

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

**RESUMEN EJECUTIVO DE TESIS DE GRADO
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS
POR HIDROCARBUROS PARA UNA EMPRESA DE
REACONDICIONAMIENTO DE POZOS
PETROLEROS.**

**AUTOR:
MARTÍN ALEJANDRO CHANG BALDEÓN**

**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. BLANCA ESTELA BRAVO.**

QUITO-ECUADOR

SEPTIEMBRE 2007

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
ABSTRACT	1
1 GENERALIDADES	4
1.1 Parque Nacional Yasuní (PNY)	¡Error! Marcador no definido.
1.2 Industria hidrocarburífera en el Ecuador	¡Error! Marcador no definido.
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 El Ruido	¡Error! Marcador no definido.
2.2 Mediciones de ruido	¡Error! Marcador no definido.
2.3 Atenuación del sonido y control del ruido	¡Error! Marcador no definido.
2.4 Metodología de Mapeo de Isófonas	¡Error! Marcador no definido.
2.5 Marco Legal	¡Error! Marcador no definido.
3 MARCO EXPERIMENTAL	10
3.1 Fase Constructiva	¡Error! Marcador no definido.
3.2 Resultados	¡Error! Marcador no definido.
3.2.1 Resultados Experimentales	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2 Resultados Estadísticos	¡Error! Marcador no definido.
3.2.3 Correcciones de valores obtenidos mediante nivel de ruido de fondo	¡Error! Marcador no definido.
3.2.4 Registro de valores finales de ruido respecto a límites permisibles	¡Error! Marcador no definido.
3.2.5 Mapas de Isófonas: Datos promedio corregidos frente a ruido de fondo	¡Error! Marcador no definido.
3.3 Fase de perforación exploratoria	¡Error! Marcador no definido.
3.4 Resultados	¡Error! Marcador no definido.
3.4.1 Resultados Experimentales	¡Error! Marcador no definido.
3.4.2 Resultados Estadísticos	¡Error! Marcador no definido.
3.4.3 Correcciones de valores obtenidos mediante nivel de ruido de fondo	¡Error! Marcador no definido.
3.4.4 Registro de valores finales de ruido respecto a límites permisibles	¡Error! Marcador no definido.
3.4.5 Mapas de Isófonas: Datos promedio corregidos frente a ruido de fondo	¡Error! Marcador no definido.
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	¡Error! Marcador no definido.
4.1 Conclusiones	¡Error! Marcador no definido.
4.2 Recomendaciones	¡Error! Marcador no definido.
5 BIBLIOGRAFÍA	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

Siendo la industria petrolera el primer rubro económico del país, debe acogerse a la legislación nacional, y últimamente de manera más estricta la legislación ambiental. Por lo que, las empresas petroleras y empresas de servicios petroleras, están cada día, más interesadas en invertir en técnicas de tratamiento para sus materiales contaminados.

Existen muchas técnicas en el tratamiento de suelo y agua contaminada, pero siendo la biorremediación la más acogida por sus bajos costos económicos y su alta eficiencia de descontaminación.

En este proyecto se implemento un sistema de tratamiento para los suelos contaminados de la empresa Saxon Energy Services del Ecuador utilizando una tecnología de biorremediación llamada Landfarming. Utilizando todos los lineamientos que esto conlleva.

ABSTRACT

Being the Oil Business the first economic heading of the country, the industry of operation and petroleum production, must be put under the national legislation, which had to be developed of stricter way, because most of this type of activities is developed in areas of the high biological sensitivity, as it is the case of the Park Nacional Yasuní (PNY) site in which the present study is developed.

This control on the part of the operators, to fulfill the environmental legislation that the Ecuadorian norm demands, is obtained thanks to the implementation of systems of environmental management that contemplate the accomplishment of manage plans within a system of evaluation of environmental impacts, that it contemplates a Monitor Program that allows to have a periodic control of the behavior of the main polluting agents that affect the environment within the area of influence of a project.

1 GENERALIDADES

Los derrames de petróleo y sus derivados en el ámbito mundial, han provocado una severa contaminación del suelo y de los cuerpos de agua. Estos compuestos son tóxicos para los seres vivos ya que son mutagénicos y carcinogénicos.

La contaminación por hidrocarburos tiene un pronunciado efecto sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de un suelo, pudiendo impedir o retardar el crecimiento de la vegetación sobre el área contaminada.

La solución ambiental adecuada de los residuos sólidos con altos contenidos de hidrocarburos generados durante los procesos de la perforación, extracción y producción del petróleo se encuentra dentro de las prioridades fundamentales de la industria petrolera.

Entre las técnicas con menos impacto ambiental cabe destacar aquellas que no requieren de compuestos ajenos al suelo como desengrasantes o químicos con alto contenido de metales pesados, etc. Es decir, que el tratamiento se realiza *in situ* o sea recogido (*ex situ*) y llevado a un lugar adecuado para ser descontaminado de una manera amigable con el medio ambiente (Biorremediación). La tecnología a utilizar depende entre otros muchos factores, del tipo de contaminante, tipo de terreno, afectación de las aguas subterráneas, del tiempo necesario para descontaminar, del costo de la actuación, etc.

En el proceso de biorremediación, el más utilizado por la industria hidrocarburífera es el cultivo de tierra o Landfarming, ya que se ha demostrado que es uno de los métodos más eficientes y económicamente viables para la descontaminación de suelos con hidrocarburos de petróleo.

Existen muchas más técnicas de biorremediación como el bioapilamiento, biopilas etc. Donde el tiempo de rendimientos es mucho menor y la eficiencia es solo en ciertos parámetros de degradación.

Estas técnicas despuntaron desde los años ochentas en los Estados Unidos de Norte América, ya que aquí es donde se dio una mayor importancia a la degradación de los suelos contaminados por hidrocarburos y en general a la mejora ambiental. Las empresas petroleras jugaron un rol muy importante en la mejora y eficiencia de las técnicas de biorremediación.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Contaminantes ambientales.

La contaminación ambiental puede ser muy diversa, ya que se conocen muchas fuentes y compuestos que contaminan un hábitat los cuales son perjudiciales para los seres vivos, se pueden encontrar contaminantes orgánicos, inorgánicos y gases.

En el Ecuador las actividades hidrocarburíferas son las principales contaminantes de los suelos de la Amazonia ecuatoriana, ya que por accidentes naturales o malas actividades laborales este suelo oriental ha sufrido un grado de contaminación considerable.

Según el Reglamento Ambiental para la Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador “**Contaminación** es el, proceso por el cual un ecosistema se altera debido a la introducción, por parte del hombre, de elementos sustancias y/o energía en el ambiente hasta un grado capaz de perjudicar su salud, atentar contra los sistemas ecológicos y organismos vivientes, deteriorar la estructura y características del ambiente o dificultar el aprovechamiento racional de los recursos naturales”¹.

2.1.1 Petróleo.

Es un compuesto de origen orgánico, que posee cadenas de hidrocarburos, en los yacimientos petroleros se lo puede encontrar en una mezcla con otros compuestos químicos en pequeñas cantidades como es el azufre y el oxígeno, posee una apariencia viscosa, por ser un líquido oleoso bituminoso.

Existen tres tipos principales de cadenas de hidrocarburos que son esenciales en la contaminación del suelo y a su vez en la descontaminación de los mismos, para la implementación de un sistema de tratamiento, los cuales son; Alcanos, alquenos y alquinos.

2.1.2 Residuos procedentes del petróleo.

El petróleo es una mezcla compleja y variable de compuestos orgánicos que varían en peso molecular desde el gas metano hasta los altos pesos moleculares de alquitranes y bitúmenes. Los dos grupos principales de hidrocarburos aromáticos son los monocíclicos, el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX), y los hidrocarburos policíclicos (HAPs) como son el naftaleno, antraceno y fenantreno.

¹ Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, **pág. 129.**

Normalmente los naftalenos pueden constituir el 5 – 35% del crudo, lo cual puede reducirse a un 1 – 7% después del refinado. El crudo refinado puede dividirse en gasolina, gasóleo, gasóleo de calefacción y muchos otros productos.

2.3 Biorremediación.

La descontaminación biológica de los contaminantes ambientales en las áreas contaminadas se conoce como Biorremediación. La Biorremediación puede definirse como la degradación natural o degradación biológica controlada de la contaminación ambiental. Se lleva a cabo normalmente con la ayuda de los microorganismos endémicos del sector y sus actividades pueden ser optimizadas por la inoculación de nutrientes o incrementando la población microbiana en un proceso conocido como bioincrementación.

Los microorganismos endémicos o autóctonos son los principales *descomponedores* del ecosistema que en este caso es el suelo, actividad que existió naturalmente en el ambiente con anterioridad a la disposición de xenobióticos en él, por lo que los procesos de degradación han sido tradicionalmente utilizados con aplicaciones ambientales.

2.3.1 Biorremediación de suelos.

La biodegradación de los hidrocarburos está asociada con el metabolismo y crecimiento microbiano y por lo tanto cualquiera de los factores que afectan al crecimiento bacteriano puede influenciar a la degradación. Si los microorganismos no pueden utilizar a los hidrocarburos como su sola fuente de energía y de carbono para realizar su desempeño microbiano, es necesario dotar de otro sustrato. En algunos casos si se encuentra presente otro sustrato, el microorganismo puede utilizar éste de forma preferencial a los hidrocarburos. Los microorganismos pueden también requerir otro tipo de elementos nutricionales con compuestos que contengan Nitrógeno y Fósforo, que por lo general estos compuestos poseen los fertilizantes.

La velocidad de degradación de los hidrocarburos también dependerá de la estructura de los compuestos. Los compuestos más simples Alifáticos y Aromáticos monocíclicos se degradan rápidamente, pero estructuras más complejas tales como los PAHs no se degradan tan fácilmente y pueden persistir durante algún tiempo.

2.3.2 Rutas de degradación.

La degradación microbiana de los hidrocarburos aromáticos monocíclicos y policíclicos se han estudiado de forma extensiva. Los hidrocarburos Alifáticos se convierten en alcoholes y después son oxidados secuencialmente a ácidos carboxílicos que son β -oxidados. Los primeros dos pasos de degradación del benceno son comunes a la degradación de muchos otros hidrocarburos Aromáticos mono y policíclicos.

2.3.3 Tecnología de biorremediación.

La biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos y xenobióticos puede llevarse a cabo *in situ* o *ex situ*. En cualquiera de los dos casos sea este *in situ* o *ex situ*, la base del proceso, es la estimulación bacteriana, para su crecimiento y su aumento metabólico de los microorganismos endémicos.

En un tratamiento *ex situ* la base principal es el traslado de los contaminados con el sustrato, lo que conlleva hacer una excavación del suelo para después ser dotado de nutrientes (fertilizantes), como de una adecuada aireación, con lo que llegamos a un trabajo de suelo o cultivo del suelo.

Los tratamientos *in situ* como su nombre lo indica son en el mismo lugar de la contaminación, sin necesidad de ser recolectados y transportados a un lugar de tratamiento, por lo general son procesos de mitigación de derrames petroleros.

El proceso de cultivo de tierra o de **Landfarming**, se fundamenta en una técnica aerobia *ex situ*, la cual es trasladar el material contaminado, previamente excavado a un sistema donde va hacer aireado continuamente, dotado de nutrientes y controlado mediante parámetros críticos que ayudarán a la eficiencia del bioproceso.

2.3.4 Parámetros críticos.

Al utilizar una técnica de Biorremediación de suelos, es necesario un intenso y verás monitoreo, como también un control de variables operacionales, no todas estas variables son relevantes para llegar a un exitosa descontaminación de los suelos, pero si influyen mucho ciertos parámetros, para llegar a una optimización de un bioproceso. Algunas variables críticas o criterios de monitoreo, son aplicables no solo para un tipo de biotratamiento de suelos, sino que pueden aplicase en algunos como es el caso del Landfarming, acumulación aireada, biorrestauración, etc.

Los principales parámetros críticos son:

- Biodisponibilidad.

- Concentración de hidrocarburos.
- Presencia de microorganismos.
- Microorganismos biodegradadores.
- Nutrientes.
- Aireación.
- Condiciones ambientales.
- Humedad.
- Temperatura.
- Presencia de metales y sales.
- Tipo y concentración de contaminante.

Los cuales son controlados con una frecuencia determinada.

2.3.4.1 Variables relevantes.

Existen muchos contaminantes que por lo general son tóxicos y mutagénicos, los cuales deben ser removidos por las complicaciones que estos pueden generar en su entorno. Lo que ha generado nuevas tecnologías de remediación y una de ellas es la biorremediación, que ofrece grandes promesas en convertir compuestos tóxicos en productos menos tóxicos y en el mejor de los casos eliminarlos, sin una transformación o impacto ambiental mayor que el local. Para la aplicación efectiva de cualquiera de estas estrategias en la biorremediación de los ambientes contaminados, debe considerarse:

- La posibilidad de que el residuo puede encontrarse asociado a una o más de las fases que componen el suelo.
- La presencia en el contaminante de una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos con diverso grado de toxicidad.

La selección de la técnica debe basarse en el análisis de diversos factores relacionados entre sí:

- Composición química del residuo.
- Textura y estructura del suelo.
- Complejidad del sitio contaminado.
- Toxicidad del residuo.
- Biodegradabilidad del contaminante.
- Uso de aceptores de electrones alternativos (O_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_2).

- Salinidad.
- Presencia de metales ecotóxicos.
- Agua subterránea.

2.4 Caracterización de los componentes de la biorremediación.

2.4.1 Caracterización del suelo blanco.

El suelo blanco o limpio, es el primer indicador donde se puede observar el cambio por los contaminantes, ya sea este en su aspecto físico, químico o microbiológico.

En la implementación de un bioproceso se debe conocer el estado del suelo antes de ser contaminado (suelo limpio, junto a la contaminación) para poder elegir una técnica adecuada, dotar de nutrientes si es necesario, dotar de agua o humedad, etc.

2.4.2 Caracterización del suelo contaminado.

Los suelos contaminados deben ser caracterizados en dos fases diferentes. La primera fase es la que nos indica el grado o nivel de contaminación de los suelos, para lo cual se deben realizar análisis en laboratorio, tanto de su estado químico, como también de su estado físico. Con esta primera caracterización se procede a escoger el mejor tipo de bioproceso, ya que la contaminación por hidrocarburos y sus derivados no siempre es la misma ya sea por el tipo de crudo o por el tipo de suelo. En la segunda fase se realizan caracterizaciones metódicas y con una frecuencia determinada, para llevar a cabo la degradación de los contaminantes.

2.4.3 Caracterización del petróleo.

Esta caracterización es muy importante para llegar a conocer que tipo de contaminante esta en el suelo, cual es su composición química. Con ello se consigue implementar un bioproceso ya que hay que escoger por su eficiencia y velocidad de degradación cualquier proceso.

Esta caracterización se lo realiza mediante prácticas y análisis químicos fundamentalmente, con equipos de extracción y reflujo. Ya que se tiene que analizar los porcentajes de compuestos hidrocarbúricos presentes en el contaminante, y determinar el grado de afectación que el suelo sufrió.

2.4.4 Caracterización de la flora microbiana.

El número de microorganismos, su actividad metabólica y su biomasa, son variables fundamentales en los ecosistemas microbianos. Es igualmente importante saber el verdadero significado a limitaciones a cada proceso de medición de microorganismos degradadores.

Saber que un recuento total de variables normalmente contabiliza solo un uno por ciento de los componentes de una colonia microbiana, da a los datos la perspectiva adecuada. Un cambio en el número de microorganismos normalmente se correlaciona con un cambio similar en la biomasa y en sus actividades.

2.5 Base legal

En este caso se debe acoger fundamentalmente al Reglamento Ambiental para la Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador donde se indica que: Para proyectos de remediación se requiere no solamente una caracterización inicial del suelo, sino también de un monitoreo sistemático para determinar el momento en el que se logren las metas establecidas.

Según la Tabla 6 del Decreto No. 1215, indica los límites permisibles para la identificación y remediación de los suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicios.

3 MARCO EXPERIMENTAL

3.1 Métodos generales de análisis.

3.1.1 Modelo de estudio.

La empresa Saxon Energy Services del Ecuador, que presta servicios petroleros, (reacondicionamiento de pozos), permite realizar la presente investigación que tiene como objetivo descontaminar los suelos contaminados con hidrocarburos, utilizará tecnología de Landfarming, que incluye dos fases : el diagnostico de la contaminación del material contaminado de los taladros de perforación y el proceso de biorremediación. Esta investigación se desarrollará en alrededor de ocho meses

3.1.2 Factores de estudio.

- Diagnostico de la contaminación.
- Diseño y control del bioproceso

3.1.3 VARIABLE EN ESTUDIO

Hidrocarburos totales de petróleo (TPH), en el suelo contaminado y en el suelo en procesos de descontaminación

3.1.4 UNIDAD EXPERIMENTAL

Esta constituida por un volumen de suelo contaminado de 2, 025 m³, de la cual se obtiene una muestra de 250g de suelo

3.1.5 NUMERO DE REPETICIONES

Tres muestras cada quince días durante el proceso de descontaminación

3.1.6 TRATAMIENTOS

Tres unidades experimentales con diferentes concentraciones de contaminante

3.1.7 MUESTREO

El tipo de muestreo fue no probabilístico, aleatorio compuesto.

El muestreo efectuado a lo largo de todo el proyecto, fue realizado mediante procedimientos implementados por el autor de la presente investigación, para la empresa Saxon Energy Services del Ecuador, basándose en el reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador, (RAOH N° 1215) y el Libro IV del Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS).

3.1.8 RECOLECCION, TRANSPORTE Y TRATAMIENTO DE MUESTRAS

La toma de muestras y el transporte de las mismas se implementaron siguiendo la misma modalidad anterior y se indican como sigue:

- Procedimiento para la toma de muestras del suelo blanco de la empresa saxon energy services. (Anexo1)
- Procedimiento para la toma de muestras de los suelos contaminados con hidrocarburos de la empresa saxon energy services. (Anexo2)

Cada una de las muestras para ser transportadas y entregadas a los laboratorios correspondientes, deben ser registrados mediante una hoja de control llamada cadena de custodia de las muestras (Anexo3).

El transporte se realiza en fundas plásticas las mismas que son enviadas a la ciudad de Quito para su análisis en los laboratorios correspondientes.

3.2 METODOS ESPECIFICOS DE ANALISIS

3.2.1 DISEÑO DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

El diseño se fundamenta en la Metodología presentada por Dr. Carlos Ercoli, Investigador de la Universidad del Cuyo. Argentina, cuyos lineamientos generales de diseño son

- **Suelo base:** Debe poseer pendiente para el sistema de drenaje del suelo en tratamiento, sobre la que se colocara la geomembrana. Debe estar completamente limpio de impurezas o materiales que puedan desgarrar la geomembrana.
- **Taludes:** Poseen una altura no mas de los 60cm de alto, sirven de anclaje de la geomembrana y de protección para el suelo a descontaminarse.
- **Membrana:** Funciona como impermeabilizante del suelo donde se ubica el bioproceso.
- **Drenajes:** Construidos en cada una de las unidades experimentales, para que fluya el exceso de agua hacia los recolectores.
- **Techo:** de plástico de invernadero tipo 070 con filtro UV, que sirve de Protección de las unidades experimentales debido a la gran pluviosidad en la región oriental, y actúa como filtro UV, beneficiando el crecimiento bacteriano.

3.2.2 DIAGNOSTICO DE LA CONTAMINACION

3.1.2.1 Caracterización del contaminante en el suelo: los ensayos se realizarán en el Laboratorio Analítico HAVOC, en proceso de acreditación y siguiendo las metodologías anotadas a continuación.

Tabla 3-1 Caracterización del contaminante en el suelo.

ENSAYO	MÉTODO
Hidrocarburos aromáticos monocíclicos	EPA 8260
Hidrocarburos alifáticos	EPA 8261
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	EPA 8310
HAPS totales	EPA 3545 / 8310
TPH	MESS -02 EPA 84407418,1

Elaborado por Martín Chang B.

3.1.2.2 Caracterización de los nutrientes en el suelo: los ensayos se realizarán en el Laboratorio Analítico HAVOC, en proceso de acreditación por el Organismos de

Acreditación Ecuatoriano, (OAE) y siguiendo las metodologías y técnicas validadas y anotadas a continuación.

Tabla 3- 2 Caracterización de los nutrientes del suelo.

ENSAYO	MÉTODO
Cobre	MESS - 01 /07 EPA 3050 B / 7210
Fósforo total	EPA 365,3
Hierro	EPA 7360
Magnesio	EPA 7450
Manganeso	EPA 7460
Nitrógeno total	EPA 351,3M
Potasio	EPA 7610
Zinc	MESS - 01 /07 EPA 3050 B / 7960
Materia orgánica	GRAVIMÉTRICO

Elaborado por Martín Chang B.

3.1.2.3 Caracterización de los microorganismos degradadores en el suelo: en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central con las siguientes Técnicas:

- Contaje Total de heterótrofos. BAM 2001, cap3
- Contaje de bacterias degradadoras de petróleo.

3.2.3 EJECUCION Y CONTROL DEL BIOPROCESO

3.2.1 DETERMINACION DE PARAMETROS CRITICOS

Todos los ensayos químicos, con excepción de los microbiológicos fueron realizarán en el Laboratorio Analítico HAVOC, en proceso de acreditación y siguiendo las metodologías anotadas a continuación.

- **Tipo y concentración de contaminante:** Utilizando métodos de la EPA, ASTM, y métodos validados y acreditados por el OAE.
- **Concentración de nutrientes:** Utilizando métodos de la EPA, ASTM y métodos evaluados por el OAE.

- **Concentración de microorganismos:** Realizados en el laboratorio de microbiología de la Universidad Central del Ecuador, utilizando una metodología de conteo de Heterótrofos totales y conteo de bacterias degradadoras de petróleo.
- **Condiciones macro ambientales:**
 - Temperatura: Se determina utilizando un termómetro de mercurio para el ambiente y un termómetro electrónico para el suelo.
 - pH: Se lo determina mediante el método colorimétrico en campo, en el laboratorio se lo determina mediante el método EPA 9045 B.
 - Humedad del suelo: Determinado por un método manual y observación.
- **Presencia de inhibidores:** de igual manera, utilizando métodos de la EPA, ASTM y métodos evaluados por el OAE.

3.2.2 CONTROL DEL BIOPROCESO

- **Control de la flora microbiana activa:** Conteo de Heterótrofos totales y Conteo de bacterias degradadoras de petróleo.
- **Control de Hidrocarburos totales de petróleo:** Fue determinado en el laboratorio analítico Havoc, utilizando un método propio evaluado por el OAE y basado en el método de la EPA 84407418.1.
- **Condiciones macroambientales:**
 - Temperatura: Se determina utilizando un termómetro de mercurio para el ambiente y un termómetro electrónico para el suelo.
 - pH: Se lo determina mediante el método colorimétrico en campo, en el laboratorio se lo determina mediante el método EPA 9045 B.
 - Humedad del suelo: Se realizó la determinación de la consistencia del suelo utilizando a la humedad cualitativa y se estimó un valor.

4. RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 DISEÑO DEL BIOPROCESO:

- **Aplicación Biotecnológica:** Tratamiento de suelo contaminado
- **Finalidad del bioproceso:** Producción de biomasa
- **Tipo de microorganismos:** Microorganismos Heterotróficos

- **Metabolismo Bacteriano:** Aerobio para mayor producción de biomasa

4.2 DISEÑO DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

El diseño de las unidades experimentales se fundamentó en la referencia bibliográfica, (Carlos Ercoli investigador de biotecnología de la universidad del Cuyo – Argentina), y tomando en cuenta factores como: el volumen de suelo a descontaminar, la concentración de contaminante y el área asignada para el efecto, que tiene una superficie de 66 m². La misma que se distribuyó en tres unidades experimentales mas el al área de acopio y al área de tamizado.

Cada unidad experimental presenta en promedio las siguientes dimensiones; 3m de largo, por 5m de ancho y con 0.50m de profundidad, cubierto tan solo por 0.15 a 0.20m. de suelo contaminado. Cada una de las unidades experimentales lleva un volumen de suelo similar, pero con diferentes concentraciones de contaminantes.

4.3 DIAGNOSTICO DE LA CONTAMINACIÓN

4.3.1 Caracterización del contaminante en el suelo:

Los resultados de los análisis de suelo contaminado se fundamentan en el análisis de los Hidrocarburos totales (TPH).

Tabla 4-1 Diagnostico del contaminante en el suelo.

FECHA	CARACTERIZACIONES DE SUELO.	NOMBRE DE LA MUESTRA	CODIGO DE LA MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	ENSAYO	RESULTADOS EN %	RESULTADOS EN mg/Kg
15/06/2007	Caracterización del suelo contaminado de inicio	MUESTRA - 1	MSC010	Aleatorio-Compuesto	TPH	0,378	3780,2
		MUESTRA - 2	MSC020	Aleatorio-Compuesto	TPH	1,039	10396,7
		MUESTRA - 3	MSC030	Aleatorio-Compuesto	TPH	1,0439	10439,3

Elaborado por Martín Chang B.

4.4.- ANALISIS DE RESULTADOS DEL CONTROL DEL BIOPROCESO:

- **Concentración de contaminante:**

En las tres unidades experimentales, se experimentó la biodegradación manifiesta por la disminución del TPH (en un 82.11%), en un período de tiempo de 45 días. Donde la unidad experimental uno disminuyó de 3780.2 mg/Kg. a 728.8 mg/Kg. Dando un total de 3051.4 mg/Kg. de TPHs degradados. En la unidad experimental dos se disminuyó el contaminante de 10396.7 mg/Kg. a 1138.9 mg /kg. llegando a un total de 9257.8 mg/Kg de TPHs degradados. Y en la unidad experimental tres los contaminantes disminuyeron de 10439.3 mg/Kg. a 2446.9 mg/Kg. degradando 7992.4 mg/Kg. de TPHs.

Se puede observar en el control del TPH que en la unidad experimental 1y 3, aumento los niveles de concentración del contaminante, por algunos factores como son, mala remoción del suelo o mala práctica del laboratorio encargado en analizar los contaminantes.

- **Concentración de microorganismos activos:**

Existió un incremento muy considerable en la concentración de heterótrofos totales (un promedio de 1×10^3) en las tres unidades experimentales. En la unidad experimental uno se produjo un incremento de 2.5×10^5 a 2.61×10^8 . En la unidad experimental dos el incremento fue de 8.9×10^6 a 8.14×10^8 . En la unidad experimental tres se produjo un incremento de 5.2×10^5 a 1.78×10^9 . Esto se debe al incremento de nutrientes necesarios para su reproducción y a todas las condiciones ambientales que influyen en su crecimiento, como es la aireación (bacterias aeróbicas), humedad, control de temperatura, etc.

- **Concentración de nutrientes:**

Los nutrientes han aumentado por la adición de los mismos, utilizando fertilizante radicular N-P-P con una proporción de 18 – 24 – 19.

Se añadió este fertilizante considerando la relación C-N-P (100:2:1),. que es la ideal para crecimiento microbiano, y según el volumen de suelo en tratamiento, y fue determinado por un especialista agrónomo. Considerando las especificaciones anteriores la cantidad calculada de fertilizante a ser añadida en cada unidad experimental fue de 150g de fertilizante.

4.3 RESULTADOS DE LA DESCONTAMINACIÓN DE LOS SUELOS

Tabla 4- 2 Resultados de la degradación.

FECHA	CARACTERIZACIONES DE SUELO.	NOMBRE DE LA MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	ENSAYO	RESULTADOS EN %	RESULTADOS EN mg/Kg
20/08/2007	Caracterización de suelo contaminado (última muestra)	MUESTRA-FINAL	MSC100	Aleatorio-Compuesto	HAPS	0,0000079	0,079
					TPH	0,05543	554,3
					Cadmio	0,0000097	<3,33
					Níquel	0,000321	<8,33
					Plomo	0,001054	<16,67

Elaborado por Martín Chang B.

La última muestra se basa en la tabla 6 del RAOH 1215, la cual permite observar una degradación de los contaminantes.

El principal parámetro, para saber la degradación del contaminante son los TPHs de cada una de las unidades experimentales en el bioproceso.

Tabla 4- 3 Cantidad de TPHs degradados.

UNIDADES EXPERIMENTALES	mg/Kg DE TPHs DE INICIÓN	mg/Kg DE TPHs FINAL	TOTAL DE mg/Kg DE TPHs DEGRADADOS.	PORCENTAJES DE DEGRADACIÓN.
MUESTRA - 1	3760,2	728,8	3051,4	80,72059679
MUESTRA - 2	10396,7	1138,9	9257,8	89,04566253
MUESTRA - 3	10439,3	2446,9	7992,4	76,56068894

Elaborado por Martín Chang B.

Dando un promedio en las tres unidades experimentales de 6767.2 mg/Kg. de TPHs degradados con un 82.11% de degradación.

4.4 COSTO ECOMÓMICO DEL PROYECTO

El proyecto implementado es la empresa Saxon Energy Services del Ecuador, constituyo una inversión, minimizando los costos de tratamiento del material contaminado que se genera por el reacondicionamiento de los pozos petroleros.

El costo aproximado es de ocho mil dólares, que se ve reflejado en la infraestructura, materiales, insumos y los análisis realizados en los laboratorios respectivos que se utilizaron

en el bioproceso de Landfarming. La Empresa gastó el año anterior por concepto de tratamiento del suelo contaminado dos mil dólares para un volumen de 90m³.

Hoy la empresa cuenta con infraestructura y una metodología desarrollada y los tratamientos puede realizarlos, con tan solo el costo de los análisis de laboratorio referentes a nutrientes, TPH y conteo de flora activa, disminuyendo los costos por descontaminación.

5.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- CONCLUSIONES GENERALES

- En la presente investigación la técnica Landfarming fue efectiva esto lo demuestra los resultados que se obtiene sobre descontaminación: en la unidad experimental 1 se inicia con TPH de 3780.2 mg/Kg. y en un lapso de 45 días se obtiene disminución de 3051.4 mg/Kg. de TPH, que equivale a un porcentaje de eficiencia de el 80.72%. En la Unidad experimental 2 se inicia con TPH de 10396.7 mg/Kg. y en un lapso de 45 días se obtiene disminución de 9257.8 mg/Kg. de TPH, que equivale a un porcentaje de eficiencia de el 89.04%. En la Unidad experimental 3 se inicia con TPH de 10439.3 mg/Kg. y en un lapso de 45 días se obtiene disminución de 7992.4 mg/Kg. de TPH, que equivale a un porcentaje de eficiencia de el 76.56%.
- La descontaminación ocurre porque se controlan permanentemente los parámetros críticos de la biorremediación esto es: pH este parámetro se mantiene en un rango de 7, según el requerimiento teórico de 6 a 8, quiere decir que se encuentra dentro de los límites. La humedad del suelo se encuentra con un promedio de 65% de su capacidad de carga, estando dentro de los límites teóricos de 40 a 80%. La temperatura del suelo en descontaminación posee una temperatura promedio de 26 °C. lo que nos indica que esta en funcionamiento el bioproceso ya que la temperatura teórica va de 0 a 45 °C.
- Los puntos críticos de este proceso constituyen:, la aireación porque el metabolismo de los microorganismos que metabolizan las fracciones de hidrocarburo es aerobio. Otro punto crítico es el tamizado de la tierra contaminada ya que no solo existe suelo, sino diversos elementos contaminados los mismos que disminuyen la eficiencia del proceso y el tamizado ayuda facilitando la aireación.

- Factores determinantes para la efectividad del bioproceso son: un buen diseño de las unidades experimentales y el control continuo de los parámetros críticos del bioproceso, los mismos que deben ser registrados y evaluados diariamente. Por responsables del departamento de HSE de la empresa Saxon Energy Services del Ecuador.
- El costo beneficio del presente bioproceso es positivo, se realiza una inversión en la primera etapa, luego disminuyen los costos de cada descontaminación, la empresa ya posee la infraestructura y la metodología respectiva, el costo solo se limita a los análisis de control del bioproceso.
- La utilización de equipo de protección personal (EPP), es indispensable en cualquier etapa del bioproceso, ya que con la utilización de este equipo se mitigará una gran cantidad de accidentes y/o enfermedades laborales.

5.2.- RECOMENDACIONES

- Escoger un buen laboratorio de análisis de los parámetros críticos es fundamental, para la obtención de resultados veraces. Dentro del cual debe utilizar métodos de análisis avalados o estar acreditado por el OAE.
- Seguir los lineamientos implementados para la utilización del bioproceso, ya que se ha comprobado de su eficiencia.
- Difundir la información necesaria sobre la implementación de este sistema a toda la empresa, para que no exista complicaciones de logística.

6.- BIBLIOGRAFÍA

- SCRAGG, Alan. Biotecnología medioambiental. Person education limited, Zaragoza, España, 1999.
- ATLAS, R. M. Y BARTHA, R. Ecología microbiana y Microbiología ambiental. Pearson educación, S. A., Madrid, 2002.
- ALEXANDER, Martín. Introducción a la microbiología del suelo. Libros y editoriales, S. A., Mexico 1980.
- ERCOLI, Carlos E. Fundamentos de la ingeniería bioquímica aplicados a biorremediación de suelos. Curso intensivo, Noviembre 2003.

- ERCOLI, Carlos E. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Curso de capacitación, Agosto 2003.
- Reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas del Ecuador, Decreto N° 1215, Febrero del 2001.