidrocarburo y afloramientos de hidrocarburos por filtración en el sitio y escorrentía de lluvias. El volumen derramado estimado, fue de 13000 barriles, de acuerdo al balance mensual de movimiento de productos (EP PETROECUADOR, 2011).

Posterior a los reportes, se inicia labores de control sobre los focos de contaminación identificados en un número de 19 puntos, se planificaron además inspecciones sobre el área probablemente afectada, dentro de la cual se encuentran dos pozos artesanales contaminados con el hidrocarburo en propiedades circundantes al accidente (Indeci 2006).

En años siguientes se han realizado varios levantamientos, dada la indeterminada extensión del derrame y su pluma de contaminación provocada por las 7 fugas. Esta investigación pretende evaluar los riesgos ambientales ocasionados por el derrame de combustibles suscitado en el Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo en el PK-128 para determinar el estado actual del componente físico, biótico y socioeconómico del área de influencia, así como, el riesgo ambiental ocasionado por el derrame suscitado.

II. METODOLOGÍA

El tipo de investigación es aplicada, longitudinal, de enfoque mixto, diseño no experimental.

La técnica de recogida de datos fue la observación estructurada, el instrumento utilizado fue el inventario. Se tabularon los datos mediante un modelo de gestión de riesgos de tipo escala.

2.1 Localización del sitio

El suelo es un sistema abierto, complejo, estructural comportamiento es de un filtro y soporte material de la vegetación (Díaz, 2016).

La localización del sitio de estudio PK-128, se encuentra ubicado en el sector de La Concordia, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. El área de estudio comprende aproximadamente 20.4 hectáreas de terreno, que la componen la faja de servidumbre o derecho de vía del Poliducto y del Oleoducto, así como los terrenos aledaños al sitio del derrame donde presumiblemente se ha extendido la contaminación. El área de estudio se encuentra a 285 metros de altura sobre el nivel del mar.

2.2 Aspectos metodológicos

Los objetivos que persiguió esta investigación fueron los siguientes.

Implementar la prospección geoelectrica para el monitoreo de la contaminación por hidrocarburos en el subsuelo.

Construir un sistema de gestión de riesgos que permita determinar un nivel tipo escala del riesgo en el área de acción del derrame.

Caracterizar el suelo sometido al derrame de hidrocarburos mediante la reducción factorial de dimensiones.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se partió de la información del estudio de la pluma de contaminación desarrollada por la Compañía Hidrogeocol, utilizándose planos Geoelectricos, planos de la zona editados por el IGM, información proporcionada por EP Petroecuador y el Municipio de la Concordia; además se remitió a la población circundante al evento suscitado a través de encuestas y entrevistas.

Topográficamente el área de estudio corresponde a zonas planas de terrazas disecadas asociadas a los depósitos cuaternarios de la Formación San Tadeo.

La litología que cubre gran parte del área son limos, limos de alta plasticidad con colores característicos de color marrón rojizo.

Mientras que, hacia las partes bajas (entre 255 a 260 m.s.n.m), en el lecho del Río Cucaracha y al Nororiente en la quebrada sin nombre se destacan litologías de arenas limosas, limos de alta plasticidad y conglomerados hacia la base, con colores característicos blancos a beige.

2.2 Aspectos metodológicos

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se partió de la información del estudio de la pluma de contaminación desarrollada por la Compañía Hidrogeocol, utilizándose planos Geoelectricos, planos de la zona editados por el IGM, información proporcionada por EP Petroecuador y el Municipio de la Concordia; además se remitió a la población circundante al evento suscitado a través de encuestas y entrevistas.

Topográficamente el área de estudio corresponde a zonas planas de terrazas disecadas asociadas a los depósitos cuaternarios de la Formación San Tadeo. La litología que cubre gran parte del área son limos, limos de alta plasticidad con colores característicos de color marrón rojizo. Mientras que, hacia las partes bajas (entre 255 a 260 m.s.n.m), en el lecho del Río Cucaracha y al Nororiente en la quebrada sin nombre se destacan litologías de arenas limosas, limos de alta plasticidad y conglomerados hacia la base, con colores característicos blancos a beige.

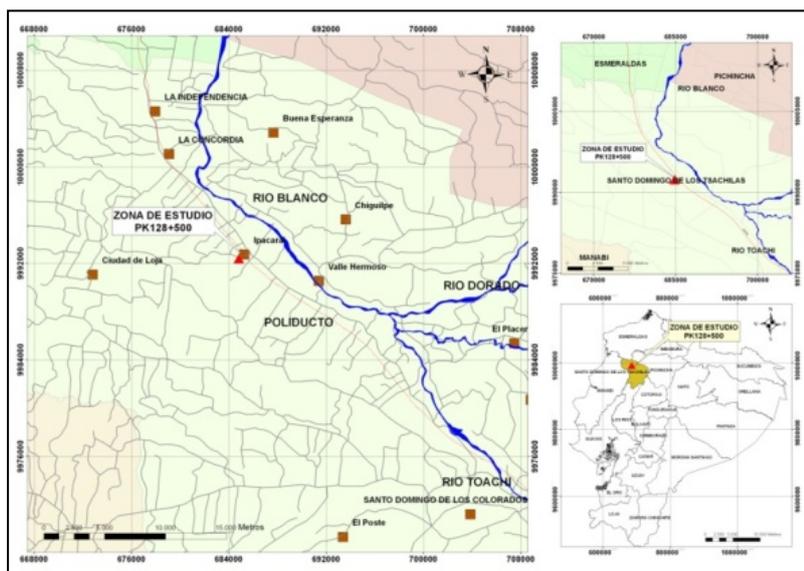


Figura 1: Localización del Área de Estudio. Fuente: Hidrogeocol Ecuador Cía. Ltda. (2011).

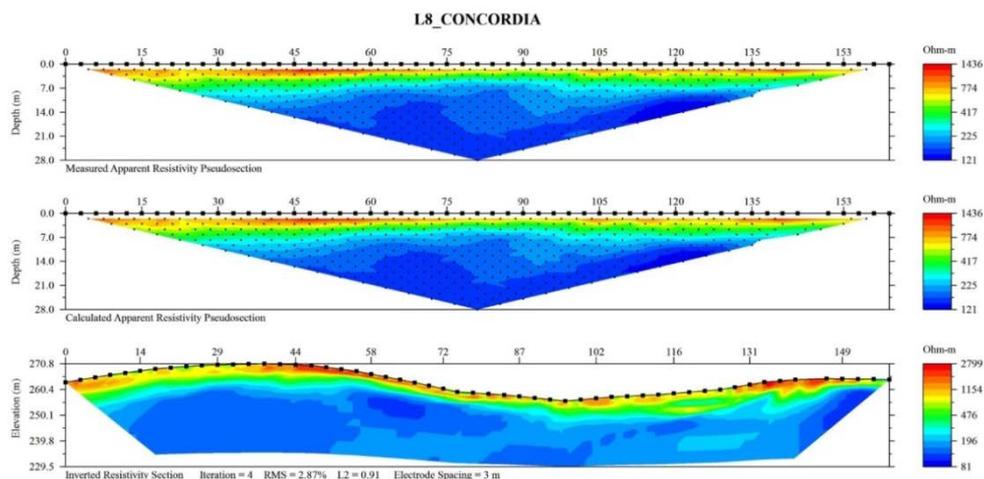


Figura N°2: Imagen de resistividad calicata geoelectrica la Concordia.

Los análisis de aguas en 19 pozos de muestreo y suelos que fueron realizados por laboratorios acreditados, los cuales permitieron estructurar la línea base del área afectada y de esta manera se pudo realizar la caracterización de los riesgos ambientales ocasionados por el derrame de combustible en el PK-128. La evaluación de riesgos ambientales se realizó en base a los análisis físico químicos en 19 puntos de muestreo, el estudio geo eléctrico con el que se obtuvo el modelo de flujo geométrico y la NORMA UNE 150008 2008-EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES, esta permite la identificación, y evaluación de los riesgos ambientales que generan las actividades productivas en un área geográfica, así como la consecuencia de los peligros naturales.



Fotografía 2. Línea para prospección geoelectrica L7, Preparativos sobre área pantanosa.



Fotografía 1. Lugar de la fuga y contención

III.- RESULTADOS

3.1 Área de influencia

El área de influencia directa fue determinada de acuerdo al impacto del derrame suscitado. Se estableció una pluma de contaminación de 4.6 hectáreas, con un volumen de combustible de 13.000 bb.

Tabla N° 1. Rangos de los límites de los entornos

Sobre el Entorno Humano				
Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extension	Población afectada
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy alto
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Alto
2	Poca	Poco Peligrosa	Poco extenso (Emplazamiento)	Bajo
1	Muy poca	No Peligrosa	Puntual (Área afectada)	Muy bajo
Sobre el Entorno Natural				
Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extension	Población afectada
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy alto
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Alto
2	Poca	Poco Peligrosa	Poco extenso (Emplazamiento)	Bajo
1	Muy poca	No Peligrosa	Puntual (Área afectada)	Muy bajo
Sobre el Entorno Socio Económico				
Valor	Cantidad	Peligrosidad	Extension	Población afectada
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy alto
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Alto
2	Poca	Poco Peligrosa	Poco extenso (Emplazamiento)	Bajo
1	Muy poca	No Peligrosa	Puntual (Área afectada)	Muy bajo

El análisis del componente biótico abarcó el factor social, la flora y fauna. La población afectada corresponde a aproximadamente 70 familias aproximadamente (560 personas), que presentan alta incidencia de pobreza y de necesidades básicas insatisfechas, agravadas por el daño a dos pozos artesanales desde donde se obtenía agua para el consumo humano. Dentro del factor fauna no se registró ninguna especie en peligro de extinción según las listas publicadas por la UICN (UICN, 2009); mientras que la vegetación natural había sido reemplazada por áreas de pastoreo de ganado básicamente. Topográficamente el área de estudio corresponde a zonas planas de terrazas disecadas, cubiertas en gran parte por limos de alta plasticidad de color marrón rojizo. Hacia las partes bajas (entre 255 a 260 m.s.n.m) destacan litologías de arenas limosas, limos de alta plasticidad y conglomerados de tonalidades características entre blancos a beige.

3.2 Evaluación de riesgos

En función de la cantidad de combustible altamente inflamable derramado, y el tamaño de la población afectada, el evento ha sido evaluado como muy peligroso con respecto al entorno humano y al entorno natural, y muy alta para el entorno socioeconómico (Tabla 1). Según la norma UNE 150008: 2008 para el Análisis y evaluación del riesgo ambiental (Núñez et al., 2005), la gravedad sobre el entorno humano tiene un valor de 17 y el valor asignado es 4, descrita como grave; el entorno natural presenta una gravedad de 16 y el valor asignado es 4, correspondiente a un escenario grave; y el entorno socioeconómico, con una

gravedad de 14 y un valor de 3, se ubica en el escenario de moderado.

3.3 Pluma de Contaminación

Con base en el modelo de flujo conceptual se realizó una simulación de la contaminación, teniendo la migración y dispersión a través del tiempo (Anexo Atlas Temático, Mapa de Pluma de Contaminación). En la Figura 3, se presenta la expansión de la pluma para 3 meses, 6 meses 1 año y 5 años.

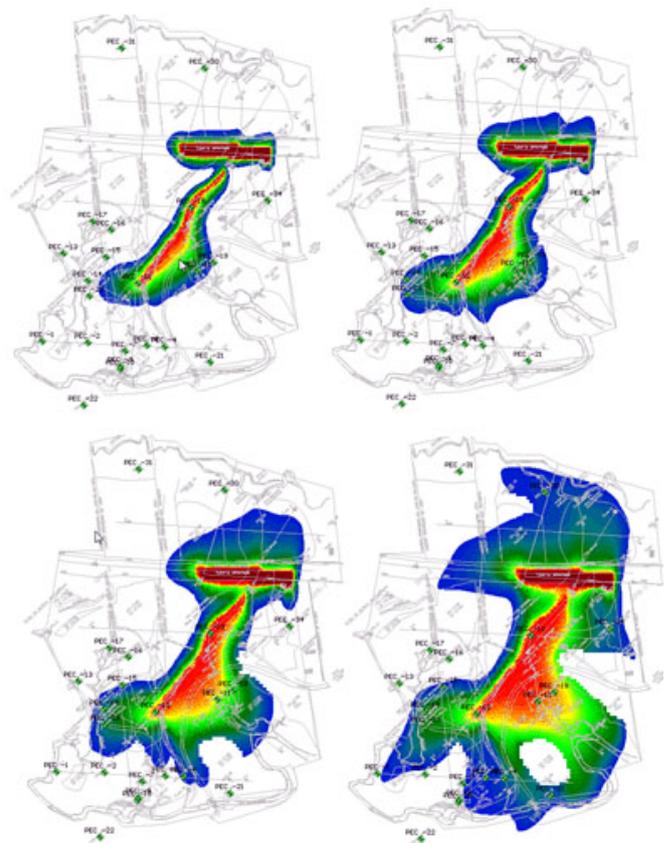


Figura N° 3. Pluma de contaminación para 0.25, 0.5, 1 y 5

Estos resultados conducen a la formulación de un modelo de prevención de riesgos ambientales que implique la capacitación sobre los peligros identificados, la señalización del área, el mantenimiento programado del poliducto y la estabilización de zonas geológicamente inestables aledañas al poliducto.

Análisis predictivo

Se realizó un estudio de predicción de la conductividad superficial, para lo cual se programó el programa estadístico SPSS, ingresando datos de los años 2011 al 2015 los cuales serán discutidos al final de este acápite.

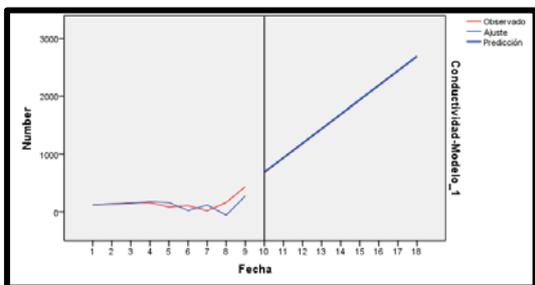


Figura 4. Predicción conductividad 2011

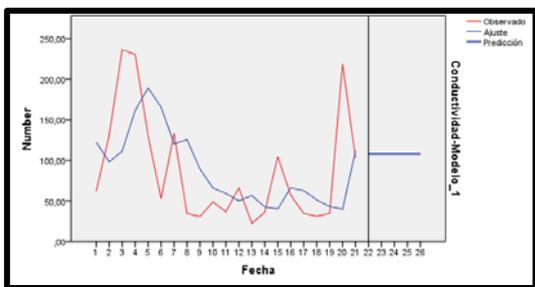


Figura 5. Predicción conductividad 2012

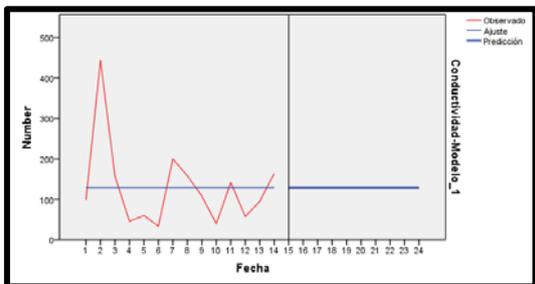


Figura 6. Predicción conductividad 2013

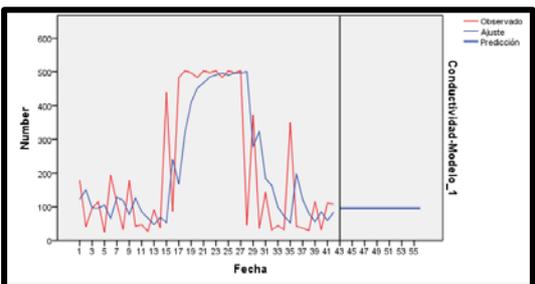


Figura 7. Predicción conductividad 2014

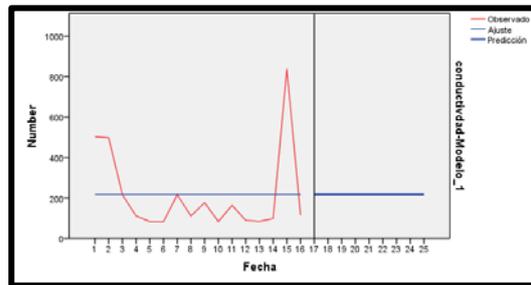


Figura 8. Predicción conductividad 2015

Modelo de riesgos

Se analizaron los aspectos ambientales de los entornos humano, ecológico y socioeconómico; resultados de los rangos de los entornos (Humano, Natural, Socioeconómico).

Valoración de las consecuencias del entorno Humano.

La evaluación del aspecto humano es muy alta debido a la cantidad derramada que es de 13.000 barriles dando un valor de 4.

La extensión es de 4.6 hectáreas es una zona delimitada el valor es de 1.

La peligrosidad tiene una valoración de: Muy peligrosa, con un valor de 4.

La población es de 560 personas y su valor es de 4.

Gravedad sobre el entorno humano

$$= 4 + 2 * 4 + 1 + 4$$

Gravedad sobre el entorno humano = 17

Valoración de las consecuencias del entorno Ecológico.

En el entorno natural se evalúa por muy alta debido a la cantidad derramada dando un valor de 4.

La extensión es de 4.6 hectáreas con un valor de 1

Su peligrosidad es de muy peligrosa con un valor de 4.

La calidad del medio es elevada con un valor de 3.

$$\text{Gravedad sobre el entorno natural} = 4 + 2 * 4 + 1 + 3$$

Gravedad sobre el entorno natural = 16

El entorno socio económico su evaluación es muy alta por la cantidad derramada su valor es de 4.

Su extensión es de 4.6 hectáreas, por su zona delimitada con un valor de 1.

Su peligrosidad es de muy peligrosa su valor es de 4.

El patrimonio y capital productivo es de muy bajo con un valor de 1.

Realizando un cálculo de gravedad de los entornos se utilizó la siguiente formula. Respecto a los cuadros 37, 38, 39 tenemos.

Gravedad sobre el entorno socioeconómico = $4+2*4+1+1$

Gravedad sobre el entorno socioeconómico = 14

Finalmente, para cada uno de los escenarios identificados, se asigna una puntuación que va de 1 a 5, a la gravedad de las consecuencias en cada entorno.

VALORACIÓN DE LOS ENTORNOS

Valoración para el entorno humano

La vulnerabilidad es definida como la susceptibilidad de la población de sufrir daños por acción de un peligro físico (CHIROQUE, Cristian; LAVADO, Héctor, 2017).

infraestructura expuesta dentro del área de influencia del peligro de origen natural e identifican los elementos expuestos vulnerables. La gravedad para el entorno humano es de 17 encontrándose en un rango de 17 a 25, considerándose grave con un valor asignado de 4.

Valoración para el entorno natural

La gravedad en el entorno natural es de 16, está en un rango de 17 a 25 por lo tanto es grave y con un valor asignado es 4.

Valoración para el entorno socioeconómico

La gravedad para el entorno socioeconómico es de 14 está en un rango de 14 a 11 es considerado como moderado y el valor asignado es de 3.

Entonces la media de los riesgos de los entornos humano, natural y socioeconómico es:

$H.N.SE = 8+8+6=22$

$22/3 = 7.33$ equivale al 42%

El derrame ocurrido en la línea Pk-128+500 es un RIESGO MODERADO.

Tabla N° 2. Prueba KMO y Bartlett

KMO y prueba de Bartlett		
Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin		,572
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	102,855
	gl	10
	Sig.	,000

La prueba KMO supera el 0,5 esperado para una adecuada adecuación muestral.

Planteamiento de la hipótesis

Ho. No es factible realizar la reducción de dimensiones. $p \geq 0,05$

Hi. Es factible realizar la reducción de dimensiones. $p < 0,05$

Decisión

Como $p < 0,05$ se desecha la hipótesis nula, es posible realizar la reducción de dimensiones.

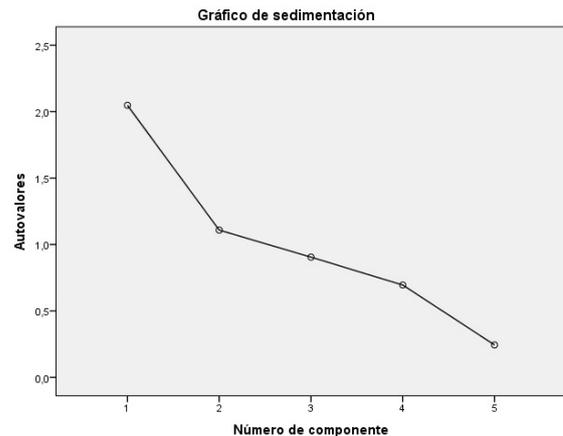


Figura 9. Predicción conductividad 2013

Dos componentes cuyo autovalor supera el 1 caracterizan el problema de contaminación.

Tabla N° 3. Prueba KMO y Barlett

Matriz de componentes rotados ^a

	Componente	
	1	2
Niquel	,883	
Cadmio	,829	
Plomo	,700	
Resistividad		,779
Haps		,622

Los componentes de caracterización son: Níquel y Cadmio (metales pesados) en el primer caso; Resistividad y Hap's en el segundo.

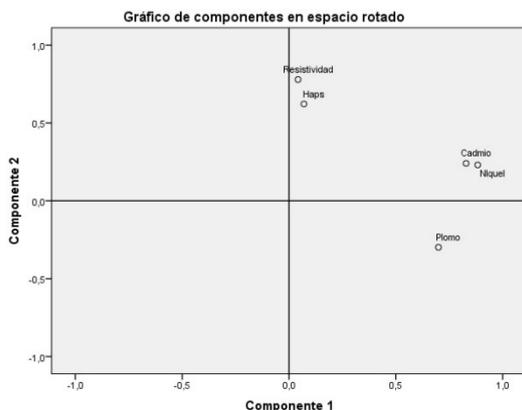


Figura 10. Predicción conductividad 2013

DISCUSIÓN

Los entornos más afectados son el humano y el natural, en contraste con el entorno socioeconómico ya que es una población rural. La media de los riesgos de los entornos humano, natural y socioeconómico es de aproximadamente 42% por lo que el derrame ocurrido corresponde a un riesgo moderado.

La prospección geoléctrica arroja datos cuya tendencia tiene una íntima relación con la contaminación por hidrocarburos en el subsuelo. Determinada la probabilidad de las consecuencias del derrame, se permiten estimar el riesgo ambiental para los entornos natural, humano y socioeconómico el cual teóricamente es moderado.

Los factores determinantes de contaminación que muestra la reducción de dimensiones son tanto Hap's cuanto metales pesados, lo que contrasta con el modelo de gestión que solo muestra un riesgo moderado por el derrame.

Los factores determinantes de contaminación que muestra la reducción de dimensiones son tanto Hap's cuanto metales pesados, lo que contrasta con el modelo de gestión que solo muestra un riesgo moderado por el derrame.

IV. CONCLUSIONES

1. Los análisis realizados a los estratos geológicos determinan que el suelo afectado corresponde al estrato S3 del tipo limoso arenoso, y que el 20 % del volumen total de aguas subterráneas fueron afectadas.

2. En el estudio de prospección geofísica se obtuvieron resistividades entre 130 a 200 Ohm-m, podría representar las anomalías producidas por hidrocarburo. De acuerdo al Modelo Conceptual de la Pluma de Contaminación y la trayectoria de flujo del hidrocarburo el rango de resistividades propuesto no representa la anomalía producida por el hidrocarburo ya que estas resistividades están presentes en otros perfiles en las cuales las perforaciones no detectaron presencia de contaminante. Por lo tanto, no debe tomarse estos valores de resistividad como anomalías.
3. Se realizó el modelo per se de gestión de riesgos basado en los datos obtenidos mediante las diversas metodologías presentadas en el presente documento como son la prospección geoléctrica de baja frecuencia, el diseño de componentes principales que mostró una prevalencia superficial de metales pesados entre los contaminantes, así como los Hap's y TPH en los primeros años, finalmente los árboles de decisión que mostraron la preponderancia de la conductividad en la descrita prevalencia de contaminantes.
4. Los factores determinantes de contaminación que muestra la reducción de dimensiones son tanto Hap's cuanto metales pesados, lo que contrasta con el modelo de gestión que solo muestra un riesgo moderado por el derrame.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EP PETROECUADOR (2011). *Informe técnico Gerencia Salud y Seguridad ambiental*. Quito-Ecuador. Petroecuador
2. INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL-INDECI (2006). *Manual Básico para la Estimación del Riesgo*, Dirección Nacional de Prevención / UUER – Unidad de Estudios y Evaluación de Riesgos, Lima Perú. DINAPRE
3. Nuñez et al. (2005), *La Norma UNE 150008 EX: Análisis y Evaluación del Riesgo Medioambiental en el Régimen Comunitario de Responsabilidad Medioambiental* (Presentación para el Seminario organizado por la Red Española y Catala), División de Medio Ambiente - Área de Gestión Medioambiental, Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio

- Ambiente, Universidad de Valladolid, España. Universidad de Valladolid.
4. IIGEO UNMSM CHIROQUE, Cristhian; LAVADO, Héctor. Aspectos geológicos y geodinámicos de flujos aluvionales en la quebrada Jicamarca y análisis de la vulnerabilidad para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en el centro poblado Cajamarquilla. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, [S.l.], v. 19, n. 38, p. 47-55, jul. 2017. ISSN 1682-3087. Recuperado de: <<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/13567/11978>>. Fecha de acceso: 26 sep. 2017.
 5. IIGEO UNMSM DÍAZ, Walter. Estrategia de gestión integrada de suelos contaminados en el Perú. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, [S.l.], v. 19, n. 38, p. 103-110, jul. 2017. ISSN 1682-3087. Recuperado de: <<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/13575/11986>>. Fecha de acceso: 26 sep. 2017