View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (DSpace...

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ESCUELA DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN PROTECCIÓN AMBIENTAL

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA LANDFARMING PARA UN TRATAMIENTO DE LODOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS REFINERÍA ESMERALDAS.

Tesis de grado
por

ING. RAMÓN FRANCISCO BEDOYA MENESES

Remitido a la Escuela de Postgrado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo como requisito final previo a la obtención del título de

MÁSTER EN PROTECCIÓN AMBIENTAL

Febrero 2004

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ESCUELA DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN PROTECCIÓN AMBIENTAL

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA LANDFARMING PARA UN TRATAMIENTO DE LODOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS REFINERÍA ESMERALDAS.

Tesis de Grado

por

ING. RAMÓN FRANCISCO BEDOYA MENESES

Aprobado en forma y contenido por:

Dra. M. Sc. Yolanda Díaz **(PRESIDENTE TRIBUNAL)**	**Dra. M. Sc. Magdy Echeverría** **(MIEMBRO)**
Dr. M. Sc. Rubén Pazmiño **(MIEMBRO)**	**Dra. M. Sc. Fausto Yaulema** **(TUTOR)**

Ing. M. Sc. Fernando Romero
DIRECTOR ESCUELA DE POSTGRADO

Febrero 2004

3 AGRADECIMIENTO

El autor reconoce y expresa su permanente gratitud al Dr. Fausto Yaulema Garcés, M.Sc, por su guía académica y estímulos impartidos en cada oportunidad, que facilitaron plantear una propuesta investigativa y además establecer el soporte técnico que permitió obtener el financiamiento, construir y actualmente poner en marcha el presente proyecto, con el cual Refinería Esmeraldas ha iniciado el tratamiento ambiental de sus residuos aceitosos, mediante tecnología Landfarming.

Quiero destacar los evidentes esfuerzos de las autoridades tanto como el nivel de conocimientos demostrados por el personal docente de la Facultad de Ciencias, durante el programa de la maestría "Protección Ambiental".

Este trabajo incluye acertados criterios de los catedráticos, Dra. M. Sc. Yolanda Díaz, Dra. M. Sc. Magdy Echeverría y Dr. M. Sc. Rubén Pazmiño, quienes con sus contribuciones inestimables orientaron el contenido técnico de lo realizado, haciendo posible su culminación.

No hace falta expresar que ninguno de los catedráticos es culpable de cualesquiera deficiencias que pudieran hallarse en este trabajo.

DEDICATORIA

A Carmen Elena Meneses, mi permanente motivación.

RESUMEN

Esta implementación es un proceso de decisión consistente que permite fijar, establecer mecanismos de respuestas y tratamiento de sitios contaminados con petróleo en Refinería Esmeraldas mediante tecnología Landfarming. Se describen el origen y los principios básicos, aplicaciones correctas y limitaciones, como la reducción de la concentración de TPH. Para estos propósitos, la adición de inóculo bacteriano endógeno (bioaumentación) es comparado con la estimulación de la población microbiana autóctona mediante refuerzos de factores abióticos (bioestimulación). El proyecto fue dividido en dos fases. La primera fase es una selección rápida a nivel de estudio de microcosmo. La segunda fase comprende la selección de ensayos básicos para desarrollar una instalación piloto. Los resultados permitieron establecer parámetros de diseño y operativos para la optimización de los procesos e implementación del Landfarming, incluyendo el Plan de Manejo Ambiental para las etapas de construcción y operación. Aún cuando las tasas de crecimiento y biodegradación permitieron una reducción de TPH en un 92.5 % en la unidad experimental U1 y de 99.2 % en la unidad experimental U2, mediante bioaumentación, rendimientos similares se encontraron con ensayos al 10 % p/p en la matriz lodo/suelo natural, aplicando técnicas de bioestimulación. El material recuperado presentó valores de metales pesados y niveles de TPH inferiores a los establecidos por la Regulación Nacional para suelos agrícolas, por consiguiente, el presente trabajo concluye proponiendo que el material recuperado se utilice en ornamentación forestal permanente. Para tal finalidad se requiere disponer de un vivero forestal que puede ubicarse en el área externa de Refinería Esmeraldas, con capacidad para producir 85 000.0 plántulas, estimándose una inversión de USD 17 000.0 durante el primer año.

SUMMARY

This implementation is a consistent decision making process for the asesment and response to a petroleum realease and treatment of petroleum contaminated sites in Refinery Esmeraldas with Landfarming Technology. Are described its origin and basic principles, correct aplication and limitations, and the reduction in concentration of TPH. For this purpose, the addition of bacterial inoculum endogenous (bioaugmentation) is compared with the stimulation of the endogenous microbial population by enhancement of abiotic factors (biostimulation). The project is divided into two phases. The first phase is remedy screening, made a bench scale laboratory study. The second phase is remedy selection a bench-scale or pilot in nature, this level stablished design and operation parameters for optimization of the process. It elaborated a Plan of Environmental Control that is aplicated in the phases of construction and operation. Although the measure of growth microbial and biodegradation are satisft that permited obtain a reduction of 92 % of TPH in the unit U1 and 99 % of TPH in the unit U2, with bioaugmentation, similar rate its found intervening the trying to 10 % of matrix sludge/ natural soil, aplicating biostimulation. The material recoverable present level lowers of heavy metal and levels de TPH lower of stablished for the National Regulation for agricultural soil, therefore this work conclude proposing that the soil recuperated its used for install beds of ornamental plant useful in the production of plántulas. The site is external area of Refinery, requesting USD 17 000.0 during the first year, with capacity for produce 85 000.0 short plants.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Períodos de generación para algunos microorganismos	13
Tabla 2	Tipos de microorganismos relacionados con la temperatura	14
Tabla 3	Máximas tasas de crecimiento registradas para algunas bacterias	15
Tabla 4	Puntuación de la Importancia y Magnitud	37
Tabla 5	Unidades experimentales aplicadas en el ensayo de laboratorio	51
Tabla 6	Recursos empleados para implementar el proyecto.	55
Tabla 7	Indicadores de la zona geográfica	57
Tabla 8	Indicadores del suelo natural	58
Tabla 9	Indicadores del suelo contaminado con crudo	59
Tabla 10	Matriz lodo/suelo natural del Y-T8046. Ensayos de bioestimulación	61
Tabla 11	Identificación de cepas bacterianas en la muestra del Y-T8046.	62
Tabla 12	Recuento bacteriano	63
Tabla 13	TPH, tasas de crecimiento y biodegradación, mediante bioaumentación	64
Tabla 14	Aplicación de la tasa de crecimiento en las primeras 24 horas	66
Tabla 15	Aplicación de la tasa de biodegradación	70
Tabla 16	Resumen de los cálculos para el Studentized Range Test	73
Tabla 17	Diferencias de muestras dependientes	76
Tabla 18	Diferencias entre bioestimulación y bioaumentación	76
Tabla 19	Tiempo de degradación media	79
Tabla 20	Variación de la conductividad	80
Tabla 21	Especificaciones de los lechos del campo Landfarming	83
Tabla 22	Caracterización ambiental del área de influencia del Landfarming	91
Tabla 23	Acciones consideradas durante la fase de construcción	92
Tabla 24	Acciones consideradas durante la fase de operación	93

Tabla 25 Matriz Causa - Efecto. Carácter del Impacto 94

Tabla 26 Matriz Causa - Efecto. Calificación de la Extensión 95

Tabla 27 Matriz Causa - Efecto. Calificación de la duración 96

Tabla 28 Matriz Causa - Efecto. Calificación de la Reversibilidad 97

Tabla 29 Matriz Causa - Efecto. Calificación de la Importancia 98

Tabla 30 Matriz Causa - Efecto. Calificación de la magnitud 99

Tabla 31 Matriz Causa - Efecto. Valor del Impacto 100

Tabla 32 Costos iniciales promedio de la producción de material vegetativo 132

Tabla 33 Cronograma para la producción de plántulas 133

ÍNDICE DE FIGURAS

	Descripción	Página
Figura 1	Curva de crecimiento típica	14
Figura 2	Variación del TPH con y sin inoculación en la unidad U1	65
Figura 3	Variación del TPH con y sin inoculación en la unidad U2	65
Figura 4	Crecimiento bacteriano versus reducción de TPH en U1	69
Figura 5	Crecimiento bacteriano versus reducción de TPH en U2	69
Figura 6	Biodegradación en la unidad U1.	77
Figura 7	Tasa de biodegradación en la unidad U1	77
Figura 8	Biodegradación en la unidad U2	78
Tabla 9	Tasa de biodegradación en la unidad U2	78

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A, B y C	Bandejas experimentales al 5% p/p lodo aceitoso/ suelo natural
Abt	Componente ambiental abiótico
Ant	Componente ambiental antrópico
Bio	Componente ambiental biótico
C_t	Concentración del sustrato en el tiempo t
D	Valor del criterio de Duración del Impacto
di	Diferencia establecida entre dos cantidades
E	Valor del criterio de la Extensión del Impacto
gl	Número de grados de libertad
H_a	Hipótesis de trabajo
HAPs	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
HDPE	Geotextil de alta densidad
Ho	Hipótesis nula
I	Valor del impacto
IMP	Importancia del impacto
K.....	Constante de proporcionalidad, frecuentemente referida como la tasa de crecimiento específico en t^{-1}
K	Tasa de degradación en t^{-1}
mnsm	Metros sobre el nivel del mar
N.....	Número de células por volumen del medio
NC	Nombre Científico
NV.....	Nombre Vulgar
OIMT.	Organización Internacional de Maderas Tropicales
PMA	Plan de Manejo Ambiental

PSI ..... Unidad Protección Ambiental y Seguridad Industrial

PVC ..... Cloruro de polivinil

R ..... Valor del criterio de Reversibilidad del Impacto

R^2 ..... Coeficiente de estimación

r ..... Coeficiente de correlación

REE ..... Refinería Estatal Esmeraldas

S_{di} ..... Desviación estándar de las diferencias

r^2 ..... Coeficiente de estimación

t ..... Distribución de student

t ..... Tiempo, expresado en horas o en días

t_d ..... Tiempo de duplicación bacteriana, expresado en días.

TPH ..... Hidrocarburos totales de petróleo, expresado en mg/kg, base seca

U1, U2 ..... Unidades experimentales en Bioaumentación

UFC ..... Unidad Formadora de Colonia

We ..... Peso del criterio de Extensión

Wd ..... Peso del criterio de Duración

Wr ..... Peso del criterio de Reversibilidad

X, Y y Z ..... Bandejas experimentales al 10% p/p lodo aceitoso/ suelo natural

α ..... Nivel de significancia

μ_d ..... Valor medio de una población en pruebas de significación

% H ..... Humedad de campo, expresada % p/p

% p/p ..... Porcentaje en peso

GLOSARIO

Aceptor de Electrones.- Compuesto que acepta electrones en una reacción de oxidación - reducción. Un aceptor de electrones es también un agente oxidante.

Aerobio.- Organismo que es capaz de crecer en presencia de oxígeno. Los organismos aerobios pueden ser facultativos (capaces de crecer tanto en presencia de oxígeno como en ausencia del mismo) o aerobios estrictos (sólo son capaces de vivir en presencia de oxígeno).

Agente químico oxidante.- Es toda sustancia que produce una reacción de oxidación. El agente debe 1) proveer el oxígeno a la sustancia para ser oxidada (en este caso el agente deberá ser un oxígeno o contenerlo), o 2) recibir los electrones que están siendo transferidos a partir de la sustancia que está siendo oxidada.

Agente tensoactivo o surfactante.- Compuesto químico que reduce la tensión superficial de un líquido o la tensión interfacial de dos líquidos o de un líquido y un sólido, aumentando el contacto entre una fase orgánica hidrofóbica y una fase acuosa.

Antropógenico.- Material o contaminante que resulta de la actividad humana. Los contaminantes antropogénicos son el resultado de vertidos o derrames, más que de sucesos naturales tales como fuegos en los bosques.

Autótrofo.- Organismo que obtiene carbono a partir de la reducción de compuestos inorgánico, principalmente del dióxido de carbono.

Bacteriófago.- Virus que ataca las bacterias.

Bioaumento.- Adición de un inóculo microbiano de forma que se inicie y/o incremente la tasa de degradación biológica de los contaminantes.

Bioestimulación.- Activación in situ de los microorganismos autóctonos con adición de fertilizantes, surfactantes u otros aditivos mejoradores de la biodegradación (peróxido, "bulking agents).

Biomasa.- La masa de microorganismo en un determinado volumen de agua, sedimento o suelo.

Caracterización del sitio.- Determinación cualitativa y cuantitativa de la distribución de un parámetro. Cuando se refiere al suelo se deberá interpretar como la determinación cualitativa y cuantitativa de la distribución de una sustancia en el mismo, expresada en términos de la concentración de la sustancia medida por un método aprobado. La determinación puede ser completada con la determinación de una o más características de interés, las cuales a manera enunciativa, mas no limitativa, pueden ser geológicas, hidrogeológicas, biológicas y químicas.

Colonia.- Grupo de células que crecen en un medio con sustrato sólido que resultan de la reproducción de una única célula. Se supone que una CFU (unidad formadora de colonias) es equivalente a una única célula al comienzo de la incubación.

Cometabolismo.- Proceso mediante el cual una célula degrada un sustrato mientras emplea otro sustrato como fuente de carbono o energía.

Consorcios (o asociaciones).- Asociación de dos o más grupos de organismos o bacterias en los cuales uno de ellos se beneficia del resto.

Contingencia ambiental.- Situación de riesgo, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que puede poner en peligro la integridad de uno o varios ecosistemas.

Dador de electrones.- Compuesto que pierde electrones en una reacción de oxidación - reducción. Un dador de electrones es también el reductor.

DBO.- Demanda biológica de oxígeno. Es una medida de la cantidad de oxígeno necesaria para degradar de forma biológica, la materia orgánica de una muestra dada. El ensayo estándar se realiza durante un periodo de incubación de cinco días a una temperatura de 20ºC.

Derrame.- Cualquier descarga, liberación, rebose, achique o vaciamiento de hidrocarburos u otras sustancias peligrosas, en estado líquido, que se presenten en tierra y/o cuerpos de agua.

Dilución de suelo contaminado.- Acción de adición de un material que se agrega específicamente para reducir la concentración de uno o más contaminantes.

DQO.- Demanda química de oxígeno. Es una medida de la cantidad total de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica a dióxido de carbono y agua. En un ensayo estándar, se emplea dicromato potásico en una solución ácida para conseguir la oxidación de la materia orgánica. Debido a que está basado en una oxidación química, el ensayo de la DQO no establece diferencias entre sustancias biodegradables.

Enzima.- Proteína que disminuye la energía de activación y establece las rutas metabólicas que siguen las reacciones químicas en un organismo.

Eutrófico.- Abundancia de nutrientes, a menudo referido a nitrógeno y fósforo.

Ex situ.- Del latín, que significa extracción de material de su ubicación natural u original.

Fermentación.- Ruta de degradación por la cual una compuesto orgánico actúa al mismo tiempo como oxidante y reductor.

HDPE.- Polietileno de alta densidad.

Heterótrofo.- Organismo que necesita una forma orgánica de carbono.

Hidrófobo.- Del griego, miedo al agua. Significa tener poca afinidad con el agua. Un ejemplo es el aceite, que es muy poco soluble en el agua y tiende a formar una fase líquida separada del agua.

Hifa.- Filamento de un hongo.

Homogéneo.- Que posee la misma estructura o composición en todo su dominio.

HTP.- Hidrocarburos totales del petróleo.

In situ.- Del latín, que significa en su lugar natural u originario.

Inóculo.- Sustancia que actúa como generadora de células microbianas, tales como los fangos activos, el terreno y sedimento.

Litótrofos.- Bacterias que emplean compuestos inorgánicos como fuente de energía.

Lixiviado.- Líquido proveniente de residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.

Mesófilo.- Organismo que se desarrolla de forma óptima a temperaturas que oscilan entre los 15 ºC y los 45º C.

Metabolismo.- Proceso a través de los cuales los organismos crecen y obtienen energía.

Métodos Analíticos.- Los métodos mediante los cuales se harán los análisis para la caracterización de las muestras de los sitios contaminados por hidrocarburos.

Mineralización.- Degradación biológica completa de un compuesto orgánico que da como productos dióxido de carbono, agua, iones y moléculas inorgánicos y quizás sustancias celulares.

Pasivo ambiental.- Suelo, subsuelo, mantos freáticos y/o cuerpos de agua, que fueron contaminados mediante un proceso prolongado, cuya restauración no se ha efectuado, debido a una o varias de las siguientes condiciones: las dimensiones, las características específicas de la(s) sustancia(s) involucrada(s), el elevado costo y/o la complejidad; pero que implican una obligación de corrección de acuerdo al marco legal vigente.

Período de aclimatación.- Período de tiempo la inoculación con un cultivo microbiano y la observación de actividad (tal como la degradación biológica).
Período de retardo: tiempo que pasa desde la inoculación de un cultivo microbiano hasta que se empieza a observar un crecimiento.

Período de semidesintegración.- Tiempo necesario para que la concentración de un compuesto se vea reducida a la mitad, con frecuencia empleado en relación con los términos de desintegración radioactiva, degradación biológica in situ y otras reacciones.

pH.- Negativo del logaritmo de la concentración de iones hidrógeno.

ppm.- Partes por millón. Para solutos en agua, el término se suele emplear como equivalente a concentración expresadas en mg/L.

Producto libre.- Contaminante puro; normalmente se emplea para describir líquidos no acuosos que han sido almacenados en los poros de un suelo.

Residuos aceitosos.- Mezclas de hidrocarburos o residuos de hidrocarburos de cadena larga. En esta clasificación encontramos entre otros, al petróleo crudo, combustóleo, emulsiones y asfalto.

Restauración.- Es el conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales. En relación con el suelo, se entiende como el conjunto de acciones necesarias para recuperar y restablecer sus condiciones, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable para el predio o zona respectiva. Para los propósitos de éste trabajo, se utiliza el término restauración como sinónimo de remediación, reversión, saneamiento, limpieza, rehabilitación y regeneración.

Riesgo ambiental.- La probabilidad de que las personas físicas o morales, a través de sus actividades, procesos o accidentes durante los mismos, afecten adversamente a los ecosistemas, o el bienestar, integridad y salud de la población.

Sicrófilo.- Organismo cuyo crecimiento óptimo se alcanza a temperatura inferiores a 20ºC.

Sitio.- Lugar, espacio, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos, relacionados con suelos contaminados por materiales y residuos peligrosos.

Suelo contaminado.- Aquél en el que se encuentran presentes uno o más materiales o residuos peligrosos y que puede constituir un riesgo para el ambiente y la salud.

Suelo.- Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

Sustrato.- Compuesto que puede ser empleado como fuente de carbono, energía o nutrientes para el metabolismo microbiano.

Tiempo de duplicación.- Tiempo necesario para que la población de células duplique su número; en algunos casos se ha denominado tiempo de generación.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por residuos sólidos en suelos, es un problema gravitante para los ecosistemas y de reciente interés en la comunidad científica. La lentitud y dificultad que aparentemente se asocia a la movilidad de los contaminantes en el subsuelo, además de la naturaleza depuradora del suelo y su reacción a aportes externos, han hecho que este problema fuera menos visible, que el de la polución atmosférica y la contaminación de las aguas. Posiblemente por ello, estos últimos, fueron estudiados con mucha anterioridad. Sin embargo, las actividades industriales fundamentalmente y casi todas las actividades humanas, generan residuos potencialmente peligrosos que pueden alcanzar el suelo y las aguas subterráneas. En las etapas de desarrollo previas a la sensibilización ambiental actual, se ha generado multitud de focos de contaminación que aun hoy son pocos conocidos y por tanto cuantificados. Esto ha impulsado notablemente la investigación en multitud de disciplinas asociadas a este tipo de problemas y ha generado una importante demanda de información específica en este campo.

El carácter multidisciplinar del problema, ha obligado la participación de técnicos especialistas que trabajaron en casos prácticos de distinta naturaleza y también de investigadores de distintas especialidades.

Por ejemplo, los escombros o depósitos de lodos y suelos contaminados con hidrocarburos, cuando reciben agua de lluvia pueden lixiviar ciertos componentes y después infiltrarse en soluciones, hacia el manto acuífero; tienen componentes como los que se pueden indicar: compuestos orgánicos; metales pesados; nitrógeno en diversas formas; bacterias; virus; gases disueltos que pueden producir olores desagradables y fatalidades; material pirofórico (Fe); explosivos; compuestos tóxicos (por ejemplo, el Boro es tóxico para las plantas); cierto aniones y cationes, que actúan en relación con el

carácter del suelo, etc. Un terreno con elevado contenido en sólido perderá porosidad y puede llegar a ser inadecuado para mantener la cobertura vegetal.

No obstante, los subsuelos pueden actuar como una capa protectora sobre el área subterránea por medios físicos, químicos y bioquímicos.

Los sedimentos de grano fino del tipo arcillas como depósitos glaciares, arcillas lacustres y turbas tienen baja permeabilidad y en consecuencia actúan como una barrera o retención al movimiento vertical de los contaminantes. En las zonas en que están presentes estos sedimentos, el agua superficial tiene más riesgo que la subterránea, ya que la mayoría, si no todos los contaminantes, no pueden emigrar hacia abajo y sólo pueden moverse lateralmente. En contraste, los depósitos de alta permeabilidad -arenas y gravas- permiten un fácil acceso de los contaminantes al nivel freático aunque proporcionen oportunidades para la dispersión de los contaminantes por los espacios porosos (Kiely, G. 2 001).

En Refinería Esmeraldas, lodos contaminados con hidrocarburos y suelos afectados por derrames son manipulados y retirados de los sitios respectivos para ser colocados al azar, sobre suelo natural en el Área Externa de la propiedad, sin que reciban un tratamiento técnico[1] (BEICIP-FRANLAB, 1 994). Estos materiales se originan en tanques de almacenamiento, torres de separación, acumuladores, colectores aceitosos, sedimentos de canales pluviales, sedimentos de piscinas de almacenamiento y en suelos que son afectados en el interior de la planta cuando se producen rebosamientos accidentales; ocasionalmente, se presentan suelos contaminados con hidrocarburos procedentes de los sitios externos de las instalaciones de la Refinería, cuando las líneas de transporte y transferencias presentan fisuras por efecto de la corrosión.

1 BEICIP-FRANLAB, 1 994. Estudio de Impacto Ambiental en Refinería Esmeraldas. Plan de Manejo Ambiental. pp. 5-18.

Aunque casi todos los componentes de los hidrocarburos en las fuentes señaladas, son biodegradables, se debe indicar que cuando más compleja es la estructura molecular de los constituyentes, es más difícil y más lento su tratamiento. La mayoría de los constituyentes alifáticos y monoaromáticos de bajo peso molecular (nueve átomos de carbón o menos) sé biodegradan más fácilmente que componentes orgánicos alifáticos o poliaromáticos de peso molecular más alto (Cookson, J. 1 995). Los métodos varían tanto en sus requisitos biológicos e ingenieriles, como en las consideraciones de seguridad. El método elegido dependerá del lugar, del marco temporal y de los recursos económicos disponibles (Levin & Gealt, 1 977).

Existe, entre otras, una tecnología de remediación superficial para estos lodos contaminados con hidrocarburos, que reduce concentraciones de los componentes del petróleo por medio de la biodegradación con microorganismos endémicos; esta tecnología conocida como Landfarming o aplicación sobre tierra, ha sido eficazmente probada en la reducción de concentraciones de casi todos los componentes del petróleo y sus derivados encontrados en todas las facilidades de producción de la industria petrolera y/o refinerías (USEPA, 1 993). La tecnología Landfarming propuesta en esta investigación, se puede aplicar con facilidad en zonas urbanas en las cuales las industrias dispongan de áreas suficientemente grandes para tales propósitos.

Las características operativas de Refinería Esmeraldas, el origen de lodos aceitosos contaminados - sus propiedades físicas, químicas y biológicas- tanto como el tipo de suelo virgen de la zona y las condiciones climáticas del medio, permiten determinar que el tratamiento Ex–Situ para suelos, sedimentos y lodos contaminados con hidrocarburo, sea el modelo más apropiado para los trabajos de remediación, que incluye, elaborar un procedimiento técnico-administrativo de recolección, transporte, disposición final y tratamiento en su área de propiedad, utilizando los espacios disponibles para mejorar el ambiente y minimizar efectos perjudiciales a: la flora, fauna, suelo, aire, agua subterránea y comunidad. La ventaja principal del tratamiento Ex–Situ mediante tecnología Landfarming, es que se requiere en términos generales, períodos cortos de tratamiento y hay más certeza sobre la uniformidad

del tratamiento debido a la facilidad de homogenizar, proteger y mezclar continuamente el suelo (aireación).

Refinería Esmeraldas no tiene un campo para Landfarming, aun cuando dispone de 22 Ha de terreno para situar sus residuos, parte del cual se destinaría para tal finalidad. A partir del año 1 998, el Proyecto de Crudos Pesados amplió la capacidad de refinación de 90 000.00 barriles/día a 110 000.00 barriles/día, incrementando consecuentemente la generación de lodos aceitosos, los cuales son situados desordenadamente en los límites de la propiedad sin ningún tratamiento técnico.

Esta condición fue observada en el Estudio de Impacto Ambiental realizado en el año 1994, previo a la construcción Proyecto de Crudos pesados (BEICIP-FRANLAB, 1 994); el Plan de Manejo Ambiental correspondiente, definió que la tecnología Landfarming debe ser aplicada para el tratamiento de lodos y suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, criterio que es normado por la Legislación Ambiental Nacional vigente, contenido en el Reglamento Sustitutivo al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.

Sobre un campo Landfarming apropiadamente diseñado y técnicamente construido, se pueden aplicar los principios de biorremediación dirigidos hacia la estimulación del crecimiento de los microorganismos endémicos y al uso de contaminantes como fuente de alimento y de energía. Generalmente esto significa proporcionar alguna combinación de oxígeno, nutrientes, humedad, control de temperatura y control de pH. Estos procesos son típicamente implementados a bajo costo y los subproductos se contienen en la unidad de tratamiento hasta que se producen los productos finales no peligrosos (Cookson, J. 1 995).

Las condiciones climáticas en el Cantón Esmeraldas son idóneas para la biodegradación, por consiguiente solo se requiere escoger la tecnología incluyendo su diseño (implementación y manejo), que aprovechen estas mismas. Es justo comentar que se debe seguir experimentando intensamente

para encontrar otros procesos que pueden ser fácilmente aplicados en esta zona tropical y que son muy importantes para la restauración de áreas contaminadas, (oxidación química, fitorremediación, foto oxidación) y buscar mediante estudios de tratabilidad procedimientos de aplicación.

Esta investigación, validará el modelo de tratamiento propuesto e implementa un Sistema de biodegradación sin incorporar microorganismos exógenos, además incluye la identificación de aspectos e impactos ambientales durante las fases de ejecución del proyecto, con financiamiento de Petroecuador (Anexo B), estableciendo para tal propósito procedimientos constructivos y operativos apropiados, que facilitarán la preservación y limpieza efectiva del ambiente, al punto que cualquier posición al respecto, se convierta no solamente en una actitud de tipo ético sino que llegue a convertirse inclusive en un asunto de implicaciones sociales y económicas-financieras, viables mediante la aplicación de un Plan de Manejo Ambiental.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema Landfarming ex-situ, mediante la caracterización de lodos contaminados con hidrocarburos, procedentes de las instalaciones de Refinería Esmeraldas, incorporando las condiciones y requerimientos ambientales del sitio, dentro del límite de propiedad de Refinería Esmeraldas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las variables del sitio donde se realizará el tratamiento, mediante estaciones meteorológicas y análisis de suelos no contaminados con hidrocarburos procedentes de la zona de influencia de Refinería Esmeraldas.

- Caracterizar lodos contaminados con hidrocarburos mediante el análisis de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que faciliten evaluar la factibilidad del sistema Landfarming, al compararlas con los rangos de operación aceptables.

- Realizar ensayos en una matriz natural, preparando muestras de material contaminado con suelo virgen (no contaminado), en diferentes proporciones, que permitan fijar parámetros sobre tiempo transcurrido, costo y diseño óptimo del Landfarming.

- Definir el diseño del Sistema Landfarming e implementarlo en el sitio seleccionado, dentro de los límites de propiedad de la Refinería Estatal Esmeraldas, estableciendo especificaciones operativas y de control.

- ❖ Elaborar el Plan de Manejo Ambiental para mitigar los Impactos Ambientales que se identifiquen durante las fases de construcción y operación del Sistema de tratamiento Landfarming.

HIPÓTESIS

Lodos contaminados con hidrocarburos de petróleo, originados en las operaciones de la Refinería Esmeraldas, son controlados y no exceden de 2 500 mg/kg de TPH cuando se tratan mediante un Sistema Landfarming ex-situ, utilizando la variabilidad de los suelos que se encuentran en los límites de la propiedad e indicadores del cuadro categorial[2].

2 Operacionalización / Categorías. Bedoya, R. (2 003). Anexo A.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 HIDROCARBUROS Y ALGUNOS EFECTOS EN EL AMBIENTE

Los hidrocarburos están constituidos, por mezclas complejas básicamente de carbono, hidrógeno y oxígeno. La contaminación por hidrocarburos causa los siguientes problemas:

- Toxicidad en grado variable, para los humanos o para el ambiente.

- Los compuestos de bajo peso molecular son muy móviles por lo que contaminan aguas subterráneas.

- Hidrocarburos de alto peso molecular y de cadenas complejas, son persistentes en el ambiente, degradando la calidad del suelo por interferencia con la retención y el flujo del agua, con el suministro de nutrientes a la macro y microbiota del suelo, y como barrera física para el desarrollo normal de las plantas y organismos.

El carácter recalcitrante aumenta con el número de carbonos, los alcanos son fáciles para degradar mientras que los más difíciles o recalcitrantes son los asfáltenos y resinas.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) presentan mayor toxicidad. Los HAP's son un grupo de compuestos aromáticos conteniendo dos o más anillos bencénicos fusionados. Los HAP's de bajo peso molecular son susceptibles de biorremediación, mientras que los de alto peso molecular son recalcitrantes. Las tasas de degradación de HAP'S son variables y no dependen solamente de su estructura, sino también de parámetros bióticos y abióticos.

En general la poca solubilidad de los hidrocarburos limita su biodegradación, pero los polisacáridos y glucolípidos producidos por las bacterias y microorganismos que se encuentran en la superficie de las células, actúan como solventes naturales para esos compuestos, transportándolos incluso a su citoplasma.

La habilidad de los microorganismos para degradar compuestos orgánicos y las tasas a las cuales la degradación ocurre, depende de la interacción de numerosos factores. Estos últimos incluyen concentración y estructura química, disponibilidad del contaminante a los microorganismos, el tamaño y naturaleza de la población microbiana y el ambiente físico. Factores ambientales tales como humedad, pH, propiedades físico-químicas del suelo y aireación, influyen sobre la actividad de la población microbiana en la biodegradación de los compuestos contaminantes.

1.2 FACTORES ABIÓTICOS Y BIÓTICOS QUE INFLUYEN SOBRE LA BIORREMEDIACIÓN

La velocidad del proceso de biodegradación está determinada por una serie de factores abióticos y bióticos. La biorremediación, puede ser acelerada o mejorada, favoreciendo la transferencia de masa, aireando el sistema, adecuando las relaciones carbono-nutrientes, a fin de garantizar el crecimiento de una microflora capaz de utilizar el desecho orgánico como fuente de carbono. En ciertos casos no ocurre una eficiente biodegradación por falta de un adecuado contacto del microorganismo con fracciones del crudo de menor disponibilidad o acceso, que por su forma o estado físico, no pueden ser utilizadas. En este caso la aplicación de un surfactante es conveniente, para favorecer la biodegradación. Los surfactantes ayudan a la desorción y solubilización de los contaminantes, mejorando así su disponibilidad. Actúan como emulsionantes que favorecen la desorción de algunos contaminantes hidrófobos hacia la fase líquida.

Lo más recomendable es el uso de biosurfactantes, dado que son de menor toxicidad, biodegradables, económicos y versátiles, comparados con los surfactantes de origen químico[3].

La composición y diversidad de la comunidad microbiana, así como la transformación de los contaminantes varía en función de los factores abióticos y bióticos. Entre estos se incluyen la temperatura, humedad, aireación, pH, nutrientes y tipo de suelo. Así mismo las características del contaminante influyen sobre la biodegradabilidad, tales como la concentración, composición química, disponibilidad o solubilidad, volatilidad y toxicidad.

A muy bajas concentraciones, la tasa de biodegradación puede disminuir debido a que los compuestos no suministran suficiente energía para el crecimiento microbiano y a concentraciones moderadas o muy altas son tóxicos a los microorganismos autóctonos. La composición química es determinante en la biodegradabilidad, así, compuestos que contienen saturados y aromáticos son de relativa fácil biodegradación, mientras que las resinas y asfáltenos son no biodegradables, dado que su estructura química es altamente compleja y de poca o muy baja disponibilidad para los microorganismos, a estos compuestos se les conoce como recalcitrantes, y en consecuencia persisten en el ambiente.

La disponibilidad de un compuesto a los microorganismos para que ocurra el proceso de biodegradación puede ser mejorado mediante la adición de surfactantes. Esto ha sido demostrado en lodos petrolizados, donde con la adición de un biosurfactante la biodegradación incrementó significativamente con respecto a muestras de control sin el biosurfactante (Infante, C. 2 003).

Dentro de los factores bióticos destacan principalmente la presencia o no de microorganismos con capacidad de degradar los compuestos de interés. Numerosos géneros de bacterias y hongos tienen la capacidad de utilizar diferentes fuentes de carbono orgánico. En el proceso de biorremediación de

[3] N del A. El uso de biosurfactantes deberá ser utilizado previo ensayos de ecotoxicidad emitidos oficialmente por la Dirección General de la Marina Mercante del Ecuador.

compuestos de petróleo, las bacterias pertenecientes al género Pseudomonas, son las de mayor relevancia.

Con relación a los nutrientes, estos son estrictamente necesarios en el proceso de biodegradación, ya que el metabolismo microbiano requiere de constituyentes químicos fundamentales que representan componentes de las células. Cuando ocurre un derrame de crudo en un suelo, por ejemplo, se presenta un desbalance de las relaciones C/N y C/P, por lo cual se deben suministrar nutrientes para contrarrestar este efecto, permitiendo así que los microorganismos puedan utilizar el exceso de carbono en el suelo. La limitación de nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo, en el proceso de bioremediación de desechos ha sido bien documentada; éste es un factor clave junto con la aireación para que la biodegradación sea exitosa en cualquier tipo de suelo. El pH igualmente puede afectar significativamente la actividad microbiana de un suelo y por ende la biodegradación. Generalmente dentro de un rango entre $6 < pH < 8$ el proceso es eficiente, de lo contrario hay que ajustar con aditivos para disminuir la acidez o basicidad del suelo y favorecer así la biodegradación de un desecho. Sin embargo, se han registrado procesos óptimos de biodegradación en suelos con pH de 5, debido a la alta actividad de hongos con capacidad de biodegradar.

1.3 CINÉTICA DEL CRECIMIENTO BACTERIANO

Las bacterias se reproducen por división celular, un proceso llamado fisión binaria. Bajo una serie de condiciones dadas, la velocidad de este proceso de división es característica de cada organismo y se llama periodo de generación. El tiempo para doblar el número de células en la población original oscila entre 15 minutos para Enterobacteria hasta 5 horas a 10 horas para Nitrosomonas y Nitrobacter. La Tabla 1 y la Tabla 2 muestran el tiempo de doblado y la temperatura óptima para una serie de microorganismos. Escherichia coli, por ejemplo, tiene un tiempo de doblado de 0.35 horas a una

temperatura de 40 ºC. En algas, protozoos y hongos los tiempos de doblado tienden a ser mucho más largo que el de las bacterias.

Tabla 1. Períodos de generación para algunos microorganismos

MICROORGANISMOS	TEMPERATURA (ºC)	TIEMPO DE GENERACIÓN (HORAS)
Bacteria		
Beneckea nutriegens	37	0.16
Escherichia coli	40	0.35
Bacillus subtilis	40	0.43
Anabaena cylindrica	25	10.60
Algas		
Chlorella pyrenoidosa	25	7.75
Scenedesmus quadricauda	25	5.90
Asterionella formosa	20	9.60
Protozoos		
Acanthamoeba castellanii	30	11-12
Paramecium caudatum	26	10.40
Hongos		
Saccharomyces cerevisiae	30	2.00
Monilinia fructicola	25	30.00

Fuente: Kiely, G. (1 999). pp. 163

En una célula con forma de bacilo, por ejemplo, la célula madre es capaz de crecer en tamaño y alargarse cerca de dos veces el largo original y de ella formar una partición llamada tabique o septo, el cual divide a la célula en dos células idénticas. El tiempo que ésta tarda para formar dos células a partir de la misma célula madre, es llamado tiempo de generación. De aquí el tiempo de generación sera siempre el tiempo necesario para doblar el número de células, algunas veces se emplea el término tiempo de duplicación. El tiempo de generación varía drásticamente dependiendo de la especie y de las condiciones de crecimiento. Los tiempos generación pueden ser tan cortos como de unos pocos minutos o tan largos como de diversas horas tal como se puede observar en la Tabla 1.

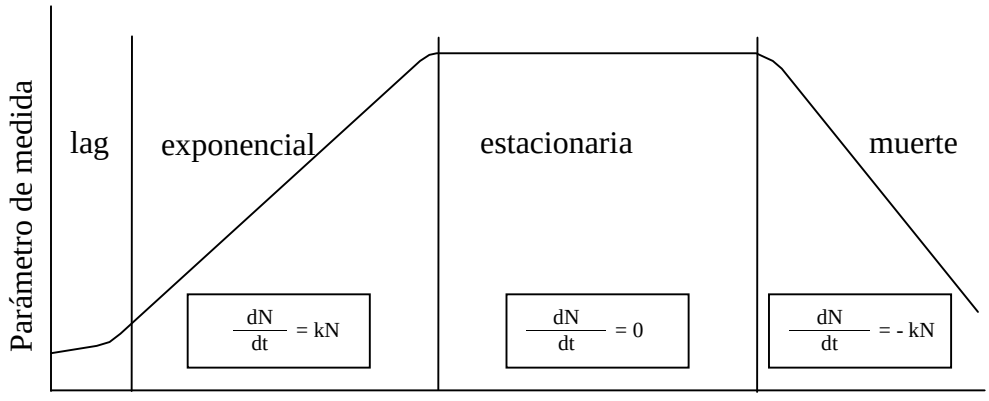
Tabla 2. Tipos de microorganismos relacionados con la temperatura

INTERVALO DE TEMPERATURA (ºC)	ÓPTIMO DE TEMPERATURA (ºC)	TIPOS	EJEMPLOS
0-30	< 20	Psicotrofos Psicrófilos	Bacterias marinas galionella
30-40	37	Mesófilos	E. coli
40-70	> 50	Termófilos	Bacilos stearotermófilos
70-80	> 65	Termófilos extremas	Bacilos, Clostridios

Fuente: Kiely, G. (1 999). pp. 163

Basada solamente en fisión binaria, el crecimiento debería ser expoencial multiplicando el nùmero de células mantenidas. El crecimiento exponencial solamente puede ser llevado a cierto punto. Sin embargo la concentración de nutrientes y otros factores ambientales podrían ser limitantes. En la Figura 1 se describe una curva de crecimiento típica para un cultivo de bacterias inoculada dentro de un medio fresco en un sistema discontinuo cerrado, con condiciones óptimas para crecimiento. El ciclo de crecimiento puede ser divido en cuatro fases principales: latencia, exponencial, estacionaria y muerte (Kiely, G. 2 001).

Figura 1. Curva de crecimiento típica



Fuente: Infance, C. (2 003)

1.3.1 FASE DE LATENCIA

La fase de latencia o retardo es el tiempo que toman las bacterias para aclimatarse al nuevo ambiente antes de empezar el crecimiento. Durante esta fase aclimatación[4] la velocidad de crecimiento es cercana a cero. La fase de latencia puede ser muy corta, como cuando las bacterias que están creciendo exponencialmente son transferidas a un medio con una composición similar de nutrientes a los que tenían cuando estaban creciendo. La inoculación en un medio estéril con células en la fase estacionaria o la inoculación en un medio que tiene una composición diferente de nutrientes, puede dar como resultado una fase de 10 horas a 20 horas o más larga.

1.3.2 CRECIMIENTO EXPONENCIAL

La fase de crecimiento exponencial generalmente sigue a la aclimatación de los nutrientes que son usados para construir o sintetizar nuevo material celular. Inicialmente, el número de células (o masa celular) empieza a incrementar mensurablemente. El periodo corto entre el crecimiento cero y el verdadero incremento exponencial en función del tiempo, es algunas veces referido como el estado de crecimiento creciente. En el crecimiento exponencial, el número de células incrementa expoencialmente, como puede ser visto al representar el número o concentración de masa celular en papel semilogarítimico[5].

Tabla 3. Máximas tasas de crecimiento registradas para algunas bacterias, medidas a la respectiva temperatura óptima o cerca de ese valor en medio complejo

ORGANISMO	TEMPERATURA (ºC)	TIEMPO DE DUPLICACIÓN (HORAS)
Vibrio matriegens	37	0.16
Bacillus stearothermophilius	60	**0.14**

Continúa

[4] Eweis, J. Ergas, S. Chang, D (2 000). El énfasis está en la biodegradabilidad de un compuesto específico y no en el crecimiento de un cultivo degradador. pp. 90.

[5] N del A. Transformaciones logarítmicas Log(x) o Ln(x) pueden ser empleadas si los datos siguen una distribución Log normal. Ln(x) = 2.303 Log(x).

Tabla 3. Máximas tasas de crecimiento registradas para algunas bacterias, medidas a la respectiva temperatura óptima o cerca de ese valor en medio complejo (Continuación)

ORGANISMO	TEMPERATURA (ºC)	TIEMPO DE DUPLICACIÓN (HORAS)
Escherichia coli	40	0.38
Bacillus subtilis	40	0.43
Pseudomona putida	30	0.75 [a]
Vibrio marinus	15	1.35
Rhodobaster sphaeroides	30	2.2
Mycobacterium tuberculosis	37	≈ 6
Nitrobacter agilis	27	≈ 20 [a]

Fuente: Eweis, J. (2 000)
a Crecimiento en medio sintético

Durante el crecimiento exponencial, los cambios en el número de células bacterianas son directamente proporcionales al número de células presentes; esta relación puede ser expresada como:

$$\frac{dN}{dt} = kN \quad (1)$$

N = número de células por volumen del medio
t = tiempo en horas (h)
k = Constante de proporcionalidad, frecuentemetne referida como la tasa de crecimiento específico en t^{-1}

La ecuación puede ser integrada sobre un periodo de tiempo entre t = 0 y t durante el cual el número de células incrementa desde N_0 a N:

$$\int_{No}^{N} \frac{dN}{N} = \int_{0}^{t} kdt \qquad \text{Resultando:} \qquad \ln \frac{N}{N_0} = kt \quad \text{ó} \quad N = N_o e^{kt} \qquad (2)$$

La tasa de crecimiento específico K, durante el crecimiento exponencial está directametne relacionada al tiempo de duplicación (t_d). Para un tiempo de duplicación, $N = 2N_o$ y sustituyendo en la ecuación anterior:

$$\ln (2) = k\, t_d \rightarrow \qquad k = \frac{\ln (2)}{t_d} \qquad (3)$$

1.3.3 FASE ESTACIONARIA

La fase estacionaria inicia la tasa de crecimiento especifico tiende aproximadamente a cero después del crecimiento exponencial. En muchos casos la duración de la fase estacionaria es del orden de 12 horas a 36 horas. El crecimiento de este momento no está parado, pero el crecimiento neto es aproximadamente cero. Las células se dividen usando compuestos orgánicos acumulados o compuestos de células muertas y rotas (lisis). Todas las actividades metabólicas medidas como tasa de consumo de oxígeno, por ejemplo, son muy bajas. Las células pueden iniciar a formar esporas o entrar en otras rutinas necesarias para sobrevivir durante los periodos de limitación de nutrientes.

1.3.4 FASE DE MUERTE

Cuando las bacterias dejan de crecer, mueren. La muerte puede simplemente significar la inactivación de la actividad metabólica o ésta puede ser descomposición real de la célula. La fase endógena es el término empleado para describir la etapa en la cual las bacterias viables se están alimentando de material orgánico proveniente de células bacterianas muertas. El decrecimiento neto para el número de células microbianas debido a la muerte, puede ser aproximado como una función exponencial, similar al siguiente modelo:

$$\frac{dN}{dt} = - bN$$ b: tasa o cantidad constante de disminución del número de células.

1.3.5 MODELIZACIÓN DEL CRECIMIENTO Y BIODEGRADACIÓN BACTERIANA

Cuando las condiciones ambientales son las óptimas, el factor con mayor influencia sobre el crecimiento es la disponibilidad del sustrato. Jacques Monod, consideró una cinética modificada de

primer orden por ser la adecuada para describir la dinámica de crecimiento de un cultivo bacteriano, limitado solamente por la concentración de sustrato:

$$C_t = C_0\, e^{-kt} \qquad \text{ó} \qquad \ln \frac{C_o}{C_t} = \frac{M_{max} B_o}{Y}\, t = kt \qquad (4)$$

C_t = Concentración del sustrato en el tiempo t

C_o = Concentración del sustrato en el tiempo t_o

k = Tasa de degradación en t^{-1}

Modelos de biodegradación como estos están basados en suposiciones incluyendo un sustrato limpio, mayor concentración de células que un sustrato inicial, una baja concentración relativa del sustrato y sin periodo de aclimatación (Eweís, J. 2 000).

1.4 TECNOLOGÍA LANDFARMING

Landfarming es una tecnología de biorremediación a gran escala que se aplica sobre zonas superficiales del suelo o en celdas de biotratamiento (Cookson, J. 1 995), requiere excavación para ubicar suelos, sedimentos o lodos contaminados. El medio contaminado es aplicado en lechos nivelados y periódicamente deben ser removidos o arados para permitir la aireación del desecho. Las condiciones del suelo son a menudo controladas para utilizar el índice de degradación del contaminante. Esta técnica ha sido aplicada satisfactoriamente en la administración de lodos aceitosos y otros desechos de las refinerías de petróleos.

En este contexto, es necesario recalcar el valor de desarrollar tecnologías de biorremediación como alternativas para la recuperación de ecosistemas impactados. Es importante que esas tecnologías tomen en cuenta las propiedades del trópico, sobre todo las temperaturas elevadas y la alta precipitación.

La biorremediación fue usada en una forma no refinada durante muchos años por la industria petrolera de los Estados Unidos de Norteamérica. Esta tecnología surgió del conocimiento empírico de los operadores de las refinerías del petróleo, quienes desecharon los lodos de los separadores tipo API (Instituto Americano del Petróleo) y residuos aceitosos, en forma de una capa delgada sobre la parte superior del suelo en un sitio próximo a la refinería. Se dieron cuenta que la toxicidad de estos residuos desaparecía durante el curso de varios meses. Previo a una mayor regulación y estricto control, esta técnica llamada "Landfarming" (granjeo) fue ampliamente usada sin comprender los procesos que causaban la degradación de los lodos. Posteriormente fue entendida de una manera científica (Ferrer, M. 1 997).

Científicos académicos e industriales determinaron que algunos microorganismos, sobre todo ciertas bacterias, podrían utilizar los hidrocarburos del petróleo como alimento y fuente de energía. Las investigaciones demostraron que estos microorganismos eran los principales responsables de la descomposición de aceites en el lecho de los "Landfarming". Durante la biodegradación de los hidrocarburos del petróleo, las bacterias oxidan el petróleo a dióxido de carbono, agua y energía, y aproximadamente el 50 % del carbono en el petróleo es usado para biomasa bacteriana. Algunos de los hidrocarburos son muy resistentes, especialmente los hidrocarburos poliaromáticos (HPAs), los cuales no son utilizados totalmente, pero pueden ser oxidados parcialmente e incorporados en el material del suelo (EPA, FRTR. 1 995)[6].

Subsecuentemente, se hicieron investigaciones para determinar las condiciones óptimas de "biodegradación", para reproducir estas condiciones en el campo, y así acelerar el proceso "Landfarming". Se descubrió la necesidad de mantener el suelo muy húmedo (aproximadamente de 50 % a 75 % de la capacidad de campo), para mantener el contenido de humedad en las células bacterianas. También se descubrió que es muy importante mantener el suelo en condiciones aeróbias, porque la transformación de los hidrocarburos del petróleo en condiciones anaerobias es muy lenta o algunas veces inexistentes. De igual modo la adicción de nutrimentos inorgánicos, especialmente

[6] N del A. Federal Remediation Technology Roudtable.

nitrógeno y fósforo establecen en gran medida un estimulo para la biorremediación. Esto se debe a que los hidrocarburos de petróleo son casi exclusivamente hidrógeno y carbón, por lo que contiene muy pocas cantidades de otros elementos esenciales para las células bacterianas como son nitrógeno, fósforo, potasio y algunos minerales trazas.

La mayoría de estos descubrimientos sobre el metabolismo de la biodegradación de hidrocarburos se realizaron en laboratorios académicos. Posteriormente, ingenieros y otros profesionistas trabajando en la industria petrolera misma, así como en empresa dedicadas a la restauración ambiental, implementaron estos descubrimientos en el campo. La mayoría de los diseños usaron el esquema de los primeros “Landfarming” pero con más control. Usaron membranas plásticas debajo de la celda para no contaminar el suelo nativo e implementaron un sistema de drenaje para mantener condiciones aeróbias y recuperar los lixiviados; por lo general, se usaron tractores para remover el suelo contaminado y airearlo. Los nutrientes se agregaron a la celda en forma de polvo o soluciones que después se incorporaban al suelo contaminado, usando la misma remoción del tractor. Se mantuvo la humedad en la celda bombeando agua sobre el suelo periódicamente y removiéndolo.

Sin embargo, virtualmente todos los suelos y sedimentos que se han expuesto a hidrocarburos del petróleo contienen bacterias degradadoras de hidrocarburos. Es muy probable que lo mejor es la adaptación de las condiciones locales del suelo que la importación de bacterias aisladas provenientes de otras locaciones con diferentes suelos y condiciones climáticas. En este contexto, se han elaborado varios estudios en los últimos años que demuestran la presencia de bacterias que son biodegradadoras de petróleo.

Los avances alcanzados en el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos han sido aplicados al tratamiento de terrenos y acuíferos contaminados, esto es, biorrecuperación. Durante los últimos años, la mayor parte de los estudios publicados sobre biorrecuperación se han referido al tratamiento de aquellos terrenos contaminados con compuestos derivados del petróleo. Esto es en parte debido a que

la mayoría de los hidrocarburos derivados del petróleo son relativamente fáciles de degradar, y como tales son susceptibles de ser tratados mediante biorrecuperación, y en parte, debido al gran número de emplazamiento contaminados con hidrocarburos resultantes de fugas en depósitos de almacenamiento subterráneos.

La biorrecuperación constituye una tecnología de reciente implantación, hecho que debe ser tenido en cuenta que se lea la bibliografía referente al tema. Hasta la fecha de hoy, gran parte de las aplicaciones de la biorrecuperación han sido experimentales y los trabajos desarrollados se han dedicado a comprobar la aplicabilidad del método de biorrecuperación a unas determinadas condiciones del emplazamiento y a determinados contaminantes. La mayoría de la bibliografía publicada nombra casos en los que la biorrecuperación ha sido un éxito. Aquellos casos en los que la biorrecuperación no tuvo éxito, no se han pormenorizado de igual forma.

La disponibilidad del contaminante constituye un concepto complejo, relacionado con la afinidad de los contaminantes por las fases sólidas y gaseosas, la estructura intersticial de las fases sólidas y la presencia de las comunidades microbiana adecuadas. Todos los contaminantes tienen cierta afinidad hacia las fases sólidas y gaseosas. Muchos de los contaminantes más habituales poseen una baja solubilidad en agua y son absorbidos con gran intensidad por partículas sólidas.

Por ejemplo, los hidrocarburos derivados del petróleo son, en general, apolares y, de entre todas las fases, tienden a distribuirse en la fase sólida principalmente, lo que resulta en unas concentraciones de contaminantes en la fase líquida muy bajas. Los contaminantes pueden acumularse en intersticios microscópicos (normalmente, menores de 1 μm) demasiado pequeños para que las bacterias los colonicen. Debido a que los microorganismos toman los nutrientes de la fase líquida la tasa de biorrecuperación puede verse limitada por la velocidad con que se produce la desorción. Asimismo los hidrocarburos ligeros tienden a distribuirse principalmente en la fase gaseosa y la transferencia gas-

líquido puede llegar a convertirse en el proceso limitante de la ya mencionada tasa (Rittmann & McCarthy, 2 001).

En general, los procesos de tipo in situ incrementan la disponibilidad, debido a que los contaminantes pueden quedar retenidos en el interior de los intersticios.

Los proceso ex situ permiten un mayor control. Mediante la excavación y la mezcla que comprenden procesos tales como tratamiento en lechos o sólidos en suspensión, se desmenuzan los agregados y los microorganismos tienen, entonces una probabilidad mayor de entrar en contacto con los contaminantes. La mezcla en tratamiento de sólidos en suspensión se traduce en una agitación y un lavado superficial, los cuales pueden dar lugar a la emisión de algunos de los contaminantes absorbidos. En el tratamiento in situ, a veces se emplean los surfactantes. Algunos informes reivindican el éxito del empleo de surfactantes a costa de utilizar grandes dosis de los mismos, que podrían llegar a sumarse al problema de la contaminación (Infante, C. 2 003).

En la bibliografía, el éxito de la biorrecuperación, a menudo, se mide mediante el porcentaje de reducción en la concentración del contaminante en el terreno o las aguas subterráneas (Levin & Gealt, 1 997). Tales criterios resultan poco convincentes, ya que la biorrecuperación puede conseguir altos porcentajes de eliminación y aún así, no alcanzar los objetivos de depuración establecidos. Al mismo tiempo, los contaminantes pueden ser transportados más allá de los límites del terreno o las aguas contaminadas, o transformados de manera abiótica, a través de otro proceso, tales como volatilización, migración o fotoxidación. En tal caso, los objetivos de la biorrecuperación, la eliminación e inmovilización de los contaminantes, no se cumplirían necesariamente. Un proceso de biorrecuperación apropiado debería comprender controles que documenten el transporte de contaminantes, como por ejemplo una cubierta que recoja los materiales volátiles o pozos de seguimiento que detecten la migración del contaminante. Al mismo tiempo, se necesita obtener alguna prueba de que se ha llevado a cabo la biorrecuperación. Esta prueba puede ser en forma de aumento en

la actividad microbiana, aumento en la emisión de dióxido de carbono, aumento del consumo de oxigeno o presencia de productos metabólicos.

La propuesta de un Sistema Landfarming, como una tecnología alternativa para biorremediación de lodos contaminados con hidrocarburos de petróleo, puede ser considerada aplicando los siguientes pasos: evaluación de la efectividad de Landfarming, evaluación del diseño, evaluación de los Planes de Operación y Monitoreo, y realizando un Estudio de Impacto Ambiental que permita establecer el Plan de Manejo Ambiental de su construcción y operación.

1.5 EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL LANDFARMING

La efectividad de la tecnología Landfarming depende de algunos parámetros que pueden ser agrupados en tres categorías: características del suelo, características de los constituyentes y condiciones climáticas.

1.5.1 CARACTERÍSTICAS DE SUELOS CONTAMINADOS.

Densidad microbiana.- los suelos normalmente contienen una gran cantidad que diversos microorganismos incluyendo bacterias, algas, hongos, protozoos y actinomiceto. De estos organismos, las bacterias son los grupos bioquímicamente más activos y numerosos, particularmente a bajos niveles de oxígeno. Las bacterias requieren una fuente de carbón para el crecimiento y una fuente de energía para sostener funciones metabólicas requeridas durante el crecimiento; también requieren nitrógeno y fósforo principalmente para su crecimiento. El proceso metabólico usado por bacterias para producir energía requiere un aceptor de electrones para oxidación enzimática de la fuente de carbón a dióxido de carbono. Las bacterias que usan componentes orgánicos (por ejemplo constituyentes del petróleo y otros de naturaleza orgánica) como su fuente de carbón, son heterótrofas;

las que usan componentes de carbón inorgánico (dióxido de carbón) son autótrofas; las que utilizan oxígeno como aceptor de electrones, son aerobias; aquellas que usan un componente diferente del oxígeno (nitrato, sulfato) son anaerobias; y, aquellas que pueden utilizar oxígeno u otro componente como aceptor de electrones, son facultativas (Rittmann & McCarthy, 2001).

Las aplicaciones de Landfarming a hidrocarburos de petróleo requieren únicamente bacterias aerobias (o facultativas) y heterotróficas en los procesos de degradación (www.frt.gov/).

Para evaluar la presencia y población bacteriana que pueden contribuir a la degradación de los constituyentes del petróleo, se requiere un análisis de laboratorio de las muestras del suelo procedentes del sitio de estudio. Estos análisis, por lo menos, incluirán conteos de placa para bacterias heterótrofas. Los resultados del conteo de placa normalmente son reportados en términos de unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (UFC/g). La densidad microbiana típica en suelos, se encuentra en el rango de 10^4 UFC/g a 10^7 UFC/g. Para un Landfarming efectivo el mínimo conteo de placas heterótrofas debe ser 1 000.0 UFC/g. Un conteo de placa menor a 1 000.0 UFC/g indica la presencia de concentraciones tóxicas de componentes orgánicos o inorgánicos (API, Doc R-974-220).

pH del suelo.-El crecimiento bacteriano está soportado en un rango de pH de 6 a 8, con un valor óptimo cercano a 7. Los suelos con valor de pH fuera de estos rangos requieren ser ajustados durante las operaciones de Landfarming. El pH puede ser aumentado (mayor a 7) adicionando cal y disminuido adicionando azufre elemental (www.epa.gov/).

Contenido de humedad.- El suelo requiere un contenido de humedad apropiado. El exceso de humedad en el suelo, restringe el movimiento del aire por debajo de la superficie reduciendo la disponibilidad de oxígeno necesario para el proceso aeróbico. El rango ideal para la humedad del suelo se ubica entre 40 % y 85 % de agua (capacidad de campo) o entre el 12 % al 30 % en peso (Kiely, G. 2 001). Periódicamente debe añadirse humedad a las operaciones de Landfarming, considerando la

evaporación durante las operaciones de aireación mecánica o arado. Puede ocurrir una acumulación de humedad en el área de Landfarming, en sitios con alta precipitación pluvial o con pobres sistemas de drenaje.

La presencia de agua es necesaria ya que, como se ha visto con anterioridad, los microorganismos toman el carbono orgánico, los nutrientes inorgánicos y los aceptores de electrones, necesarios para el crecimiento microbiano, de la fase líquida. Por lo tanto, el agua debe estar en contacto con los contaminantes y estar presente en cantidades que permitan el desarrollo de las comunidades microbianas. Sin embargo, el agua puede llegar a inhibir el flujo de aire y reducir el suministro del oxígeno necesario para la respiración microbiana

Temperatura del suelo.- El índice de crecimiento bacterial es una función de la temperatura. La actividad microbiana del suelo disminuye significativamente a temperatura por debajo de 10 ºC y cesa por debajo de 5 ºC. La actividad de las bacterias más importantes en la biorremediación de hidrocarburos de petróleo también disminuye a temperaturas mayores de 45 ºC. En el rango de 10 ºC a 45 ºC, la actividad microbiana se duplica por cada 10 ºC que aumenta la temperatura (www.epa.gov). Dado que la temperatura del suelo varía con la temperatura ambiental, se tendrían periodos durante el año en que se observa un crecimiento bacterial y por lo tanto aumenta la degradación de los constituyentes. El periodo del año en el que la temperatura ambiental se encuentra en el rango de la actividad microbiana comúnmente es conocido como “Estación Landfarming”.

Concentración de nutrientes.- Los microorganismos requieren nutrientes inorgánicos tal como nitrógeno y fósforo que permiten soportar el crecimiento celular y sostener los procesos de biodegradación. Con frecuencia, además de los nutrientes disponibles en los suelos, es necesario añadirlos durante el Landfarming para mantener la población bacteriana. Debe observarse que cantidades excesivas de ciertos nutrientes, sulfatos y fosfatos pueden represar el metabolismo microbiano. Sin embargo una relación típica de carbón, nitrógeno, fósforo para los procesos de

biodegradación puede situarse en el rango de 100:10:1 a 10:1:0.5, dependiendo de los constituyentes específicos y microorganismos involucrados en el proceso de biodegradación. Estas concentraciones pueden ser comparadas con los requerimientos calculados de las relaciones estequiométricas del proceso de biodegradación. Una aproximación de la cantidad de nitrógeno y fósforo requerido para la degradación óptima de hidrocarburos de petróleo, puede ser calculada asumiendo que la masa total de hidrocarburo en el lodo, representa la masa de carbón disponible para la biodegradación; esta simplificación es válida dado que el carbón contenido en hidrocarburos de petróleo comúnmente encontrado es aproximadamente 90 % en peso de carbono.

Textura del suelo.- La textura afecta a la permeabilidad, contenido de humedad y densidad aparente del suelo. Por ejemplo suelos arcillosos presentan dificultades para la aireación lo que provoca como resultado una baja concentración de oxígeno; también dificultan la distribución uniforme de los nutrientes; y, retienen agua después de una precipitación pluvial. Estos suelos (arcillosos) pueden ser mejorados mezclándolos con materiales absorbentes para que durante el Landfarming se tenga un medio con textura compartida.

1.5.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS CONSTITUYENTES

Volatilidad.- La volatilidad de contaminantes es importante dado que los constituyentes tienden a evaporarse desde el Landfarming, particularmente durante las operaciones de arado mecánico mas que por biorremediación bacteriana. Los vapores emitidos desde un Landfarming se disipan hacia la atmósfera. Los productos del petróleo generalmente contienen más de un centenar de constituyentes diferentes que tienen un amplio rango de volatilidad. En general, gasolina, kerosén, y diesel contienen sustancias con suficiente volatilidad para evaporarse desde un Landfarming. La regulación ambiental nacional obliga el control de las emisiones de componentes volátiles orgánicos (Bogart & Lergue.

1988). El control involucra capturar los vapores antes de que sean emitidos a la atmósfera y ser tratados en procesos previos a su ventilación.

Estructura química.- La estructura química de los contaminantes presentes en lodos propuestos para tratamiento mediante Landfarming, es una condición muy importante para determinar el índice de biodegradación. Los constituyentes alifáticos y monoaromáticos de peso molecular bajo (menor a 9 átomos de carbón), son más fácilmente biodegradados que los constituyentes alifáticos o poliaromáticos orgánicos de mayor peso molecular.

La evaluación de la estructura química de los constituyentes a ser degradados mediante Landfarming, permite determinar cuales son los de mayor dificultad a degradar, que influye al estimar el tiempo de remediación, realizar los estudios de tratabilidad, realizar estudios piloto de campo y, en los planes de operación y monitoreo del Landfarming, durante el proceso de biodegradación (Cookson, J. 1995).

Concentración y toxicidad.- La presencias de altas concentraciones de petróleo orgánico o metales pesados en el sitio pueden ser tóxicos o inhibir el crecimiento y reproducción de la bacteria responsable de la biodegradación en un landfarming. Además, bajas concentraciones de material orgánico ocasionan una disminución de los niveles de actividad de la bacteria. En general, concentraciones en suelos de 10 000.0 ppm a 50 000.0 ppm de TPH, o concentraciones de metales pesados superiores a 2 500.0 ppm de TPH, son consideradas inhibidoras o tóxicas para la mayoría de los microorganismos.

Si las concentraciones de TPH son mayores a 50 000.0 ppm, o la concentración de metales pesados es superior a 2 500.0 ppm, el suelo contaminado debe ser diluido, mezclándolo con suelo no contaminado para que las concentraciones se mantengan por debajo de los niveles tóxicos (www.epa.gov/swe-rust1/cat/landfarm.htm).

1.5.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los sistemas Landfarming se construyen típicamente en campo descubierto y, por lo tanto, están expuestos a factores climáticos incluyendo lluvias, vientos tanto como a variaciones de temperaturas ambientales (Cookson, .1995).

Temperatura ambiente.- Influye en la temperatura del suelo e impacta, como fue descrito anteriormente, en la actividad bacteriana del suelo ubicado en el landfarming y consecuentemente en la biodegradación. El rango óptimo de temperatura para el Landfarming es de 10 ºC a 45 ºC.

Lluvias.- Las aguas lluvias que caen directamente o se desplazan alrededor del Landfarming incrementarán el contenido de humedad del suelo y producen erosión. Durante y después de una considerable precipitación pluvial, el contenido de humedad del suelo podría estar en exceso respecto al requerido para una efectiva actividad bacteriana; lo opuesto sería periodos prolongados de verano, donde el contenido de humedad podría estar debajo del rango efectivo, requiriendo la adición de agua. Sitios con precipitaciones anuales mayores a 30 pulgadas durante estaciones de Landfarming requieren un diseño Landfarming con cubiertas de protección, bermas perimetrales y un sistema colector de lixiviados para prevenir la contaminación de las corrientes subterráneas desde el Landfarming.

Viento.- Periodos de vientos muy pronunciados y particularmente durante el arado mecánico, pueden erosionar el Landfarming. Esto puede limitarse estableciendo hileras en el campo y aplicando periódicamente agua de humectación.

Los parámetros señalados anteriormente, excepto las condiciones climáticas, deben ser controlados durante el diseño y operación de Landfarming; por consiguiente, durante su evaluación e identificación, los mismos dan una medida de la efectividad cuando se sitúan en los rangos señalados,

lo que permite verificar el diseño del sistema. Las especificaciones de operación propuestas compensan para todas las condiciones que presenten los sitios.

1.5.4 DISEÑO DEL SISTEMA

Si lo verificado anteriormente, determina que en el sitio es posible realizar un Landfarming, se procede a definir un diseño básico del sistema y luego la ingeniería de detalle incorporando regulaciones oficiales vigente para el sitio.

La construcción de Landfarming incluye: cálculos del volumen de suelo a tratar; la preparación del sitio (limpieza del terreno, excavación y graduación de su textura); construcción de bermas; colocación de geomembrana; recolección y tratamientos de lixiviados; tratamiento previo del suelo; y facilidades para el tratamiento y control: rampa de acceso, máquinas de arado, contenedores de nutrientes y bacterias, y facilidades para humectar el suelo.

Es necesario implantar sistema de manejo de agua para el control de inundaciones y escorrentías. Esto usualmente se controla mediante bermas o diques que interceptan y desvían el flujo de agua.

Los vapores que se desprenden del Landfarming, deben supervisarse durante las fases iniciales para cumplir con límites de regulación en las descargas hacia la atmósfera.

Considerar métodos de ajuste periódicos del pH como de suministro de nutrientes, mediante adiciones de cal y/o azufre y fertilizantes mezclados con acondicionadores de suelos. La composición de soluciones ácidas/alcalinas y nutrientes son las que se fijaron en los estudios de tratabilidad; la frecuencia de su aplicación se modificarán durante la operación del Landfarming, cuando se lo requiera.

Generalmente es necesario colocar cercas para evitar que el público tenga contacto con material contaminado ubicado en el Landfarming.

Los constituyente volátiles presente en hidrocarburos del petróleo serán ser controlados desde el inicio de las operaciones.

1.5.5 PLANES PARA MONITOREAR LAS OPERACIONES Y EL PROGRESO DEL LANDFARMING

Plan operativo.- Los planes para operar un Landfarming considera definiciones previa relacionadas con la frecuencia de aireación, adicción de nutrientes y adición de humedad. Estos planes deben ser flexibles de manera que puedan ser modificados a partir de un monitoreo realizado a los suelos de Landfarming, considerando variación de las estaciones, temperatura ambiental y precipitación fluvial. En general, la aireación, aplicación de humedad y adicción de nutrientes será más frecuente durante las estaciones de verano.

Plan de monitoreo del progreso de la remediación.- Los suelos dentro de un Landfarming deberán ser monitoreados por lo menos cada trimestre durante la estación Landfarming para determinar pH, contenido de humedad, población bacteriana, contenido de nutrientes y concentración de los componentes químicos.

Los resultados de estos análisis son parámetros críticos en la operación óptima de Landfarming; serán usados para ajustar: frecuencia de aireación, tasas de aplicación de nutrientes, frecuencia y cantidad de humedad que se debe aplicar, y pH. Es muy importante que estos parámetros sean controlados en el rango óptimo establecido para la máxima tasa de degradación.

1.6 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Toda actividad que involucre intervenir en los ecosistemas, debe incorporar un análisis de los efectos que causaría su accionar, acompañado de los correspondientes planes de mitigación. En Petroecuador, es política de Petroindustrial[7], empresa que administra, entre otras, a la Refinería Esmeraldas, incluir la Variable Ambiental en los Términos de Referencia de las obras, bienes o servicios que se contraten, criterio vigente mediante disposición escrita de su Vicepresidente a partir del 26 de abril del 2002. En consecuencia, el presente Proyecto deberá establecer las interacciones entre sus fases de ejecución y los factores del entorno, que permitan la elaboración de un Plan de Manejo para minimizar los impactos al ambiente durante la construcción y operación de la celda Landfarming.

En algunos países los estudios Impacto Ambiental son obligatorio para ciertos proyectos que exceden de un determinado mínimo financiero. Desafortunadamente este enfoque desprecia la importancia del planteamiento ambiental de un proyecto. La extensión y significación de un impacto concreto depende no sólo del agente causante, por ejemplo la cantidad de un contaminante, sino también de la sensibilidad del medio receptor. Alternativamente se pueden designar zonas sensibles en las que sea necesario un estudio de Impacto Ambiental para proyectos específicos. Este enfoque contiene el supuesto implícito de que sólo determinados proyectos son dañinos para ciertas características ambientales.

Existen numerosos modelos y procedimientos para la evaluación de impactos sobre el ambiente o sobre alguno de sus factores, unos generales, que pretenden ser universales; otros métodos aparecen como específicos para situaciones o aspectos concretos; algunos cualitativos; otros operando con amplias base de datos e instrumentos de cálculo sofisticado, de carácter estático, dinámicos, etc. Merece destacar que estos métodos fueron elaborados para proyectos concretos, resultando de esta

[7] N del A. Petroindustrial, Empresa Filial de Petróleos del Ecuador, dedicada a la refinación del petróleo.

manera su generalización complicada, aunque resulten válidos para otros proyectos similares a los que dieron origen al método en cuestión. En consecuencia, cada organización debe establecer sobre sus propias características operativas, un método que justifique su aplicación sobre criterios preparados por un equipo multidisciplinar conformados a partir de su plana técnica.

El método que se aplicará en este proyecto de investigación es el de "Sistema de Red y Gráficos". De ellos, destaca los métodos cualitativos, preliminares y muy valiosos para valorar las diversas alternativas de un mismo proyecto: matriz causa-efecto, lista de chequeo, matriz de identificación de efectos y matriz de importancia (Conesa, F. 1997).

El uso de listas positivas y negativas es un método de identificación muy simple, utilizado para evaluaciones preliminares. Son útiles para prestar atención sobre los impactos más importantes que puedan tener lugar como consecuencia de la ejecución del proyecto. Sobre una lista de acciones y efectos específicos se marcarán las interacciones más relevantes, utilizando un baremo sencillo que puede ir de -1 a +1. Estas listas irán acompañadas de un informe detallado de los factores ambientales considerados, constituyendo en sí el estudio de evaluación más que las mencionadas listas.

La matriz causa-efecto consiste en un cuadro de doble entrada -matriz- en el que se disponen como filas los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las acciones que vayan a tener lugar y que serán causa de los posibles impactos. El sumar por filas nos indicará las incidencias del conjunto sobre cada factor ambiental, esto se conoce como la fragilidad ante el proyecto. La suma por columna nos dará una evaluación relativa del efecto que cada acción produciría en el ambiente, esto se conoce como agresividad.

De esta manera la matriz se convierte en un resumen y en el eje del estudio del impacto ambiental adjunto a la misma, que nos sirvió de base a la hora de evaluar la magnitud y la importancia. Se deben evitar duplicaciones de las interacciones obtenidas en la matriz, ya que se nos puede presentar la

misma interacción con distinto nombre, enmascarada como otra distinta haciendo que se estudie como duplicado una misma interacción.

La decisión de recoger la información ambiental, llevar a cabo un estudio de impacto ambiental y preparar la declaración ambiental derivadas de las actividades del proyecto, permitirá preparar el Plan de Manejo Ambiental que se aplicará durante las fases de construcción del mismo. La habilidad del especialista en recoger información ambiental está en conocer exactamente qué datos son relevantes y en la medida que sea científicamente factible saber como se espera que cada efecto estimado modifica al entorno.

Una vez que se han reunido y examinados los principales datos suele darse el caso de que parece que sólo unos pocos efectos son realmente decisivos para determinar si al proyecto se le debe dar o no el permiso de planificación e Implementación. Son estos efectos significativos los que deben someter a un análisis más detallado y profundo por el equipo de evaluación ambiental, más que una cobertura amplia pero menos profunda de todos los efectos previstos (Canter, L. 1997).

El objetivo básico de las Evaluaciones de Impacto Ambiental es evitar posibles errores y deterioros ambientales que resultan costosos de corregir posteriormente.

El proyecto Landfarming debe considerarse desde el punto de vista de su interacción recíproca con el medio, y, por tanto, en términos de utilización racional de este y de los efectos del proyecto sobre él. Las diferente etapas de las que se compone el proyecto, se recogerán de forma resumida de modo esquemático. En general, y aunque no deben establecerse índices rígidos, se expone a continuación una adaptación realizada en atención a su simplicidad, como metodología propuesta, derivada de lo establecido en el "Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíficas en el Ecuador". La metodología propuesta incluye:

1.6.1 FICHA TÉCNICA

Se presentarán de forma resumida los principales elementos de identificación del estudio.

1.6.2 INTRODUCCIÓN

Contendrá el marco conceptual en el que inscribe el estudio así como una descripción del contenido global y las distintas partes del mismo.

1.6.3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL-LÍNEA BASE

Describe y caracteriza el área, lo cual servirá de parámetro para la identificación de las áreas sensibles y la definición del Plan de Monitoreo Ambiental. Incorporará la evaluación detallada de la situación actual de los siguientes componentes ambientales: Medio Físico, Medio Biótico y Aspectos Socioeconómicos y Culturales de la Población, que habita en el área de influencia.

1.6.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Se describen la operación técnica y las actividades que podrían tener efectos ambientales en cada una de las fases operativas del proyecto.

1.6.5 DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA Y ÁREAS SENSIBLES

Identifica las áreas a ser impactadas, en las cuales deben adoptarse medidas específicas o evitarse determinadas actividades, de conformidad con la fase de las operaciones de que se trate.

1.6.6 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS

La elección de las técnicas de evaluación y valoración de impactos observará los siguientes criterios:

Registrar las acciones de tal manera que sean lo más representativas. Comprenderá la identificación de acciones del proyecto potencialmente impactantes y la identificación de los factores del medio potencialmente impactados. La guía para tal propósito será el cronograma valorado de construcción del Sistema.

El proceso de verificación de una interacción entre la causa (acción considerada) y su efecto sobre el medio ambiente (factores ambientales), se materializará realizando una marca gráfica (+ ó -) en la celda de cruce correspondiente en la matriz causa-efecto, desarrollada especialmente para cada etapa del proyecto, obteniéndose como resultado la denominada Matriz de Identificación de Impactos Ambientales. Para la predicción de los impactos ambientales, se requiere valorar la importancia y la magnitud de cada impacto identificado previamente.

La importancia del impacto de una acción sobre un factor se refiere a la trascendencia de dicha relación, al grado de influencia que de ella se deriva en términos de calidad ambiental, para lo cual se utiliza la información desarrollada en la caracterización ambiental (1.6.3), aplicando una metodología basada en evaluar la característica de Extensión, Duración y Reversibilidad de cada interacción e introduciendo factores de ponderación de acuerdo a la importancia relativa de cada característica.

Las características consideradas para la valoración de la importancia se las define de la manera siguiente:

a) Extensión**.-** Se refiere al área de influencia del Impacto Ambiental en relación con el entorno del proyecto.

b) Duración**.-** Se refiere al tiempo que dura la afectación y que podrán ser temporal permanente o periódica, considerando, además, las implicaciones tipo de afectación de la interacción analizada futuras o indirectas.

c) Reversibilidad**.-** Representa la posibilidad de reconstruir las condiciones iniciales una vez producido el impacto ambiental

El cálculo del valor de importancia de cada impacto, se realiza utilizando la ecuación[8]:

$$lMP = We \times E + Wd \times D + Wr \times R \qquad (5)$$

lMP = Valor calculado de la importancia del impacto ambiental

E = Valor del criterio de Extensión

We = Peso del criterio de Extensión

D = Valor del criterio de Duración

Wd = Peso del criterio de Duración

R = Valor del criterio de Reversibilidad

Wr = Peso del criterio de Reversibilidad

Se debe cumplir que: $We + Wd + Wr = 1$ (6)

Con los siguientes valores para los pesos o factores de ponderación:

Peso del criterio de Extensión,	We = 0.20
Peso del criterio de Duración	Wd = 0.40
Peso del criterio de Reversibilidad	Wr = 0.40

[8] N. del A. Valoración establecida y adoptada por consenso en Refinería Esmeraldas para el presente proyecto.

Valores adoptados dado que el área de influencia del proyecto se circunscribe en lo que es la zona del Landfarming, con implicaciones puntuales y directas, por tanto el criterio de extensión posee menor influencia que los dos restantes. Para los criterios de puntuación de la importancia IMP y magnitud M, podrán aplicarse los siguientes valores, en un rango de 1 a 10, según la Tabla 4.

Tabla 4. Puntuación de la Importancia y Magnitud

CARACTERÍSTICAS DE LA IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL	PUNTUACIÓN DE ACUERDO A LA MAGNITUD DE LA CARACTERÍSTICA				
	1.0	**2.5**	**5.0**	**7.5**	**10.0**
EXTENSIÓN	Puntual	Particular	Local	Generalizada	Regional
DURACIÓN	Esporádica	Temporal	Periódica	Recurrente	Permanente
REVERSIBILIDAD	Totalmente reversible	Medianamente reversible	Parcialmente irreversible	Medianamente irreversible	Totalmente irreversible

Fuente: PSI-REE. (2003)

Por consenso, la *magnitud* M tomará la escala de 1 a 10, con valores puntuales de 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 y 10.0. Valores de 1.0 y 2.5 corresponden a interacciones de poca incidencia sobre la calidad ambiental del factor.

Finalmente se proporciona el carácter o tipo de afección de la interacción analizada, es decir, designarla como de orden positivo o negativo. La Valoración del Impacto[9] responderá, de acuerdo a la metodología que se propone, al cálculo de la media geométrica:

$$I = \pm (IMP \times M)^{0.5} \qquad (7)$$

De acuerdo a la metodología, un impacto I puede alcanzar el valor máximo de 10 y mínimo de 1, con una categorización definida como:

[9] N. del A. Valoración establecida y adoptada por consenso en Refinería Esmeraldas para el presente proyecto.

Impactos Altamente Significativos.- Son aquellos de carácter negativo, con Valor de Impacto ≥ 6.5, con afecciones de elevada incidencia sobre el factor ambiental, difícil de corregir, de extensión generalizada, con afección de tipo irreversible y de duración permanente.

Impactos Significativos.- Son aquellos de carácter negativo, con Valor de Impacto ≤ 6.5 y ≥ 4.5, factibles de corregir, de extensión local y duración temporal.

Impactos Despreciables.- Son aquellos de carácter negativo, tienen Valor de Impacto ≤ 4.5; pueden ser corregidos y compensados durante la ejecución del Plan de Manejo Ambiental, son reversibles, de duración esporádica y con influencia puntual.

Impactos Benéficos.- Son aquellos de carácter positivo benéficos para el proyecto.

1.6.7 ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

La elaboración de los planes detallados integrará las acciones posibles de realizar para aquellas actividades que impliquen un impacto no deseado e identificar responsabilidades, los procesos, tecnologías, diseño, operación y otros, para reducir los impactos ambientales negativos cuando corresponda.

1.7 VENTAJAS E INCONVENIENTES

Las ventajas de los sistemas de tratamiento en lechos son los bajos costos de inversión y explotación en el tratamiento de residuo que tengan concentraciones relativamente altas de metales. Las desventajas de estos tratamientos son las grandes necesidades de espacio y el hecho de que los

procesos de degradación necesitan de mucho tiempo y puede que nunca se terminen. La fuerte adsorción de productos químicos hidrófobos, especialmente contaminantes aclimatados por la intemperie, puede hacer de ellos inaccesibles a la biodegradación y originar una persistencia muy duradera. Gracias a que el laboreo facilita el contacto con la atmósfera, pueden esperarse altas tasas de volatilización. Es muy probable que se emitan compuestos orgánicos volátiles biológicamente recalcitrantes o refractarios. Para ayudar al control de la volatilización se deben preparar lechos dentro de estructuras de tipo invernadero, que tienen la ventaja añadida de que aumentan la temperatura del suelo, en estos casos, la estructura podría equiparse con sistemas de ventilación, control y recuperación de emisiones.

En todos los proyectos de biodegradación es necesario incluir, previo a su ejecución, la implementación de un Plan de manejo Ambiental, que facilite atenuar los impactos asociados con la intervención del proyecto en los ecosistemas.

CAPÍTULO II

2 METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.1 MATERIALES

Suelo natural arcilloso procedente del límite de propiedad.

Lodos contaminados con hidrocarburos de los cubetos y canales aceitosos.

Matriz lodo aceitoso-suelo natural al 5 % P/P y 10 % P/P.

Acondicionador natural de suelos: biosoil.

Unidades experimentales de PVC para las pruebas, de 0.02 m^3.

Palas de PVC tipo jardinera.

Recipientes de vidrio boca ancha con capacidad para 5.0 L.

Tubos de desprendimiento para el control de gases generado en el tratamiento.

Nitrato de potasio (50 ppm) y roca fosfórica.

Pool bacteriano formado con cada germen aislado en cultivo puro.

Geomembrana HDPE 1.0 mm, 1 978 m^2.

Tubos de PVC Φ =150 mm, 132 m.

Arena de relleno, 345 m^3. Tamiz Nº 50, Φ = 0.3 mm.

Grava de relleno, 305 m^3. Φ = 12.5 mm.

Tubería de PVC Φ = 25 mm, 120 m.

Hormigón, 1 m^3

Fundas de polietileno de 10 libras de capacidad.

Aspersores.

Cámara fotográfica digital.

2.1.2 EQUIPOS

Se utilizaron equipos y reactivos de los laboratorios de la Unidad Control de Calidad de la Refinería Estatal Esmeraldas. Los ensayos microbiológicos fueron realizados en laboratorios contratados mediante tercerización con la Compañía Integral Environmental Biotechnology.

Nefelómetro de Mac Farland.

Balanza analítica, electrónica, Boeco-BPB31, rango de temperatura +10 ºC a 30 ºC.

Oxitop OC110 controller, WW.

Oxitop.C measuring heads, WW.

Estufa Fisher-30-G, serie 342.

Contador de placas, Comecta Digital.

Maquinaria pesada para desbroce de maleza y excavación.

Maquinaria pesada para carga y retiro de material excavado.

Compactadora de arcilla y talud.

Equipo multimedios de la Unidad Protección Ambiental de Refinería Esmeraldas.

Respirómetro para evaluar en campo la evolución de CO_2.

Estación Meteorológica portátil, Weather, monitor II.

Herramienta menor para excavaciones.

GPS-12, S/N36806311, GARMIN.

Unidad de digestión “Bloc- Digest” y destilador Pro-Nitro, Selecta.

Equipo de reflujo, Glas Col, Bureta digital III de 50 ml BRAND.

Oxitop Box, WTW.

Espectrofotómetro infrarrojo doble haz, SHIMADZU FTIR-8400-S.

Conductímetro, Orión, model 162.

Potenciómetro Metrohm-692.

Mezclador Magnetic Stirrer, K-STIR-20.

Rodillo, volquetas, concretera, motonivelador y cargador.

2.1.3 MÉTODOS

2.1.3.1 Caracterización del sitio y del suelo natural

Para caracterizar la meteorología típica de la zona donde se implementó el proyecto, se aplicaron observaciones de lecturas directas medidas por la estación meteorológica del INOCAR y confirmada con la estación meteorológica portátil Weather monitor II.

Las muestras de suelo natural se obtienen por el método de perforación a cielo abierto, hasta 1.5 m.

Los parámetros físicos se determinaron por métodos potenciométrico y gravimétrico: pH, con electrodo calibrado sobre suspensiones de suelo en agua destilada al 1:1 p/v; densidad aparente según método de probeta; densidad real, método del picnómetro según ASTM-70; contenido de humedad, método gravimétrico ASTM estándar (evaporación a 105 ºC durante 12 horas). El contenido de carbón orgánico y la densidad microbiana, se evaluaron por oxidación con $K_2Cr_2O_7$ y por conteo en placas sobre una matriz acuosa, respectivamente.

2.1.3.2 Caracterización de lodos contaminados con hidrocarburos

Muestreo.- Se escogió una muestra contaminada procedente del cubeto Y-T8046, el mismo contiene material contaminado con crudo de 24.6 ºAPI, como consecuencia de un derrame por rebosamiento accidental, afectando a 820 m^2 de área superficial del cubeto o dique. Se aplicó un muestreo dirigido sobre una red reticular, tipo grilla, separadas a 10 m. Las muestras compuestas se tomaron en los puntos de intersección de cada rejilla a 0.15 m de profundidad; por cada cinco puntos se procedió a tomar una porción de muestra adicional. Este método se justifica por cuanto el material derramado es conocido, se cuenta con información del sitio, la extensión del material contaminado es conocida y se tiene registro de la ocurrencia de la fecha del derrame. En el sitio fueron separadas porciones de raíces de plantas y gramíneas que presentó la muestra, se procedió a homogenizar manualmente la muestra compuesta con espátula de acero inoxidable para obtener las submuestras por división.

El material resultante fue colocado en recipientes de vidrio de boca ancha, sellándolos con teflón para evitar evaporaciones de hidrocarburos ligeros, previo su entrega para análisis en laboratorio Control de Calidad. Se preservaron a 4 ºC.

Se aplicaron métodos gravimétricos para fijar los parámetros físicos de la muestra a ensayar.

Humedad de campo. Método gravimétrico ASTM D-70.

Potencial de hidrógeno. Determinación potenciométrica en suspensiones de lodo en agua (1:1 P/V), según APHA.

Temperatura. Determinación directa con termómetro ASTM-9C.

Textura del material. Medición semi-empírica, obtenida a partir de las mediciones de densidad real y densidad aparente.

Hidrocarburos totales de petróleo. Determinación gravimétrica por extracción con tetracloruro de carbono, ASTM-D-428.1.

Determinación de nitrógeno orgánico. Digestión de la muestra, seguido por una destilación (Kjeldahl), Standard Methods 4500 – Norg B.

Carbono orgánico. Oxidación con dicromato de potasio diluido en un medio fuertemente ácido, (Walkey-Black).

Determinación demanda química de oxígeno. Standard Methods 5220-B.

Determinación demanda bioquímica de oxígeno. Standard Methods 5210-B.

Determinación de metales pesados: Cadmio, Níquel y Plomo. Digestión ácida de la muestra y determinación directa por espectrofotometría. Standard Methods- 3 500 Cd, 3 500 Ni y 3 500 Pb.

2.1.3.3 Diseño del sistema de tratamiento

Se aplicaron cálculos numéricos relacionados con los estándares de diseño y construcción definidos en el punto 3.3.1 y en el punto 3.3.2.

2.1.3.4 Plan de Manejo Ambiental

El método empleado es el de Sistema de Red y Gráficos.

2.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

El esquema de trabajo aplicado facilitó establecer claramente los requerimientos del sitio, la adecuación del mismo, el plan de operaciones, el plan de monitoreo y estimar los tiempos de tratamiento. Esto permitió definir la estructura de costos que es uno de los factores importantes para implementar el proyecto.

Las características meteorológicas típicas de la zona en la que se ubicó el proyecto Landfarming fueron obtenidas de la estación meteorológica del INOCAR; confirmadas mediante registros realizados con una estación meteorológica portátil utilizada en los estudios de inmisión que se coordinan con la Universidad Central del Ecuador.

2.2.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE NIVEL UNO

Se realizaron ensayos de tratabilidad rápido y económico. Comprende la caracterización del residuo y del sitio donde se aplicó el tratamiento. La caracterización del suelo nativo no contaminado consideró análisis de pH, humedad, temperatura, nutrientes, porosidad, densidad real, materia orgánica, textura y densidad microbiana.

a) Se identificó el origen del lodo, sedimento o suelo contaminado con hidrocarburo de petróleo. El lodo seleccionado corresponde a material contaminado del cubeto que contiene al tanque

Y-T8046, que almacena crudo de petróleo. El suelo natural corresponde al que se encuentra ubicado dentro de los límites de propiedad de Refinería Esmeraldas (22 Ha).

Las pruebas de biodegradabilidad se obtuvieron de la relación porcentual DBO/DQO. La DQO se determinó por el método de reflujo abierto con dicromato de potasio sobre una dilución al 4 %. La DBO se determinó por el método de incubación, a 20 ºC en botellas de Winkler, asegurando un consumo de oxígeno entre 2.0 mg/L y 6.0 mg/L en cinco días. El método se fundamenta en el Code Federal of Regulation que considera una biodegradación, si la correlación {DBO / DQO} es mayor al 60 %.

Los análisis adicionales comprendieron el secado de 10 kg de suelo virgen, a temperatura ambiente y en sombra durante una semana. El secado en estufa se realizó a 105 ºC durante 12 horas a efectos de prevenir alteraciones en las propiedades químicas del suelo. Una vez secado el suelo se molió en mortero y tamizó a través de una malla de 2 mm de abertura. Se analizaron las características físicas y químicas mediante la determinación de los siguientes parámetros: textura aplicando el hidrómetro de Bouyoucos, pH mediante potenciómetro; materia orgánica determinada por el método de Walkley-Black, que consiste en una oxidación con dicromato de potasio diluido en un medio fuertemente ácido, el dicromato oxida la materia orgánica, la parte que no reacciona se cuantifica con sulfato ferroso amoniacal valorado, de esta manera el contenido de materia orgánica corresponde a la suma de materia biogénica y materia petrogénica; densidad real mediante aplicación del picnómetro; densidad aparente con aplicación de probeta; porosidad obtenida mediante relación entre densidad real y aparente; nutrimentos inorgánicos, concentración de hidrocarburos (TPH), metales pesados, humedad de campo y temperatura.

b) Se prepararon muestras en una matriz natural lodo aceitoso/suelo no contaminado, en concentraciones de 5 % p/p y 10 % p/p. La bioestimulación incluyó la adición de agua, aireación manual tres veces por semana, fertilizante y acondicionador de suelo, manteniendo tres

replicaciones[10] de cada proporción con el propósito de registrar las variaciones del TPH durante 69 días de tratamiento. El propósito es determinar la matriz que presente la mejor tasa de reducción de TPH y de biodegradabilidad mínimo de 60 % (DBO/DQO).

La matriz lodo aceitoso/suelo no contaminado en las proporciones indicadas, se obtuvieron mediante preparación previa a partir de la más alta concentración, esto es 10 % p/p, para evitar aglutinación y formación de grumos. Por lo tanto, la muestra de menor concentración se prepara a partir de la proporción 10 % p/p. Los frascos de vidrio conteniendo las muestras para análisis, se sometieron a agitación utilizando el quipo Magnetic Stirrer durante dos horas, con el objeto de homogenizar el hidrocarburo y se dejaron en reposo por siete días para favorecer aún más la adsorción de los hidrocarburos en las partículas del suelo. La mezcla lodo aceitoso/suelo se mantuvieron tapadas con cinta de teflón para evitar fuga por volatilización.

2.2.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE NIVEL DOS

Se realizaron ensayos sobre lodo contaminado con hidrocarburos de petróleo, de la misma procedencia que el utilizado en el nivel uno, mediante inoculación con bacterias aisladas del mismo material contaminado. Con los ensayos biológicos se trata de aislar, identificar y reproducir cepas bacterianas endógenas, capaces de biodegradar lodos contaminados con hidrocarburos.

El control fue establecido con igual material contaminado, sin inoculación, a partir de la matriz óptima que presentó el ensayo de nivel uno.

La aplicación de un plan de monitoreo a los sistemas preparados, fue dirigida para determinar la evolución de los recuentos bacterianos, tasa de crecimiento microbiano, tasa de biodegradación y reducción del contenido total de petróleo.

[10] Infante, C. (2003). Los ensayos a nivel de Microcosmos deben evitar la lixiviación. El tratamiento incluye: contaminante + suelo natural + fertilizante + acondicionadores + agua + aireación. pp. 19 – 20.

2.2.2.1 Parte microbiológica.

Toma de muestras y conservación**. -**Las muestras de suelo contaminados con crudo, fueron tomadas en la Refinería Estatal de Esmeraldas, cubeto del Y-T8046 desde el horizonte superficial hasta una profundidad de 0.15 m.

Aislamiento de gérmenes de las muestras traídas al laboratorio**.-** Las muestras de suelo contaminado con crudo se procesaron de la siguiente manera (cada muestra en paralela): Primeramente se procedió a homogeneizar cada una de las muestras, para luego tomar de ellas 0.05 kg. A continuación se procedió a formar una suspensión con cada una, para después sembrar en placas que contenían los medios nutritivos necesarios con el fin de aislar los gérmenes.

Las actividades para el aislamiento de cepas bacterianas fueron: Preparación de los medios de cultivo para el aislamiento de los gérmenes; Siembra por superficie en placas Petri, con el medio de cultivo necesario para el aislamiento; y clasificación morfológica, empleando una coloración gram en una observación microscópica.

Aislamiento de gérmenes en cultivos puros**.-** Una vez aisladas las cepas, se procedió a su identificación mediante coloración Gram y la observación microscópica, a efectos de comprobar su pureza. Posteriormente los cultivos puros identificados fueron colocados en medios de conservación, de donde se tomaron alícuotas para las correspondientes pruebas de degradación de TPHs y conteo bacteriano. Esta actividad incluyó: preparación de los medios para cultivo puro, selección de los cultivos después del aislamiento inicial de los cultivos puros, selección de las cepas y realización de una identificación presuntiva, luego de realizar determinadas pruebas.

Formulación del medio de cultivo para la preparación del inóculo bacteriano en las pruebas de degradación de los sistemas**.-** El primer paso consistió en buscar un medio muy similar al de cada uno de los sistemas de tratamiento, para lo cual se pensó que era primordial darle condiciones de adaptación a las bacterias para que estas pudieran realizar su labor de una manera efectiva al llegar a los sistemas de tratamientos.

Ello consistía en que al adaptar a las bacterias en un medio que presente ciertas cantidades de las sustancias de las unidades experimentales, estas no sufrirían estrés metabólico que pudiera afectar su crecimiento al efectuarse el cambio hacia las Unidades de tratamientos.

Preparación del Inóculo Bacteriano**.-** Se procedió a preparar un pool, tomando una concentración bacteriana de cada germen aislado en cultivo puro, formando una suspensión de $2x10^8$ UFC/ml, en una solución fisiológica salina. (Ref.. Nefelómetro de Mac Farland).

Recuento microbiano de cada uno de los sistemas de evaluación**.-** Los recuentos fueron efectuados para cada una de las unidades experimentales, registradas con la denominación U1 y U2 con la finalidad de evaluar su viabilidad microbiana en los sistemas de biodegradación, los mismos están detallados de acuerdo a las fechas de extracción de las muestras y constituyen el recuento máximo microbiano, para cada una de las unidades U1 y U2.

2.2.2.2 Parte bioquímica.

Con el propósito de determinar la capacidad de las bacterias para degradar y reducir la concentración de contaminantes presentes en las muestras de lodos aceitosos, se desarrollaron pruebas de mezcla óptima utilizando suelo contaminado con crudo, acondicionador de suelos comercial de origen natural (Biosoil) y bacterias. En dichas pruebas se mantiene constante la cantidad de suelo contaminado con

hidrocarburo (0.5 kg), y se varía la cantidad de Biosoil. Tratándose de lodos aceitosos, es importante para los trabajos de campo que la relación lodo y suelo sea la más baja posible, por cuanto la disponibilidad de suelo natural siempre es un limitante serio en el proceso de tratamiento.

Tabla 5. Unidades experimentales aplicadas en el ensayo de laboratorio

Suelo contaminado (kg)	**Biosoil (kg)**	**Pool Bacteriano (L)**	**Unidades de experimentación**
0.5	0.150	0.02	U1
0.5	0.300	0.02	U2

Fuente: PSI-REE. (2 003). O/T 037-PSI-2003

Preparación de unidades experimentales**.** En recipientes plástico boca ancha, con capacidad para 10 kg se procedió a instalar en sus tapas, tubos de desprendimiento, para el control de gases generados durante el tratamiento de los residuos. Cada unidad de tratamiento fue etiquetada, para su identificación y control eficiente.

Pesaje y preparación de mezclas**.-** En una balanza electrónica se pesaron las cantidades de Biosoil; mientras que para el lodo se utilizó una balanza técnica comercial. Las mezclas se prepararon utilizando palitas de jardinería una para cada muestra. Se homogenizaron y compactaron con el propósito de crear condiciones anaeróbicas en el fondo de las unidades experimentales. Dejando floja la superficie, para que tenga lugar la digestión aeróbica.

Seguidamente se introdujeron las celdas en el termostato a 37 °C para que se produzca la degradación bajo condiciones controladas.

Control de parámetros de proceso.- Al efecto, se hace constar los valores iniciales de concentración de TPH y metales pesados, que serán considerados durante la valoración de la tasa de degradación. Además, población bacteriana, pH, humedad y conductividad. En la tabla de control, la validación

inicial de TPH se realizó el 04-06-2003. El tratamiento en sí se inició el 16-06-2003, que es la fecha considerada como día cero, de ahí que el día 24-06-2003 sea considerada el día ocho del tratamiento, por ejemplo.

Mantenimiento de taza de crecimiento de la población bacteriana.- Con el fin de mantener los niveles de población de bacterias activas se adicionaron cada 28 horas, 0.02 L de pool bacteriano.

2.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Con los resultados de los niveles uno y dos, se procedieron a determinar los rangos de efectividad del Landfarming y los parámetros para el diseño del sistema: volumen promedio anual de material generado, necesidad del terreno, layaut del Landfarming, construcción del Landfarming, especificaciones del equipo para aireación, necesidad de agua, ajuste de pH, adición de humedad, suministro de nutrientes, controles de seguridad física y su Plan de Manejo Ambiental. Se elaboraron los Términos de Referencia conteniendo las especificaciones sobre las cuales se va a soportar la implementación del proyecto.

2.4 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

El Plan de Manejo Ambiental fue establecido de acuerdo al siguiente procedimiento:

Se definió el entorno del proyecto y su ubicación física.

Diagnóstico Ambiental - Línea Base.- Se procedió a definir los componentes de la Línea Base que permitieron describir y caracterizar el Área de Construcción del Proyecto. Para el efecto, los componentes ambientales que fueron considerados son: Bióticos, Abióticos y Antrópicos.

Los subcomponentes ambientales que se consideraron fueron: Suelo, Aire, Agua, Medio Perceptual, Fauna, Flora y Economía.

Para la Evaluación del Impacto Ambiental del Sistema Landfarming, se conformó un registro de acciones de tal manera que constituyeron las más representativas. Comprende la identificación de acciones del proyecto potencialmente impactantes y la identificación de los factores del medio potencialmente impactados.

Identificación de Impactos Ambientales.- El proceso de verificación de una interacción (acción considerada, factores ambientales), se materializo realizando una marca gráfica en la celda de cruce correspondiente en la matriz causa-efecto, desarrollada especialmente para cada etapa del proyecto, obteniéndose como resultado la denominada Matriz de Identificación de Impactos Ambientales, tanto para la etapa de construcción como para la fase de operación.

Se proporciona el carácter o tipo de afección de la interacción analizada, es decir, designarla como de orden positivo o negativo**.** Para la calificación de impactos se utilizaron los tres colores universalmente manejados para este tipo de estudios, como se detalla a continuación:

a) Verde: usado para señalar las acciones que son ejecutadas sin que el medio perciba ningún tipo de impacto.

b) Amarillo: con este color se indica las acciones ejecutadas las cuales generan impactos sobre el medio pero que son absorbidos por el mismo en un tiempo determinado.

c) Rojo: indica las acciones que al ejecutarse ocasionan impactos graves a severos sobre el medio, y para estos se deben elaborar fichas de manejo ambiental.

Matriz de Importancia.- A partir de la matriz de identificación de impactos, la valoración cualitativa de la matriz de importancia, nos dará una idea del efecto de cada acción impactante sobre cada factor impactado, aplicando el algoritmo (5) descrito en el punto 1.6.6.

A continuación se procederá a calcular la magnitud (M) previsible de los impactos producidos por las acciones del proyecto o actividad sobre el ambiente (Tabla 4).

Matriz de Valoración de impactos.- Mediante la ecuación (7) referida en 1.6.6, se procedió a la valoración global que permitirá adquirir una visión integrada y completa de la incidencia ambiental del proyecto, tanto en la fase de construcción como en la de operación del Sistema Landfarming.

Con tales antecedentes, el Plan de Manejo Ambiental fue elaborado para implementar todas las medidas de mitigación y remediación durante las diferentes fases del proyecto.

2.5 ANÁLISIS ECONÓMICO

La parte financiera es el aspecto más importante que permitirá la implementación del proyecto. La disponibilidad de fondos por parte de Petroecuador, para financiar el presente proyecto, permitió cumplir con las exigencias y plazos establecidos por los Organismos de Control, tanto como estar enmarcado en su Política Ambiental Operativa y de Preservación de los Ecosistemas actualmente vigente. Este perfil se dio a conocer ante los niveles de decisiones gerenciales, obteniendo total aceptación. Con la aprobación oficial del proyecto, los procedimientos anteriormente descritos se cumplieron a través de las siguientes asignaciones presupuestarias:

2.5.1 Identificación, y aislamiento de cepas bacterianas a partir de muestras de lodo contaminado con hidrocarburos, procedente de Refinería Esmeraldas, incluida su tratabilidad:

Partida presupuestaria P.P-9.29.13.63000 por USD 4 177.60

2.5.2 Los costos involucrados con ensayos y análisis de la matriz lodo/suelo, y la construcción del sistema de tratamiento, fueron cargados al "FONDO DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN.

Tabla 6. Recursos empleados para implementar el proyecto

DESCRIPCIÓN	SITUACIÓN DEL RECURSO	FINANCIAMIENTO
Equipos para análisis de calidad	Laboratorios de Refinería Esmeraldas	Financiado por Petroecuador con cargo al Fondo de Prevención de la Contaminación. Partida 252.001.02.01.50.06 Cantidad USD 68 000.00
Material de oficina e informático	Unidad Protección Ambiental y Seguridad Industrial de REE.	
Elaboración del diseño Landfarmig	Unidad Protección Ambiental y Seguridad Industrial de REE.	
Construcción del campo Landfarmig	Área externa de REE y contratación del servicio.	
Monitoreo del cumplimiento de los parámetros de diseño	En el sitio de construcción; área externa de REE.	
Logística	Unidad Protección Ambiental y Seguridad Industrial de REE.	

Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

Valor total del proyecto: USD. 72 177.60 (Setenta y dos mil ciento setenta y siete dólares, 60/100).

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SITIO Y SUELO NATURAL

3.1.1 PARÁMETROS FÍSICOS DEL SITIO DONDE SE REALIZÓ EL TRATAMIENTO

Tabla 7. Indicadores de la zona geográfica

INDICADORES	VALOR	ÍNDICE
Ubicación geográfica en coordenadas UTM	10 103 550 – 10 103 600 646 350 – 646 425	Norte Oeste
Altitud	13	msnm
Temperatura máxima	35	°C
Temperatura promedia	28	°C
Temperatura mínima	16.5	ºC
Precipitación anual	658	mm
Velocidad del viento	2-6	ms^{-1} con una variación del 20 %
Humedad	80-86	%
Condiciones ecológicas	Bosque seco tropical entre 0 a 340	msnm

Fuente: PSI-REE. (2003)

El sector donde se implementó el proyecto, dentro de los límites de propiedad de Refinería Esmeraldas, está constituido por bancos de arcilla y limos medianamente consolidados. La zona en general conforma el basamento geológico de la región, constituido por depósitos de tipo aluvial, coluvial y deluvial, que dan a la zona una morfología con diversas pendientes desde pronunciadas, abruptas e irregulares hasta planicies con pendientes bajas en donde se ubican actualmente las instalaciones de la refinería.

3.1.2 ANÁLISIS DEL SUELO NO CONTAMINADO

El suelo tiene un alto contenido de arcilla con valores entre 38 % y 60 % que resulta inconveniente por la alta capacidad de adsorción de los constituyentes que pueden estar en el residuo, esto evitaría el

proceso de migración pero limita la biodisponibilidad, baja difusión de oxígeno y la biodegradación sería menos enérgica. El nivel freático obtenido se ubica a 4.5 metros en el lugar de implementación del proyecto. Presenta además concentraciones de metales pesados como plomo, cadmio y níquel, con valores inferiores a los establecidos en la Regulación Ambiental Nacional para suelos de uso agrícola (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis del suelo natural

INDICADORES	VALOR	ÍNDICE
Nivel freático	4.5	m
Densidad ASTM DI 557-70	1 640.0	kg/m³
Densidad aparente	1 105.0	kg/m³
Porosidad	2.8	%
pH	8.9	H^+
COT	6.44	%
UFC	4 864.0	UFC/g de suelo
Humedad	31.0	%
Textura	38 % – 60 % 14 %, 16 %, 6 9%	arcillosa grava, arena, finos
Metales pesados: Pb, Cd, Ni	< 100; < 50; < 2	mg/kg
Permeabilidad	$1x10^{-6}$	m/s

Fuente: PSI-REE. (2003)

3.1.3 TRATABILIDAD DE MATERIAL CONTAMINADO/SUELO NATURAL, MEDIANTE BIOESTIMULACIÓN

a) Suelo contaminado con crudo.

La Tabla 9 contiene el resultado de los ensayos realizado al material contaminado con crudo. La evaluación de las características físicas destaca el contenido de humedad de campo expresado en 34.2 % p/p y un pH de 6.8 que lo sitúa como un material con excelentes propiedades para el trabajo de los microorganismos. La evaluación química del residuo contaminado demuestra que se encuentran

hidrocarburos que teóricamente son degradables, lo que se evidencia en las pruebas de biodegradabilidad utilizando los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno. Según la caracterización biológica, la presencia de microorganismos y la demostración de sus actividades potenciales, evidencian la capacidad de aumentar los recuentos microbianos cuando se incorporo suelo natural, demostrándose claros indicios de tratabilidad con métodos biológicos. Las características adecuadas del sitio, suelo natural y residuo contaminado aceitoso para efectuar el tratamiento, indican que se puede pensar en un proceso de tratamiento en terreno natural mediante tecnología Landfarming.

Tabla 9. Indicadores del suelo contaminado con crudo

VARIABLES / **INDICADORES**	**FÍSICAS**	**QUÍMICAS**	**BIOLÓGICAS**
Temperatura	14.3 ºC		
Densidad real	1 250.0 kg /m^3		
Densidad aparente	1 025.0 kg/m^3		
Textura	18 %		
Humedad	34.2 %		
pH	6.8 H^+		
TPH (base seca)		75 680.0 mg/kg	
Materia orgánica (COT)		6.78 %	
Nitrógeno		1.45 %	
Fosfatos		0.21 %	
Cd		< 0.15 mg/kg	
Ni		0.95 mg/kg	
Pb		0.51 mg/kg	
Densidad microbiana			7 030.0 UFC/g
Demanda química de oxígeno			380.0 mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno			256.0 mg/L
DBO/DQO (Biodegradabilidad)			67.0 %

Fuente: PSI-REE. (2003)

b) Ensayos en una matriz natural al 5 % p/p y al 10 % p/p (lodo aceitoso/suelo natural)

En la tabla 8 y Tabla 9, se puede apreciar que los materiales ensayados presentan condiciones favorables para la degradación de hidrocarburos. El contenido de material orgánico y de nutrientes expresado como Nitrógeno, se encuentran en rangos estrictamente necesarios para la biodegradación (Levin & Geal, 1997), esto es, 3 % al 10 % para el primero, y el segundo dentro de la relación C/N:100/1, lo que se confirmó mediante las pruebas de biodegradabilidad, que registraron un nivel aceptable del 67 %, referido al 60 % establecido como nivel límite inferior en la Regulación 10 de la EPA. Sí el contenido de carbón contenido en un crudo se considera en el 78 %, la cantidad de nitrógeno requerido será:

Carbono en mg/kg = 75 680 mg/kg de TPH x 0.78 = 59 030.4 mg/kg

Nitrógeno en mg/kg = C/100 = 59 030.4 mg/kg/100 = 5 90.3 mg/kg

Como en la matriz lodo aceitoso/suelo virgen (Tabla 10), preparada para los estudios de tratabilidad, se incorpora también un suelo con su carga abiótica, no fue necesario adicionar nitrógeno. La importancia de añadir nutrientes en los proyectos de biorremediación de campo no es del todo claro, debido a que los resultados de ensayos con nutrientes en laboratorio no siempre se aplican en los trabajos de campo, un factor muy limitante es la disponibilidad de equipos para análisis en un sitio rural, por ejemplo; generalmente otras variables que aumentan la tasa de biodegradación como el uso eficiente del agua o de aireación, limitan el uso de adicionar más nitrógeno. En términos generales, no se debe adicionar nitrógeno a no ser que se tenga evidencia de que el índice de degradación se encuentre limitado por su carencia.

Las matrices al 5 % p/p y al 10 % p/p (tabla 10), recibieron aireación mecánica suficiente y un 30 % p/p de agente acondicionador natural, biosoil, considerando que el análisis de suelos clasifica al mismo como limo-arcilloso, mejorando de esta manera la textura, la retención de humedad y aumentando la porosidad.

Tabla 10. Matriz lodo/suelo del Y-T8046 + aireación + fertilizante + acondicionador + agua. Ensayos de bioestimulación

FECHA	Nº DÍAS	5 % p/p												10 % p/p											
		A			B			C			PROMEDIO			X			Y			Z			PROMEDIO		
		TPH mg/kg	pH	% H	TPH mg/kg	pH	% H	TPH mg/kg	pH	% H	TPH mg/kg	pH	% H	TPH mg/kg	pH	% H	TPH mg/kg	pH	% H	TPH mg/kg	pH	% H	TPH mg/kg	pH	% H
06-03-2002	0	85 680	7.5	34.2	85 680	7.5	33.2	85 680	7.6	32.2	85 680	7.5	33.2	85 680	7.9	30.2	85 680	7.4	30.2	85 680	7.50	31.20	85 680	7.60	30.53
18-03-2002	12	56 340	7.6	29.2	59 781	7.5	28.9	57 230	7.8	29.0	57 784	7.6	29.03	47 230	7.7	31.4	46 860	7.2	31.9	45 970	7.10	30.80	46 687	7.33	31.37
28-03-2002	22	45 970	7.7	26.8	46 760	7.3	27.2	46 035	7.3	26.5	46 255	7.4	26.83	36 709	7.5	30.1	35 721	7.8	30.8	32 731	7.40	29.90	35 054	7.57	30.27
09-04-2002	34	39 881	7.4	29.1	38 961	7.2	28.8	38 900	7.6	27.7	39 247	7.4	28.53	21 389	7.6	32.9	22 009	7.7	28.1	21 799	7.60	29.00	21 732	7.63	30.00
24-04-2002	49	18,744	7.3	28.2	18 200	7.3	27.4	18 500	6.8	28.1	18 481	7.1	27.9	11 205	7.5	31.7	10 811	7.3	26.5	10 098	7.50	25.10	10 705	7.43	27.77
14-05-2002	69	9 565	6.9	26.5	9 519	7.3	25.8	9 480	7.2	26.0	9 521	7.1	26.1	1 750	7.5	29.4	2 035	6.9	28.2	1 804	7.30	28.00	1 863	7.23	28.53

Fuente : PSI-REE. (2003)

A, B y C = Bandejas experimentales al 5 % p/p
X, Y y Z = Bandejas experimentales al 10 % p/p
PROMEDIO = Valor medio con tres replicaciones
% H = Humedad de campo, % p/p

3.2 TRATABILIDAD DE MATERIAL CONTAMINADO MEDIANTE BIOAUMENTACIÓN

3.2.1 AISLAMIENTO DE GÉRMENES EN CULTIVOS PUROS.

El residuo contiene flora bacteriana mixta, con once cepas identificadas y que tienen capacidad de degradar hidrocarburos en condiciones adecuadas.

Tabla 11. Identificación de cepas bacterianas en la muestra del Y-T8046

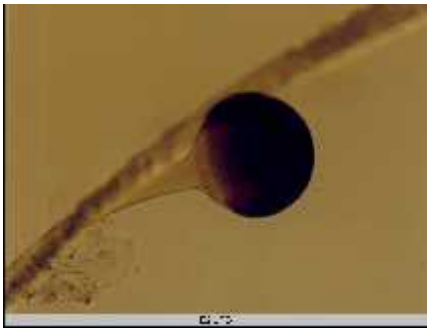
N° de cepa	Col. GRAM	Morfología de colonia	Producción de gas	Liquefacción de la gelatina	Crecimiento a 42°C	Reducción de Nitratos	Producción de pigmento	Identificación presuntiva
Cepa X_1	(-)	Bacilos	(-)	(+)	(+)	(+)		*Pseudomona sp.*
Cepa X_2	(-)	Bacilos	(-)	(-)	(+)	(+)		*Pseudomona sp*
Cepa X_3	(-)	Bacilos	(-)	(+)	(+)	(-)		*P. putida*
Cepa X_4	(-)	Bacilos	(+)	(-)	(+)	(+)		ND*
Cepa X_5	(-)	Bacilos	(+)	(+)	(+)	(+)	Rosado	ND*
Cepa X_6	(-)	Bacilos	(+)	(-)	(+)	(+)		ND*
Cepa X_7	(-)	Bacilos	(-)	(+)	(+)	(+)	Verde azulado	*P. aeruginosa*
Cepa X_8	(-)	Bacilos alargados	(-)	(+)	(+)	(+)	Amarillo	*Pseudomona sp*
Cepa X_9	(-)	Bacilos	(-)	(+)	(+)	(+)		ND*
Cepa X_{10}	(-)	Bacilos	(+)	(+)	(+)	(+)		ND*
Cepa X_{11}								*Mucor sp*

Fuente: PSI- REE. O/T 037-PSI. (2003)

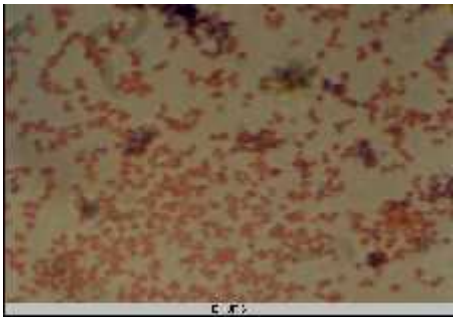
3.2.2 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS.

Imágenes fotográficas de microorganismos identificados en la muestra de lodo aceitoso procedente del Y-T8046, objeto de la presente investigación:

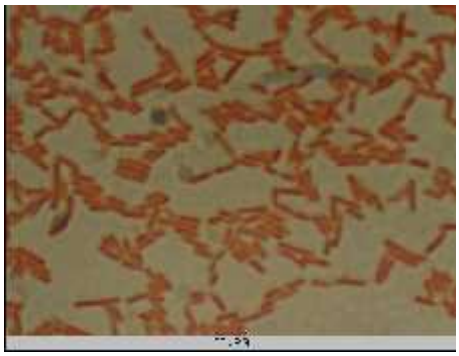
Fotografía 1. Hongos**.** Mucor ***sp***



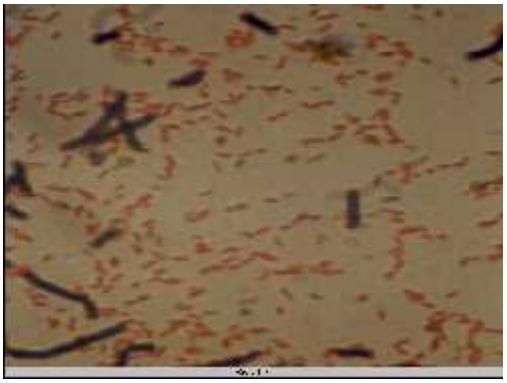
Fotografía 2. Cepas bacterianas aisladas



Fotografía 3. Bacilos



Fotografía 4. Bacilos alargados. Pseudomona sp



Fotografía 5. Hifas micóticas

El tratamiento se inició el día 16-06-03. A las cuatro (4) horas de la inoculación se contabilizaron 488 UFC/ml y a las 24 horas se contabilizaron $2.6x10^6$ UFC/ml en U1 y $3.1x10^6$ UFC/ml en U2.

Tabla 12. Recuento bacteriano

Nº	RECUENTOS UFC/ml		Fecha
	U1	U2	
0°	2.60E+06	3.10E+06	16-06-2003
1°	3.00E+06	2.80E+06	20-06-2003
2°	4.00E+06	3.00E+08	24-06-2003
3°	1.10E+09	8.00E+06	26-06-2003
4°	1.30E+07	6.00E+06	28-06-2003
5°	8.00E+06	5.00E+06	01-07-2003
6°	2.60E+06	2.80E+06	04-07-2003
7°	6.00E+07	5.00E+06	08-07-2003
8°	1.00E+08	1.00E+08	11-07-2003
9°	7.00E+07	5.00E+07	18-07-2003

Fuente: REE. O/T 037-PSI. (2003)

Tabla 13. Resultados conteniendo la reducción de TPH y las tasas de crecimiento y biodegradación, mediante bioaumentación

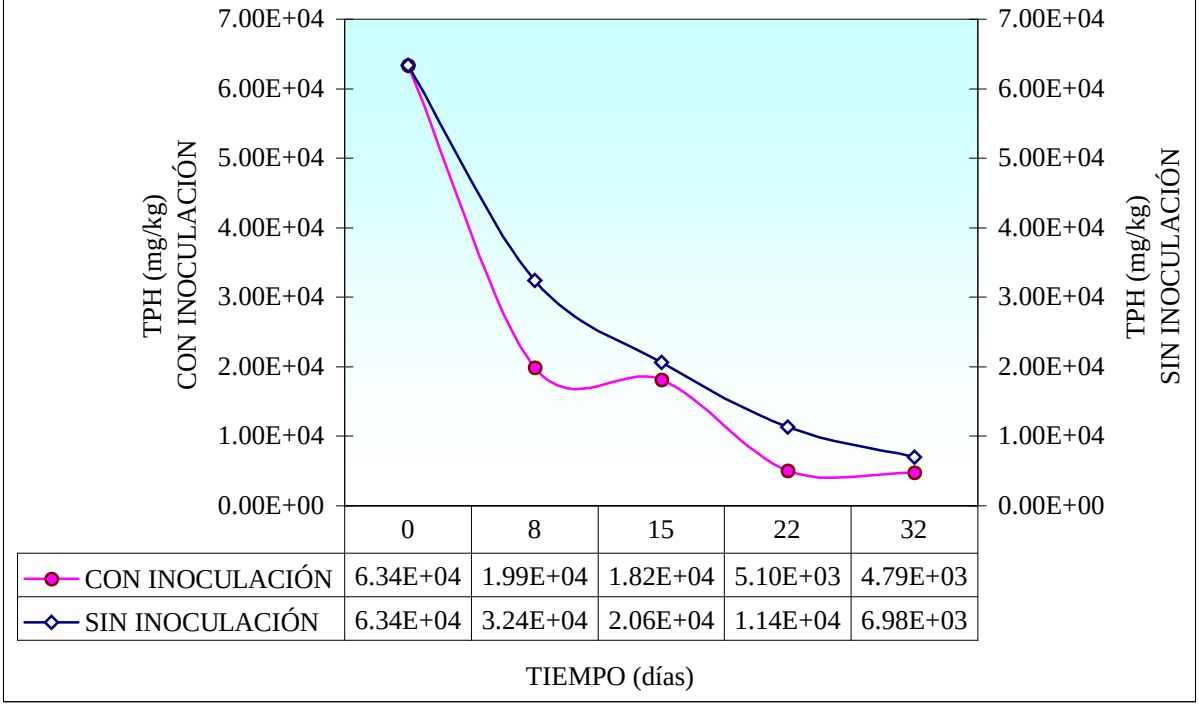
FECHA	U1 UFC/ml	U2 UFC/ml	TIEMPO (días)	TPH-U1 (mg/kg)	TPH-U2 (mg/kg)	$\ln(N/N_o)$		$\ln(C_0/C)$		TASA DE CRECIMIENTO ($días^{-1}$)		TASA DE BIODEGRA DACIÓN ($días^{-1}$)	
						U1	U2	U1	U2	U1	U2	U1	U2
04-06-2003	8.60E+01	8.60E+01	Muestra inicial										
16-06-2003	4.88E+02	4.88E+02	Primeras 4 horas										
16-06-2003	2.60E+06	3.10E+06	0	**6.34E+04**	**6.34E+04**	8.58E+00	8.76E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.03E+01	1.06E+01	0.00E+00	0.00E+00
20-06-2003	3.00E+06	2.80E+06											
24-06-2003	4.00E+06	3.00E+08	8	**1.99E+04**	**2.17E+04**	9.01E+00	1.33E+01	1.16E+00	1.07E+00	1.13E+00	1.67E+00	1.45E-01	1.34E-01
26-06-2003	1.10E+09	8.00E+06											
28-06-2003	1.30E+07	6.00E+06											
01-07-2003	8.00E+06	5.00E+06	15	**1.82E+04**	**3.18E+03**	9.70E+00	9.23E+00	1.25E+00	2.99E+00	6.47E-01	6.16E-01	8.34E-02	1.99E-01
04-07-2003	2.60E+06	2.80E+06											
08-07-2003	6.00E+07	5.00E+06	22	**5.10E+03**	**1.36E+03**	1.17E+01	9.23E+00	2.52E+00	3.84E+00	5.33E-01	4.20E-01	1.15E-01	1.75E-01
11-07-2003	1.00E+08	1.00E+08											
18-07-2003	7.00E+07	5.00E+07	32	**4.79E+03**	**5.78E+02**	1.19E+01	1.15E+01	2.58E+00	4.70E+00	3.71E-01	3.61E-01	8.07E-02	1.47E-01

Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2 003)

U1 = Unidad experimental 1 Peso de la muestra = 0.5 kg

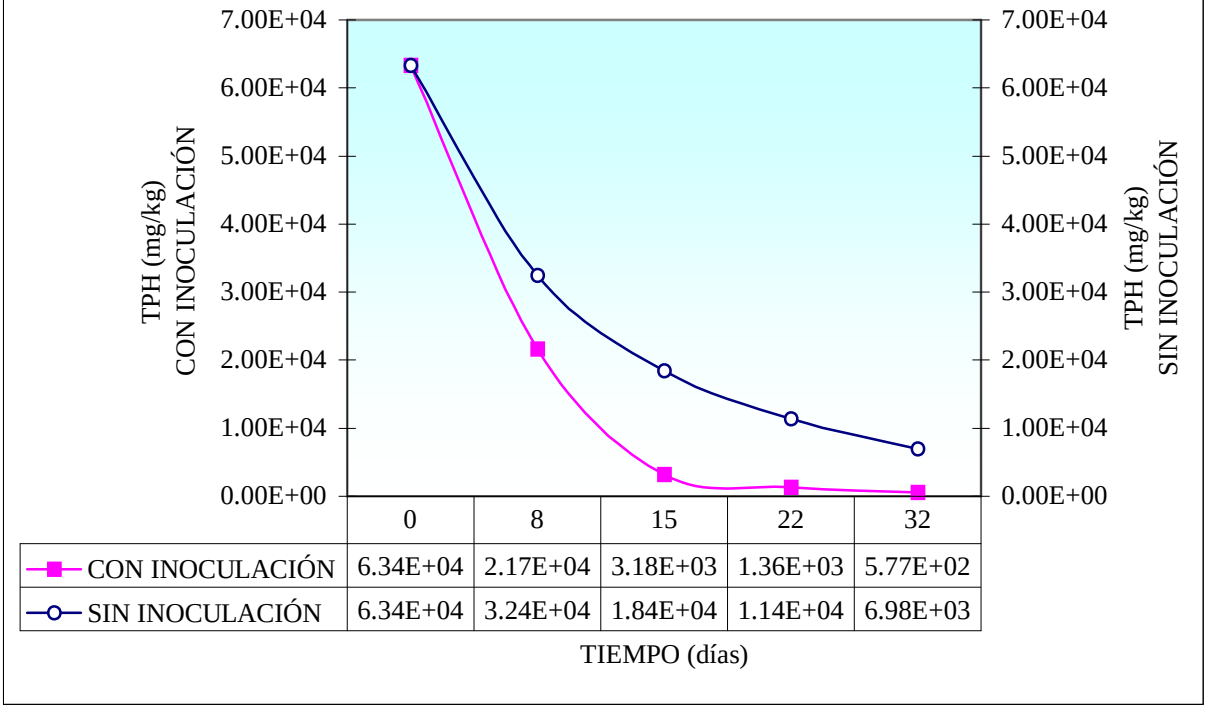
U2 = Unidad experimental 2 Cinética de crecimiento = Primer orden, $N = N_0 e^{kt}$

Figura 2. VARIACIÓN DEL TPH CON Y SIN INOCULACIÓN EN U1



Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

Figura 3. VARIACIÓN DEL TPH CON Y SIN INOCULACIÓN EN U2



Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

3.2.3 TASA DE CRECIMIENTO ESPECÍFICO

La tasa de crecimiento específico de la unidad U2 que contiene suelo contaminado con mayor concentración de biosoil, fue la más alta. Esto se justifica por cuanto el suelo aporta con microflora natural y brinda las condiciones necesarias para el desarrollo bacteriano, cuando se logra equilibrar su textura.

Tabla 14. Aplicación de la tasa de crecimiento en las primeras 24 horas

UNIDAD U1	**UNIDAD U2**
Según $K = \ln N - \ln N_0 / (t_2 - t_1)$	Según $K = \ln N - \ln N_0 / (t_2 - t_1)$
$\mathbf{K_1} = \ln 2.6x10^6 - \ln 488 / (24 - 4)\ h^{-1}$	$\mathbf{K_2} = \ln 3.1x10^6 - \ln 488 / (24 - 4)\ h^{-1}$
$\mathbf{K_1} = 14.77 - 6.19 / 20\ h^{-1}$	$\mathbf{K_2} = 14.94 - 6.19 / 20\ h^{-1}$
$\mathbf{K_1} = 8.58 / 20\ h^{-1}$	$\mathbf{K_2} = 8.75 / 20\ h^{-1}$
$\mathbf{K_1} = \mathbf{0.42}\ h^{-1}$	$\mathbf{K_2} = \mathbf{0.43}\ h^{-1}$

Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

Fuentes bibliográficas confiables determinan tasas de crecimiento bacteriano máximas de 0.75/h para pseudomona pútida en medio sintético (Eweís, J. 2000). De esta manera se confirma que en el lodo analizado existen microorganismos con capacidad biodegragadora. También es necesario observar que los logros de ésta bioaumentación genera costos adicionales y la necesidad de que se disponga de un laboratorio especializado.

La frecuencia de adición de pool bacteriano fue cada 48 horas en un volumen de 0.020 L, con el propósito de mantener la población bacteriana en niveles adecuados para el tratamiento. Además a los sistemas de tratamiento se adicionaron cada diez días nutrientes como: KNO_3 (50 ppm), roca fosfórica y solución de peptona al 0.1 %, lo que permitió recuperar la población bacteriana, que en las dos unidades había descendido (bioestimulación bacteriana).

La actividad biológica se desarrolló en un medio ligeramente ácido y ligeramente alcalino, situación que debió influenciar en la disponibilidad de los componentes de la muestra, destacándose la poca movilidad que pudieron presentar los metales pesados dentro de pequeños rangos superiores a pH= 7.

Tal como se puede apreciar en la figura 4 y en la figura 5, la fase estacionaria en las dos unidades experimentales es de corta duración. El crecimiento neto es imperceptible, por lo que se dio una fase de decaimiento, siendo compensada con la necesaria adición de nutrientes, como se ha indicado anteriormente.

Las figuras 4 y 5 demuestran el crecimiento bacteriano logrado con diferentes cantidades de acondicionador orgánico, conteniendo crudo como sustrato. Se observó que el periodo de aclimatación de los microorganismos en la unidad experimental U1, es mayor comparado con su similar U2, por lo que la degradación es más pronunciada en la segunda unidad, medida en igual periodo.

Se debe reconocer que el crecimiento descrito no discrimina tipos de microorganismos presentes en los dos sistemas, debido a que la población bacteriana es muy compleja al producirse interrelaciones entre las diferentes curvas de cada una de las diferentes especies unicelulares típicas del suelo. No obstante, las figuras 4, 5, 6 y 8 corresponden a un cultivo típicamente puro, mientras que en condiciones de campo se ha demostrado que diferentes especies superponen sus curvas de crecimiento, la que persiste se impone, manteniendo el mismo número de colonias. Así el conteo total en placas parece ser muy selectivo.

De la tabla 13 se puede deducir que la fase de latencia bacteriana es relativamente corta. Tal situación se dio por la adaptación de los microorganismos, aislados previamente, a un medio con características similares al que se inocularon. Por los resultados obtenidos al finalizar el día treinta y dos, se puede afirmar que, si bien el crecimiento microbiano fue aceptable, la biodegradabilidad alcanzada supera todos los supuestos con el crecimiento exponencial.

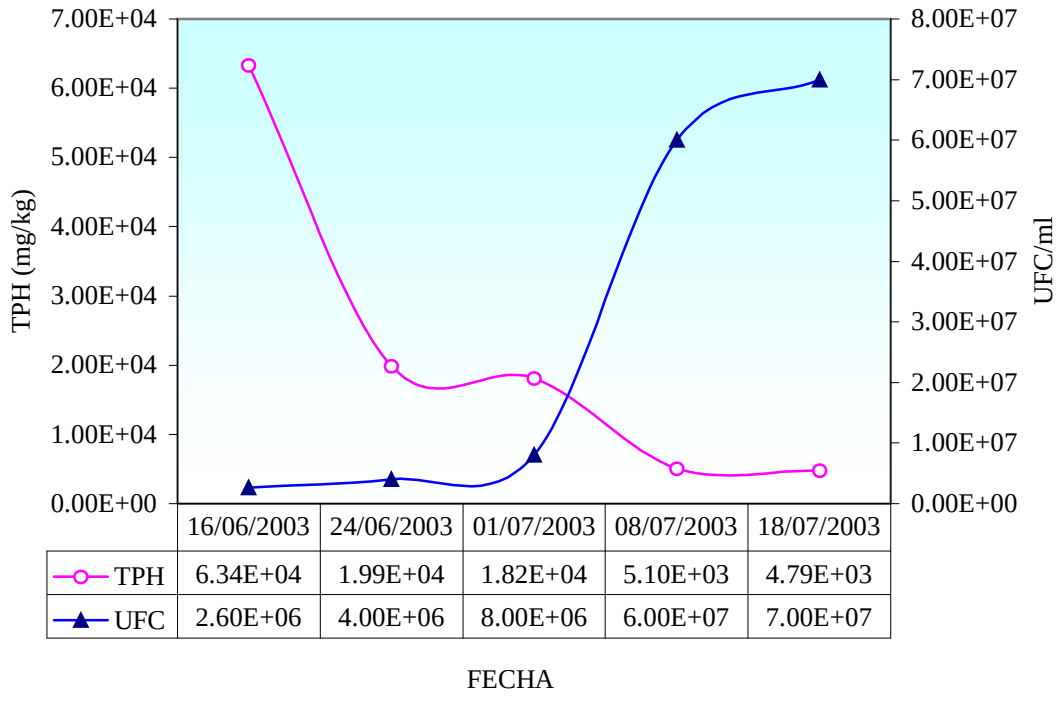
Estos ensayos permitieron obtener conocimientos básicos de las interacciones entre constituyentes de residuo y del suelo natural. El incremento de la densidad de población bacteriana evidenció la presencia de un proceso biológico. El modelo cinético que se ajusta a la curva de eliminación de constituyentes orgánicos corresponde a una relación de primer orden: $C_t = C_o e^{-kt}$. Donde C_o corresponde a la concentración inicial, con velocidad de degradación dependiente de los aportes de oxígeno y nutrientes.

La comparación de resultados obtenidos en la tabla 10 y tabla 13, permitieron confirmar la mayor concentración que se degrada dejando menos residuales. Se encontró que 10 % p/p es la mayor concentración de residuo aplicable que deja menos residuales.

Aunque el modelo propuesto describe la eliminación de constituyentes orgánicos al aplicar distintas estrategias en condiciones controladas, se debe cuidar la aplicación de la constante de velocidad obtenidas en el ámbito de laboratorio para predecir la persistencia de contaminantes en el ambiente. En el ámbito de laboratorio las variables pueden ser controladas y los resultados obtenidos en las mismas condiciones, son comparables. En condiciones de campo se tienen elementos no predecibles y puede ocurrir que uno de ellos modifique la velocidad de biodegradación.

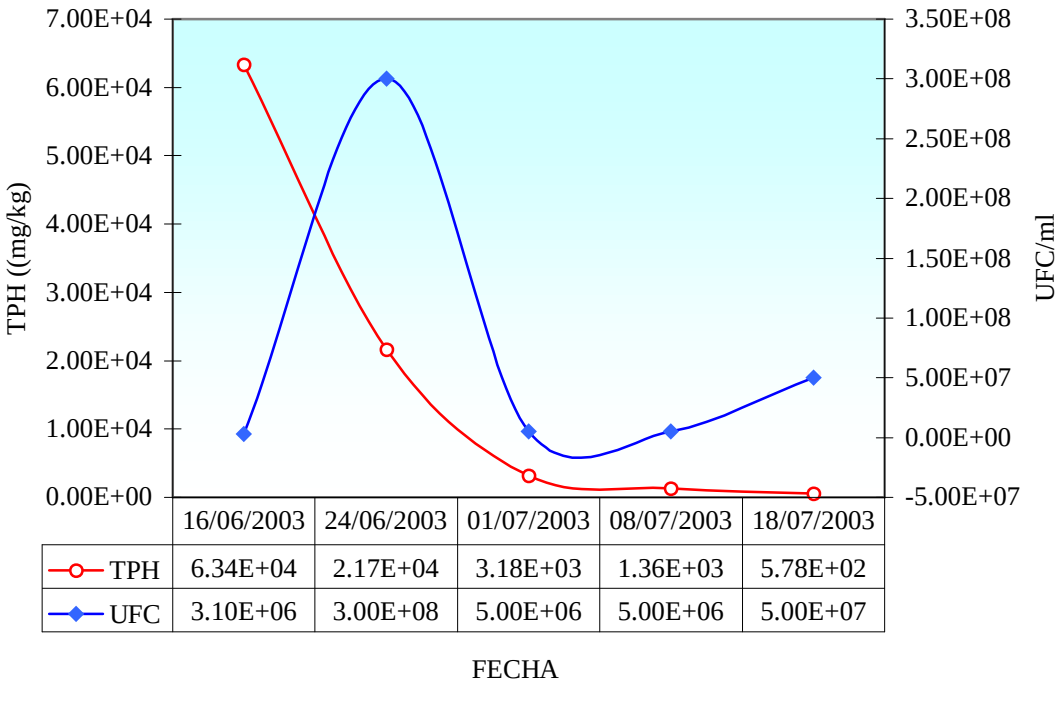
El rango de variación del pH $6.8<pH<7.9$ y la humedad de campo, expresado en porcentaje en peso, se situaron de modo natural en los parámetros recomendados que se definen en el Anexo N.

Figura 4. **CRECIMIENTO BACTERIANO Vs REDUCCIÓN DE TPH EN U1**
MATRIZ: LODOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS



Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

Figura 5. **CRECIMIENTO BACTERIANO Vs REDUCCIÓN DE TPH EN U2**
MATRIZ: LODOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS



Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

3.2.4 TASA DE BIODEGRADACIÓN

Para la determinación de este parámetro, se aplicó la ecuación modificada de Monod: $C_t = C_o e^{-kt}$. Con la ayuda de esta ecuación se trazó una gráfica de dependencia entre lnCo/C y el tiempo, para cada unidad experimental. La constante *K* (tasa de biodegradación), se determinó por la pendiente de la curva.

Tabla 15. Aplicación de la tasa de biodegradación

UNIDAD U1	**UNIDAD U2**
Cinética de primer orden ln $Co/C_t = Kt$	**Cinética de primer orden ln $Co/C_t = Kt$**
ln 63 366.3/19 883.00 = 1.159	ln 63 366.3/21 660.00 = 1.073
ln 63 366.3/18 150.17 = 1.250	ln 63 366.3/3 182.69 = 2.991
ln 63 366.3/5 102.21 = 2.519	ln 63 366.3/1 358.15 = 3.842
ln 63 366.3/4 789.16 = 2.582	ln 63 366.3/577.51 = 4.698

Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2 003)

K_{U1} = 2.582/ 32 = 0.082 día^{-1} (pendiente calculada de la recta de estimación. Figura 7)

K_{U2} = 4.698/ 32 = 0.154 día^{-1} (pendiente calculada de la recta de estimación. Figura 9)

De la Figura 9 podemos ver que la mayor tasa de degradación de TPHs se obtuvo en la unidad U2, lo que confirma el valor de la tasa de crecimiento específica bacteriana.

Las unidades experimentales tienen valores cercanos relacionados con la tasa de degradación de TPHs que determinan un porcentaje de rendimiento apreciable:

U1= 92.5 % y U2 = 99.2 %

3.2.5 PRUEBAS DE SIGNIFICACIÓN

Para determinar las diferencias observadas, se procede a efectuar las pruebas de significación fundamentadas en la distribución **t** formulada por Student[11]**.** Un valor de **t** es igual a una diferencia que se conforma con la distribución normal dividida por la desviación estándar de la media.

En este proyecto, las comparaciones se realizan a partir de dos muestras que provienen de la misma fuente, por tanto se definen como muestras dependientes. Es indispensable que las muestras presenten datos apareados, como ocurre en esta caso.

El criterio de comparación es la hipótesis de comparación, que indica las condiciones bajo las cuales se ha de afirmar o negar dicha hipótesis.

La hipótesis nula postula que la media de las diferencias es igual a cero. Simultáneamente se plantea la hipótesis alternativa H_A o hipótesis de trabajo, la misma que es contraria a la hipótesis nula. El rechazo de H_0 conduce a la aceptación de H_A y viceversa.

$$H_0 : \mu_d = 0 \qquad (8) \qquad\qquad H_A: \mu_d \neq 0 \qquad (9)$$

Se requiere determinar la media y la desviación estándar de las diferencias. El número de grados de libertad es n-1, donde n es el tamaño de cualquiera de las dos muestras. El nivel de significación α se fija a priori. El valor del test estadístico se establece mediante la fórmula que se indica a continuación:

$$gl = n-1 \qquad (10) \qquad\qquad \mathbf{t} = \frac{(\mu_d - \bar{d})}{S_d}\sqrt{n} \qquad (11)$$

Donde:

gl: Grados de libertad

[11] Gasett (“Student”), fue el primero en formular una prueba parcial de la independencia de la media y de la varianza de una muestra.

n: tamaño de cualquiera de las dos muestras

μ: valor medio de la población

d: valor medio de las diferencias

S_d: desviación estándar de las diferencias

Los valores críticos se encuentran tabulados (Anexo P y Anexo Q) y se los localiza conociendo el número de grados de libertad gl y el nivel de significancia.

Se toma la decisión de aceptar H_0 cuando se satisface la condición: $d_i = x_{1i} - x_{2i}$

Generalmente los tests aplicados a dos muestras, involucran la comparación de la diferencia de los parámetros con un valor regulado oficialmente. Para aplicaciones ambientales el valor límite es cero[12], representando el caso donde los datos son utilizados para determinar cuál de los parámetros es superior. El supuesto que un conjunto de datos tenga una distribución normal es muy importante y es básico para la mayoría de los tests estadísticos.

La distribución Lognormal es una distribución comúnmente usada para modelar datos de contaminantes ambientales. Se debe probar que los datos siguen una distribución normal (3.2.5.1), previo la aplicación del test **t.** Los parámetros anteriormente descritos serán empleados durante las pruebas de significación útil para conducir a negar o a afirmar transitoriamente la hipótesis planteada.

3.2.5.1 Studentized Range Test (SRT)[13]

Supuesto: los datos de la tabla 17 y tabla 18 pueden ser modelados usando una curva de distribución normal. El nivel de significación se fija en 1.0 %.

[12] EPA. QA/G-9. Versión actualizada a julio de 2002. 4-10.

[13] SRT es una prueba que determina si los datos pueden ser modelados siguiendo una curva normal.

Para la Tabla 17, el valor SRT calculado de 3.042 se ubica en el rango 2.15 < **t** < 3.095, por consiguiente el supuesto del modelo de la distribución normal que siguen los datos no puede ser rechazado. Además, Para la tabla 18 los valores SRT calculados de 2.54 en la Unidad U1 y 2.732 en la Unidad U2, se ubican en el rango 2.02 < **t** < 2.803. Por consiguiente, el supuesto del modelo de la distribución normal que siguen los datos no puede ser rechazado (ver Tabla 16).

Tabla 16. Resumen de los cálculos para el SRT

Valor	**di: Tabla 17**	**di: Tabla 18**	
		U1	**U2**
Rango	17 515 – 0 = 17 515 mg/kg	12 544 – 0 = 12 544 mg/kg	17 448-0 =17 448 mg/kg
S_{di}	5 758.246 mg/kg	4 930.209 mg/kg	6 387.076 mg/kg
SRT = Rango /S_{di}	17 515 / 5 758.246 = 3.042	12 544 / 4 930.209 = 2.544	17 448/6 387.076= 2.732
Valor Crítico (6, 0.01)[a]	2.15 < **t** < 3.095	--	--
Valor Crítico (5, 0.01)[b]	--	2.02 < t < 2.803	2.02 < **t** < 2.803

Fuente: PSI-REE. (2003)
a y **b**: Critical values for the Studentized Range Test . Anexo Q

3.2.5.2 Test t para muestras dependientes

Tabla 17. Se quiere conocer si la proporción de suelo natural mezclado con lodo aceitoso tiene efecto en la reducción del TPH, cuando se encuentra presente al 5 % p/p y 10 % p/p.

a) $H_0 : \mu_d = 0$ La media de las diferencias es igual a cero; el suelo natural añadido no tiene efecto en la reducción del TPH.

b) $H_A : \mu_d \neq 0$ A dos colas.

c) Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

d) Test paramétrico t para dos poblaciones. Muestras dependientes.

e) Valor **t** calculado: 3.917

f) Los valores críticos del test son ± **t** (5, 0.025) = 2.571 (ver Anexo P)

g) La zona de aceptación va desde – 2.571 hasta + 2.571

El valor del test calculado cae en la zona de rechazo. Existe suficiente evidencia para no aceptar la hipótesis nula, se aprecian diferencias notables, por consiguiente la matriz lodo/suelo natural al 10 % p/p es la mayor concentración que deja menos residuales de TPH.

Tabla 18. Se quiere conocer el efecto que se consigue en la reducción del contenido de TPH de dos muestras dependientes cuando las mismas son tratadas mediante bioestimulación al 10 % lodo/suelo natural y mediante inoculación endógena (bioaumentación).

di – U1:

a) $H_0 : \mu_d = 0$ La media de las diferencias es igual a cero; no existe diferencia entre bioestimulación y bioaumentación.

b) $H_A : \mu_d \neq 0$ A dos colas.

c) Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

d) Test paramétrico **t** para dos poblaciones. Muestras dependientes.

e) Valor **t** calculado: 2.128

f) Los valores crítico del test son ± **t** (4, 0.025) = 2.776 (ver Anexo P)

g) La zona de aceptación va desde – 2.776 hasta + 2.776

El valor del test calculado cae en la zona de aceptación. Existe suficiente evidencia para aceptar la hipótesis nula, por consiguiente la matriz lodo/suelo natural al 10 % p/p y la matriz U1 tratada mediante bioaumentación, no presentan diferencias significativas al 95 % de confianza.

di – U2:

a) $H_0 : \mu_d = 0$ La media de las diferencias es igual a cero; no existe diferencia entre bioestimulación y bioaumentación.

b) $H_A : \mu_d \neq 0$ A dos colas.

c) Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

d) Test paramétrico **t** para dos poblaciones. Muestras dependientes.

e) Valor **t** calculado: 3.124

f) Los valores crítico del test son ± **t** (4, 0.025)= 2.776 (ver Anexo P)

g) La zona de aceptación va desde – 2.776 hasta + 2.776

El valor del test calculado cae en la zona de rechazo. Existe suficiente evidencia para no aceptar la hipótesis nula, por consiguiente la matriz lodo/suelo natural al 10 % p/p y la matriz U2 tratada mediante bioaumentación presentan diferencias significativas al 5 %. Estimaciones al 99 % del nivel de confianza, da un valor crítico **t** (4, 0.005) de 4.604, con lo que se cumple la ninguna diferencia entre las dos técnicas.

3.2.5.3 Test de student para validación del modelo cinético

Las pruebas **t** para comprobar la significación de los coeficientes de regresión **r** se efectúan partiendo de la hipótesis nula H_0: $\beta = 0$.

El procedimiento clásico para asignar tendencias linear involucra la aplicación de métodos de regresión. Los valores X_i representan el tiempo y los valores Y_i representan las observaciones, tal como la concentración de contaminantes. La magnitud de la tendencia puede ser obtenida realizando una regresión de datos versus tiempo y utilizando la pendiente de la línea de regresión como una medida consistente de la tendencia. Se aplica la siguiente fórmula:

$$gl = n - 2 \qquad (12) \qquad \mathbf{t} = r / [(1-r^2) / (n-2)]^{0.5} \qquad (13)$$

a) $H_0 : \beta = 0$ No existe correlación entre concentración del contaminante versus tiempo.

b) $H_A : \beta \neq 0$ A dos colas.

c) Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

d) Test paramétrico **t** para dos poblaciones. Muestras dependientes.

e) Valor **t** calculado: 5.097 en U1 y 8.265 en U2

f) Los valores críticos del test son ± **t** (3, 0.025) = 3.182 (ver Anexo P)

g) La zona de aceptación va desde – 3.182 hasta +3.182

De los resultados se puede inferir que existe una relación significativa entre las dos variables, por consiguiente el modelo cinético aplicado permite explicar el 89.65 % de la información en la unidad experimental U1 y el 95.75 % de la información en la unidad experimental U2.

Tabla 17. Diferencias de TPHs en muestras dependientes

5% (mg/kg)	**10% (mg/kg)**	**DIFERENCIAS di (mg/kg)**
85 680	85 680	0
57 784	46 687	11 097
46 255	35 054	11 201
39 247	21 732	17 515
18 481	10 705	7 776
9 521	1 863	7 658
	n =	6
	$\overline{di}$ =	9207.833
	S_{di} =	5758.246
	t =	3.917

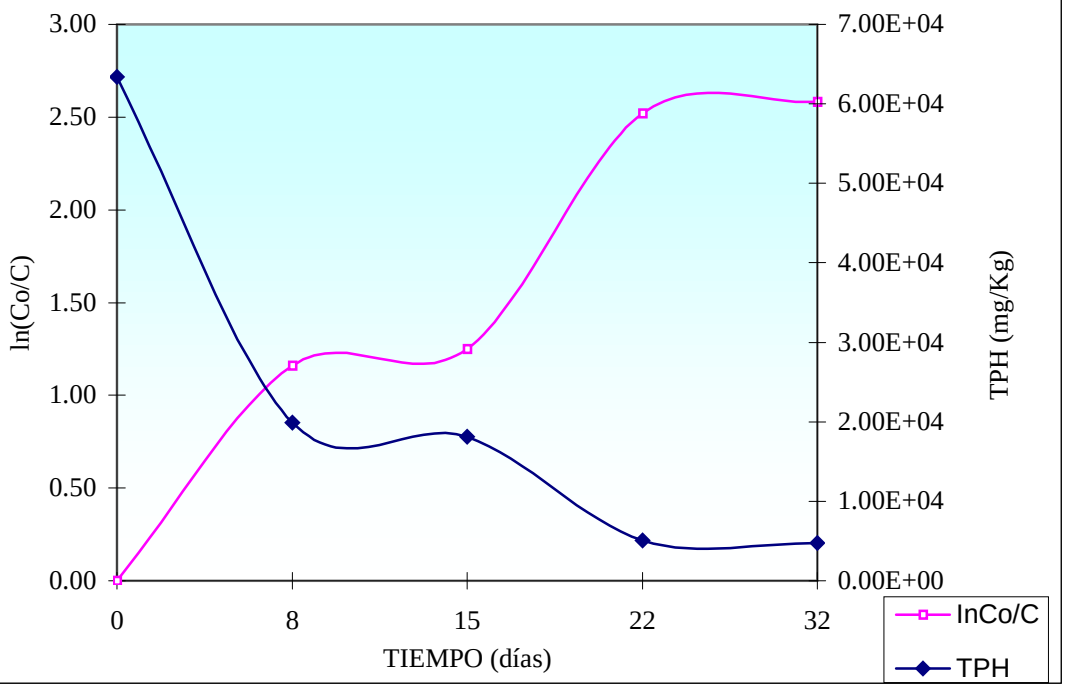
Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

Tabla 18. Diferencias de TPHs entre bioestimulación y bioaumentación

SIN INOCULACIÓN AL 10% p/p (mg/kg)	**CON INOCULACIÓN ENDÓGENADA (mg/kg)**		**DIFERENCIAS EN U1 di (mg/kg)**	**DIFERENCIAS EN U2 di (mg/kg)**
	U1	**U2**		
63 366	63 366	63 366	0	0
32 427	19 883	21 660	12 544	10 767
20 630	18 150	3 182	2 480	17 448
11 350	5 102	1 358	6 248	9 992
6 982	4 789	577	2 193	6 405
		n =	5	5
		$\overline{di}$ =	4 693	8 922
		S_{di} =	4 930.209	6 387.076
		t =	2.128	3.124

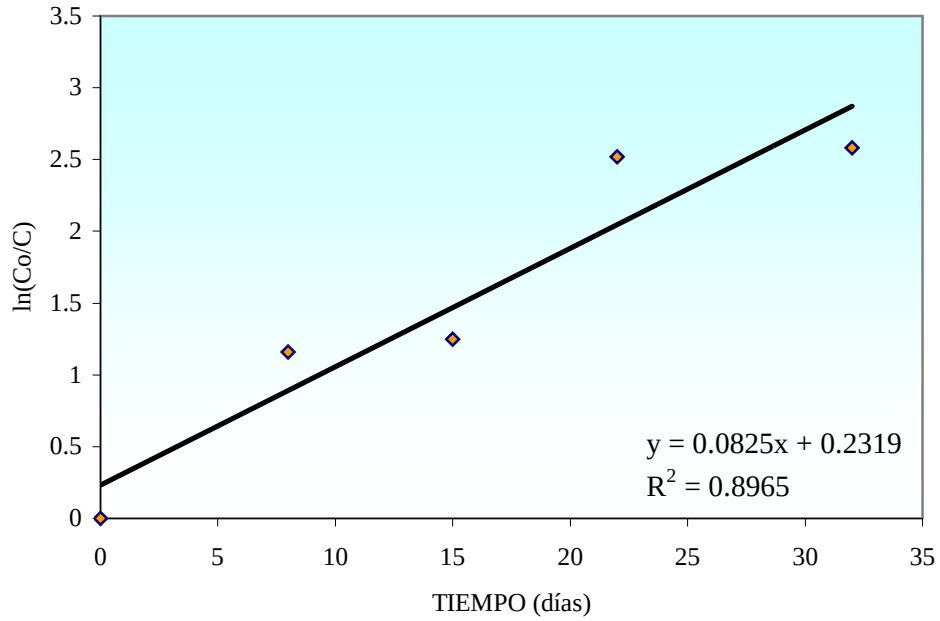
Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

Figura 6. BIODEGRADACIÓN EN U1



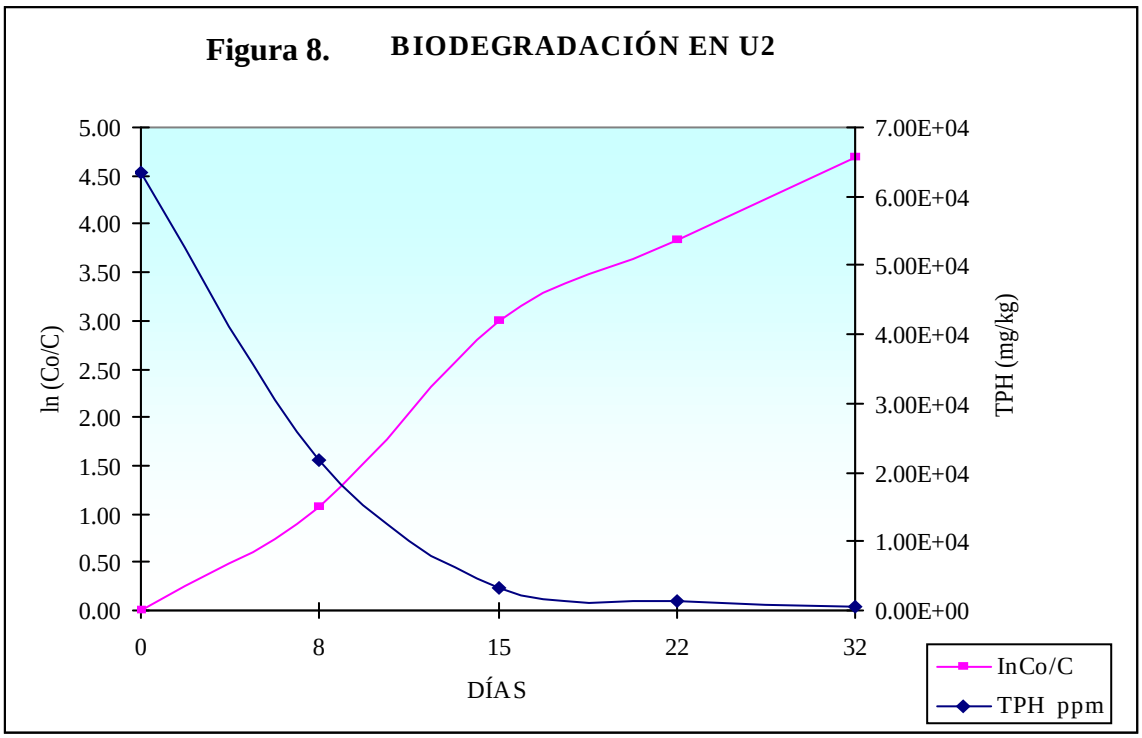
Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

Figura 7. TASA DE BIODEGRADACIÓN EN U1



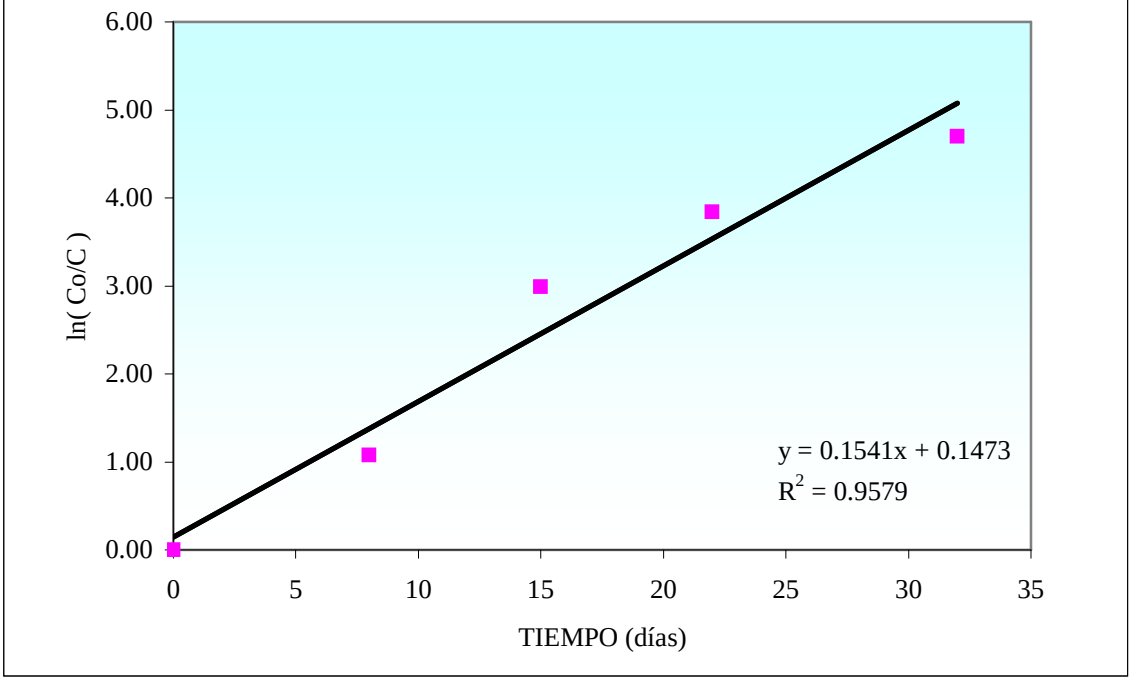
Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

Figura 8. BIODEGRADACIÓN EN U2



Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

Figura 9. TASA DE BIODEGRADACIÓN EN U2



Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

3.2.6 TIEMPO MEDIO DE DEGRADACIÓN

Se Calcula mediante la ecuación modificada de Monod: $C_t = C_o e^{-kt}$, Aplicando logaritmos, se tiene que, $t = -1/K(\ln C_t/C_o)$. Cuando el valor de concentración del sustrato presenta el 50 % de su concentración inicial, $C = C_o/2$, y $t = -(1/K)(\ln 0.5)$. Las celdas de tratamiento dieron los siguientes resultados:

Tabla 19. Tiempo de degradación media

U1	**U2**
$t = -\ln (0.5) / (0.0824\ día^{-1})$	$t = -\ln (0.5)/(0.154\ día^{-1})$
$t = 0.693/0.0824$ días	$t = 0.693/0.154$ días
$t = 8.41$ días	$t = 4.5$ días

Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2 003)

Es indispensable recordar que t depende de la relación $\mathbf{C_o/C_t}$, consecuentemente si consideramos las concentraciones iniciales del material contaminado en cada unidad de tratamiento podemos deducir que, debido a la aportación del suelo con microflora natural y por que crea el medio adecuado para la actividad bacteriana, la biodegradación es efectiva en suelo.

En condiciones de campo este tiempo puede incrementarse significativamente en función de las condiciones ambientales existentes en la zona de tratamiento. Datos bibliográficos de biorremediación de zonas costeras y esteros contaminados con residuos petroleros hablan de un tiempo de tratamiento aproximado de 800 días (caso Exxon Valdez), sin utilizar reactores para el tratamiento; los procesos fueron mediante inoculación de cepas bacterianas a las zonas afectadas.

El potencial empleo de un biorreactor para el tratamiento inicial de los residuos puede acortar los tiempos y mejorar el rendimiento del proceso. Esta condición será posible si se cuenta con un sólido respaldo financiero.

3.2.7 METALES PESADOS Y CONDUCTIVIDAD

Los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio muestran datos contradictorios, los mismos que deberán ser comprobados mediante nuevos análisis. Lo más probable es que la causa radique en el análisis extractivo dado que el metal quelado en la estructura de Biosoil es extraído y detectado por absorción atómica. De lo contrario no se explica el buen crecimiento bacteriano, que produjo una alta tasa de degradación de residuos hidrocarburíferos. Es necesario recordar que la concentración elevada de metales pesados es inhibitoria para la actividad bacteriana.

El Plomo en la unidad U1 varió de 17.7 mg/kg a 14.4 mg/kg; en la unidad U2 de 4.7 mg/kg a 31.6 mg/kg. El cadmio registró valores inferiores a 0.1 mg/kg. Resultados totalmente inferiores a los establecidos por la Normativa nacional vigente para protección de suelos y cultivos[14]. El mercurio y el cadmio no presentaron variaciones en todas las unidades de tratamiento, su concentraciones se encuentran bajo los límites de detección del equipo de análisis.

3.2.8 CONDUCTIVIDAD

La conductividad inicial en µS de las unidades experimentales varió moderadamente durante el tiempo de tratamiento. Tal condición se estableció por el elevado contenido de humedad, mantenida al 62 % (campo).

Tabla 20. Variación de la conductividad

UNIDAD	Valor inicial	Valor final
	µS/cm^3	µS/cm^3
U1	32.0	21.4
U2	32.0	19.6

Fuente: PSI-REE Bedoya, R. (2003)

[14] En el Anexo O constan reportes de concentraciones bajas de metales pesados en el lodo contaminado con hidrocarburo, sin tratar. Los ensayos se verificaron en los laboratorios de la Universidad central.

3.2.9 VARIACIÓN DEL PH

Las variaciones del pH fueron leves. En todas las unidades se logró establecer un pH ligeramente ácido desde 6.2 a 7.6. En todo caso la variación del pH no presentó variaciones importantes como para reducir la tasa de crecimiento bacteriano o la tasa de degradación de residuos.

3.2.10 HUMEDAD

La humedad establecida en las unidades de tratamiento superó el 62 % en los lodos aceitosos contaminados con crudo.

3.3 DISEÑO DEL SISTEMA LANDFARMING

3.3.1 PARÁMETROS FÍSICOS DEL CAMPO LANDFARMING

Rendimiento óptimo: 10% p/p (0.100 kg lodo aceitoso / kg suelo natural)

Cantidad estimada de lodo a tratar: 70 m^3

$$70\ m^3 \text{ de lodo} \times \frac{1\ 250\ kg.}{1\ m^3 \text{ lodo}} = 87\ 500\ kg \text{ de lodo}$$

Cantidad de suelo natural requerida:

$$87\ 500\ kg \text{ de lodo} \times \frac{1\ kg \text{ Suelo natural}}{0.1\ kg \text{ lodo}} = 875\ 000\ kg \text{ de suelo natural}$$

Volumen del sistema para tratamiento:

$$875\ 000\ kg \text{ de suelo} \times \frac{m^3 \text{ suelo}}{1\ 640\ kg \text{ de suelo}} = 534\ m^3 \text{ de suelo natural}$$

Superficie de tratamiento para una profundidad de 0.4 m como lecho de tratamiento:

$$\frac{534\ m^3}{0.4\ m} = 1\ 335\ m^2$$ Dimensiones propuestas: 50 m x 25 m

El sistema a construirse tendrá las siguientes dimensiones:

Superficie de tratamiento: largo = 50 m; ancho = 25 m

Altura del lecho de tratamiento: 0.4 m de altura

3.3.2 ESPECIFICACIONES DE LA OBRA QUE SE INCORPORARON A LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA.

a.- El servicio del contrato se extiende al diseño, provisión, construcción, instalación, montaje y prueba del sistema Landfarming.

b.- Los componentes y partes que se oferten, deben estar sustentados en los planos que soportan al diseño que se presente.

c.- La Contratista construirá por su cuenta las instalaciones temporales que considere necesarias para facilitar la ejecución de la obra. El servicio de vigilancia es por cuenta del contratista y será de su responsabilidad evitar pérdidas, ya que PETROINDUSTRIAL no tiene responsabilidad alguna.

PETROINDUSTRIAL no proporcionará ni energía eléctrica, ni agua potable, ni pago alguno relacionado con los mismos.

d.- PETROINDUSTRIAL no proporcionará los listados de componentes y accesorios; estos deben ser ofertados detalladamente de acuerdo al diseño elaborado por cada oferente.

e.- El oferente realizará trabajos de desbroce, limpieza y replanteo en el sitio del Proyecto, en forma satisfactoria, previo al movimiento de tierra.

f.- El diseño del campo Landfarming, comprende:

- Excavar para formar una celda de tierra con las siguientes cotas en su borde superior:

  Largo = 50 m

  Ancho = 25 m

  Talud = 1:2 conformado y compactado

  La celda deberá tener 1.60 m de profundidad con relación al nivel natural del suelo. El material excavado se colocará en un sitio dentro del límite de la propiedad.

- La celda tendrá diques perimetrales de tierra de 0.40 m de altura por sobre el nivel natural del suelo, sólidamente dispuestos para interceptar y desviar el flujo de aguas lluvias, a través de canales externos.

- Rampa de hormigón para acceso vehicular hacia la celda. Ancho = 4.5 m. Material, hormigón armado con resistencia de 210 kg/cm^2.

- El perfil de la celda tendrá la siguiente disposición:

Tabla 21. Especificaciones de los lechos del campo Landfarming

CAPAS	ESPESOR (m)
Lecho para tratamiento por debajo del nivel natural del suelo	0.40
Capa de suelo nativo como soporte del tratamiento	0.40
Capa de arena natural. Tamiz 50 (Φ= 0.30 mm)	0.40
Capa de grava. Φ = 12.5 mm	0.40
Tubería para colectar lixiviado	A determinarse
Geomembrana de alta densidad	0.001
Lecho final de arcilla compactada	≥ 0.15

Fuente: PSI-REE Bedoya, R. (2003)

- La celda tendrá una inclinación del 1.5 % para facilitar la recolección de material lixiviado.

- El lecho de tratamiento (área interna del dique) contará con una línea de drenaje y válvula de compuerta. Esto permitirá drenar el exceso de aguas lluvias, hacia el tanque colector de lixiviados.

- La geomembrana termosellada en una sola pieza, evitando despliegue, se extenderá desde el fondo de la piscina hacia arriba por el talud, protegiendo todo el interior, y cubrirá inclusive totalmente el dique y su canal correspondiente. Las superficies deben estar técnicamente resanadas, libres de asperezas.

- La capa de suelo-soporte se construirá a partir del suelo excavado; libre de rocas, terrones, troncos y restos de vegetación. De ser necesario, se corregirá el pH, verificando que se encuentre en el rango $6 \leq pH \leq 8$.

- El material de relleno - con su humedad natural- se aplicará con equipo mecánico, sin afectar la estructura. Los rellenos deberán tener taludes laterales normalizados.

- El lecho de arcilla será técnicamente resanteado; será compactada con la humedad óptima a partir de pruebas, y deberá alcanzar el 95 %.

- En los planos se indicará la granulometría del material de relleno filtrante. Estos materiales serán cribados y lavados, cuando sea necesario.

g.- Sistema colector de Lixiviados

- Se indicará el tipo de tubería con los detalles para recolectar y transferir material lixiviado, y especificaciones del tanque colector de lixiviados. Incluya normativa de construcción y ensayos de comprobación.
- Las dimensiones del tanque colector serán: 2.0 m x 2.0 m x 4.0 m (L x A x H); 0.40 m de altura estará por sobre el nivel natural del suelo.

- La tapa de registro del tanque colector será de acero inoxidable y se ubicará 0.40 m por encima del nivel natural del suelo.

- El tanque colector contará con facilidades para inspección interna, desfogue y paredes impermeabilizadas.

h.- Sistema de humectación con agua y aireación.

- A efectos de mantener el rango de humedad del lodo/suelo a tratarse, se deberá considerar la aplicación de agua a la celda, utilizando el mismo arreglo que se proponga para la adicción de las soluciones nutrientes.

- El punto para la acometida de agua se identificará durante la visita al sitio.

- El suministro de agua contará con válvula de control y una red lateral conteniendo aspersores, situados apropiadamente para humectar todo el lecho de tratamiento, cuando los análisis demanden la adición de humedad.

- El oferente deberá proponer el equipo para airear el suelo contaminado, mediante arado mecánico, tipo agrícola, de disco; apropiado para aplicarse en el lecho de tratamiento diseñado.

3.4 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

3.4.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL – LÍNEA BASE

Los componentes de la Línea Base permiten describir y caracterizar el área. A partir del establecimiento de ésta, se evalúan los impactos ambiéntales, para finalmente llegar a la definición del Plan de Manejo Ambiental.

Para el diagnóstico ambiental, se utilizó una Lista de Chequeo durante la inspección realizada al sitio en donde se implantó el Sistema Landfarming.

3.4.1.1 Medio Físico

El sitio seleccionado para la construcción del Sistema Landfarming se localiza entre las siguientes coordenadas universales, a 10 103 550 – 10 103 600 Norte y 646 350 – 646 425 Oeste, en dirección éste respecto a la refinería, dentro del mismo predio de este complejo industrial, en un terreno que se utiliza para el depósito de residuos sólido voluminosos, especialmente chatarra.

Para acceder al lugar existe una vía, la misma que es utilizada también para ingresar a un galpón empleado para el almacenamiento de otro tipo de residuos sólidos y el confinamiento de aceite fuera de especificación.

En las inmediaciones del lugar no existen cursos de agua y la calidad del aire se ve influenciada por las emisiones gaseosas generadas de la refinería, especialmente durante la predominante dirección del viento, sentido noreste.

Por lo anotado, se puede afirmar que el terreno se localiza dentro de un área completamente intervenida, donde los factores ambiéntales del medio físico que podrían verse afectados por la ejecución del proyecto son:

- El suelo del área que recibirá el material producto de las excavaciones.
- El aire por la generación de polvo, ruidos y vibraciones en la etapa constructiva.
- Las aguas subterráneas ante el riesgo de que los residuos líquidos a disponer en el Landfarming se infiltren en el subsuelo.
- La vista escénica del sitio, el mismo que actualmente se halla cubierto de vegetación al igual que las áreas aledañas.

3.4.1.2 Medio Biótico

La zona de trabajo se encuentra en la Región muy seco tropical, la misma que comprende una faja costera desde camarones, Atacames y Esmeraldas; se ubica entre los 5 msnm a 300 msnm, posee una temperatura media anual de 26 ºC a 29 ºC y una precipitación promedia anual de 658 mm.

Esta región bioclimática corresponde a la formación ecológica de bosque muy seco Tropical (bmsT) y una zona de transición entre el bosque muy seco Tropical y el bosque seco Tropical.

El monte natural destruido totalmente, ha sido reemplazado por gramíneas nativas que se propagan bien y que han ido invadiendo en forma natural, conjuntamente con plantas leñosas del monte, pastos y rastreras como la *Ipomonea incarnata*, que se encuentra en toda el área de estudio, cubriendo árboles, arbustos y todo tipo de vegetación existente.

Como árboles dispersos alejados del área de construcción, se observaron botillo, algarrobo, ceibo *C*eiba *trichistandra*, pechiche *Vitex gigantea*, palo mate *Eytrina glauca*, paja toquilla *Carludovica palmata.*

No obstante, por hallarse el terreno al interior de un área intervenida, los factores ambiéntales fauna y flora se verán afectados principalmente por: la limpieza y desbroce del sector de implantación del proyecto; y, la disposición del material producto de la excavación.

El área de trabajo se halla ubicado en el piso zoogeográfico Tropical noroccidental, comprendido entre los 0 msnm a 800 msnm y 1000 msnm, con un clima cálido húmedo.

Por tratarse de una zona alterada, la presencia de animales silvestres es rara; durante el trabajo de campo no se observaron ejemplares de ningún grupo.

3.4.1.3 Medio Antrópico

Tal como se anotó con anterioridad, el sitio seleccionado para la implantación del Landfarming se encuentra al interior del predio donde funciona la Refinería Esmeraldas, por lo que no existe posibilidad alguna de que el proyecto afecte factores socioeconómicos y/o culturales. No obstante, de esta situación, la construcción de la obra civil para el proyecto Landfarming generará empleo.

3.4.2 Identificación, evaluación y valoración de impactos

Con la información recopilada, se identificó que el área a ser impactada corresponderá exclusivamente al espacio físico necesario para la construcción y operación del Landfarming. No existen en el sector zonas sensibles. La identificación de los impactos se efectuó mediante un análisis del medio y del proyecto, como resultado de la consideración de las interacciones posibles que pueden darse.

3.4.2.1 Objetivo

Identificar los impactos ambiéntales positivos y negativos durante el desarrollo del proyecto y evaluar la magnitud e importancia de los mismos.

3.4.2.2 Alcance

Identificar los impactos ambientales en toda el área de influencia, en las diferentes fases del proyecto, como son la de construcción, la de operación y mantenimiento. Adicionalmente, se han priorizado los impactos de mayor magnitud y relevancia, los mismos que cuentan con medidas correctivas.

3.4.2.3 Metodología de Evaluación

3.4.2.3.1 Introducción

Un impacto ambiental, es todo cambio neto, positivo o negativo, que se pronostica se producirá en el medio ambiente como resultado de una acción de desarrollo a ejecutarse.

La caracterización ambiental realizada para el área de influencia del Landfarming, permitió identificar y dimensionar las características principales de cada uno de los componentes y subcomponentes ambiéntales considerados.

Para la evaluación de los potenciales impactos ambiéntales que se producirán en el área de influencia, se ha desarrollado una matriz causa-efecto, en donde su análisis según filas corresponde a los factores ambientales que caracterizan el entorno, y su análisis según columnas corresponden a las acciones de las distintas etapas.

Para el efecto se ha seleccionado un número de características ambiéntales según subcomponentes.

A continuación, en la Tabla 22 constan las características ambientales consideradas, su clasificación de acuerdo al componente que pertenece a la definición de su inclusión y la caracterización ambiental.

Para la realización del Estudio de Impacto Ambiental del sistema Landfarming, el equipo de evaluación ambiental, ha conformado un registro de acciones de tal manera que sean lo más representativas del estudio.

En la Tabla 23 constan las acciones consideradas y su definición para la fase de construcción del proyecto. La Tabla 24 contiene las acciones consideradas y su definición para la fase de operación del proyecto.

Tabla 22. Factores considerados para la caracterización ambiental del área de influencia del Landfarming

Código	Componente Ambiental	Subcomponente Ambiental	Factor Ambiental	Definición
Abt-1	ABIÓTICO	Suelo	Calidad del suelo	Nivel de calidad del suelo, especialmente en donde se depositará el material excavado.
Abt-2		Aire	Calidad del aire	Presencia en el aire de sustancias que alteran su calidad, especialmente en la etapa constructiva.
Abt-3			Nivel Sonoro	Afectado por los ruidos relacionados con las actividades propias del proyecto.
Abt-4		Agua	Calidad del agua	Nivel de calidad de las aguas subterráneas, ante el riesgo de infiltración de los residuos dispuestos.
Abt-5		Medio Perceptual	Vistas y paisaje	Alteración del paisaje actual debido a las acciones del proyecto.
Bio-1	BIÓTICO	Fauna	Avifauna	Nivel de conservación de la avifauna.
Bio-2		Flora	Cobertura vegetal	Nivel de conservación de la cobertura vegetal
Ant-1	ANTRÓPICO	Economía	Empleo estacional	Factibilidad de empleo durante la fase de construcción

Fuente: PSI – REE. (2003)

3.4.2.3.2 *Identificación de impactos ambientales*

El proceso de verificación de una interacción entre la causa (acción considerada) y su efecto sobre el medio ambiente (factores ambiéntales), se ha materializado realizando una marca gráfica en la celda de cruce correspondiente en la matriz causa-efecto desarrollada específicamente para cada etapa del

proyecto, obteniéndose como resultado la denominación matriz de Identificación de Impactos Ambiéntales (Tabla 25).

Tabla 23. Acciones consideradas durante la fase de construcción

CÓDIGO	ACCIÓN	DEFINICIÓN
C1	Eliminación cubierta terrestre y vegetación	Comprende el levantamiento de la capa vegetal en toda el área del proyecto, a fin de permitir la construcción de las obras previstas.
C2	Movimiento e tierras	Comprende todo trabajo de movimiento de tierras y/o excavaciones.
C3	Polvo	Comprende el material particulado que se encontrará disperso en las inmediaciones del proyecto, el mismo que por efectos externos se dispersará en el ambiente.
C4	Transporte de materiales	Se refiere a la acción de transportar los diversos materiales desde su punto de origen al sitio de los trabajos.
C5	Ruidos y vibraciones	Ruidos y vibraciones producidos por equipos y vehículos empleados durante esta etapa
C6	Disposición de material sobrante	Comprende la disposición del material sobrante, producto del movimiento de tierras.
C7	Maquinaria pesada	Comprende el movimiento o trabajo de la maquinaria y los equipos que intervendrán en la construcción del proyecto.
C8	Deterioro del paisaje	La construcción del Landfarming alterará el paisaje actual.
C9	Demanda de empleo	La construcción del Landfarming generará demanda de mano de obra y otros servicios adicionales.

Fuente: PSI-REE Bedoya, R. (2003)

Tabla 24. Acciones consideradas durante la fase de operación

CÓDIGO	ACCIÓN	DEFINICIÓN
O1	Transporte de residuos	Comprende el traslado de los residuos a tratar ya sea desde su punto de generación o desde donde se hallan almacenados.
O2	Vertido de residuos	Comprende el vertido de los residuos a tratar en el sistema Landfarming.
O3	Tratamiento de residuos, manejo de microorganismos	Comprende el proceso de tratamiento de los residuos en el sistema Landfarming, periodo durante el cual éstos permanecerán en el mismo. Esta acción incluye el manejo de los microorganismos que se encargarán del tratamiento.
O4	Incendios	Riesgo de que se produzcan incendios debido al tipo de residuos a disponer.
O5	Efluentes resultantes del tratamiento	Se refiere al efluente que se generará luego del proceso de tratamiento.
O6	Transporte de Residuos	Comprende el traslado de los residuos una vez que éstos han sido tratados.

Fuente: PSI-REE. Bedoya, R. (2003)

Tabla 25. MATRIZ Nº 1

MATRIZ CAUSA EFECTO - IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

PROYECTO: Sistema Landfarming de la Refinería de Esmeraldas

SIMBOLOGÍA: - **CARÁCTER DEL IMPACTO**

CÓDIGO	COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN										FASE DE OPERACIÓN						
				C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	NÚMERO DE ACCIONES	O1	O2	O3	O4	O5	O6	NÚMERO DE ACCIONES
				Eliminación cubierta terrestre y vegetación	Movimiento de tierras	Polvo	Transporte de materiales	Ruidos y vibraciones	Disposición de material sobrante	Maquinaria pesada	Deterioro del Paisaje	Demanda de Empleo		Transporte de Residuos	Vertido de Residuos	Tratamiento de Residuos	Incendios	Efluentes resultantes del tratamiento	Traslado de Residuos Tratados	
ABT1	ABIÓTICO	Suelo	Calidad del Suelo	-	-				-				3.00	-	-			-	-	4.00
ABT2		Aire	Calidad del Aire	-	-	-			-				4.00				-			1.00
ABT3			Nivel Sonoro				-	-		-			3.00							0.00
ABT4		Agua	Calidad del Agua										0.00			-		-		2.00
ABT5		Medio perceptual	Vistas y Paisajes	-	-	-			-		-		5.00							0.00
BIO1	BIÓTICO	Fauna	Avifauna	-		-		-	-	-			5.00				-			1.00
BIO2		Flora	Cobertura estacional	-		-			-				3.00	-	-		-	-	-	5.00
ANT1	ANTRÓPICO	Economía	Empleo estacional									+	1.00							0.00
NÚMERO DE FACTORES				5.00	3.00	4.00	1.00	2.00	5.00	2.00	1.00	1.00	24.00	2.00	2.00	1.00	3.00	3.00	2.00	13.00

Fuente: PSI-REE. (2003)

Tabla 26. MATRIZ Nº 2

MATRIZ CAUSA EFECTO - IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

PROYECTO: Sistema Landfarming de la Refinería de Esmeraldas

SIMBOLOGÍA: 10 **CALIFICACIÓN DE LA "EXTENSIÓN"**

CÓDIGO	COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN									FASE DE OPERACIÓN					
				C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	O1	O2	O3	O4	O5	O6
				Eliminación cubierta terrestre y vegetación	Movimiento de tierras	Polvo	Transporte de materiales	Ruidos y vibraciones	Disposición de material sobrante	Maquinaria pesada	Deterioro del Paisaje	Demanda de Empleo	Transporte de Residuos	Vertido de Residuos	Tratamiento de Residuos	Incendios	Efluentes resultantes del tratamiento	Traslado de Residuos Tratados
ABT1	ABIÓTICO	Suelo	Calidad del Suelo	1.0	1.0				1.0				1.0	2.5			1.0	1.0
ABT2		Aire	Calidad del Aire	1.0	1.0	1.0			1.0							1.0		
ABT3			Nivel Sonoro				1.0	1.0		1.0								
ABT4		Agua	Calidad del Agua												1.0		1.0	
ABT5		Medio perceptual	Vistas y Paisajes	1.0	1.0	1.0			1.0		1.0							
BIO1	BIÓTICO	Fauna	Avifauna	1.0		1.0		1.0	1.0	1.0						1.0		
BIO2		Flora	Cobertura estacional	1.0		1.0			1.0				1.0	1.0		1.0	1.0	1.0
ANT1	ANTRÓPICO	Economía	Empleo estacional									1.0						

Fuente: PSI-REE. (2003)

Tabla 27. MATRIZ Nº 3

MATRIZ CAUSA EFECTO - IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

PROYECTO: Sistema Landfarming de la Refinería de Esmeraldas

SIMBOLOGÍA: 10 **CALIFICACIÓN DE LA "DURACIÓN"**

CÓDIGO	COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN									FASE DE OPERACIÓN					
				C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	O1	O2	O3	O4	O5	O6
				Eliminación cubierta terrestre y vegetación	Movimiento de tierras	Polvo	Transporte de materiales	Ruidos y vibraciones	Disposición de material sobrante	Maquinaria pesada	Deterioro del Paisaje	Demanda de Empleo	Transporte de Residuos	Vertido de Residuos	Tratamiento de Residuos	Incendios	Efluentes resultantes del tratamiento	Traslado de Residuos Tratados
ABT1	ABIÓTICO	Suelo	Calidad del Suelo	10.0	5.0				10.0				1.0	1.0			1.0	1.0
ABT2		Aire	Calidad del Aire	1.0	1.0	1.0			1.0							1.0		
ABT3			Nivel Sonoro				2.5	2.5		2.5								
ABT4		Agua	Calidad del Agua												10.0		10.0	
ABT5		Medio perceptual	Vistas y Paisajes	10.0	2.5	1.0			10.0		10.0							
BIO1	BIÓTICO	Fauna	Avifauna	5.0		1.0		2.5	10.0	1.0						1.0		
BIO2		Flora	Cobertura estacional	10.0		1.0			10.0				1.0	1.0		2.5	10.0	1.0
ANT1	ANTRÓPICO	Economía	Empleo estacional									1.0						

Fuente: PSI-REE. (2003)

Tabla 28. MATRIZ Nº 4
MATRIZ CAUSA EFECTO - IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES
PROYECTO: Sistema Landfarming de la Refinería de Esmeraldas

SIMBOLOGÍA: 10 **CALIFICACIÓN DE LA REVERSIBILIDAD**

CÓDIGO	COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN									FASE DE OPERACIÓN					
				C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	O1	O2	O3	O4	O5	O6
				Eliminación cubierta terrestre y vegetación	Movimiento de tierras	Polvo	Transporte de materiales	Ruidos y vibraciones	Disposición de material sobrante	Maquinaria pesada	Deterioro del Paisaje	Demanda de Empleo	Transporte de Residuos	Vertido de Residuos	Tratamiento de Residuos	Incendios	Efluentes resultantes del tratamiento	Traslado de Residuos Tratados
ABT1	ABIÓTICO	Suelo	Calidad del Suelo	10.0	1.0				10.0				5.0	1.0			2.5	1.0
ABT2		Aire	Calidad del Aire	1.0	1.0	1.0			1.0							1.0		
ABT3			Nivel Sonoro				1.0	1.0		1.0								
ABT4		Agua	Calidad del Agua												1.0		1.0	
ABT5		Medio perceptual	Vistas y Paisajes	10.0	5.0	1.0			5.0		5.0							
BIO1	BIÓTICO	Fauna	Avifauna	5.0		1.0		1.0	5.0	1.0						1.0		
BIO2		Flora	Cobertura estacional	10.0		1.0			5.0				1.0	1.0		1.0	10.0	1.0
ANT1	ANTRÓPICO	Economía	Empleo estacional									10.0						

Fuente: PSI-REE. (2003)

Tabla 29. MATRIZ Nº 5
MATRIZ CAUSA EFECTO - IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES
PROYECTO: Sistema Landfarming de la Refinería de Esmeraldas

SIMBOLOGÍA: 10 **CALIFICACIÓN DE LA "IMPORTANCIA"**

CÓDIGO	COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN									FASE DE OPERACIÓN					
				C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	O1	O2	O3	O4	O5	O6
				Eliminación cubierta terrestre y vegetación	Movimiento de tierras	Polvo	Transporte de materiales	Ruidos y vibraciones	Disposición de material sobrante	Maquinaria pesada	Deterioro del Paisaje	Demanda de Empleo	Transporte de Residuos	Vertido de Residuos	Tratamiento de Residuos	Incendios	Efluentes resultantes del tratamiento	Traslado de Residuos Tratados
ABT1	ABIÓTICO	Suelo	Calidad del Suelo	8.2	1.0				10.0				2.6	1.3			1.6	1.0
ABT2		Aire	Calidad del Aire	1.0	1.0	1.0			1.0							1.0		
ABT3			Nivel Sonoro				1.0	1.0		1.0								
ABT4		Agua	Calidad del Agua												1.0		1.0	
ABT5		Medio perceptual	Vistas y Paisajes	10.0	5.0	1.0			5.0		5.0							
BIO1	BIÓTICO	Fauna	Avifauna	5.0		1.0		1.0	5.0	1.0						1.0		
BIO2		Flora	Cobertura estacional	10.0		1.0			5.0				1.0	1.0		1.0	10.0	1.0
ANT1	ANTRÓPICO	Economía	Empleo estacional									10.0						

Fuente: PSI-REE. (2003)

Peso del criterio de Extensión =	**0.2**
Peso del criterio de Duración =	**0.4**
Peso del criterio de Reversibilidad =	**0.4**

Tabla 30. MATRIZ Nº 6

MATRIZ CAUSA EFECTO - IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

PROYECTO: Sistema Landfarming de la Refinería de Esmeraldas

SIMBOLOGÍA: 10 **CALIFICACIÓN DE LA "MAGNITUD"**

CÓDIGO	COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN									FASE DE OPERACIÓN					
				C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	O1	O2	O3	O4	O5	O6
				Eliminación cubierta terrestre y vegetación	Movimiento de tierras	Polvo	Transporte de materiales	Ruidos y vibraciones	Disposición de material sobrante	Maquinaria pesada	Deterioro del Paisaje	Demanda de Empleo	Transporte de Residuos	Vertido de Residuos	Tratamiento de Residuos	Incendios	Efluentes resultantes del tratamiento	Traslado de Residuos Tratados
ABT1	ABIÓTICO	Suelo	Calidad del Suelo	1.0	1.0				1.0				1.0	1.0			1.0	1.0
ABT2		Aire	Calidad del Aire	1.0	1.0	1.0			1.0							1.0		
ABT3			Nivel Sonoro				1.0	1.0		1.0								
ABT4		Agua	Calidad del Agua												1.0		1.0	
ABT5		Medio perceptual	Vistas y Paisajes	1.0	1.0	1.0			1.0		1.0							
BIO1	BIÓTICO	Fauna	Avifauna	1.0		1.0		1.0	1.0	1.0						1.0		
BIO2		Flora	Cobertura estacional	1.0		1.0			1.0				1.0	1.0		2.0	21.0	1.0
ANT1	ANTRÓPICO	Economía	Empleo estacional									1.0						

Fuente: PSI-REE. (2003)

Tabla 31. MATRIZ Nº 7

MATRIZ CAUSA EFECTO - IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

PROYECTO: Sistema Landfarming de la Refinería de Esmeraldas

SIMBOLOGÍA: -7,5 **VALOR DEL IMPACTO**

CÓDIGO	COMPONENTE	SUBCOMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASE DE CONSTRUCCIÓN										FASE DE OPERACIÓN						
				C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	SUMA DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	O1	O2	O3	O4	O5	O6	SUMA DE IMPACTOS SEGÚN FILAS
				Eliminación cubierta terrestre y vegetación	Movimiento de tierras	Polvo	Transporte de materiales	Ruidos y vibraciones	Disposición de material sobrante	Maquinaria pesada	Deterioro del Paisaje	Demanda de Empleo		Transporte de Residuos	Vertido de Residuos	Tratamiento de Residuos	Incendios	Efluentes resultantes del tratamiento	Traslado de Residuos Tratados	
ABT1	ABIÓTICO	Suelo	Calidad del Suelo	-2.9	-1.6				-2.9				**-7.4**	-1.6	-1.1			-1.3	-1.0	**-5.0**
ABT2		Aire	Calidad del Aire	-1.0	-1.0	-1.0			-1.0				**-4.0**				-1.0			**-1.0**
ABT3			Nivel Sonoro				-1.3	-1.3		-1.3			**-3.9**							**0.0**
ABT4		Agua	Calidad del Agua										**0.0**			-2.1		-2.2		**-4.3**
ABT5		Medio perceptual	Vistas y Paisajes	-2.9	-1.8	-1.0			-2.5		-2.5		**-10.7**							**0.0**
BIO1	BIÓTICO	Fauna	Avifauna	-2.0		-1.0		-1.3	-2.5	-1.0			**-7.8**				-1.0			**-1.0**
BIO2		Flora	Cobertura estacional	-2.9		-1.0			-2.5				**-6.4**	-1.0	-1.0		-1.3	-2.1	-1.0	**-6.4**
ANT1	ANTRÓPICO	Economía	Empleo estacional									2.1	**2.1**							**0,0**
SUMA DE IMPACTO SEGÚN COLUMNAS				**-11,7**	**-4,4**	**-4,0**	**-1.3**	**-2.6**	**-11.4**	**-2.3**	**-2.5**	**2.1**	**-37.8**	**-2.6**	**-2.1**	**-2.1**	**-3.3**	**-5.6**	**-2.0**	**-17.7**

TIPO DE IMPACTO	NÚMERO DE IMPACTO									%	NÚMERO DE IMPACTO						%
ALTAMENTE SIGNIFICATIVO																	
SIGNIFICATIVO																	
DESPRECIABLES	5	3	4	1	2	5	2	1		95.8	2	2	1	3	3	2	100.0
POSITIVOS									1	4.2							

Fuente: PSI-REE. (2003)

3.4.2.4 Categorización de impactos ambientales

La categorización de los impactos ambiéntales identificados y evaluados, se lo ha realizado sobre la base del Valor del Impacto, determinado en el proceso de predicción. Se han conformado tres categorías de impactos, a saber:

- Altamente significativos
- Significativos
- Despreciables
- Positivos

La categorización proporcionada a los impactos ambientales, se lo puede definir de la siguiente manera:

a) **Impactos Altamente Significativos**: Son aquellos de carácter negativo, con Valor del Impacto mayor o igual a 6.5 y corresponden a las afecciones de elevada incidencia sobre el factor ambiental, difícil de corregir, de extensión generalizada, con afección de tipo irreversible y de duración permanente.

b) **Impactos significativos:** Son aquellos de carácter negativo, tienen Valor del Impacto menor a 6.5 pero mayor o igual a 4.5, con características: factibles de corrección, de extensión local y duración temporal

c) **Despreciables:** Corresponden a todos aquellos impactos de carácter negativo, con Valor del Impacto menor a 4.5. Pertenecen a estas categorías los impactos capaces plenamente de corrección y por ende compensados durante la ejecución del Plan de manejo Ambiental, son reversibles, de duración esporádica y con influencia puntual.

d) **<u>Benéficos:</u>** Aquellos de carácter positivo que son benéficos para el proyecto.

3.4.2.5 Descripción de las afectaciones al medio ambiente.

En el análisis de Impacto Ambiental, durante la etapa de construcción se han identificado un total de 24 interacciones causa-efecto, de las cuales 23 son despreciables y la restante positiva.

Según esto, el 95 % de impactos son despreciables y el 4,2 % son benéficos.

Las acciones de mayor afección negativa corresponden a la eliminación de la cobertura terrestre y vegetación y a la disposición de material sobrante producto de la excavación del Landfarming.

Del análisis de Impacto ambiental en la etapa de operación se han identificado un total de 13 interacciones causa-efecto, de las cuales todas son despreciables.

3.4.2.5.1 *Afectaciones al componente físico*

- <u>Suelo</u>

  El suelo se lo caracteriza con el factor de calidad del Suelo (Abt-1). En lo que respecta a este factor ambiental, durante la construcción del sistema Landfarming se producirán impactos exclusivamente despreciables.

  En lo que corresponde a la fase de operación del Landfarming, no existen acciones que generen impactos negativos.

- Aire

El subcomponente, se encuentra caracterizado por la calidad del Aire (Abt-2) y el Nivel Sonoro (Abt-3). Durante el proceso constructivo las diferentes acciones del proyecto generarán dentro de la calidad del aire, únicamente impactos despreciables, al igual que en la fase operativa del Landfarming.

Por su parte, en el nivel sonoro, las acciones consideradas también generarán solamente impactos negativos despreciables, mientras que en la fase de operación, no existen acciones negativas.

- Agua

El subcomponente, se encuentra caracterizado por la calidad del Agua (Abt-4). Únicamente durante la fase de operación del Landfarming se ha identificado impactos negativos, los cuales son despreciables.

- Paisaje

Este subcomponente, se encuentra caracterizado por las Vistas y Paisaje (Abt-5). En la fase constructiva, las acciones del proyecto generarán exclusivamente impactos negativos despreciables, sin que se hayan identificado impactos negativos para la fase de operación y mantenimiento del Landfarming.

3.4.2.5.2 *Afectaciones al componente biótico*

- Fauna

Este subcomponente, se encuentra caracterizado por la Avifauna (Bio-1). Durante la etapa constructiva de Landfarming, el factor ambiental avifauna se verá afectado únicamente por impactos negativos despreciables, al igual que durante la fase de operación y mantenimiento.

3.4.2.5.3 *Afectaciones al componente antrópico*

- **Empleo**

Sin lugar a dudas que la construcción del Landfarming se convertirá en una fuente de generación de empleo, situación que es positiva.

3.4.3 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

3.4.3.1 Objetivo

Con el Plan de Manejo Ambiental, se espera contar con una programación que permita la implementación de todas las medidas de mitigación y remediación durante las diferentes fases del proyecto.

3.4.3.2 Alcance

Cabe mencionar que a pesar de que ninguna de las acciones del proyecto generarán impactos negativos muy significativos sobre los elementos ambientales considerados, el Plan de Manejo introducirá medidas tendientes a evitar al máximo que el medio ambiente sea afectado.

3.4.3.3 Medidas de mitigación

A continuación se señalan las acciones a tomar en cuenta con el fin de mitigar o prevenir los impactos generados por el proyecto.

3.4.3.3.1 *Medidas para el control de ruido*

Para mitigar los efectos que el ruido producirá sobre el área de influencia del proyecto durante la etapa de construcción, se deberá tomar en cuenta la siguiente medida.

- Una primera fase en la reducción del ruido es incidir sobre las causas que lo generan, es decir sobre impactos y vibraciones. En este sentido será necesario evitar equipos y maquinarias que sean ruidosos. Los equipos generadores portátiles deberán tener dispositivos silenciadores en la descarga y paneles atenuadores de niveles de presión sonora.

3.4.3.3.2 *Disposición de escombros de construcción*

Tal como se desprende de la identificación evaluación de los impactos ambiéntales, uno de las acciones que mayor impacto generará es la disposición del material resultante de la excavación.

En este sentido, se recomienda para el material excavado:

Utilizar el terreno que se halla junto al sitio donde se implementará el Landfarming (lado este del galpón donde se almacena aceite quemado), en el cual existe una depresión que podría ser rellenada con el material producto de la excavación.

3.4.3.3.3 *Transporte de materiales y movimiento de maquinarias.*

Con el fin de mitigar los impactos que el transporte de materiales y el movimiento de maquinarias generará, a continuación se presentan las acciones y medidas que permitan causar el mínimo malestar:

- Durante la construcción, y particularmente con motivo de los movimientos de tierra que se ejecutarán para cumplir las condiciones de diseño de la obra, en las etapas de extracción, carga, transporte o de colocación de materiales, se deberá evitar que estas tareas produzcan contaminación atmosférica por acción de las partículas de polvo, debiéndose tomar todas las precauciones necesarias par tal efecto.

  Se deberán tomar todas las precauciones necesarias para evitar el vertido de material durante el transporte. Para el efecto, los vehículos contarán con lonas de recubrimiento.

- Todo material que sea encontrado fuera de lugar, a causa de descuido en el transporte, como material pétreo, restos de hormigón, restos de vegetación, etc. Será retirado inmediatamente.

3.4.3.3.4 *Funcionamiento de obras temporales*

Son construcciones provisionales y obras conexas que el responsable de la construcción de la obra, de ser necesario, debe realizar con el fin de proporcionar alojamiento y comodidad para el desarrollo de las actividades de trabajo del personal técnico, administrativo y de obreros en general.

Dentro de estas instalaciones se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- Los campamentos deben satisfacer necesidades sanitarias, higiénicas y de seguridad y para esto deben contar con sistemas adecuados de provisión de agua, alimentación y evacuación de desechos.

- En este sentido con las facilidades que cuenta la Refinería se podrían gestionar ante las autoridades de ésta, la utilización de uno de los contenedores que se hallan en las inmediaciones del sitio de implantación del Landfarming.

3.4.3.3.5 *Control del polvo*

Este trabajo consistirá en la aplicación de un paliativo para controlar el polvo que se produzca, como consecuencia de la construcción de la obra. En este sentido, se deberá considerar las siguientes acciones:

El control de polvo se lo hará mediante el empleo de agua. Su frecuencia de aplicación se definirá sobre la base de los requerimientos durante la realización de los trabajos.

Para el efecto se recomienda utilizar una manguera que se conectará a la llave de agua que abastece a uno de los contenedores ubicados en las inmediaciones del sitio de construcción del Landfarming.

Para reducir la formación de polvo durante el vertido libre de material granular que contenga finos, así como por la acción del viento sobre los acopios de áridos o escombros en estas situaciones, puede recurrirse a la reducción de la altura de caída libre en el vertido, con lo que se reduce el tiempo durante el cual los finos se encuentran sometidos a la acción del viento.

3.4.3.3.6 *Seguridad industrial y Salud Ocupacional*

La seguridad industrial es el conjunto de normas de prevención y control que el Contratista debe implementar en cada uno de sus frentes de trabajo e instalaciones a fin de evitar la ocurrencia de riesgos y accidentes de trabajo. La salud ocupacional previene la generación de enfermedades profesionales, consideradas graves y que son resultado de efectuar labores en un ambiente de trabajo inadecuado.

Dentro de esta temática, se deberá considerar lo siguiente:

El contratista tenderá la obligación de adoptar las medidas de seguridad industrial necesarias en los frentes de trabajo, y de mantener programas que tiendan a lograr una adecuada salud física y mental de todo su personal, de acuerdo a la normativa que tiene el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), sobre el tema.

Como requerimiento mínimos para el cumplimiento de lo dicho, deberá considerarse la ejecución de lo siguiente:

- Se implementará una campaña educativa inicial por medio de charlas sobre las normas elementales de higiene y comportamiento ocupacional.

- El personal técnico y obrero deberá estar provisto con indumentaria y protección contra la lluvia, de ser necesario.

- Para minimizar los riesgos de trabajo, el Contratista deberá proveer a su personal la vestimenta básica como cascos protectores, ropa impermeable, botas de goma con punta de acero, mascarillas de polvo y demás implementos recomendados por las leyes de seguridad industrial vigentes en el país.

- Durante la fase operativa, quien esté a cargo del Landfarming deberá respetar al máximo lo recomendado para un manejo seguro de los microorganismos a utilizar en el tratamiento de los residuos, dado por el fabricante.

3.4.3.3.7 *Prevención y control de la contaminación del* suelo

Con el fin de disminuir al máximo los efectos negativos producidos en el componente suelo, a continuación se señala la acción a tomar en cuenta a fin de lograr este objetivo.

- Contar con un sistema de almacenamiento de los residuos sólidos generados en el sitio de trabajo, los mismos que luego deberán ser dispuestos conforme a lo establecido por el programa de manejo de residuos de la Refinería.

- Con el fin de garantizar que los residuos sean tratados adecuadamente, la dosificación de microorganismos deberá ser establecida en el ámbito de modelos a escala.

- Una vez tratados los residuos en el sistema Landfarming, éstos deberán ser confinados de tal manera que no se conviertan en una amenaza a la salud pública o al medio ambiente. Los sitios en donde se los disponga serán considerados de riesgo, por lo que se deberá impedir su libre ingreso.

3.4.3.3.8 *Prevención y control de la contaminación del aire*

Con el fin de mitigar los impactos negativos en la calidad del aire debido a las emisiones de gases contaminantes que salen de vehículos, transporte pesado, maquinaria y otros, a continuación se dan las pautas a seguir a fin de lograr dichos objetivo.

- El constructor deberá ejecutar los trabajos con equipos y procedimientos constructivos que minimicen la emisión de contaminantes hacia la atmósfera.

  Para esto, deberá mantener un adecuado mantenimiento de sus equipos y maquinaria, especialmente de aquellos propulsados por motores de combustión interna con uso de combustibles fósiles.

- No se permitirá la quema a cielo abierto, sea para eliminación de desperdicios, arbustos o maleza, en áreas desbrozadas, o de otros residuos, lo cual deberá ser puesto en conocimiento de personal que laborará en la obra.

3.4.3.3.9 *Prevención y control de ruidos **y** vibraciones*

El ruido es todo sonido indeseable percibido por el receptor y que al igual que las vibraciones, si no se implementan las medidas de prevención y control adecuadas, pueden generar importantes repercusiones negativas en la salud de los obreros y operarios de las fuentes generadoras de éstos, además de la población circundante al proyecto.

Para el efecto se deberá tomar en cuenta los siguientes aspectos:

El control y corrección del ruido y/o vibraciones puede requerir de la ejecución de alguna de las siguientes acciones:

- Reducir la causa, mediante la utilización de silenciadores, para el caso de vehículo, maquinaria o equipo pesado y de amortiguadores para mitigar las vibraciones.
- Control y eliminación de señales audibles innecesarias tales como sirenas y pitos.

3.4.3.3.10 *Conservación de la flora y fauna existentes*

No obstante encontrarse el proyecto en una zona intervenida es importante realizar un manejo racional de la vegetación y fauna actual, lo cual a más de garantizar su conservación permitirá concienciar ambientalmente a cada uno de los trabajadores que participarán en la construcción del proyecto.

Para el efecto, se deberá tomar en cuenta las siguientes acciones:

- Los trabajos de desbroce, desbosque y limpieza se ilimitarán al área física indispensable para los trabajos de construcción y deberá realizarse en forma tal que causen el mínimo daño posible en las zonas aledañas.
- Para desbrozar no se utilizará “quemas o incendios” ni el uso de agroquímicos. Especialmente herbicidas y pesticidas.
- Cuando se tenga que realizar corte de vegetación, se lo hará con sierras de mano y no con bulldozer para evitar daños en los suelos y deterioro de zonas adyacentes.
- Cuando se produzcan daños importantes que afecten la flora existente, se procederá a la restauración de la cubierta vegetal, creando condiciones óptimas que posibiliten en el corto

plazo, la implantación de especies herbáceas y en el largo plazo la colonización de vegetales similar a la existente.

3.4.3.4 Medidas de Rehabilitación

3.4.3.4.1 *Integración paisajística*

El acondicionamiento paisajístico cumple las funciones de elemento integrado entre el sistema Landfarming y el ambiente intervenido.
Es en la etapa de construcción propiamente dicha, donde se deben aplicar las medidas más adecuadas para ejecutar tareas tendientes a la rehabilitación ambiental y su integración paisajística.

El programa de integración paisajística contará como mínimo con la ejecución de las siguientes tareas:

- Realización de movimientos de tierras adaptados al terreno natura.
- Formación de rellenos y terraplenes respetando las formas naturales del terreno.
- Respetar al sistema natural de drenaje.
- Evitar la acumulación de residuos de materiales en sitios no autorizados.
- Mantenimiento y limpieza de áreas con residuos de construcción.

3.4.3.4.2 *Recuperación y acopio de la capa vegetal*

Se entenderá por recuperación de la capa vegetal a las actividades tendientes a la remoción de las capas superficiales del terreno actual, cuyo material no sea aprovechable para la construcción, que

se encuentran localizados sobre los sitios donde se implantarán las obras contempladas en el proyecto y que una vez terminada su construcción deberán ser restaurados.

El acopio se refiere a la acumulación y mantenimiento en buenas condiciones de la capa vegetal levantada, para su posterior uso sobre las áreas ocupadas.

Para efecto se deberá tomar en cuenta las siguientes acciones:

- El retiro y acopio de la capa vegetal se realizará en todas las áreas a ser excavadas o rellenadas.
- El acopio se podrá realizar con tractores con hoja topadora, cargadora frontal, y volquetes, movilizando las coberturas orgánicas.
- Los tiempos en los cuales se mantendrá el material orgánico en las rumas de acopio, en lo posible, no deberá ser mayor a dos meses a fin de evitar la descomposición misma de la materia.
- Una vez retirados y reutilizados los acopios, se procederá a recuperar el sitio sobre el cual se localizaron las rumas de depósito, mediante el arado o rastrillado del suelo, a fin de permitir su oxigenación inicial, facilitar la sucesión y recuperación naturales.

3.4.3.5 Plan de Seguimiento y Monitoreo

El objetivo fundamental del monitoreo ambiental es retroalimentar la información para la toma de decisiones en la implementación del Plan de manejo Ambiental, tendientes a evitar, corregir, reducir o compensar los posibles impactos ambientales, con la implementación de medidas ambientales.

3.4.3.5.1 *Objetivo*

El objetivo del Plan de Seguimiento y Monitoreo, es detectar si las medidas de mitigación y rehabilitación definidas en el Plan de Manejo se ejecutan adecuadamente y surten el efecto deseado o tienen que ser ajustadas, si es el caso.

3.4.3.5.2 *Alcance*

El Plan de Seguimiento está diseñado en el área de influencia y comprenderá el control de los impactos negativos, que son mitigadas por medidas correctivas a aplicarse y propuestas en el Plan de Manejo Ambiental.

3.4.3.5.3 *Metodología*

Durante la fase de construcción, el seguimiento de cada una de las medidas propuestas dentro del Plan de Manejo Ambiental deberá ser responsabilidad del Contratista y del personal de la Refinería.

Por su parte, durante la fase de operación y mantenimiento del Landfarming, el control sobre la calidad del efluente resultante del tratamiento será llevado a cabo por personal de la Refinería, el mismo que para su descarga final deberá sujetarse a lo estipulado en el Art. 12 del Decreto 1215 que regula las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, Tabla 4ª del Anexo 2, sobre límites permisibles en el punto de descarga de efluentes relacionado con los análisis de descarga y emulsiones.

3.4.3.6 Plan de Contingencia

3.4.3.6.1 *Control de incendios*

3.4.3.6.1.1 *Objetivo*

Proponer principios básicos para la instalación de un sistema auxiliar contra incendios que sirva de protección de las instalaciones del sistema Landfarming con el propósito de disminuir los niveles de riesgo.

El sistema tendrá como objetivo principal, combatir los incendios que puedan darse en el mismo.

3.4.3.6.1.2 *Alcance*

La norma PE-SHI-018, tiene aplicación en todas las instalaciones del sistema Petroecuador, donde exista un potencial riesgo de incendio.

3.4.3.6.1.3 *Sistema móvil a implementarse*

Es un sistema que deberá instalarse en el sistema Landfarming. Su propósito es complementar los equipos existentes en la Refinería.

El sistema de aplicación será mediante 2 extintores satélites de capacidad 150 libras, constituidos de una válvula metálica, manómetro y manguera con pitón de descargue.

Los extintores estarán montados sobre coches, de dos llantas semiautomáticas.

3.4.3.6.2 *Control de accidentes*

3.4.3.6.2.1 *Objetivo*

Este plan está orientado a proporcionar acciones de respuesta inmediata y eficaz para enfrentar accidentes y cualquier situación de emergencia, durante la construcción de la obra civil para Landfarming.

3.4.3.6.2.2 *Acciones*

Organizar y capacitar a los trabajadores, ante situaciones de riesgos naturales y accidentes de trabajo, para que tengan una respuesta rápida y eficaz ante cualquier situación de contingencia que se presente.

Realizar el reconocimiento, evaluación y control de riesgos en los frentes de trabajo. Verificar las condiciones de trabajo diariamente, para conocer la existencia de algún resquebrajamiento o debilitamiento en los frentes de trabajo, que pueda generar un desprendimiento involuntario.

No permitir el acceso a los frentes de trabajo de personas no autorizadas, que no dispongan del equipo personal de seguridad, o que se hallen en estado de embriaguez.

Disponer siempre de un vehículo para movilización y logística inmediata.

Mantener la maquinaria y demás equipos en óptimas condiciones ara evitar accidentes laborales ocasionados por negligencia o mal funcionamiento.

Disponer de un botiquín de primeros auxilios, con medinas e insumos que permitan brindar la atención inmediata en caso de requerirlo. Deberá ubicarse en un lugar estratégico, al alcance de los trabajadores y siempre contar con medicina en perfecto estado.

La capacitación en primeros auxilios a un trabajador, permitirá que sea el responsable de atender la emergencia en forma inmediata y correcta, para que dependiendo de la gravedad, el accidentado sea trasladado hasta un centro de salud cercano o permanezca en el área en situaciones de reposo.

El encargado deberá remitir un informe por escrito y en el lapso máximo de 24 horas al responsable de la obra, en el que se reporte el accidente, cuándo y cómo ocurrió y qué medidas se tomaron.

En caso de ocurrir algún tipo de desastre natural, el personal (que ha recibido capacitación al respecto), deberá paralizar inmediatamente sus actividades, concurrir al sitio de reunión general y evacuar el área en forma ordenada y segura.

Posterior a terminado el evento, y dependiendo de la magnitud del mismo, personal seleccionado acudirá al área para revisar y evaluar el estado en el que se encuentra la obra, para determinar la reanudación de las operaciones una vez que se restablezcan las condiciones de seguridad.

3.4.3.6.3 *Reglas generales de Seguridad Industrial*

3.4.3.6.3.1 *Objetivo*

Estas reglas están orientadas a proporcionar seguridad al personal que labora en el proyecto de construcción civil de Landfarming, así como al conocimiento de las mismas como una obligación de todo contratista de la Refinería Esmeraldas.

3.4.3.6.3.2 *Reglas de Seguridad Industrial*

1. No se permitirá fumar en ninguna unidad operativa de la Refinería Esmeraldas.

2. En sitios en los cuales la gran concentración de gas o vapor de petróleo, pudiere presentar peligros de explotación o fuego, deberán usarse herramientas no chispeantes.

3. Todos los trabajadores deberán usar casco, botas de seguridad, uniforme y respirador antigas en caso de ser necesario.

4. En todo trabajo que se realice a una altura superior de 3 metros, sea que se utilicen o no andamios, deberá usarse obligatoriamente cinturón de seguridad e igualmente casco protector.

5. Las herramientas eléctricas deberán ser mantenidas en perfecto estado y preferiblemente serán del tipo doble aislamiento. Todo enchufe o alambre eléctrico, así mismo deberá estar en prefectas condiciones.

6. Se deberán seguir las instrucciones para “Permiso de Trabajo en Frío” y “Permiso de Trabajo en Caliente”, de acuerdo al Manual de Seguridad Industrial para Contratistas.

7. Cada vehículo de la Contratista deberá estar dotado de un extintor contra-incendios, de tipo y calidad adecuada según la Ley de Defensa Contra Incendios.

8. Los supervisores deberán tener conocimiento básico de primeros auxilios y deberán contar con un botiquín equipado para este fin. Todo accidente, aún el más leve deberá ser reportado al fiscalizador de Petroindustrial.

9. Queda prohibido utilizar para el transporte de personal, volquetes, tractores o vehículo de carga.

10. Se acatarán las normas de tránsito dictadas por Petroindustial para cada lugar.

11. La Contratista, sus trabajadores o sus subcontratistas no podrán circular en áreas que no corresponden al espacio físico, en donde realizan sus trabajos.

12. En lo que no contemplen estas reglas, regirá el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y mejoramiento del Medio Ambiente del IESS, Ley de Tránsito y Transporte Terrestre y demás Leyes de la República del Ecuador.

13. Deberán cumplirse fielmente las disposiciones expresas de la Norma Petroecuador Nº SI 007 “Disposiciones de Seguridad Industrial para Contratistas”.

3.4.3.6.4 *Contaminación por microorganismos*

Proponer principios básicos para el manejo seguro de los microorganismos a utilizarse en el tratamiento de los residuos.

El sistema tendrá como objetivo principal, evitar que quien maneje dichos productos se vea afectado por los mismos.

Consideraciones a tomar en cuenta. En caso de ocurrir una contingencia, se tomarán en cuenta las recomendaciones dadas por el fabricante para estos casos.

3.5 CONCLUSIONES

- El sitio donde se encuentra Refinería Esmeraldas y por consiguiente su área de tratamiento mediante tecnología Lanfarming, presentó los parámetros adecuados que exige ésta técnica, es decir: clima tropical que asegura temperaturas promedia de 28 ºC +/- 2 ºC, con una marcada estación seca, vientos moderados de 1.8 m/s a 2. 2 m/s y con precipitación anual de 656 mm promedio. El nivel freático es superior a los 4.5 m, lo que aseguró ninguna complicación durante los trabajos de excavación necesarios para colocar los filtros naturales y lecho de labranza, tanto como ningún riesgo ambiental de contaminación de agua subterránea.

- Los ensayos de textura realizados al suelo natural, lo clasifican como limo-arcilloso CH (SUCS), con 40 % p/p de contenido de agua, condición adecuada de acuerdo al rango de humedad de campo exigido para un Landfarming. Durante las operaciones de campo y tratamiento, se deben hacer enmiendas orgánicas de procedencia natural para mejorar la textura y porosidad, que facilite un mayor y mejor contacto microorganismo-contaminante.

- Los ensayos iniciales de tratabilidad conteniendo muestras de lodo contaminado con hidrocarburos, presentaron condiciones de degradabilidad que superaron el 60 % de la relación DBO/DQO, fijada como referente en el Code Federal of Regulation (EPA, 10. 1991). Se identificaron once cepas bacterianas con capacidad de degradar lodos contaminados con hidrocarburos, procedente de los cubetos de almacenamiento de crudo.

- Las pruebas preliminares mediante ensayos en una matriz lodo/suelo natural al 5 % p/p tanto como al 10 % p/p, permiten concluir que la proporción 10 % p/p es una buena propuesta para tratar lodos contaminados con hidrocarburos, si las concentraciones del contaminante superan los 50 000 mg/kg de TPH. La concentración inicial fue reducida a 1 863 mg/kg (base seca), valor inferior a lo establecido en Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.

- La bioaumentación con bacterias endógenas reportó excelentes niveles de reducción de TPH, a tasas de crecimiento y de degradación promedio muy aceptables. Los microorganismos que se añadieron como inóculo aseguraron una población que se incrementó rápidamente al mismo tiempo que degradaban los hidrocarburos. Esta buena práctica significó reducir el contenido inicial de TPH desde 63 366.3 mg/kg a 4 790.00

mg/kg medidos en base seca en la unidad U1 y a 578.0 mg/kg medidos en base seca en la unidad U2.

- El rendimiento mostrado en el ámbito de laboratorio no necesariamente se puede evidenciar en los trabajos de campo, pues la no-reproducibilidad en campo será consecuencia de la variabilidad de las condiciones de un suelo y consecuentemente efecto de competencia de la microflora autóctona.

- La matriz de control al 10 % p/p acondicionada con nutrientes, agua, aireación y mejoradores naturales, demostró que también es viable lograr niveles de reducción de TPHs, como cuando se procede con bioaumentación endógena a nivel de microcosmo.

- La operación del Landfarming técnicamente diseñado de acuerdo a lo aquí propuesto, excluirá la bioaumentación, prevaleciendo la bioestimulación con un riguroso control de los parámetros: nutrientes, humedad, frecuencia de aireación, acondicionadores naturales del suelo, pH, metales pesados y emisiones de CO_2 mediante respirometría de campo.

- El Plan de Manejo Ambiental integra las afectaciones con el procedimiento a seguir para atenuar tales afectaciones, durante las etapas de construcción y operación del sistema implementado, que deben ser observados en todo su contenido.

- En el análisis del impacto ambiental, la etapa de construcción representó el 95 % de impactos despreciables y el 4.2 % de impactos benéficos. Las acciones de mayor afectación negativa corresponden a la eliminación de cobertura terrestre, vegetación y a la disposición del material sobrante producto de la excavación del Landfarming. A partir de

trece interacciones causa-efectos durante la fase de operación, el análisis de impacto ambiental determinó que todas son despreciables.

3.6 RECOMENDACIONES

- La selección del sitio para la instalación de las unidades de tratamiento debe basarse en las características pedológicas, geológicas y climatológicas locales.

- El nivel estático del acuífero freático debe encontrarse a una profundidad no menor de tres metros (máxima estacional), respecto al nivel natural del terreno. Se deberá establecer el sentido de flujo del agua subterránea.

- El contenido de agua en el suelo: Cualquier incremento en la infiltración del agua en el suelo debe ser evitado a fin de garantizar el tiempo de residencia óptimo del residuo en la capa activa, permitiendo que el residuo sea biodegradado e inmovilizado.

- Durante el tratamiento, realizar análisis de: hidrocarburos totales de tetróleo cada treinta días; materia orgánica cada treinta días; porcentaje de humedad semanal de la mezcla suelo/residuo en caso de no producirse precipitaciones pluviales, caso contrario, inmediatamente después de la lluvia, cuando el porcentaje de humedad supere la capacidad de campo, no proceder con la aplicación de residuos; pH semanal; recuento bacteriano una vez cada treinta días; nutrientes cada treinta días; aireación mecánica, cada diez días.

- Cada vez que se realice el monitoreo, deberá ser verificada la ocurrencia de variaciones estadísticamente significativas con respecto a los valores de base de los constituyentes a ser monitoreados. En el caso que se verifique que ha habido una variación estadísticamente significativa se deberá comunicar a la Autoridad de Control e interrumpir la aplicación de los residuos en la zona afectada.

- La metodología de toma de muestras deberá ser fundamentada estadísticamente, utilizando métodos reconocidos tanto Nacional como Internacionalmente, debiendo citar expresamente los mismos.

- Previo a la elaboración del Plan de Manejo Ambiental cada organización debe desarrollar una matriz específica para el proyecto que se desee implementar en lugar de utilizar una matriz genérica. Se debe decidir el sistema de puntuación del impacto (número, letras o colores) que se va a utilizar.

- Para la liberación del residuo biorrecuperado, se deberá contar con la información proveniente del programa de monitoreo operacional y del programa de monitoreo ambiental referido, en este último caso, a la zona activa del tratamiento.

CAPÍULO IV

4 PROPUESTA

4.1 PRESENTACIÓN

La jerarquización de opciones orientadas hacia la minimización del manejo de los desechos peligrosos, ha obligado a los ambientalistas a identificar, como primer paso, si no existen alternativas de reutilizar o reciclar antes de pasar a una disposición final. La presente propuesta, incorpora estos conceptos y plantea el empleo de los suelos recuperados en otro ciclo de producción.

La legislación en el Ecuador ha adoptado unas normas ambientales muy estrictas que tienen como referente el marco regulatorio de las establecidas en la comunidad internacional. En la mayoría de los casos, las normativas están estructuradas para establecer límites según el contaminante, teniendo los contaminantes tóxicos las normas más restrictivas sobre las cantidades permitidos en el ambiente. El tipo y la cantidad de contaminantes en un lugar activo serán la base para solucionar los problemas ambientales de cada sitio, de modo que se puede definir un procedimiento a seguir para responder a un problema identificado.

Los lodos aceitosos que se originan durante las operaciones de la Refinería Esmeraldas, recuperados mediante los procedimientos descritos para un Landfarming, pueden ser utilizados según el tratamiento y uso final que se requiera y de acuerdo a los recursos que se dispongan, dentro de lo ambientalmente justo como viable. Una preocupación será conocer la efectividad lograda en los trabajos de biodegradación, no únicamente en cuanto al contenido residual de hidrocarburos sino además al contenido de metales pesados, minerales inorgánicos, pH, textura y microorganismos patógenos.

El uso práctico que se puede dar al material recuperado debe estar dirigido a la revegetación de terrenos, luego de establecer mediante análisis que sus componentes trazas se sitúan por debajo de los niveles establecidos para tal propósito, tanto como seleccionar los terrenos potencialmente adecuados para la restauración. La primera aplicación sería adecentar el entorno físico en los límites que tiene la planta industrial y su área destinada al confinamiento de desechos sólidos, lo que ayudaría a mejorar significativamente el impacto visual.

4.2 OBJETIVOS

4.2.1 OBJETIVO GENERAL

Instalar un vivero forestal y ornamental permanente, para la producción de plántulas, utilizando suelos recuperados que estuvieron contaminados con hidrocarburos.

4.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar 400 m^3 de los lodos recuperados a partir de materiales contaminados con hidrocarburos para la producción de plántulas ornamentales y forestales.

- Producir anualmente 85 000.0 plántulas de rápido crecimiento.

- Proporcionar plántulas para el ornato y protección de los suelos y topografías de las zonas de influencia de la Refinería Estatal de Esmeraldas.

- Crear fuentes de trabajo a moradores del área de influencia de la Refinería Esmeraldas.

4.3 DESARROLLO DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS OPERATIVOS RELACIONADOS CON LA PROPUESTA

4.3.1 TECNOLOGÍA DISPONIBLE PARA LA INSTALACIÓN DEL VIVERO

4.3.1.1 Selección y ubicación del sitio

La localización del área para el vivero se seleccionara del sector nor-este de la Refinería. Este sector se destina para uso exclusivo de instalaciones temporales y confinamiento de residuos.

4.3.1.2 Tamaño del vivero

Para la producción de las 85 000.0 plántulas anuales se requiere una superficie de 20 000.0 m^2 (2 Ha). Refinería dispone de 15 Ha adicionales al complejo industrial.

Una funda plástica de uso regular tiene un volumen de (0.25 m x 0.075^2 m^2 x 3.1416) 0.0044 m^3. Con 400 m^3 de material recuperado se llenan aproximadamente 90 000.0 fundas. Se definen 85 000.0 fundas llenas, la diferencia se destina para el crecimiento de las plantas.

La distribución de la infraestructura se detalla en las siguientes áreas.

4.3.1.3 Área de almacenamiento

Es el lugar que se destinará para el almacenamiento de los lodos recuperados y para la preparación de los sustratos. Este material se mantendrá bajo cubierta para evitar la lixiviación.

4.3.1.4 Área de Semillero

Es el sitio que se designará para la germinación de las semillas de las diferentes especies forestales y ornamentales. Una cama típica tiene las siguientes dimensiones: largo = 15 m, ancho =1.2 m, alto = 0.20 m, con capacidad de 3.6 m^3

4.3.1.5 Área de crecimiento

Es la superficie destinada, donde permanecerán las plántulas transplantadas durante un determinado tiempo (dependiendo de la especie) para su control y manejo, hasta que las mismas estén adecuadas para ser llevadas a los lugares definitivos.

4.3.1.6 Oficinas y bodega.

Es el área destinada para el departamento administrativo y ubicación de herramientas, fertilizantes, materiales y productos químicos.

4.3.1.7 Protección del vivero.

Es la delimitación del perímetro del vivero para evitar el ingreso de agentes extraños. Esta actividad consistirá en realizar el cerramiento de todo el perímetro del vivero con alambre de púa y materiales del medio. En un sector interno del vivero es conveniente construir un umbráculo (cobertizo) de 100 m^2, utilizando como techo materiales apropiados con la finalidad de se puedan proteger las plántulas de insolaciones y calores intensos que suelen presentarse durante en el día. El umbráculo servirá para que todas las plántulas que se transplantaren, tengan un período de adaptabilidad.

4.3.1.8 Topografía y suelo.

Se seleccionará el terreno con una pendiente del 1 % al 2 % que permitirá un adecuado drenaje y una buena escorrentía de agua por la superficie. Con una profundidad de suelo agrícola de 0.30 m a 0.40 m. El porcentaje de arcilla y limo deberá ser del 30 % y un pH entre 5.5 <pH < 7.

4.3.1.9 Agua e irrigación

El agua para el vivero se obtendrá mediante interconexión con el sistema de aspersión del proyecto Landfarming. La irrigación de las plántulas se hará por aspersión.

4.3.1.10 Análisis de suelo

Se realizarán varios análisis de suelo tanto de los lodos recuperados, como del compost, para determinar su textura, estructura y los macros y micro elementos necesarios para el desarrollo de plántulas.

4.4 ESPECIES SELECCIONADAS PARA LA REPRODUCCIÓN

N.C	**N.V**
Erythrina megistophylla	Caraca
Erythrina poepiggiana	Mambla
Erythrina spp	Mambla venezolana
Ficus spp	Ficus

4.5 PROPAGACIÓN DE LAS PLÁNTULAS

La propagación de las plántulas se la realizará de forma sexual y asexual.

4.6 MATERIAL VEGETATIVO

El material vegetativo para la producción de las plántulas se las obtendrá de árboles semilleros del sector.

4.7 TIPO DE PLÁNTULAS

La producción de los arbolitos se la realizará en fundas plásticas llenas con los lodos recuperados, ya que con este material las plántulas al ser llevadas al lugar definitivo, tendrían una cantidad de suelo fértil húmedo con alta sobre vivencia. El sustrato deberá tener una textura franco o franco arenoso; en caso de utilizar un sustrato de textura pesada (arcilloso), se mezclará con arena en una proporción del 20 % al 30 %. Se recomiendan buenas prácticas de mantenimiento después de la siembra, para lograr y asegurar la producción de plántulas de gran calidad. Esto incluye la eliminación de malezas utilizando herramientas pequeñas, lo cual permitirá disminuir la competencia por luz, humedad y nutrientes.

4.8 CONTROL SANITARIO

Los diferentes tipos de problemas sanitarios ya sean por agentes abióticos y bióticos se preverán o se los resolverá aplicando métodos técnicos conocidos y propios de la experiencia del técnico forestal.

4.9 ADMINISTRACIÓN Y MANEJO DEL VIVERO

La administración y manejo del vivero estarán a cargo e integrada de la siguiente manera: Director ejecutivo, Coordinador del frente de trabajo, Coordinador Técnico, Jefe de Producción (Técnico Forestal), Viverista y personal de apoyo (por temporada).

4.10 COSTOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL VIVERO

En estos costos se consideran los valores para la producción y equipamiento del vivero, tabla 31.

Tabla 32. Costos iniciales promedio de la producción de material vegetativo estimado para mil plántulas (total USD 210)

Ítem	COSTO EN USD				
	Mano de obra	**Insumos**	**Herramientas**	**Infraestructura**	**Transporte menor**
Especies de rápido crecimiento	42.0	120.0	10.0	28.0	10.0

Fuente: OIMT. CORMADERA. Proyecto Piloto para la reforestación y rehabilitación de tierras forestales degradadas en Ecuador. (2002)

No incluye soporte técnico, que deberá ser cubierto por Petroindustrial, mediante contratación de servicio, de acuerdo a la reglamentación vigente para cubrir necesidades de personal.

4.11 MONTO ESTIMADO PARA EL PROYECTO DE 85 000.0 PLÁNTULAS A USD 85/1 000 PLÁNTULAS

SON: USD 17 850.0 (Diecisiete mil ochocientos cincuenta, 00/100 Dólares Americanos).

CONTENIDO

Resumen

Summary

Índice de tablas

Índice de figuras

Índice de abreviaturas

Glosario

INTRODUCCIÓN 1

Objetivos e hipótesis 6

Objetivo general 6

Objetivos específicos 6

Hipótesis 7

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO 9

1.1 Hidrocarburos y algunos efectos en el ambiente 9

1.2 Factores abióticos y bióticos que influyen sobre la biorremediación 10

1.3 Cinética del crecimiento bacteriano 12

1.4 Tecnología Landfarming 18

1.5 Evaluación de la efectividad del Landfarming 23

1.5.1	Características de suelos contaminados.	23
1.5.2	Características de los constituyentes	26
1.5.3	Condiciones climáticas	28
1.5.4	Diseño del sistema	29
1.5.5	Planes para monitorear las operaciones y el progreso del landfarming	30
1.6	Plan de Manejo Ambiental.	31
1.6.1	Ficha Técnica	34
1.6.2	Introducción	34
1.6.3	Diagnóstico Ambiental-Línea Base	34
1.6.4	Descripción de las actividades del proyecto.	34
1.6.5	Determinación del área de influencia y áreas sensibles	34
1.6.6	Identificación y evaluación de impactos	35
1.6.7	Elaboración del Plan de Manejo Ambiental	38
1.7	Ventajas e inconvenientes	39

CAPÍTULO II

2	METODOLOGÍA	41
2.1	Materiales y Métodos	41
2.1.1	Materiales	41
2.1.2	Equipos	42
2.1.3	Métodos	43
2.2	Desarrollo experimental	46
2.2.1	Estudio de Factibilidad de nivel uno	46
2.2.2	Estudio de Factibilidad de nivel dos	48
2.2.2.1	Parte microbiológica	49

2.2.2.2 Parte Bioquímica 50

2.3 Diseño del Sistema de Tratamiento 52

2.4 Plan de Manejo Ambiental 52

2.5 Análisis económico 54

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 57

3.1 Caracterización del sitio y suelo natural 57

3.1.1 Parámetros físicos del sitio donde se realizó el tratamiento 57

3.1.2 Análisis del suelo no contaminado 57

3.1.3 Tratabilidad de material contaminado/suelo natural mediante bioestimulación 58

3.2 Tratabilidad de material contaminado mediante bioaumentación 62

3.2.1 Aislamiento de gérmenes en cultivos puros. 62

3.2.2 Interpretación y Análisis de Ensayos Microbiológicos. 62

3.2.3 Tasa de crecimiento específica 66

3.2.4 Tasa de biodegradación 70

3.2.5 Pruebas de significación 71

3.2.6 Tiempo medio de degradación 79

3.2.7 Metales pesados y Conductividad 80

3.2.8 Conductividad..... 80

3.2.9 Variación del pH 81

3.2.10 Humedad..... 81

3.3 Diseño del sistema Landfarming 81

3.3.1 Parámetros físico del campo Landfarming. 81

3.3.2 Especificaciones que se incorporaron a los Términos de Referencia 82

3.4.	Plan de Manejo Ambiental	86
3.4.1.	Diagnóstico Ambiental – Línea Base	86
3.4.1.1.	Medio Físico.	86
3.4.1.2.	Medio Biótico	87
3.4.1.3.	Medio Antrópico	88
3.4.2.	Identificación, evaluación y valoración de impactos	89
3.4.2.1.	Objetivo	89
3.4.2.2.	Alcance	89
3.4.2.3.	Metodología de Evaluación de Impactos Ambientales	89
3.4.2.4.	Categorización de Impactos Ambiéntales	101
3.4.2.5.	Descripción de las afectaciones al medio ambiente	102
3.4.3.	Elaboración del Plan de Manejo Ambiental	104
3.4.3.1.	Objetivo	104
3.4.3.2.	Alcance	104
3.4.3.3.	Medidas de mitigación	105
3.4.3.4.	Medidas de rehabilitación	111
3.4.3.5.	Plan de seguimiento y monitoreo	113
3.4.3.5.1.	Objetivos	113
3.4.3.5.2.	Alcance	113
3.4.3.5.3.	Metodología	114
3.4.3.6.	Plan de Contingencia	114
3.4.3.6.1.	Control de incendios	114
3.4.3.6.2.	Control de accidentes	114
3.4.3.6.3.	Reglas generales de Seguridad Industrial	114
3.4.3.6.4.	Contaminación por microorganismos	115
3.5.	Conclusiones	120
3.6.	Recomendaciones	123

CAPÍTULO IV

4	PROPUESTA	126
4.1	Presentación.....	126
4.2	Objetivos.....	127
4.2.1	Objetivo general.	127
4.2.2	Objetivos específicos	127
4.3	Desarrollo de los aspectos técnicos operativos	128
4.3.1	Tecnología disponible para la instalación del vivero	128
4.3.1.1	Selección y ubicación del sitio	128
4.3.1.2	Tamaño del vivero	128
4.3.1.3	Área de almacenamiento	128
4.3.1.4	Área de Semillero	129
4.3.1.5	Área de crecimiento	129
4.3.1.6	Oficina y bodega.....	129
4.3.1.7	Protección del vivero	129
4.3.1.8	Topografía y suelo.....	130
4.3.1.9	Agua e irrigación.....	130
4.3.1.10	Análisis de suelo	130
4.4	Tipo de especies seleccionadas para la reproducción	130
4.5	Propagación de las plántulas	131
4.6	Material vegetativo.....	131
4.7	Tipo de plántulas	131
4.8	Control sanitario.	131
4.9	Administración y manejo del vivero	132
4.10	Costos para el establecimiento del vivero	132

4.11 Monto estimado para el proyecto 132

4.12 Cronograma de actividades para la producción de plántulas..... 133

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adams, R y A. Rodríguez (1997). Evaluación Comparativa de Productos para la Bioremediación de Sitios Impactados por Hidrocarburos de Petróleo en el Trópico Húmedo. IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente. RICA/Univ. Simón Bolívar, Caracas, Venezuela. 11-13 Dic.

2. BEICIP-FRANLAB. (1994). Estudio de Impacto Ambiental. Procesamiento de Crudos Pesados de Refinería Esmeraldas. Plan de manejo Ambiental. Plan de Contingencias. pp 28.

3. Bogart, J. Lergue, J. (1988). Biological Remediation of Underground Storage Facilities. Air Pollution Control Association, 81 Congreso Anual de APCA. Artículo 88-72.

4. Bureau Veritas. (2002). Sistemas de Gestión Ambiental ISO 14001: Identificación y Evaluación de Aspectos e Impactos Ambientales. Ecuador. pp. 3-4, 8-24.

5. Canter, L. 1997. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. 2ª Edición. McGraw-Hill. Colombia. Capitulo VIII.

6. Conesa, V. (1997). Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 3ª Edición. Mundi-Prensa. España. pp. 56-57, 76-105.

7. Cookson, J. (1995). Bioremediation Engineering: Desing and Application. McGraw-Hill. Texas. EUA. pp. 314-319.

8. Crowell & Moring. RCRA. (1993). Hazardous Wastes Handbook. 10° Edition. EUA. I-17,27; VI-17,27.

9. Departamento Control Ambiental. Refinería Esmeraldas. (1997). Reglamento para el Manejo de Residuos de la REE. pp. 7, 8, 11.

10. EPA. (1991). 40 Code Federal of Regulation. 796. 32000. Ready Biodegradability: Closed. Botte Test.

11. EPA. (1992). Preparation of Soil Sampling Protocols: Sampling Techniques and Strategies. Environmental Monitoring Systems Laboratory. Las Vegas, Nevada 89193. Section 5, Appendixs E2, E6, E16.

12. Ercoli, E. (2003). Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos. Instituto Superior de Investigaciones. FIGEMPA. Agosto. pp. 19-23.

13. Eweis, J. Ergas, S. Chang, D. (2000). Principios de Biorrecuperación, McGraw-Hill, España, pp 131-145, 189-191.

14. Federal Remediation Technologies Roundtable. Report, EPA/542/R-95/002.

15. Ferrer, M.J. (1997). Selección de Tecnologías de Restauración Biológica para Lodos de Perforación en Tres Campos Petroleros. Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ing. Ambiental. Instituto Politécnico Nacional de México, DF. pp. 28-32.

16. Geosuelo Cía. Ltda. (1995). Informe Geotécnico. Ampliación de la Refinería Estatal Esmeraldas. Procesamiento de Crudos Pesados. Anexo Nº 7.

17. Gibson, D. y Subramaina, V. (1984). Microbial Degradation of Aromatic Hydrocarbons. Nueva York. pp. 52-83.

18. Kiely, G. (2001). Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. España. pp. 148, 163-166, 294, 576.

19. Infante C. (2003). Sistemas de Biorremediación Microbiológicos de Desechos Peligrosos. Refinería Esmeraldas. Noviembre. pp. 11 – 13, 16 – 19.

20. King, R. Long, G.M y Sheldon, J.K. (1992). Practical Environmental Bioremediation. Lewis Publishers, Boca Raton , Florida.

21. Levin, M. Gealt, M. (1977). Biotratamiento de Residuos Tóxicos y Peligrosos. McGraw-Hill. pp. 10-15.

22. Lloyd, E. Holliday, G. (1997). Soil Remediation for the Petroleum extraction Industry. PennWell. Oklahoma. pp. 50-56, 1-106.

23. Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para la Operaciones Hidrocarburìferas en el Ecuador. Decreto Ejecutivo 1215. Registro Oficial Nº 265 del 13 de febrero del 2001. Quito-Ecuador. Art. 12, 16, 28, 31, 59, 64, tabla 6 y Anexo 5.

24. Rittmann, B. McCarthy, P. (2001) Biotecnología del Medio Ambiente. España. McGraw-Hill. pp 14-15, 132, 626-628.

25. Sharabi, N. y Bartha, R. (1993). Testing Some Assumptions About Biodegradability in SoIl as Measured by Carbon Dioxide Evaluation. Appt. Environ. Microbiot. 59: 1201-1205.

26. Sierra, K. Sumba, M. (1996). Residuos Sólidos: Evaluación de los Lodos Generados en los Procesos de Refinación. Refinería Estatal Esmeraldas. Universidad de Guayaquil. pp. 22-36.

27. Tamayo G. y Vera B. (2001). Creación de un Sistema para el Tratamiento de Desechos Sólidos Peligrosos de la REE. Universidad Autónoma de los Andes. Ambato. 3:17, Anexo 4, 6, 7.

28. The Land Treatability of Appendix VIII. (1984). Constituents Present in Petroleum Industry Waste. API Doc R-974-220.

29. U.S Environmental Protection Agency: EPA Guide for Identifying Cleanup Alternatives at Hazardous Waste Sites and Spills: Biological Treatment, EPA 60073-83-063.

30. U.S. Environmental Protection Agency. (1993). Bioremediation Using the Land Treatment Concept. EPA 600/R-93/164.

31. Yaulema, F. (2003). Impactos Ambientales, Tutoría ESPOCH-Esmeraldas. 03-02-17.

ÍNDICE DE INTERNET

32. INVENTARIO DE SUELOS POTENCIALMENTE CONTAMINADOS

Web Site. http://medioambiente.comadrid.es/areastematicas/suelo/inventario.html

33. ELIMINACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LA ANTÁRTIDA

Web Site. http://www.ciencia-hoy.retina.ar/lnentero/hoy77/antartida.htm

34. PROCEDIMIENTOS EN BIOREMEDIACIÓN

Web Site. http://www.eco2site.com/informes/biorremediacion.asp

35. BIODEGRADACIÓN Y BIORREMEDIACIÓN

Web Site. http://www.ecotropia.com/n1010402.htm

36. LANDFARMING, APPLICATION, OPERATION PRINCIPLES AND SYSTEM DESIGN

Web Site. http://www.epa.gov/swerust1/cat/landfarm.htm

37. BIORRESTAURACIÓN DE ÁREAS IMPACTADAS POR CRUDO

Web Site. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442001001000014&lng=es&nrm=iso

38. BIORRECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Web Site. http://www.unavarra.es/genmic/micind-2-3.htm

39. MONITORED NATURAL ATTENUATION

Web Site. http://www.epa.gov/swerust1/pubs/tum_ch9.pdf

40. REQUERIMIENTOS EN UNA MATRIZ DE SUELOS CONTAMINADOS

Web Site. http:/www.frtr.gov/matrix2/section4/4_15.html

41. DEFINICIONES TÉCNICAS

Web Site. http://www.cpeo.or/techtree/glossary

42. CINÉTICA QUÍMICA

Web Site. http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/iq/iq95-872/reactores7cinetica.html

43. LAND FARMING: LIMITATIONS AND APPLICABILITY

Web Site. http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4_13a.html

44. USING TPH IN RISK-BASED CORRECTIVE ACTION

Web Site. http://www.epa.gov/swerust1/rbdm/tphrbca.htm

45. METHODOLOGY FOR APPLYING MONITORED NATURAL ATTENUATION TO PETROLEUM HYDROCARBON-CONTAMINATED GROUND-WATER SYSTEMS WITH EXAMPLES FROM SOUTH CAROLINA

Web Site. http://toxics.usgs.gov/pubs/wri004161/index.html

46. MESUREMENT PROCEDURES AND POTENCIAL EFFECTS ON TREATMENT COST OR PERFOMANCE

Wet Site. http://www.frtr.gov/matrix2/appd_d_/appd_d_tab4.html

ANEXOS

ANEXO A. OPERACIONALIZACIÓN / CATEGORÍAS

CONCEPTO	CATEGORÍA	VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES	SUBÍNDICES	OBSERVACIONES
Determinación de las propiedades más importantes del suelo que se encuentra próximo al sitio de tratamiento, incluyendo pruebas para observar la actividad microbiana.	Caracterizar el suelo virgen	Físicas	Potencial de hidrógeno Humedad Porosidad Textura Densidad real	H^+ % % % Kg / m^3	6≤ pH ≤ 8 ---- ---- Media-franca ----	Suelo no contaminado para potenciar la bioremediación mediante el aporte de microorganismos nativos.
		Químicas	COT	%	----	
		Biológicas	Densidad microbiana	UFC / g de suelo	----	
Ensayos de simulación en una matriz natural con distintas concentraciones de lodo contaminado con hidrocarburo en suelo virgen, sobre las que se determinaran las propiedades físicas, químicas y recuento de población bacteriana.	Caracterización de lodos	Físicas	Temperatura lodo Textura del lodo Humedad de campo Potencial de hidrógeno	°C % % H^+	10 ≤ ºC ≤45 Media/ franca 40 ≤ % ≤85 6≤ pH ≤ 8	
		Químicas	TPH Nutrientes COT Nitrógeno Fósforo Cadmio Níquel Plomo	mg / L C:N:P % % % mg / L mg / L mg / L	≤ 2500 100:10:1 100 10 1 < 2 < 50 < 100	RSRAOH, Decreto 1215 Parámetros fijados por Reglamento Ambiental, RSRAOH, Decreto 1215
		Biológicas	Densidad microbiana Degradabilidad	CFU / g de suelo % (DBO / DQO)	> 1000 > 60	 EPA 40CFR Nº 796.3220

Continúa

ANEXO A. OPERACIONALIZACIÓN / CATEGORÍAS (continuación)

CONCEPTO	CATEGORÍA	VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES	SUBÍNDICES	OBSERVACIONES
Determinación de las características meteorológicas típicas de la zona en la cual se ubicará el Sistema Landfarming.	Característica del sitio	Físicas	Temperatura ambiente Lluvia Viento	°C Pulgadas m / s	$10 \leq$ ºC ≤ 45 < 30 Moderado	Registros que serán soportados con la estación meteorológicas operada por el INOCAR
A partir de los estudios de tratabilidad, se define la celda de tratamiento, sobre la base del ensayo más eficaz, económico y considerando el volumen anual promedio de lodo contaminado con hidrocarburo que genera la operación de refinería.	Diseño del sistema Landfarming	Ensayos de nivel dos. Técnica Económica	Concentración lodo / suelo virgen Volumen de lodo a tratar Costo de construcción	% p / p m^3 USD	$5 \leq \% \leq 10$ ≤ 70 ----------	Incluye aireación, humectación y recolección de material lixiviado Financiado por Petroecuador. Partida 252.001.02.01.50.06
Durante las fases de construcción y operación del Proyecto, las acciones modificarán determinados factores del área, que deberán ser minimizados con planes de actuación previamente escritos e implementados	Plan de Manejo Ambiental	Identificación de aspectos e impactos ambientales	Matriz de Identificación de Efectos Matriz de Importancia Matriz de Valoración de Impactos	Acciones del proyecto Vs factores del medio We Wd Wa Extensión Duración Reversibilidad Magnitud Impacto	+ ó - 0.2 0.4 0.4 $1 \leq$ Ext ≤ 10 $1 \leq$ Dur ≤ 10 $1 \leq$ Rev ≤ 10 $1 \leq$ M ≤ 10 A / S / D / P	Es una exigencia de PETRINDUSTRIAL presentar un PMA de los proyectos que son aprobados para su ejecución. Importancia: IMP=WeE+WdD+WrR Impacto: $I = \pm [IMP \times M]^{0.5}$ A = Altamente significativo S = Significativo D = Despreciable P = Positivo

ANEXO Nº B. OFICIO Nº 659-GPA-2002. CERTIFICACIÓN PRESUPUESTARIA

U. LEGAL

PARA EL PROYECTO AMBIENTAL "CONSTRUCCION DE CAMPO DE LANDFARMING EN LA REE" LA CERTIFICACION PRESUPUESTARIA ADJUNTA REEMPLAZA A LA INDICADA MEDIANTE MEMORANDO Nº 017-PIA-2002.

Oficio No. 659-GPA-2002 3956
Quito, 25 SET. 2002

Ingeniero
ROSENDO MACHADO
VICEPRESIDENE PETROINDUSTRIAL
Presente

De mi consideración:

Adjunto al presente sírvase encontrar la Certificación Presupuestaria "Fondo de Preveción de la Contaminación" , para proceder a realizar actividades de su filial con respecto al cumplimiento de recomendaciones de Auditoria Ambiental de la Refineria Esmeraldas, de acuerdo con las solicitudes realizadas por el responsable ambiental de su Filial, Ing. Nelson Chulde .

Atentamente,
DIOS, PATRIA Y LIBERTAD

LCDO. JUAN CARLOS FRANCO
GERENTE DE PROTECCIÓN AMBIENTAL ENC.

Adj: Certificación presupuestaria

PETROINDUSTRIAL
SEGURIDAD INDUSTRIAL
RECIBIDO
Fecha: 30 SET. 02
Hora 5:10
DESPACHADO
Fecha:
Hora

VICEPRESIDENCIA
PETROINDUSTRIAL
RECIBIDO
Fecha 30 SET. 2002
Hora 12:30
DESPACHADO
Fecha 30 SET. 2002
Hora 12:30

ANEXO C. CERTIFICACIÓN PRESUPUESTARIA

EL ECUADOR HA SIDO
ES Y SERA PAIS AMAZONICO

No.437-PRE-2002

PARA: GERENTE DE PROTECCION AMBIENTAL, ENC.

CERTIFICACION PRESUPUESTARIA

Certifico que en el Presupuesto de PETROECUADOR-Matriz del año 2002 aprobado por el Directorio de PETROECUADOR con Resolución No. 002-DIR-2002 del 22 de Febrero del año 2002 y Resolución No. 203-CAD-2002 del 25 de Abril del año 2002, consta la siguiente asignación:

1.-	**DENOMINACION:**	"FONDO DE PREVENCION DE LA CONTAMINACION". Descripción: Cumplimiento de recomendaciones de Auditoría Ambiental de Refinería Esmeraldas.
2.-	**ITEM DE GASTOS:**	**252.001.02.01.50.06**
3.-	**VALOR PRESUPUESTADO:**	USD. 8.142.238.00
4.-	**SALDO AL:** 31 de Julio/2002	USD. 3.950.907.00

OBSERVACIONES:

CERTIFICACION QUE SE CONCEDE ATENDIENDO EL MEMORANDO No. 1115-GPA-2002.

ET. 2002

Lic. Salomé Barragán R.
JEFE UNIDAD DE PRESUPUESTO ENC.

EMPRESA ESTATAL PETROLEOS DEL ECUADOR
UNIDAD PRESUPUESTO
PETROECUADOR

Quito, 19 de Septiembre del 2002

23-sep-2002

ANEXO D. CERTIFICACIÓN DE APLICACIÓN DEL PROYECTO

Esmeraldas, mayo 19 del 2003
Oficio N. REE-SPG-PSI-2003

Doctora
Yolanda Díaz H.
DIRECTORA COMISION ACADEMICA DE POSTGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL CHIMBORAZO
RIOBAMBA.-

De mi consideración:

El "Programa Ambiental para Recuperación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos en Refinería Esmeraldas", mediante tecnología Landfarming, planteado y aceptado en esta planta industrial, por el maestrante, ingeniero Ramón Bedoya Meneses, se lo ha con cargado al presupuesto de la partida N.252.001.02.01.50.06; valor estimado en $68.000,oo (sesenta y ocho mil dólares americanos).

Para tal propósito, los ensayos de laboratorio como la logística, se encuentran disponibles en nuestras Unidades Control de Calidad y Seguridad Industrial.

Agradecido de su gentil atención, remito mi permanente disposición para colaborar con los Centros de Educación Superior y en lo particular con la ESPOCH.

Atentamente,

Ing. Carlos Arias Naranjo
SUPERINTENDENTE GENERAL
REFINERIA ESMERALDAS

Telf.: (593-6) 271 / 272 / 273 / 274 / 275 / 276 • Fax: 593 (6) 725 / 727 / 736 • Apartado 218

ANEXO E. COSTOS DE LOS ENSAYOS CON BIAUMENTACIÓN ENDÓGENA

CIA. LTDA.

I.E.B. INTEGRAL ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY CIA. LTDA
Gualaquiza OE4-179 y Av. Diego de Vásquez
Teléfono: 2536 345
Quito - Ecuador

RUC: 1791887016001
AUT. SRI : 1060980172
FACTURA
No. 000002
SERIE : 001-001

Cliente: Refinería Estatal Esmeraldas
RUC: 08 2 700 171 Teléfono:
Dirección: Km. 4 ½ Vía Atacames

Fecha	Dia	Mes	Año
	27	10	03

CANT.	DETALLE	V. UNIT.	V. TOTAL
10	1 Toma de muestra de suelo contaminado, conservación Refrigeración muestra	10	100
Glb.	2 Preparación de medios de cultivo generales	380	380
Glb.	3 Siembra de cultivos en condiciones aerobias y Anaerobias	250	250
Glb.	4 Identificación de cepas aerobias y anaerobias	1150	1150
Glb.	5 Aislamiento de cepas especificas en medios Enriquecidos de hidrocarburos	1150	1150
Glb.	6 Inoculación de cepas seleccionadas y aisladas en Muestras de suelos contaminados	130	130
Glb.	7 Control de la degradación de parámetros	190	190
Glb.	8 Determinación de parámetros cinéticos	380	380

Recibió 2003-10-29.
Isabel Astudillo S.
CTAS. X PAGAR

FISCALIZADOR Nº 002 31377

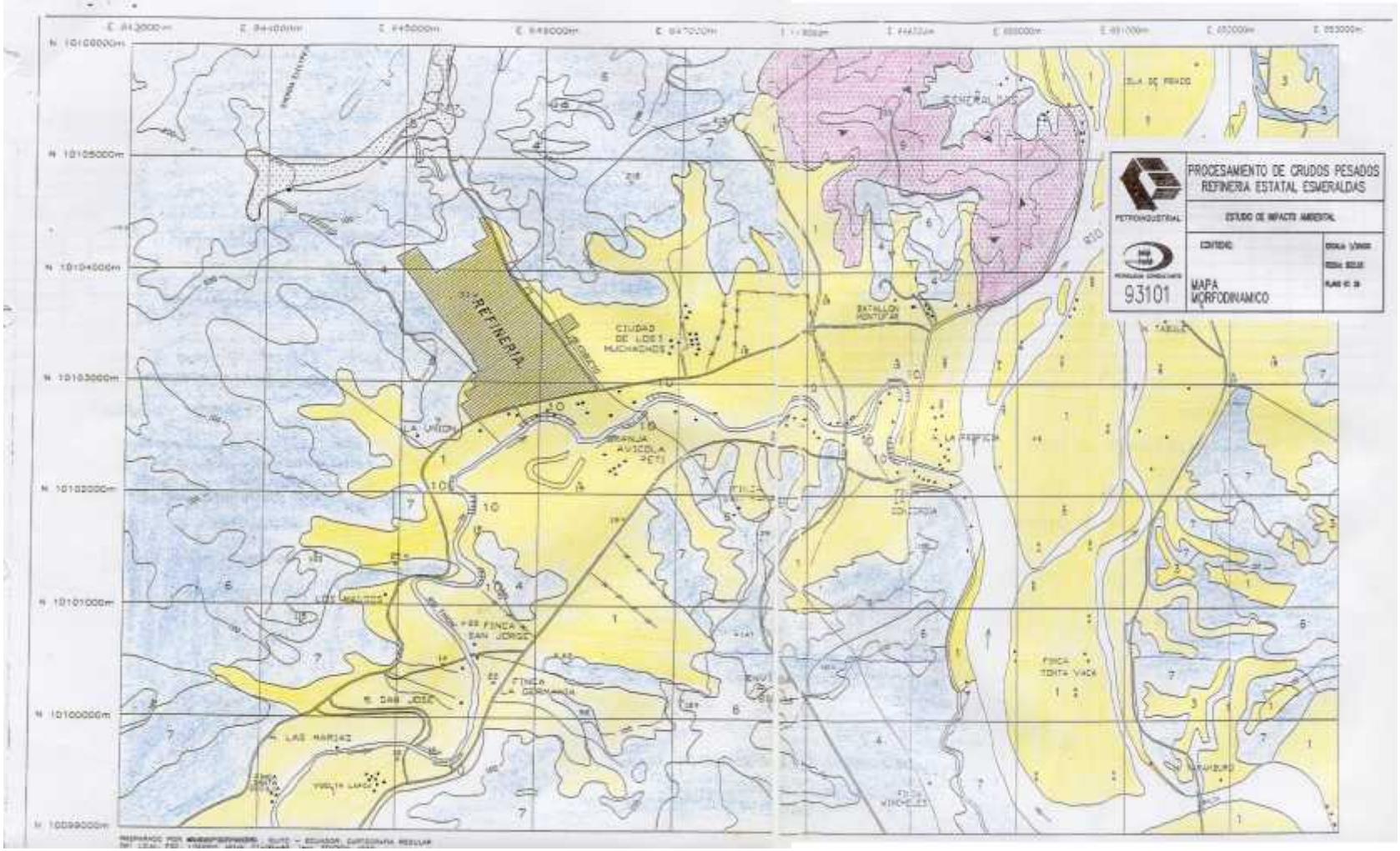
Son: Cuatro mil ciento setenta y siete dolares con 60/100

SUBTOTAL	3.730.00
IVA TARIFA 0	
12 IVA.....%	447.60
TOTAL USD	4.177.60

F. Emisor F. Adquiriente

Grafimax- Santos Jaramillo Angel Ernesto RUC 1701643869001 Autorización 2082 - Fecha Impresión Julio-2003
Fecha de caducidad - Julio-2004 - Emisión de 01 a 50 - Original Adquiriente - Copia Emisor sin derecho a crédito

ANEXO F. UBICACIÓN CARTOGRÁFICA DE REFINERÍA ESMERALDAS



ANEXO G. SITIO EXACTO DONDE SE IMPLEMENTÓ EL SITEMA DE TRATAMIENTO LANDFARMING

22,23

ANEXO H. DETALLES COSTRUCTIVOS DEL LANDFARMING

ANEXO H.1. Base de la piscina compactada con arcilla

ANEXO H.2. Instalación de Geomembrana

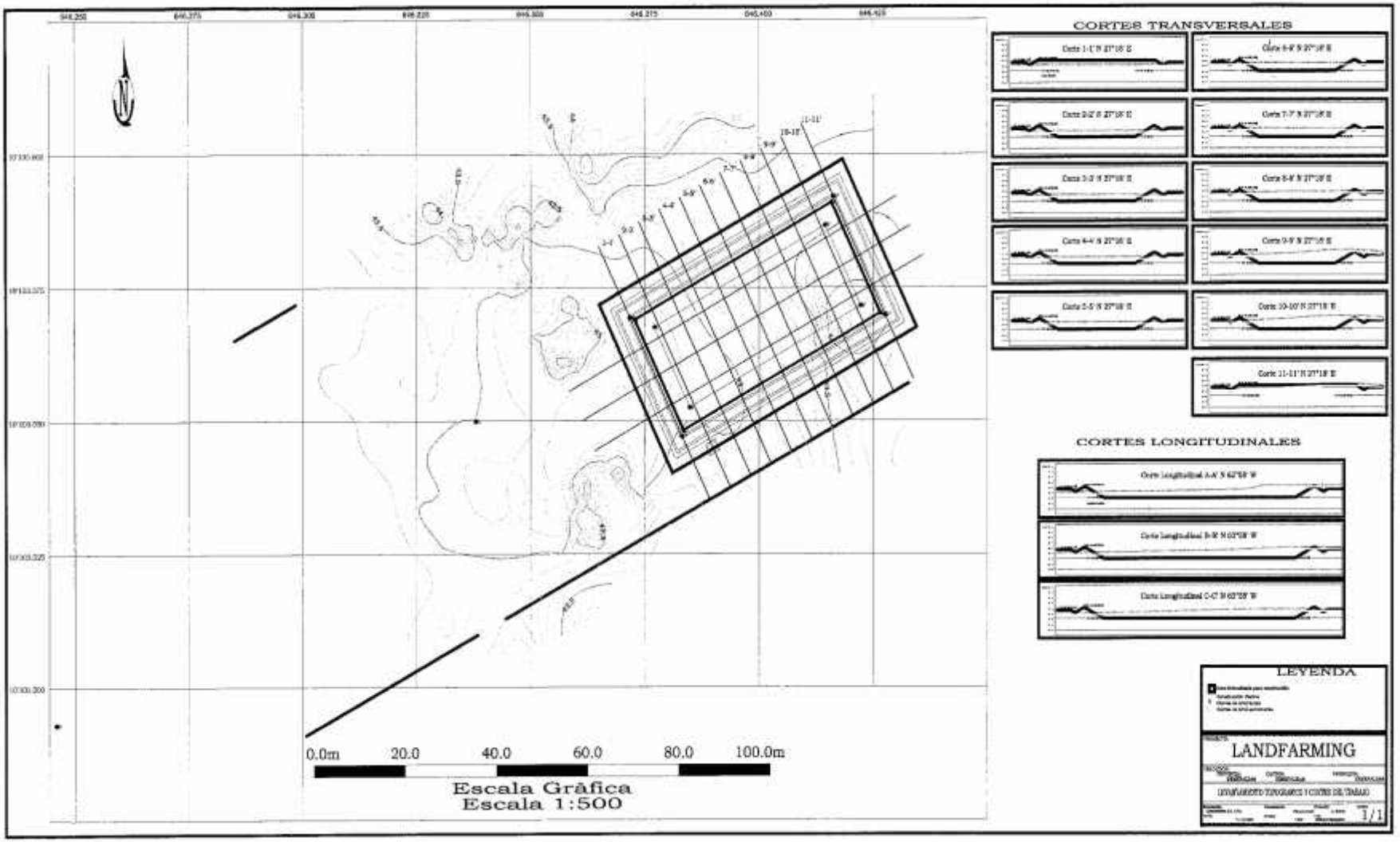
ANEXO H.3. Adecuación de geomembrana en talúd

ANEXO H.4. Protección de piscina con geomembrana

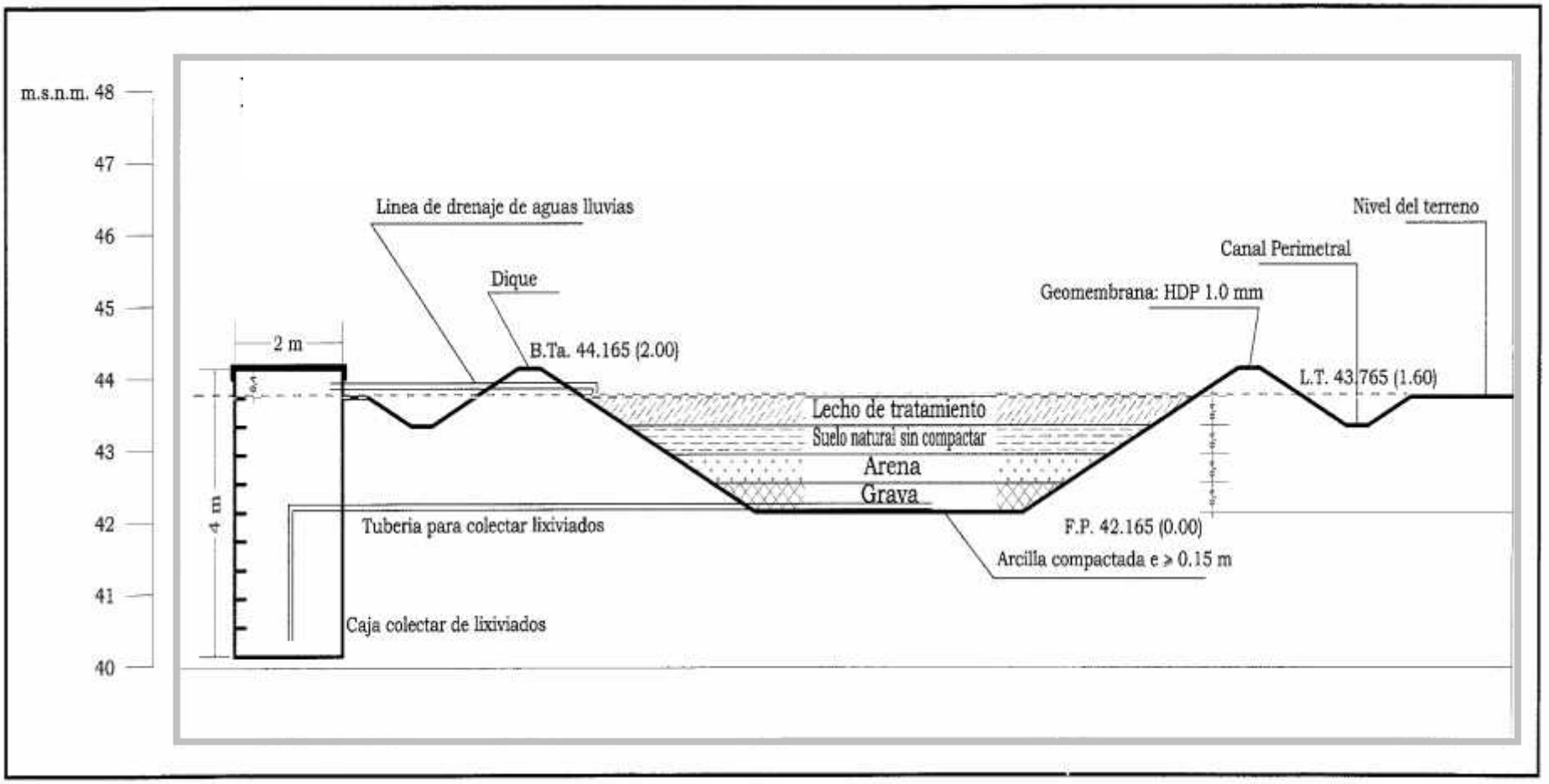
ANEXO H.5. Sistema colector de lixiviados

ANEXO H.6. Bermas para encausar escorrentías

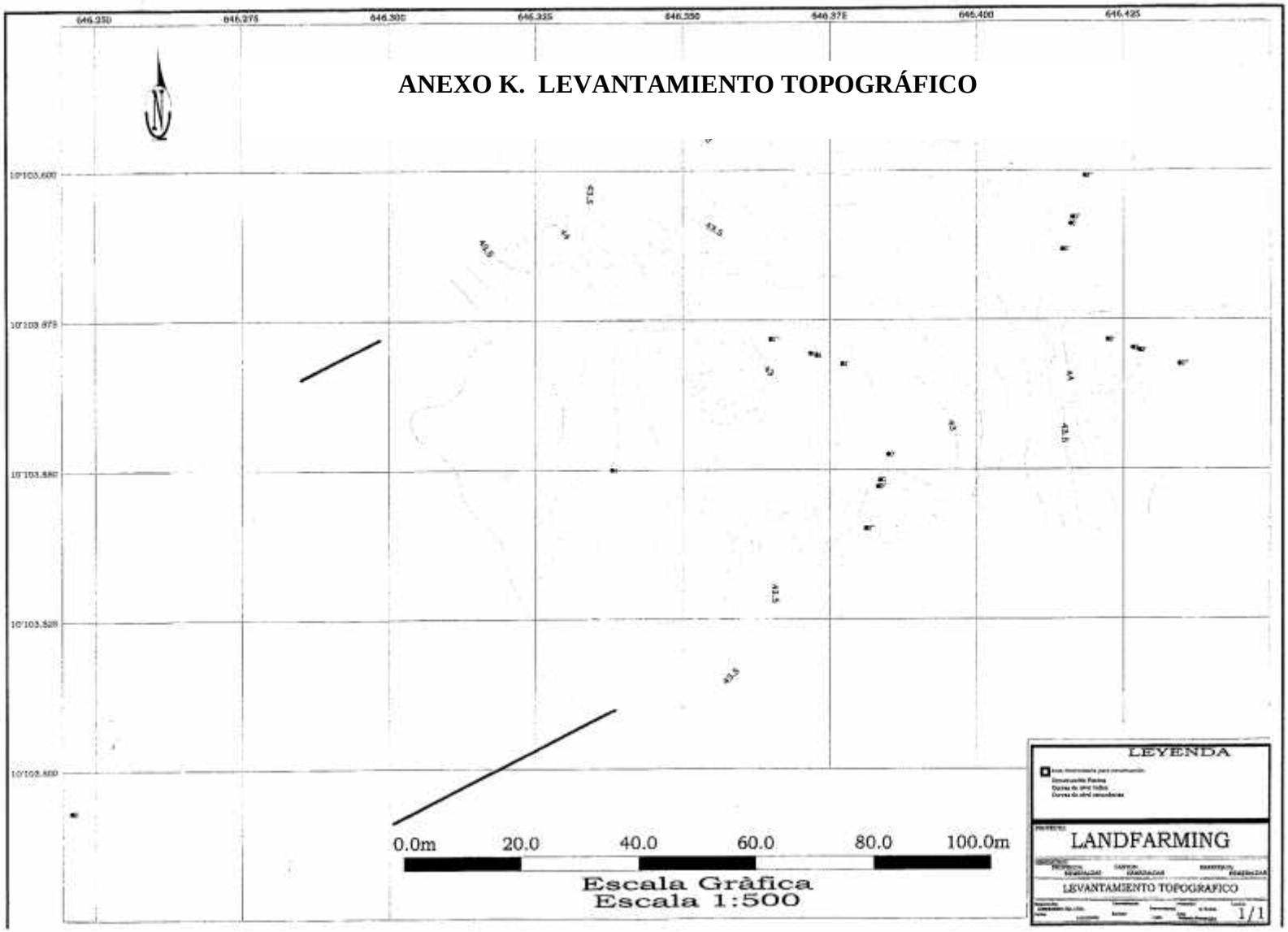
ANEXO I. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y CORTES DE TRABAJO



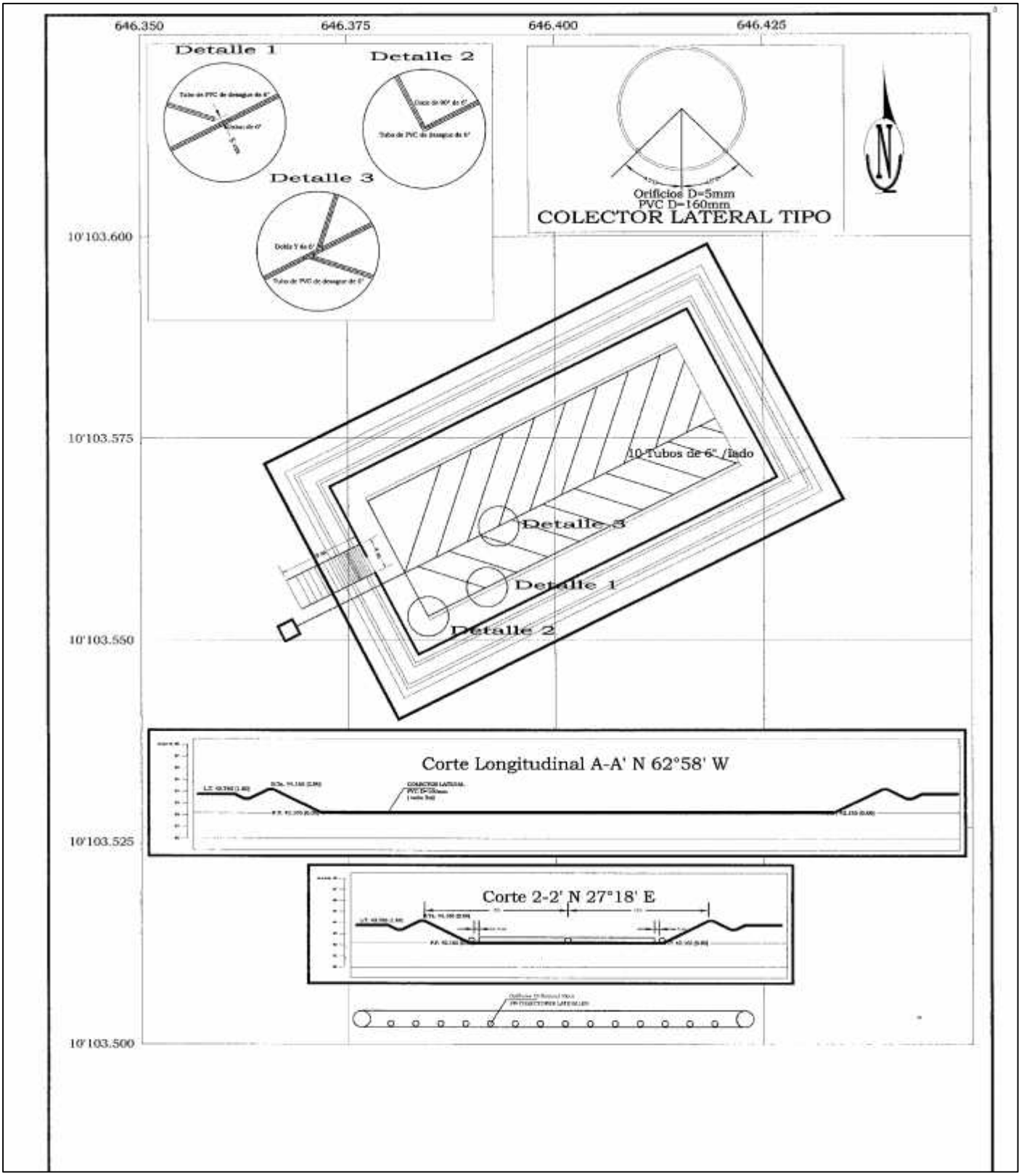
ANEXO J. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA LANDFARMING



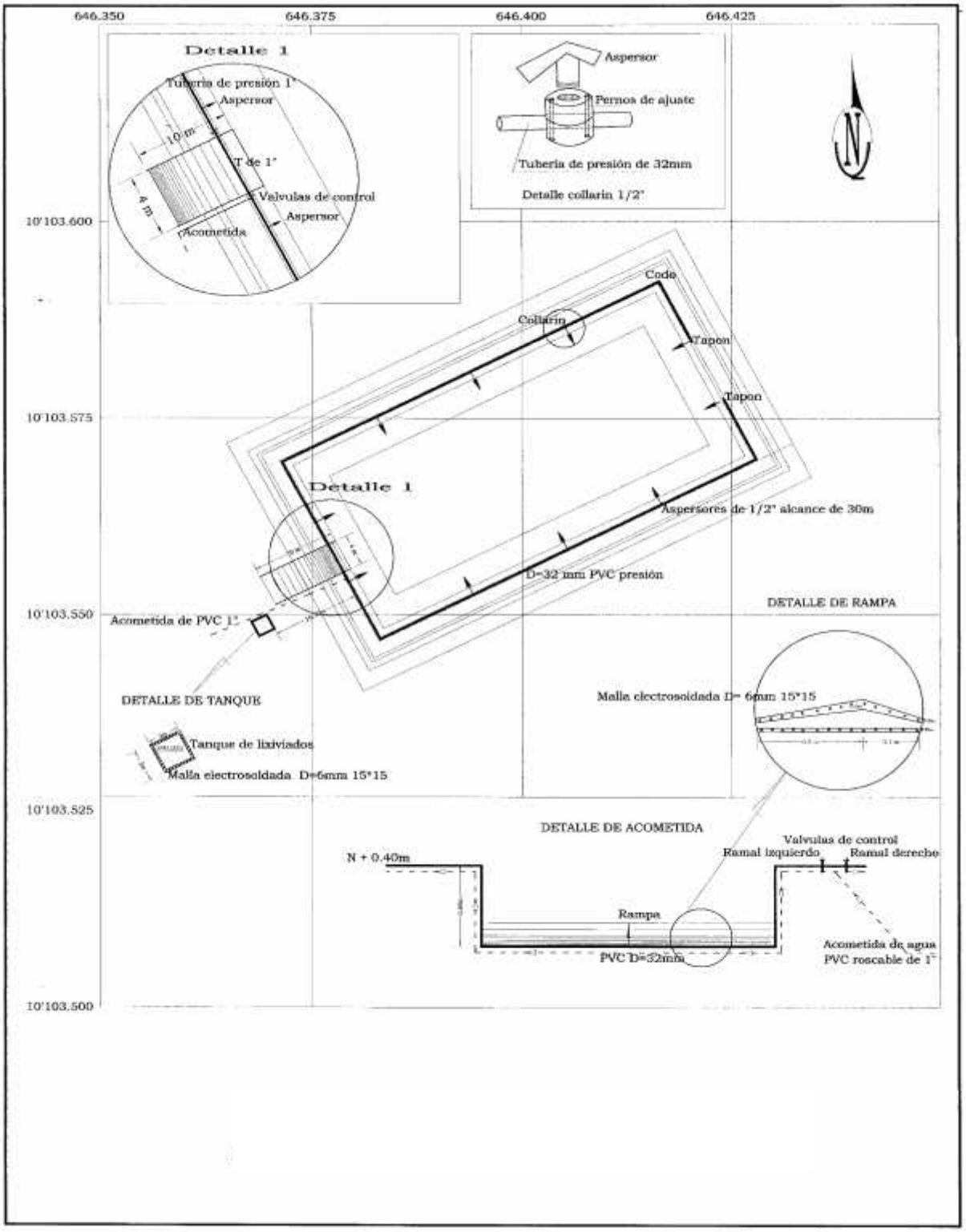
ANEXO K. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



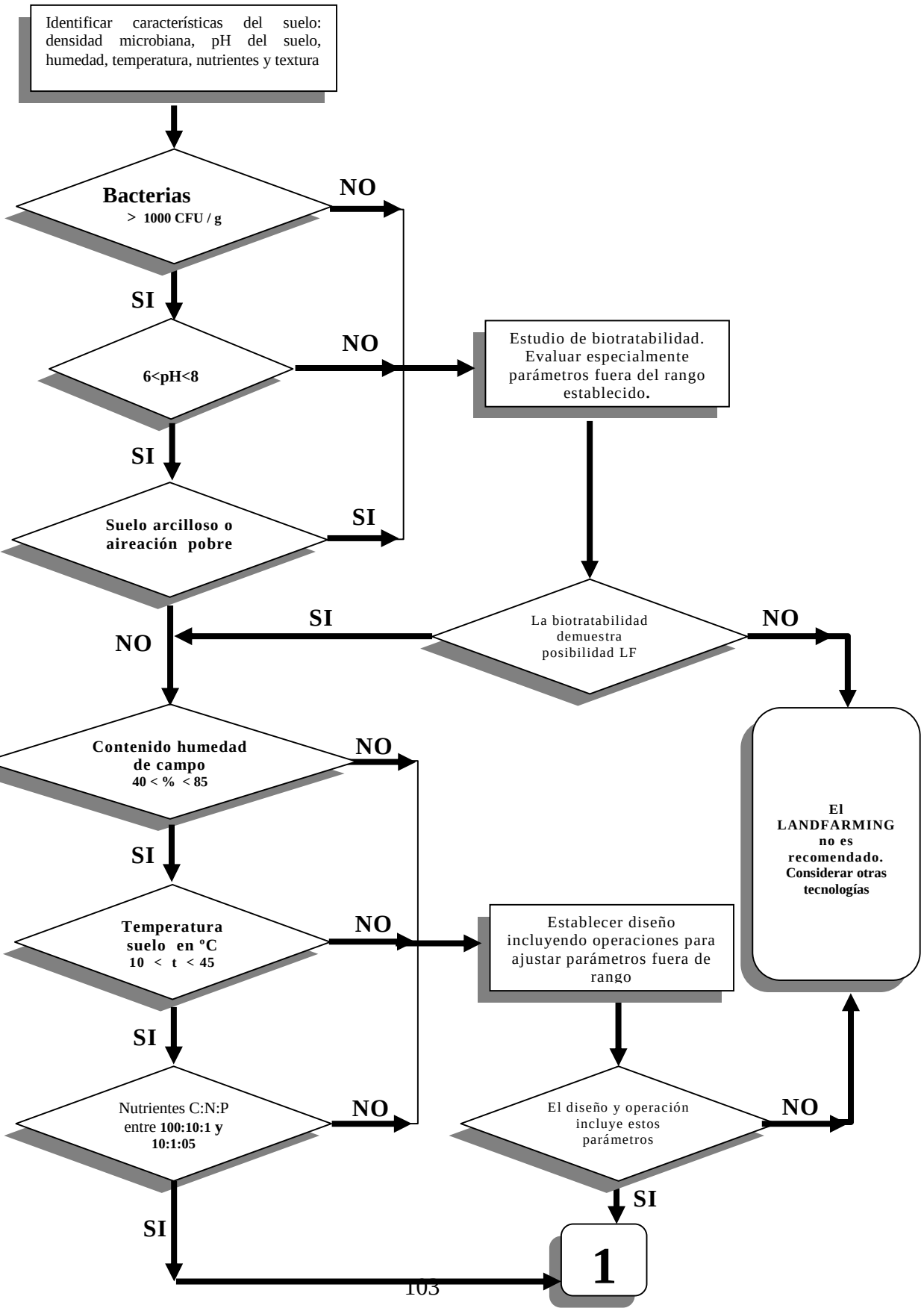
ANEXO L . DISTRIBUCIÓN TUBERÍA DE DRENAJE

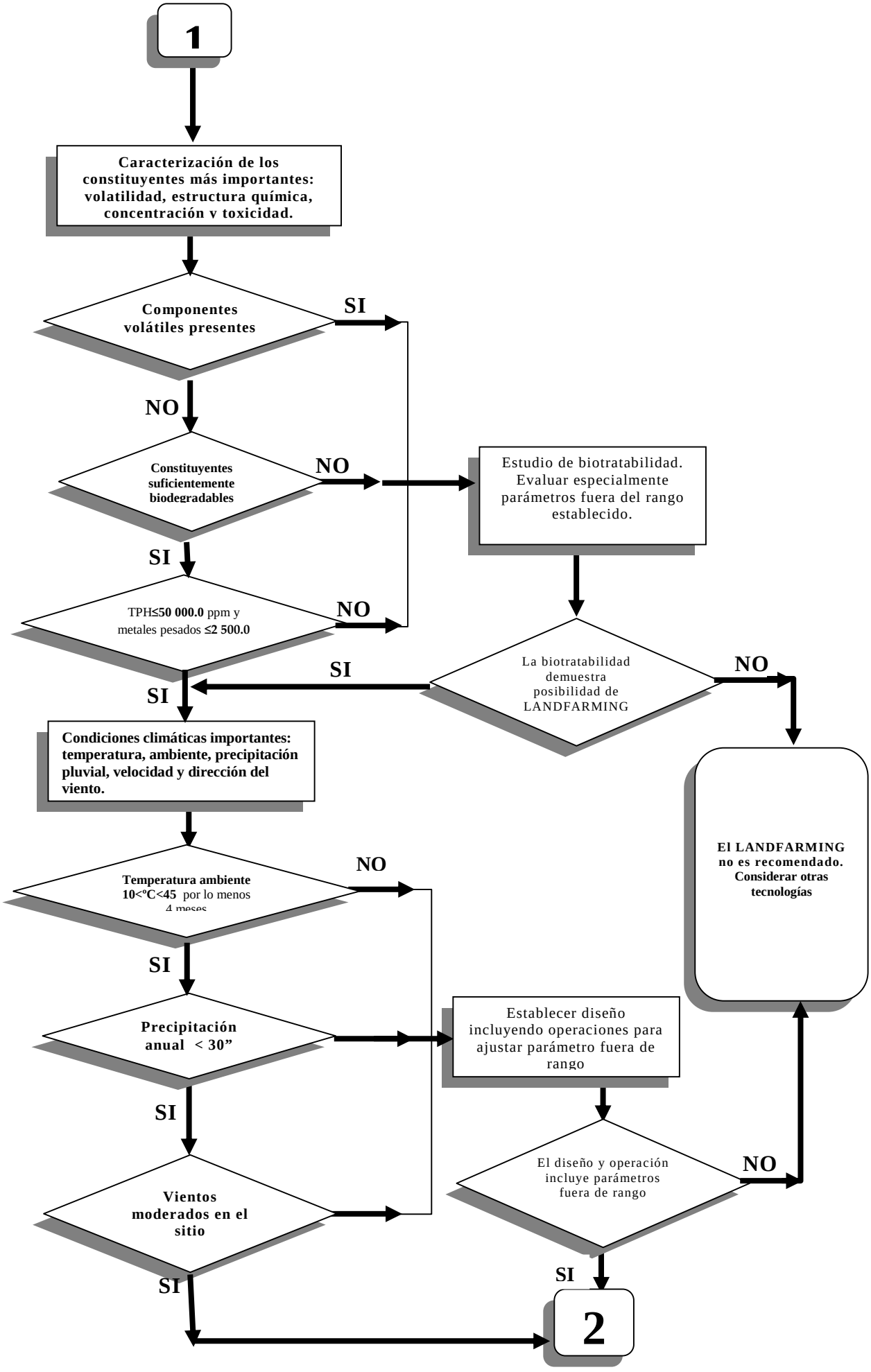


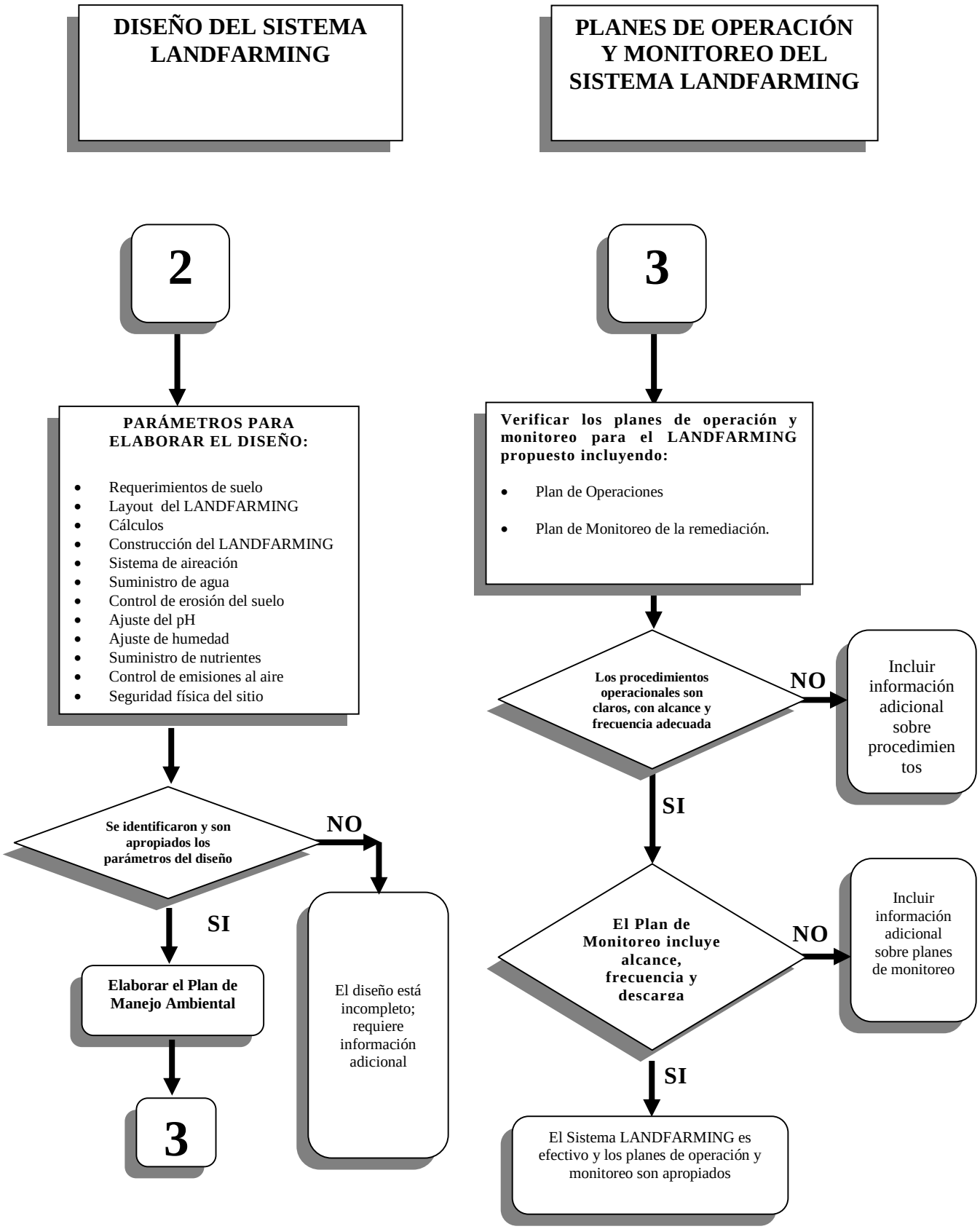
ANEXO M. SISTEMA DE ASPERSIÓN CON AGUA



ANEXO N. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS REQUERIDOS PARA LA EFECTIVIDAD DE UN SISTEMA LANDFARMING




1
Caracterización de los constituyentes más importantes: volatilidad, estructura química, concentración y toxicidad.
Componentes volátiles presentes
SI
NO
Constituyentes suficientemente biodegradables
NO
Estudio de biotratabilidad. Evaluar especialmente parámetros fuera del rango establecido.
SI
TPH≤50 000.0 ppm y metales pesados ≤2 500.0
NO
La biotratabilidad demuestra posibilidad de LANDFARMING
NO
SI
SI
El LANDFARMING no es recomendado. Considerar otras tecnologías
Condiciones climáticas importantes: temperatura, ambiente, precipitación pluvial, velocidad y dirección del viento.
Temperatura ambiente 10<ºC<45 por lo menos 4 meses
NO
SI
Precipitación anual < 30”
Establecer diseño incluyendo operaciones para ajustar parámetro fuera de rango
SI
El diseño y operación incluye parámetros fuera de rango
NO
Vientos moderados en el sitio
SI
SI
2


DISEÑO DEL SISTEMA LANDFARMING
PLANES DE OPERACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA LANDFARMING
2
PARÁMETROS PARA ELABORAR EL DISEÑO:
Requerimientos de suelo
Layout del LANDFARMING
Cálculos
Construcción del LANDFARMING
Sistema de aireación
Suministro de agua
Control de erosión del suelo
Ajuste del pH
Ajuste de humedad
Suministro de nutrientes
Control de emisiones al aire
Seguridad física del sitio
Se identificaron y son apropiados los parámetros del diseño
NO
SI
El diseño está incompleto; requiere información adicional
Elaborar el Plan de Manejo Ambiental
3
3
Verificar los planes de operación y monitoreo para el LANDFARMING propuesto incluyendo:
Plan de Operaciones
Plan de Monitoreo de la remediación.
Los procedimientos operacionales son claros, con alcance y frecuencia adecuada
NO
Incluir información adicional sobre procedimien tos
SI
El Plan de Monitoreo incluye alcance, frecuencia y descarga
NO
Incluir información adicional sobre planes de monitoreo
SI
El Sistema LANDFARMING es efectivo y los planes de operación y monitoreo son apropiados

ANEXO O. ANÁLISIS INICIALES DE COMPROBACIÓN

GEOLOGIA, MINAS, PETROLEOS Y AMBIENTAL
(F I G E M P A)
Instituto Superior de Investigaciones

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICOS Y AMBIENTALES
INFORME DE RESULTADOS

NOMBRE:	Ing. Ramón Bedoya			INFORME N° :	03-0199
EMPRESA:	PETROINDUSTRIAL			N° ST:	o3-o208
DIRECCION:	Km 6 1/2 VIA ATACAMES				
TELEFONO:	707-171	FAX:	707-171	FECHA DE INFORME :	03-06-03
				FECHA RECEPCION EN LAB:	22-05-03

NUMERO DE MUESTRAS : UNA (1) MUESTRA SOLIDA

IDENTIFICACION : Detallada según asignación del cliente

Muestras recibidas en laboratorio, la FIGEMPA se responsabiliza únicamente de los análisis

1. RESULTADOS ANALITICOS

Metodo aplicado		EPA 418.1mod	Metodo Interno	APHA 3500 Cd	APHA 3500 Pb	APHA 3500 Ni
Fecha de ensayo		02/06/2003	30/05/2003	02/06/2003	02/06/2003	02/06/2003
Identificacion de la muestra	Matriz	TPH * mg/kg	pH mg/kg	Cadmio mg/kg	Plomo mg/kg	Niquel mg/kg
suelo contaminado	suelo	88799,19	7,32	< 0,16	8,575	84,30

Nota: Valores de TPH reportados en base seca

2.- RESPONSABLES DEL ANALISIS:
Dra. Mónica Illescas C.
Bioq. Alfredo Maldonado G.

Ing. Nelson Perugachi S.
DIRECTOR LABORATORIOS

Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El laboratorio no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del documento

Pág. 1 de 1

Ciudad Universitaria — Gerónimo Leiton y Av. La Gasca — Casilla 872-A — Telefax 2566-738
Telfs.: 2550-588 2566-726 — E-mail: iinvest@uio.telconet.net — Quito - Ecuador

ANEXO P. CRITICAL VALUES OF STUDENT'S DISTRIBUTION

Degrees of Freedom	1 - α								
	.70	.75	.80	.85	.90	.95	.975	.99	.995
1	0.727	1 000	..376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.617	0 816	..061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.584	0 765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4 541	5.841
4	0.569	0 741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.559	0 727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3 365	4.032
6	0.553	0 718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.549	0 711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.546	0 706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.543	0 703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.542	0 700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.540	0 697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.539	0 695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.538	0 694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.537	0 692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.536	0 691	0.866	1.074	1.34	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.535	0 690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.534	0 689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.534	0 688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.533	0.6880	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.533	687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.532	0 686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.532	0 686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.532	0 685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.531	0 685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.531	0 684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.531	0 684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.531	0 684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.530	0 683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.530	0 683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.530	0 683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.529	0 681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.527	0 679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.526	0 677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.524	0 674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Fuente: EPA QA/G-9. QA00 Version. July 2000. A – 3.

Note: The last row of the table (4 degrees of freedom) gives the critical values for a standard normal distribution (z), e.g., **t (**4, 0.95)

= z 0.95 = 1.645.

ANEXO Q. CRITICAL VALUES FOR THE STUDENTIZED RANGE TEST

	Level of Significance α					
	0.01		0.05		0.10	
n	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
3	1.737	2.000	1.758	1.999	1.782	1.997
4	1.87	2.445	1.98	2.429	2.04	2.409
5	2.02	2.803	2.15	2.753	2.22	2.712
6	2.15	3.095	2.28	3.012	2.37	2.949
7	2.26	3.338	2.40	3.222	2.49	3.143
8	2.35	3.543	2.50	3.399	2.59	3.308
9	2.44	3.720	2.59	3.552	2.68	3.449
10	2.51	3.875	2.67	3.685	2.76	3.57
11	2.58	4.012	2.74	3.80	2.84	3.68
12	2.64	4.134	2.80	3.91	2.90	3.78
13	2.70	4.244	2.86	4.00	2.96	3.87
14	2.75	4.34	2.92	4.09	3.02	3.95
15	2.80	4.44	2.97	4.17	3.07	4.02
16	2.84	4.52	3.01	4.24	3.12	4.09
17	2.88	4.60	3.06	4.31	3.17	4.15
18	2.92	4.67	3.10	4.37	3.21	4.21
19	2.96	4.74	3.14	4.43	3.25	4.27
20	2.99	4.80	3.18	4.49	3.29	4.32
25	3.15	5.06	3.34	4.71	3.45	4.53
30	3.27	5.26	3.47	4.89	3.59	4.70
35	3.38	5.42	3.58	5.04	3.70	4.84
40	3.47	5.56	3.67	5.16	3.79	4.96
45	3.55	5.67	3.75	5.26	3.88	5.06
50	3.62	5.77	3.83	5.35	3.95	5.14
55	3.69	5.86	3.90	5.43	4.02	5.22
60	3.75	5.94	3.96	5.51	4.08	5.29
65	3.80	6.01	4.01	5.57	4.14	5.35
70	3.85	6.07	4.06	5.63	4.19	5.41
75	3.90	6.13	4.11	5.68	4.24	5.46
80	3.94	6.18	4.16	5.73	4.28	5.51
85	3.99	6.23	4.20	5.78	4.33	5.56
90	4.02	6.27	4.24	5.82	4.36	5.60
95	4.06	6.32	4.27	5.86	4.40	5.64
100	4.10	6.36	4.31	5.90	4.44	5.68
150	4.38	6.64	4.59	6.18	4.72	5.96
200	4.59	6.84	4.78	6.39	4.90	6.15
500	5.13	7.42	5.47	6.94	5.49	6.72
1000	5.57	7.80	5.79	7.33	5.92	7.11

Fuente: EPA QA/G-9. QA00 Version. July 2 000. A – 4.