

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

Environmental risk analysis produced by YPFBs environmental passives, generated in the cleaning of containers in nearby Refinery Gualberto Villarroel (Cochabamba-Bolivia) and proposal for corrective measures

Willman García F., Claudia G. Luizaga V., Estela Herbas B.

Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Carrera Ingeniería Ambiental, Universidad Católica Boliviana San Pablo, Calle M. Márquez esq. Parque J. Trigo A., Cochabamba

garciaw@ucbcbba.edu.bo

Resumen: En los últimos años se ha visto una creciente preocupación por la generación de pasivos ambientales en Bolivia ocasionados por la producción y refinación del petróleo. Estas actividades generan efectos negativos en el ambiente y en la población expuesta. La investigación se centró en el análisis del riesgo de los pasivos ambientales generados por la refinería Gualberto Villarroel YPFB en las proximidades del Distrito 8 (zona Sur de Cochabamba) a fin de proponer medidas correctivas. Para tal efecto, se evaluó la amenaza potencial a partir del estudio de suelo y agua en laboratorio (cromatografía de gases); así como el nivel de vulnerabilidad considerando la percepción de los pobladores de la zona sobre el impacto de estos pasivos en su salud y medio ambiente. Los resultados muestran una zonificación gradual del riesgo, dado que tanto la amenaza como la vulnerabilidad se relacionan con la cercanía de la Refinería YPFB, es así que en la zona de riesgo alto se evidenciaron concentraciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HPT) en algunas muestras de suelo (1700 mg kg^{-1}) y agua (100 mg L^{-1}) por encima de los límites permisibles de la reglamentación ambiental boliviana. En tal sentido se recomendó adaptar técnicas de aireación y landfarming para minimizar los HPT del suelo, y sistemas de fitorremediación en los canales de agua.

Palabras clave: Pasivos ambientales, cromatografía de gases, YPFB.

Abstract: In recent years there has been a growing concern for the generation of environmental liabilities in Bolivia caused by the production and refining of oil. These activities generate negative effects on the environment and on the exposed

population. The research focused on risk analysis of environmental liabilities generated by Gualberto Villarroel refinery in the vicinity YPFB District 8 (Cochabamba South zone) to propose corrective measures. To this end, the potential threat from the study of soil and water laboratory (gas chromatography) was evaluated; and the level of vulnerability considering the perception of the residents of the area about the impact of these passives on their health and environment. The results show a gradual zoning risk, since both the threat and vulnerability relate to the proximity of the YPFB refinery, so that in the high-risk zone concentrations of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) were found in some samples soil (1700 mg kg⁻¹) and water (100 mg L⁻¹) above permissible limits of Bolivian environmental regulations. In this regard it was recommended adapting aeration techniques and HPT Landfarming to minimize soil and phytoremediation systems in waterways.

Keywords: Environmental passives, gas chromatography, YPFB

1 Introducción

Se sabe que los seres humanos modifican su entorno de diversas formas, con el fin de mejorar su forma de vida. Existen zonas donde el ambiente está fuertemente transformado por las actividades antrópicas, tal es el caso de las industrias hidrocarburíferas que provocan efectos negativos para la población y el ambiente, generando riesgos, los cuales deben ser remediados de forma oportuna [2] [6].

Junto con el crecimiento de la industria petrolera y los beneficios que trae consigo esta, se generan residuos líquidos o sólidos los cuales son nocivos para la salud de la población y la calidad del ambiente.

Si bien en la actualidad se tiene información sobre las consecuencias que tienen los pasivos ambientales a partir de productos hidrocarburíferos sobre la salud y el medio ambiente, no se realizaron acciones pertinentes para la mitigación de los efectos hasta el 2009. A partir de este año a la fecha recién se toman en cuenta algunas medidas de mitigación en sitios puntuales. [1]

En los últimos años en Bolivia aumentó la preocupación por la generación de pasivos ambientales, porque hasta el momento no se trataron con los procesos preventivos correspondientes y no se remedian de forma oportuna el daño, ocasionando un punto de saturación del ambiente donde éste ya no puede soportar la contaminación [10] [1].

La Refinería Gualberto Villarroel de la ciudad de Cochabamba, desde hace 6 años empezó con la aplicación de un proyecto de eliminación de los pasivos ambientales, con el objetivo de eliminar o minimizar los efectos de estos, pero hasta el momento solo se tiene el cierre y remediación del área de 2 lugares donde se almacenaba los pasivos ambientales.

El presente estudio de análisis de riesgos generado por la contaminación de pasivos ambientales (hidrocarburos totales de petróleo) en los alrededores de la refinería YPFB Gualberto Villarroel en Cochabamba, se lleva a cabo en cercanías de YPFB el año 2015 en el Distrito 8, municipio de Cercado, departamento de Cochabamba. Algunas características del lugar son: es una zona de llanura, altitud de 2600 m.s.n.m., clima xérico seco a xérico semiárido con precipitaciones anuales de 300 a 700 mm año⁻¹ y una temperatura promedio anual de 18 °C [8]. Según el sistema de clasificación de suelos de la FAO [5], el suelo de la zona es un regosol pedregoso y un antrosol, con fuerte erosión debido a la construcción de viviendas y caminos, mostrando signos de erosión laminar y en surcos [11].

2 Metodología

2.1 Determinación de la amenaza

a) Análisis de laboratorio de suelos y aguas: se determinó la presencia, concentración y persistencia de pasivos ambientales en el laboratorio de análisis químico ubicado en Quillacollo, Cochabamba. Se obtuvieron 3 muestras de suelo y 3 de agua, la primera muestra se tomó directamente del punto de vertido, sitio donde se vierten las aguas que consiste en una cámara de acumulación, del que se vierte por una acequia al canal principal; la segunda muestra se tomó a los 15 m del punto vertido y la tercera a los 30 m.

El método utilizado para la determinación de presencia, ausencia y concentración fue la de la cromatografía de gases para hidrocarburos totales de petróleo, los cuales se realizaron por el laboratorio de análisis químico.

b) Análisis de información: se analizó la información recolectada a partir de: (i) revisión y análisis de información secundaria, (ii) diagnóstico sobre la situación de los pasivos ambientales de los habitantes próximos a la refinería y (iii) generación de mapas de percepción local de la amenaza de los pasivos ambientales.

c) Ponderación de la amenaza: se usó la escala de 1 a 3, donde, 1=Bajo (probabilidad de daño al ambiente o a la población, es nula), 2=Moderado (probabilidad de daño con una magnitud moderada), 3=Alto (probabilidad de daño elevada con una magnitud crítica) [9]. Los factores analizados fueron los de: distancia a la refinería, frecuencia del vertido de las aguas que contienen los residuos de la limpieza de contenedores y desde cuando se realiza el vertido, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Ponderación de factores analizados (A)

	Amenaza alta	Amenaza media	Amenaza baja
Distancia a YPFB	30 – 60 m	60 – 120 m	> 120 m
Frecuencia de vertido PA	> 4 días por semana	1-3 días por semana	< 1 día por semana
Anterioridad del vertido	> 15 años	10 años	< 5 años

2.2 Determinación de la vulnerabilidad

a) *Check list*: esta técnica consiste en realizar la visita a campo con el fin de obtener información de las condiciones del ambiente en la zona.

b) *Encuestas y entrevistas*: se obtuvo información sobre la percepción de la contaminación por pasivos ambientales de la población, a partir de la determinación del tamaño de muestra representativa.

c) *Ponderación de la vulnerabilidad*: se usó la escala de 1 a 3 [9], donde, 1=Bajo (fragilidad y exposición nula), 2=Moderado (fragilidad baja y exposición alta), 3=Alto (fragilidad y exposición altas). Los criterios para asignar los valores se muestran a continuación:

Tabla 2. Ponderación de factores vulnerables (V)

	Alta	Media	Baja
Calidad del suelo.	Baja	Media	Alta
Estructura del suelo	Poca (granular)	Moderada (heterogénea)	Alta (bloque)
Erosión	Cárcavas	Surcos	Laminar
Contacto con pasivos	Siempre	A veces	Nunca
Conocimiento de pasivos	Sí	---	No
Nivel de afectación	Alta	Media	Baja
Sitio de desecho	Suelo	Agua	Suelo y agua
Provisión de información	No	Poca	Sí

2.3 Determinación del riesgo

a) *Riesgo en la salud*: Para el riesgo en la salud, se usó el Odds Ratio o también llamada Razón de probabilidades (OR), indicador del nivel de riesgo para la ocurrencia de síntomas. Los síntomas que se seleccionaron fueron los de dolores musculares, cefaleas moderadas y fuertes, alergias, náuseas, mareos, cansancio, todas provocadas al momento de exponerse con las aguas o suelos contaminados

con los pasivos ambientales [16]. Usando la siguiente fórmula se relaciona 2 grupos de la poblaciones que están expuestas y no expuestas al contaminante.

$$OR = \frac{\text{Expuestos con síntomas} \cdot \text{No expuestos sin síntomas}}{\text{Expuestos sin síntomas} \cdot \text{No expuestos con síntomas}}$$

Donde los índices de probabilidad de ocurrencia del riesgo son:

- OR = 1 : Valor nulo
- OR > 1 : Factor de riesgo
- OR < 1 : Factor de protección

Se usó este método para determinar el riesgo a la salud de la población porque los síntomas que generan los pasivos ambientales (hidrocarburos totales de petróleo) son variados y no se conocen todos, solo se conocen algunos de los efectos por las fracciones de petróleo específicas. Además que estos efectos no son frecuentes.

b) Riesgo ambiental: Para la categorización del riesgo ambiental, se elaboró una matriz de riesgos en base a los resultados de la amenaza y la vulnerabilidad (figura 1).

Vulnerabilidad Amenaza	1	2	3
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9

Figura 1: Matriz de riesgos.

2.4 Medidas correctivas

Tras la determinación del grado de riesgo que se produce por la contaminación de pasivos ambientales, se realizó el análisis de la información secundaria para las medidas de prevención, mitigación y remediación, lo cual, se evalúa en base a una matriz cruzada del impacto respecto de la probabilidad de riesgo (Figura 2).

Impacto	Alto	Considerar	Planificar Respuesta	Planificar Respuesta
	Medio	Desatender pero monitorizar	Considerar	Planificar Respuesta
	Bajo	Desatender pero monitorizar	Desatender pero monitorizar	Considerar
		Baja	Media	Alta
		Probabilidad		

Figura 2: Impacto vs probabilidad de riesgo

3 Resultados

3.1 Determinación de la amenaza

En los análisis de laboratorio se identificaron diferentes concentraciones en suelos y aguas, estas van decreciendo a medida que se alejan del punto de vertido de los contaminantes. En el mapa que se muestra a continuación (figura 3) se tienen los puntos de muestreo (M1, M2 y M3), los cuales se tomaron en la cámara de desecho de aguas con pasivos ambientales, a 15 y 30 metros en el canal.



Figura 3: Mapa de muestreo de la zona.

Las concentraciones de contaminantes que se obtuvieron fueron los siguientes (tabla 3).

Tabla 3. Concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP)

N°	Tipo de muestra	Concentración	Unidad	Límites (Decreto supremo N° 26171, 2001) y Decreto Supremo N° 2400 (2015)
1	Suelo	1703	mg kg ⁻¹	1000 mg kg ⁻¹
2	Suelo	845,1	mg kg ⁻¹	
3	Suelo	802,3	mg kg ⁻¹	
1	Agua	79,4	mg L ⁻¹	20 mg L ⁻¹
2	Agua	64	mg L ⁻¹	
3	Agua	26,8	mg L ⁻¹	

La concentración de la muestra 1 de suelo (zona de vertido) se encuentra por encima del límite permisible y las muestras 2 y 3 a 15 y 30 m de distancia respectivamente, se encuentran cerca del límite permisible, considerándose un riesgo para los elementos vulnerables que se encuentren en contacto con el suelo contaminado. En el caso de la muestra 1 (muestreo en el punto de vertido) la concentración se encuentra por encima de los límites permisibles en la legislación boliviana; en el caso de las muestras 2 y 3 las concentraciones se encuentran por debajo de los límites permisibles para este tipo de suelo, sin embargo estas concentraciones no se encuentran muy lejos del límite permisible (Figura 4a). No se tomaron muestras aguas arriba a debido a los altos costos de los análisis de cromatografía de gases para fracciones de hidrocarburos.

Los picos en el cromatograma, denotan la existencia de pasivos ambientales o fracciones de petróleo, el primer pico del cromatograma es la gasolina, los siguientes picos son de grasas y aceites y el pico que se identificó alrededor del minuto 16 es un residuo similar al diésel, según la información dotada por el laboratorio de Análisis Químico (comparación con cromatograma de gases diésel) (Figura 4b).

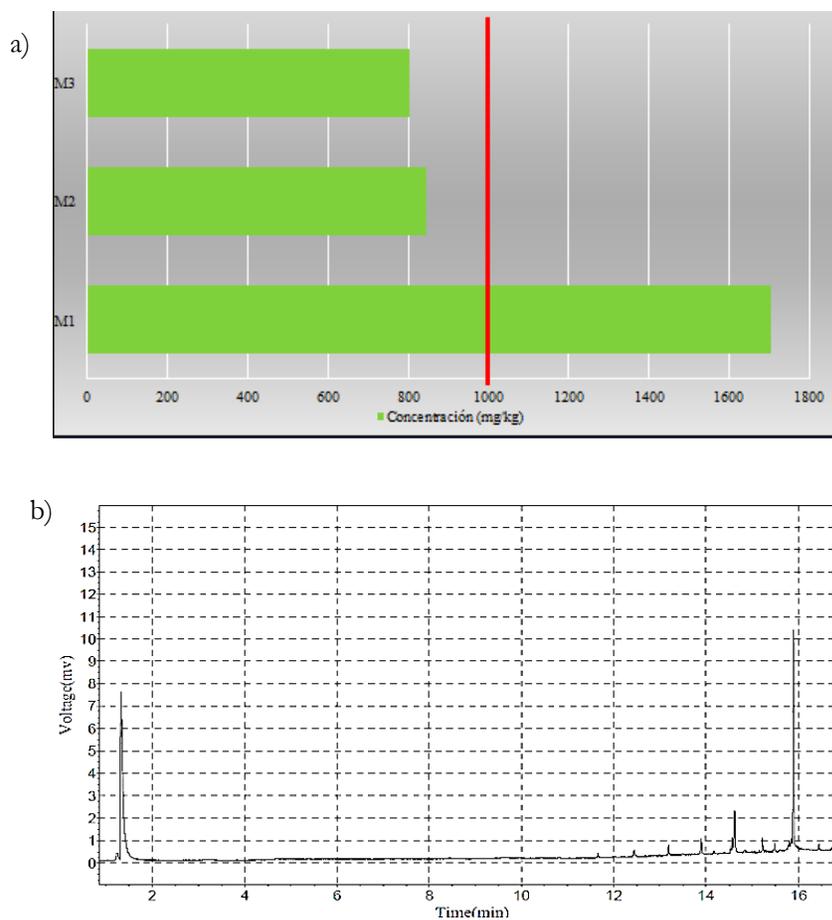


Figura 4: a) Concentración de pasivos en suelo, b). Cromatograma de pasivos en suelo

En el caso de las muestras de agua la legislación no está clara en cuanto a este tipo de contaminantes. Revisando las concentraciones dañinas para el ser humano se tomó el límite de 20 mg L^{-1} [4]. La concentración de contaminantes en las tres muestras de agua se encuentran por encima del límite permisible de daño para el ser humano (Figura 5 a).

La cromatografía de gases da mucha información como ser las propiedades físico-químicas, cuando se inyecta la muestra los primeros picos que registra el cromatógrafo son las fracciones de petróleo más volátiles, tal es el caso de la gasolina los picos se observan en la primera parte de la cromatografía, debido a que la gasolina es más volátil y se evapora más rápido que otras fracciones (Figura 5 b).

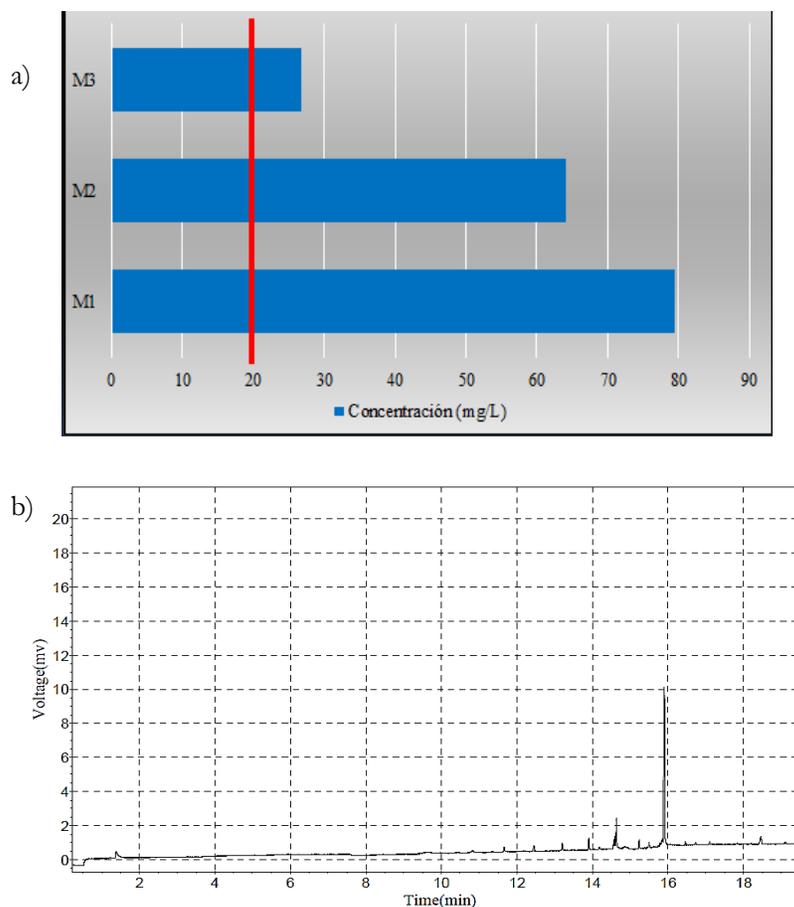


Figura 5: a) Concentración de pasivos en agua, b) Cromatograma de pasivos en agua.

Los picos que se muestran con intensidades de 10 son los que indican mayor persistencia del contaminante (figura 4b y 5b), según los investigadores del laboratorio de Análisis Químico de Quillacollo. Los compuestos a partir de tiempo 10 a 16, hidrocarburos con un peso molecular con un rango de 60 a 100 átomos de carbono en las fracciones de diésel, grasas y aceites (se realizó la comparación del cromatograma de las muestras con el cromatograma del diésel), estos son los que tienen una persistencia larga y/o degradación lenta (muchos años) en el medio ambiente. Los parámetros para la determinación de la amenaza fueron los mostrados en la tabla 1.

A partir de la ponderación de factores analizados, se elaboró un mapa de amenaza, donde se obtuvo zonas que van de amenaza baja a alta. La zona de amenaza baja, es la que tiene una probabilidad mínima de daño al ambiente y a la población, se encuentra a una distancia de 400 m o más de la amenaza media; la

zona de amenaza media es aquella en la que los efectos negativos sobre el ambiente y la población son moderados, esta zona se encuentra aproximadamente a partir de los 80 m de la amenaza alta; y la zona de amenaza alta se encuentra alrededor de los 70 m a partir del punto de vertido.

3.2 Determinación de la vulnerabilidad

La visita al área de estudio coadyuvó a la determinación de los factores ambientales a partir de un *check list*, donde, se tomó en cuenta los efectos más evidentes de la contaminación en la zona (Figura 6).

Categoría	Componente ambiental	Acción		Vertido de aguas con pasivos ambientales	Acumulación de pasivos ambientales	Descripción alteración
		Parámetro				
Físico	Agua	Disponibilidad del recurso		S	AS	Disminución del recurso para su uso
		Calidad de agua		MS	AS	Deterioro de calidad por pasivos ambientales
		Fisiografía Geomorfología		NS	SM	Incremento de la compactación de suelos
	Suelo	Calidad del suelo		SM	MS	Deterioro de las características del suelo
		Uso de suelo		NS	SM	Cambio de uso de suelo (construcción)
Biológico	Flora	Alteraciones de la zona		MS	MS	Cambios en las características de suelo y flora.
		Especies de importancia		SM	SM	Perdida de especies nativas por contaminación
		Especies terrestres		SM	S	Perdida de diversidad por la contaminación
	Fauna	Especies acuáticas		SM	S	Perdida de diversidad por la contaminación
		Salud		MS	S	Efectos acumulativos se ven reflejados en muchos años
Soci	Social	Estético-paisajístico		SM	MS	Deterioro de las zonas donde se encontraba flora

Calificación	Color
No significativo	NS
Significativo menor	SM
Medianamente sig.	MS
Significativo	S
Altamente significativo	AS

Figura 6: *Check list*.

En las diferentes zonas que se visitaron existe distinto grado de afectación en los factores de vulnerabilidad, lo cual se relaciona con la cercanía de la Refinería YPFB y las características físico-biológicas del ambiente y la afectación en la población (calidad de suelos, estructura del suelo, erosión, contacto con los pasivos y otros).

En el caso del agua se notó que la existencia del vertido afecta de manera significativa al recurso así mismo influye en el transporte y la acumulación de los pasivos que se acumulan en el ambiente, por otra parte se afecta de manera significativa a la calidad de agua; en el caso del suelo el vertido de las aguas con pasivos ambientales afecta en la calidad del suelo, esto debido a las características del mismo ya sea por la degradación natural de la zona o por el cambio en el uso del suelo; y por último la parte social se ve afectada en cuanto al vertido y acumulación de los pasivos en el ambiente, provocando un deterioro en el mismo.

A partir de los datos que se obtuvieron en el check list, las encuestas y las entrevistas, se elaboró un mapa de vulnerabilidades, el cual se dividió en 3 zonas: la primera fue la zona de vulnerabilidad alta que se encuentra alrededor de los 150 m alrededor del punto de vertido de pasivos ambientales, la segunda zona fue la de vulnerabilidad media que tuvo una distancia aproximada de 100 m después de la vulnerabilidad alta, y por último la zona de vulnerabilidad baja que tiene una distancia de 300 a 400 m después de la vulnerabilidad media.

3.3 Determinación del Riesgo

a) *Riesgo en la salud*: La determinación de la relación entre la contaminación y síntomas en la población se obtuvo con la tabla 4.

Tabla 4. Estudio caso-control del riesgo a la salud

	Expuesto a PA	No expuesto a PA	Total
Con síntomas	22	12	34
Sin síntomas	18	28	46
Total	40	40	80

Determinación de OR:

$$OR = \frac{22 * 28}{12 * 18} = \frac{616}{216} = 2.85$$

La razón de probabilidades es de 2.85 (OR>1: Factor de riesgo) muestra que existe una relación entre los síntomas que ocasionan los pasivos ambientales con la exposición a los suelos y aguas contaminados provenientes de la limpieza de contenedores en YPFB [13].

b) *Riesgo ambiental*: El mapa de riesgos es un producto del mapa de amenaza y vulnerabilidades que se desarrollaron anteriormente. La zona de riesgo alto se encuentra alrededor de los 100 a 200 m después del punto de vertido de pasivos ambientales, debido a su cercanía a YPFB y se debe a que las personas usan el agua del canal principal; la zona de riesgo medio se encuentra alrededor de los 20 a 100 m después de la zona de riesgo alto, porque las personas usan el agua del canal principal en menor medida o con menor frecuencia que los que se encuentran más cerca de la refinería, debido a que la gente de la que utiliza más esta agua es la que se encuentra más cerca del canal; y la zona de riesgo bajo se encuentra a partir de 300 a 400 m después de la zona de riesgo moderado, por la lejanía e inaccessibilidad de las aguas (estos no utilizan y no se encuentran en contacto con el agua del canal principal) como se ve en la Figura 7.



Figura 7: Mapa de Riesgos.

3.4 Determinación de medidas correctivas

Tomando en cuenta la gestión del riesgo preventiva (a fin de evitar los riesgos que se pudieran producir por la contaminación de pasivos ambientales) y gestión del riesgo correctiva (para responder a los riesgos que existentes por la contaminación), se proponen medidas correctivas de prevención y mitigación de riesgos en el corto, mediano y largo plazo [7].

3.4.1 Prevención

- *Difusión de la información*: consiste en dar a conocer a la población información sobre la situación de la contaminación y efectos de los pasivos

en la salud y el ambiente. Esto se puede realizar a partir de talleres informativos, conferencias o seminarios.

3.4.2 Mitigación

- **Informar a la Refinería YPFB:** sobre la situación y el problema que está generando el vertido de los residuos actualmente, para que se tomen en cuenta medidas correctivas con la fuente de contaminación [3] esta es una medida a corto plazo.
- **Controles:** realizar controles de los vertidos que se realizan al río, mensual y anual.

3.4.3 Remediación

- **Aireación:** de fácil aplicación y bajo costo, pero es un proceso lento, por lo que se puede aplicar para el tratamiento pasivo de los contaminantes donde se remueve alrededor de 20 cm de suelo aproximadamente [14]; conjuntamente con el lavado de suelos y la atenuación natural de los microorganismos autóctonos [12].
- **Fitorremediación:** se aplica en parte de la canal principal donde llegan los pasivos ambientales, para evitar la dispersión de los contaminantes. Se utiliza la vegetación de Totorá (subespecie *Schoenoplectus californicus*) (Figura 8). Además de eliminar los pasivos ambientales mejora visualmente la zona y la calidad del suelo. La eficiencia alta y los costos bajos de la aplicación hacen a esta técnica la más rentable en la época seca. El proceso de remediación es lento pero en época seca donde se realizara la aplicación de la técnica es efectiva debido a que las aguas se mantienen en el canal y el caudal es bajo, en el caso de la época de lluvias los contaminantes son transportados y no se mantienen en el área por mucho tiempo.



Figura 8: Ubicación de la vegetación dentro del canal principal.

- **Landfarming:** La técnica se encuentra delimitada en la zona que se encuentra punteada en la figura 9, esta tiene una extensión de 10 m de ancho y 20 m de largo después del punto de vertido.



Figura 9: Delimitación del área para aplicar Landfarming.

Lo primero que se realiza es la impermeabilización de toda la zona realizando una compactación del suelo y colocando una capa de arena (para evitar que el forro o revestimiento se rasgue y se siga dispersando los pasivos ambientales), sobre esta se coloca una membrana de polietileno de alta densidad (HDPE), o se puede utilizar una membrana de polivinilo de cloruro 800 (PVC) se recomienda utilizar el HDPE porque tiene gran resistencia a la temperatura, humedad, rozamiento y un bajo costo; posteriormente se coloca un sistema de recogida por gravedad hacia un tanque de almacenamiento, las celdas deben tener una mayor altura en la parte Sur que en la Norte, de tal forma que se tenga una inclinación que facilite la recolección de lixiviados (debido a que las características del suelo no permiten una mayor infiltración), se remueve la tierra que este encima para airear la zona, esta se realiza constantemente durante todo el proceso de degradación de los pasivos ambientales (Figura 10).

Se recomienda también una impermeabilización que se encuentre por encima del suelo que se esté tratando [15], para evitar los efectos del clima sobre el área y también para mantener las condiciones deseadas de humedad, temperatura y pH (Figura 10).

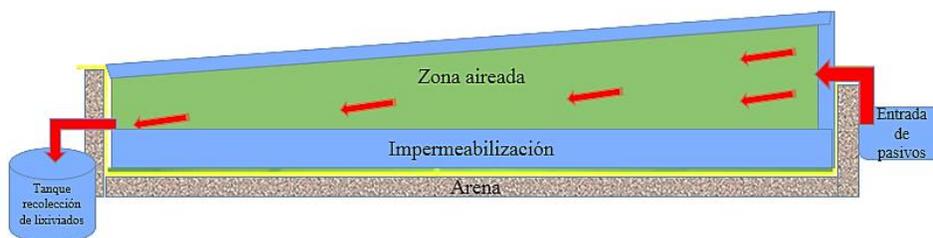


Figura 10: Diseño adaptado del landfarming para la zona.

Los pasivos ambientales que se tratan con esta técnica reducen razonablemente en al menos 150 a 180 días, pero para los contaminantes pesados requieren un mínimo de 6 meses y un máximo de 18 meses

Según el Escuadrón de Protección Ambiental (EPA) [4] los costos de la aplicación independientemente del volumen que se tenga que tratar son:

- Los costos antes del tratamiento: \$ 25.000 a \$ 50.000 para los estudios de laboratorio
- Menos de \$ 100.000 para las pruebas piloto o demostraciones de campo.
- Costo de la cama preparada (tratamiento *ex situ* y colocación de suelo sobre un forro preparado): Menos de \$ 100 por metro cúbico (menos de \$ 75 por yarda cúbica).

Los costos después de hacer el análisis, son de 30% a 50% menos en comparación a otras técnicas de biorremediación.

4 Conclusiones

La determinación de la amenaza de hidrocarburos totales del petróleo estudiada en los análisis de cromatografía de gases en laboratorio, mostró que existen diferentes fracciones de petróleo provenientes del lavado de contenedores en la empresa, estos residuos se mantienen en el ambiente en tiempos variados dependiendo del tipo de residuo.

Los factores más vulnerables son la población que se encuentra expuesta con el suelo y agua contaminada.

Se elaboró el mapa de riesgos de contaminación por pasivos ambientales en base a las características del contaminante (presencia de pasivos, concentración, tipo de contaminante y persistencia en el ambiente) determinados en el análisis de laboratorio y percepción de la población.

Se propone medidas de prevención, mitigación y remediación para su aplicación rápida y eficiente para evitar y/o minimizar los efectos de contaminación que se producen a corto y largo plazo, que van desde la adaptación de técnicas de aireación y landfarming para minimizar los HPT del suelo, hasta la implementación de sistemas de fitorremediación en los canales de agua.

Referencias

- [1] CHACON, Patricia A. (2013). “Refinería Gualberto Villarroel recertifica gestión de calidad”. En: Energy Press, Cochabamba, Energía y negocios (28/10/2015).
- [2] CBHE (2015). Cámara Boliviana de Hidrocarburos y Energía. En: <<http://www.vientosur.info/spip.php?article9252>> (12/03/2015).
- [3] CRICYT.EDU.AR. (2012). *Enciclopedia*. “Mitigación”. En: <<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/MitigAm.htm>> (24/09/2015)
- [4] EPA (2001). Environmental Protection Agency, “Concentraciones de pasivoambientales en el ambiente”. En: <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/nom-147-semarnat_ssa1-2004.pdf> (26/09/2015).
- [5] FAO (2015). Suelos de la FAO “Clasificación”. En: <<http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/clasificacion-de-suelos/es/>> (23/08/2015).

- [6] GREENPEACE (2012). Impactos ambientales del petróleo. En: <http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2012/1/impactos_ambientales_petroleo.pdf> (12/03/2015).
- [7] IIRSA.SUR (2006). Pasivos Ambientales. En: <http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/asuntos/proyectos/pvis/tramo_2/eia/etapa_i/7/pasivos_ambientales.pdf> (13/03/2015).
- [8] INE. Instituto Nacional de Estadística (2005). “Indicadores demográficos”. En: <<http://www.ine.gob.bo/pdf/DIFD/indicadoressociodemograficosprovinciamunicipioscochabamba.pdf>> (09/03/2015).
- [9] ITC (2005). “Spatial-analyst-manualtheIlwis3.3”. En: <http://Spatial-analyst.net/ILWIS/htm/ilwis/calc_classifying_two_maps_with_a_two_dimensional_table.htm> (09/03/2015).
- [10] LA RAZÓN (2012). “YPFB contratará una empresa para remediar pasivos ambientales de dos refinerías”. En: *La RAZÓN*, La Paz, Economía (29/09/2015).
- [11] MACHADO, Víctor (2014). Tecnologías de tratamiento de suelos “Lavado de suelos”. En: <<http://es.slideshare.net/machadobervel/tecnologas-de-tratamiento-de-suelos>> (10/10/2015).
- [12] MALDONADO, Mabel y NAVARRO, Gonzalo (2002). “*Geografía ecológica de Bolivia y ambientes acuáticos*”. Editorial Simón I Patiño. Boliva.
- [13] MOLINERO, Luis M. (2001). “Odds ratio, Riesgo Relativo y Número Necesario a Tratar”. En: <http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs123.html> (05/12/2015).
- [14] TAPIA, Carolina G. (2010). Evaluación preliminar de los pasivos ambientales en el campo Paraíso – Biguno – Huachito (pbh), ubicados en las plataformas paraíso 2 (pso2), paraíso 3 (pso3), paraíso 9 (pso9), huachito 1 (hua 1) y canal de descarga de la estación paraíso “Evaluación de características pasivos ambientales”. En: <<http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/172/1/Evaluaci%C3%B3n%20preliminar%20de%20los%20pasivos%20ambientales%20Biguno%20Huachito.pdf>> (10/05/2015).
- [15] SHIGUANGO, Noslen (2012). “Técnica del landfarming”. En: <<http://es.slideshare.net/NELSHON/tecnica-de-landfarming>> (10/11/2015).
- [16] VALENZUELA, Teresa B. (2011). Mediciones de ocurrencia “Prevalencia e Incidencia”. En:

<http://www.sabin.org/sites/sabin.org/files/oct21_1130valenzuela.pdf>
(11/12/2015).

[17] YPFB (2010). *Reglamento interno de Hidrocarburos*. YPFB, La Paz.

[18] ZAROR, Claudio A. (2000). Introducción a la Ingeniería Ambiental en los procesos de la Industria “Principios de análisis de riesgos para la industria de procesos”. En:
<<http://dspace.universia.net/bitstream/2024/594/1/Introduccion.a.la.Ingenieria.Ambiental.para.la.Industria.de.Procesos.-.C.Zaror.pdf>> (10/05/2015).