

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL MANGLAR Y LAS AGUAS DEL ESTERO SALADO, CIRCUNDANTES A LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIAS TRES BOCAS DE PETROCOMERCIAL SUR, CON MIRAS A ESTABLECER UN PLAN DE REMEDIACIÓN

Raúl Serrano Carlin
Guillermo Pincay Romero
Daniel Castillo Ruano
Mirella Bermeo Garay
Fernando Caicedo Carrera
Franklin Vitores M.
René Rodríguez Grimón



**Investigación
Tecnología e Innovación**

Revista de divulgación de la Dirección de Investigaciones y Proyectos Académicos



EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL MANGLAR Y LAS AGUAS DEL ESTERO SALADO, CIRCUNDANTES A LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIAS TRES BOCAS DE PETROCOMERCIAL SUR, CON MIRAS A ESTABLECER UN PLAN DE REMEDIACIÓN

POLLUTION EVALUATION OF THE WATERS AND MANGROVE OF ESTERO SALADO, SURROUNDING THE TRANSFER STATION TRES BOCAS OF SOUTH PETROCOMERCIAL IN ORDER TO ESTABLISH A REMEDIATION PLAN

Raúl Serrano¹, Guillermo Pincay, Daniel Castillo², Mirella Bermeo¹, Fernando Caicedo¹, Franklin Vítóres¹, René Rodríguez².

RESUMEN

La Estación de Transferencia Tres Bocas, está implantada en zona de manglar, sus operaciones de recepción de combustibles vía marítima y el bombeo hasta las centrales termoeléctricas y los Terminales de Petrocomercial, ha generado incidentes ambientales como derrames de fuel oil, diesel, naftas, así como fugas de GLP contaminando la atmósfera con vapores de propano y butano, poniendo en riesgo de incendio y explosión ese sector. Por ello, el objetivo del proyecto, fue determinar el grado de contaminación existente en los recursos naturales circundantes a la Estación, y en función de esto, elaborar un plan de remediación para esta unidad operativa para preservar la reserva del bosque húmedo tropical, del manglar y de las aguas del Estero Salado. La calidad del agua que circunda a la estación Tres Bocas presenta baja concentración de oxígeno disuelto, elevada concentración de aceites y grasas, una alta concentración de la Demanda Química de Oxígeno y la

1 Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Av. Delta y Av. Kennedy, Guayaquil, Ecuador. Telf.: 04 2 294772 E-mail:olmedo32@yahoo.com

2 Investigador Asociado

presencia de Cadmio en una de las estaciones de muestreo del agua marina, que supera el límite máximos permisible para la conservación de flora y fauna. Además existe una contaminación latente en varios puntos, que demandan una acción de mitigación y remediación del pasivo contaminado.

Palabras claves: Plan, contaminación, remediación, Tres Bocas, TPH.

SUMMARY

Transfer Station Tres Bocas, is implanted in mangrove area, its takeover of fuels by seaway and pumping up to the power plants and terminals Petrocomercial has generated environmental incidents such as spills of fuel oil, diesel, gasoline, as well as LPG leak polluting the atmosphere with fumes of propane and butane, risking fire and explosion of that sector. Therefore, the project's objective was to determine the degree of contamination in the surrounding natural resources to the Station, and on this basis, develop a remediation plan for this unit operational reserve to preserve the tropical rain forest, mangrove and the waters of the Estero Salado. The quality of water that surrounds the Tres Bocas station has low dissolved oxygen concentration, high concentration of oils and fats, a high concentration of chemical oxygen demand and the presence of cadmium in one of the sampling stations of sea water, that exceeds the maximum allowable limit for the conservation of flora and fauna. There is also a latent contamination at several points that require action on mitigation and remediation of contaminated person.

Key words: Plan, remediation, contamination, Tres Bocas, TPH.

1. INFORME DEL PROYECTO

1.1. ANTECEDENTES

El Centro Operativo de Transferencia Tres Bocas, propiedad de la Gerencia de Transporte y Almacenamiento ex - Petrocomercial, de EP PETROECUADOR, cumple desde 1985 objetivos estratégicos de abastecer, de combustible fuel oil al Terminal de Fuel Oil y, a las centrales termoeléctricas de la CATEG y Electro Guayas. También abastece de diesel y naftas de alto octanaje al Terminal Pascuales y de gas licuado de petróleo al Terminal gasero El Salitral.

La Estación Tres Bocas está implantada en el estuario formado por el Estero Salado en la confluencia con los Esteros Plano Seco y Mongón, en el bosque húmedo tropical y manglar; zonas sensibles ambientalmente cuyos sistemas

ecológicos posibilitan una permanente reproducción y vida de una gran diversidad de flora y fauna, que el 22 de enero de 2003 fue declarada por el Ministerio del Ambiente mediante Acuerdo No. 142 (R.O. No. 5), Reserva de Producción de Fauna Manglares El Salado.

En esta Unidad Operativa de la Gerencia de Transporte y Almacenamiento de EP PETROECUADOR, en diferentes épocas se han producido, incidentes ambientales como derrames de fuel oil, diesel, naftas; emergencias que han afectado a las aguas de los Esteros Salado, Plano Seco y Mongón, así como al manglar y bosque húmedo tropical circundante a esta Estación.

La contaminación por petróleo se caracteriza por su persistencia en los ecosistemas, a pesar de los procesos de degradación natural y/o antrópica a que puedan ser sometidos. Esta contaminación tiene un pronunciado efecto sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, pudiendo impedir o retardar el crecimiento de vegetación, en general los contaminantes hidrocarbonados, son tóxicos en los seres vivos ya que son mutagénicos, carcinogénicos y acumulativos en la cadena alimenticia.

Frente a esto, se justifica plenamente que se realice una investigación para determinar el nivel de contaminación existente en las aguas del Estero y del manglar; así como para proponer un plan de remediación, con miras a revertir ambientalmente la situación, en beneficio de la preservación de la diversidad de vida en los sistemas ecológicos presentes.

Es importante señalar, que durante las emergencias que se han producido, principalmente de derrames de hidrocarburos, se han utilizado dispersantes de petróleo, que tienen un efecto residual en el lecho marino, todo esto nos permite deducir, que existen contaminantes en el suelo del manglar, que deben ser identificados y proponer alternativas para su degradación.

La metodología a utilizar en este trabajo investigativo se guiará, por lo establecido en el Art. 41 del Decreto 1215 o Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Evaluar el nivel de contaminación del manglar y de las aguas del Estero Salado circundantes a la Estación de Transferencia Tres Bocas de Petrocomercial Regional Sur, con miras a establecer un plan de remediación ambiental.



1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar y caracterizar el agua del Estero Salado, en la Estación Tres Bocas de Petrocomercial.
- Determinar la composición cualitativa y cuantitativa del plancton presente en la Estación de Tres Bocas.
- Analizar el suelo del manglar que rodea las instalaciones de la Estación Tres Bocas de Petrocomercial.
- Determinar el grado de contaminación del suelo y sedimentos, por hidrocarburos y microorganismos patógenos, en la Estación de Tres Bocas.
- Elaborar un plan de remediación y estimar el costo para su ejecución y puesta en práctica.

2. METODOLOGÍA

La investigación se realizó evaluando la calidad del agua del Estero Salado, el suelo del manglar y lecho marino circundantes a la Estación, a través del desarrollo de las actividades que más adelante se detallan.

- Obtención de la autorización de ingreso a la Estación de Tres Bocas, por parte de la máxima autoridad de Petrocomercial Sur.
- Organización del equipo de trabajo de la investigación, con la participación del Ing. Guillermo Pincay Romero de la Facultad de Ingeniería Química; Ing. Daniel Castillo Ruano coordinador de la logística de campo, Ing. Mirella Bermeo Garay de los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química y los asistentes de la investigación, los egresados de Ingeniería Química Sr. Fernando Caicedo C. y Sr. Franklin Vitores M.
- Inspección de las instalaciones de la Estación de Tres Bocas.
- Entrevistas con el personal técnico y de control ambiental de la Estación.
- Recopilación de la información técnica y datos operativos de la Estación Tres Bocas.
- Elaboración del cronograma de trabajo, tomando en consideración la tabla de mareas para el período de toma de muestras.
- Coordinación con los Laboratorios la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil, para el análisis del agua y determinación de TPH suelos; con el Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil para la realización de los ensayos del fitoplancton, con el Blgo. René Rodríguez Grimon, MSc. para los análisis de zooplancton y con el Laboratorio de Ensayo de Productos de Uso Acuícola LAB-EPA del Instituto Nacional de Pesca, para el análisis microbiológico de muestras de sedimentos.
- Revisión de la bibliografía sobre estudios de caracterización de sitios

contaminados y estudios afines a la presente investigación.

- Evaluación de los resultados del análisis de aguas y sedimentos, así como la determinación de la correlación entre los mismos.
- Elaboración del informe del proyecto que incluye el programa de remediación, en base a la interpretación y la evaluación de los resultados.

3. MARCO LEGAL APLICABLE PARA EVALUAR EL NIVEL DE CONTAMINACIÓN

Este trabajo de investigación se respalda en las siguientes bases jurídicas:

- Constitución política de la República del Ecuador.
- Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador, Decreto N° 1215.
- Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).
- Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre. Registro Oficial N° 64.
- El **Decreto No. 1215**, publicado en el Registro Oficial No. 265 de 13 de Febrero de 2001, titulado Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas (RAOH) en el Ecuador, en su Tabla 6, trata de los límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera. Para el presente caso se aplicará la columna de ecosistemas sensibles, que para TPH señala una concentración menor a 1000 mg/Kg (*Cuadro 1*),
- La determinación de la calidad del agua se la hizo en base a la Tabla No. 9 del RAOH del Ecuador, “Parámetros a determinarse en la caracterización de aguas superficiales en Estudios de Línea base – Diagnóstico Ambiental”.

Cuadro 1. Límites permisibles para la identificación y remediación de suelos contaminados en todas las fases de la industria hidrocarburífera, incluidas las estaciones de servicios (*)

Parámetro	Expresado en	Unidad ¹⁾	Uso agrícola ²⁾	Uso industrial ³⁾	Ecosistemas sensibles ⁴⁾
Hidrocarburos totales	TPH	mg/Kg.	<2500	<4000	<1000
Hidrocarburos aro máticos policíclicos	(HAP's)	mg/Kg.	<2	<5	<1
Cadmio	Cd	mg/kg	<2	<10	<1
Níquel	Ni	mg/kg	<50	<100	<40
Plomo	Pb	mg/kg	<100	<500	<80

(*) Tabla 6 del RAOH en el Ecuador.

4. CARACTERIZACIÓN DE LOS MEDIOS FÍSICOS Y BIÓTICOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

4.1.1. Localización geográfica, extensión y límites

La Estación Tres Bocas se encuentra a una distancia de 1,36 Km. de la zona poblada más próxima, el suburbio oeste de Guayaquil, comunicándose a través de la vía Perimetral. La ubicación geográfica satelital de las instalaciones de planta referida al plano general de la ciudad se presenta en los figura 1 .

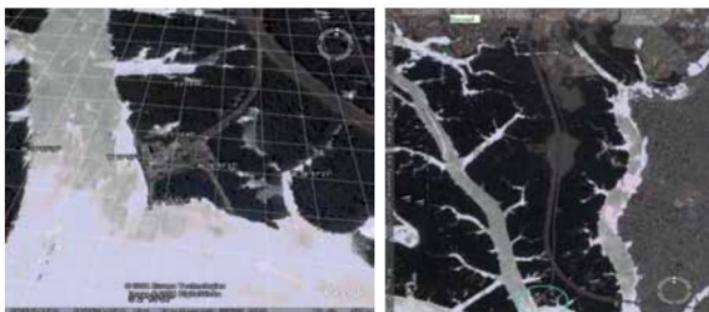


Figura 1. Ubicación geográfica de la Estación de Transferencia “Tres Bocas”

4.1.2. Características de la obra civil

En la Estación de Transferencia de Tres Bocas existen tanto instalaciones de tierra como instalaciones portuarias debido a la ubicación y actividades que se realizan en ella. Las instalaciones portuarias la conforman el área de recepción de los buques, amarre de los buques, muelles (2); uno para descarga de fuel oil y el otro para descarga de GLP, un atracadero y cuatro dolphins para los buques de productos limpios. Existe además un muelle para embarcaciones menores donde se encuentran un guardacostas, dos lanchas y dos remolcadores.

Los ductos de recepción y bombeo de combustibles existentes son:

- Ducto Tres Bocas- Terminal Fuel Oil para transporte de fuel Oil., de 5 km de longitud y 14 pulgadas de diámetro.
- Gasoducto Tres Bocas-Salitral para transporte de GLP de 6 km y 8 pulgadas de diámetro.
- Poliducto Tres Bocas-Pascuales para transporte de productos limpios (gasolina, diesel No. 1 y diesel No. 2), de 12 pulgadas de diámetro y 25 km de longitud.

4.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA

4.2.1 Metodología de trabajo

Recolección de datos en el sitio y análisis de las muestras en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química. Para la identificación de las muestras, primero se etiquetaron los recipientes, se los sellaron y enviaron al laboratorio, los datos adicionales tales como fecha y coordenadas geográficas se registraron.

a. Toma de muestras

Se tomaron las muestras de la capa superficial del cuerpo de agua en botellas de vidrio color ámbar. Los recipientes conteniendo las muestras fueron llenados al ras, se tomaron tres muestras de agua para cada punto de análisis físico químico, a la primera se le adicionó 5 ml. ácido sulfúrico 1:1, a la segunda 5 ml. ácido clorhídrico 1:1, la tercera se la mantuvo en condiciones normales. El recipiente de vidrio de 1.0 litro de capacidad para el análisis físico-químico y de 80 ml. para el análisis microbiológico.

b. Descripción de los puntos de muestreo

La distribución y localización de los puntos de muestreo constan en la figura 2 y su ubicación geográfica en el área de estudio.



Puntos	Coordenadas	
3	2° 13' 51.40" S	79° 57' 31.08" N
4	2° 13' 51.37" S	79° 57' 29.87" N
PM"	2° 13' 48.34" S	79° 57' 32.23" N
5	2° 13' 44.19" S	79° 57' 34.07" N
6	2° 13' 43.41" S	79° 57' 33.91" N

Figura 2. Puntos de muestreo de agua y coordenadas toma de muestras

c. Transporte y preservación de muestras

Las muestras se preservaron con hielo y el tiempo entre el envío y la recepción en laboratorio fue inferior a 3 horas.

d. Análisis de laboratorio

La calidad fisicoquímica del agua se evaluó a partir de las muestras tomadas los días 20 Sept./07, 9 Oct./2007 y 14 Dic./07 y, el análisis de mismas en el Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ingeniería Química Universidad de Guayaquil, según el Standard Methods for the Examination of Water Sewage and Industrial Waste. Los sitios de muestreo se indican en la figura 2.

4.2.2. Resultados

a) Análisis de muestras en laboratorio

En el Cuadro 2 se reportan los resultados del análisis de las muestras de agua.

Cuadro 2. Resultados de los análisis de agua de la Estación Tres Bocas

Parámetro	Fecha: 20 sept. /2007		Fecha: 09 oct. /2007		Fecha: 14 de dic. /2007	
	Punto 3 LA07907-01	Punto 5 LA07907-02	Punto 3 LA08607 - 01	Punto 5 LA08607 -02	Punto 4 LA11107 - 01	Punto 6 LA11107 - 02
pH	7.23	7.29	7.45	7.08	7.42	7.36
SST	170 mg/lt	100 mg/lt	190 mg/lt	25 mg/lt	53 mg/lt	48 mg/lt
A y G	2.6 mg/lt	0 mg/lt	2.9 mg/lt	3.4 mg/lt	1.8 mg/lt	2 mg/lt
DBO ₅	3.4 mg/lt	4.2 mg/lt	2.80 mg/lt	3.4 mg/lt	2.4 mg/lt	4.5 mg/lt
DQO	ND	ND	291 mg/lt	280 mg/lt	301 mg/lt	364 mg/lt
Cd	ND	ND	0.24 mg/lt	< 0.05 mg/lt	< 0.05 mg/lt	< 0.05 mg/lt
Pb	ausencia	Ausencia	ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

4.2.3. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos constituyen la línea base en análisis químico y físico del agua de la Estación de Transferencia de Tres Bocas, y se pueden comparar con los valores establecidos en la Tabla 4 parte b) INMISION del Decreto 1215 del RAOH.

En el Cuadro 2-A, se puede observar el promedio de los resultados de los análisis efectuados, que muestran claramente que el mayor grado de contaminación se ubica en los alrededores de la Estación No. 3.

De acuerdo con el cuadro 2-A, para todas la estaciones, los parámetros que se encuentran dentro de norma, corresponden a pH y DBO₅; en tanto que los parámetros cuyas concentraciones son superiores a los límites establecidos, son Aceites y Grasas, DQO y Cadmio.

Por otro lado, en base a la Tabla 3 del Libro VI- Anexo 1, Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario; se tiene que la concentración de oxígeno disuelto, está por debajo del requisito, que expresa “No menor al 60% y no menor a 5 mg/l”.

En lo referente a metales pesados, en el punto 3, se tiene la presencia de cadmio con una concentración de 0,24 ppm, valor superior al límite máximo permisible de 0,05 ppm.

Cuadro 2-A. Promedio de resultados de análisis

Parámetro	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Prom
pH	7,5	7,4	7,1	7,4	7,3
SST, mg/l	190,0	53,0	25,0	48,0	42,0
A y G, mg/l	2,9	1,8	3,4	2,0	2,5
DBO ₅	2,8	2,4	3,4	4,5	3,3
DQO	291,0	301,0	280,0	364,0	309,0
Cd	0,2	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Pb	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

4.2.4. Conclusiones

La calidad del agua del Estero Salado circundante a la estación Tres Bocas, se encuentra afectada por las actividades hidrocarburíferas, que se pone de manifiesto, por una baja concentración de oxígeno disuelto, elevada concentración de aceites y grasas, que corresponden básicamente a hidrocarburos; una alta concentración de la Demanda Química de Oxígeno y la presencia de Cadmio en una de las estaciones de muestreo del agua marina.

El Cadmio puede ingresar a la cadena alimenticia al ser asimilado por especies acuáticas y, en la parte final de la cadena, ser ingerido por el ser humano. El Cadmio causa algunos efectos en la salud del ser humano, este metal se acumula en los riñones, donde origina un daño en el mecanismo de filtración; como son la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo. Otros efectos sobre la salud causados por el Cadmio son diarreas, dolor de estómago, vómitos severos; fractura de huesos; fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad; daño al sistema nervioso central; daño al sistema inmune, posible daño en el ADN y cáncer.

Según la página web www.cadmium.org, la presencia de Cadmio en el ambiente es generado por actividades antropogénicas y, dado que en este sector, se bombean combustibles, que tienen en su composición metales pesados y entre éstos el Cadmio, se puede concluir que este metal ha sido liberado al ambiente como resultado de las contaminación producida en este sector por derrames de combustibles.



Sobre el efecto en grupos biológicos, según el estudio “Efecto tóxico del cadmio sobre microalgas aisladas del nororiente de Venezuela (ROMERO Yollys, LODEIROS César, ESCLAPES Mercedes *et al.* 2002)”, se evidenció una afectación al crecimiento del Fitoplancton, debido a la exposición del Cadmio, determinado por un cambio en la morfología celular, esto es por un aumento en el volumen celular. Otro efecto del Cadmio, fue asociado en el mismo estudio, a la disminución de la capacidad fotosintética de las microalgas, debido a la disminución significativa de las concentraciones de clorofila.

Por otra parte, el fuel oil es un combustible residual, que tiene altas concentraciones de metales, lo que motiva la formación de escoria en las cámaras de combustión de hornos y calderos; es muy probable que la presencia del Cadmio en el Estero Salado de Tres Bocas, se deba a la influencia de la degradación de este combustible en el lecho marino y a la liberación de su contenido de metales al agua.

4.2.5. Recomendaciones

La contaminación del agua del sector corresponde a un impacto de la actividad hidrocarburífera, por ello deben verificarse las operaciones de los B/T, en lo relacionado a la evacuación del agua de lastre y el mantenimiento de los equipos.

Ejecutar el seguimiento a las concentraciones de metales pesados en las aguas circundantes a la Estación de Tres Bocas y en las instalaciones de tierra, mantener libre de hidrocarburos el separador de aceites de la Estación y minimizar el derrame de combustible residual de las mangueras, al finalizar la recepción de los productos.

4.3. EVALUACIÓN DEL MEDIO BIÓTICO EN EL AGUA

La toma de muestras para el análisis del plancton fue realizada durante el periodo de marea baja, de la capa superficial del agua del Estero Salado. Para el efecto, se utilizaron envases de plástico (1.0 l) esterilizados.

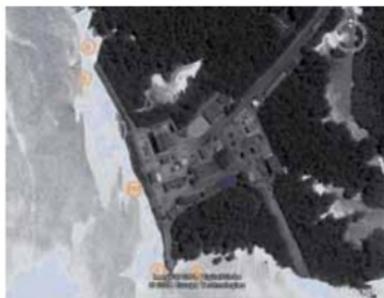
4.3.1. Evaluación del zooplancton presente en el agua

La toma de muestras se efectuó en los puntos señalados en la figura 3. La identificación de los grupos taxonómicos se efectuó en base al “Manual de Planctología del Mediterráneo” Tregouboff, G. & M. Rose (1957); “Zoología de los invertebrados” Barnes (1977); “Tintinidos del Golfo de Guayaquil”, Zambrano (1983); “Invertebrados y organismos unicelulares” Blume (1994).

4.3.2. Resultados del informe de zooplancton

Se registraron 5 taxas (*Cuadro 3*) constituidos por Copépodos, Ciliados, Gasterópodos, Apendicularia y Nematodos, distribuidos en toda el área estudiada

y principalmente en las estaciones 4, 5 y 6. En el Cuadro 3, se reportan la abundancia e identificación de los grupos microzooplanctónicos.



Puntos	Coordenadas	
3	2° 13' 51.40" S	79° 57' 31.08" N
4	2° 13' 51.37" S	79° 57' 29.87" N
PM"	2° 13' 48.34" S	79° 57' 32.23" N
5	2° 13' 44.19" S	79° 57' 34.07" N
6	2° 13' 43.41" S	79° 57' 33.91" N

Figura3 . Puntos de muestreo y coordenadas respectivas para el medio biótico

Cuadro 3. Abundancia total de las taxas observadas en el Estero Tres Bocas

Clase	Abundancia total org/ml	%
Copépoda	45	38
Gasterópodos	19	16
Ciliados	36	31
Nematoda	5	4
Apendicularia	12	10
Total	117	100

4.3.3. Conclusiones

Según los resultados, la mayor parte del zooplancton de los sitios muestreados está constituido por copépodos, 38%; los cuales representan un segmento importante en las cadenas tróficas marinas, ya que se alimentan de fitoplancton y son la base de alimentación de larvas de peces. Los copépodos han sido estudiados como reguladores de poblaciones de fitoplancton, al representar el principal constituyente del zooplancton marino.

De igual manera los nauplios de copépodos se encuentran presentes en todas las estaciones de muestreo. Le siguen los ciliados, 31%, que se caracterizan por presentar unas estructuras filiformes denominadas cilios, que les sirven para desplazarse y para alimentarse, sus principales depredadores son los copépodos. El tercer grupo identificado son los Gasterópodos, 16%; nombre común que recibe cualquier molusco perteneciente a la clase *Gastropoda*, que incluye a los



caracoles y a las babosas. También se reportó la presencia de nemátodos en los puntos 3 y 4, cerca del muelle para embarcaciones pequeñas. Los nemátodos son una especie de gusanos perjudiciales, que aparecen a causa de los efectos de los contaminantes por materia orgánica en descomposición. Aunque su presencia no es significativa, se debe monitorear regularmente estos puntos, pues indicarían tendencia a acercarse a los límites máximos permitidos.

De acuerdo con la figura 4, los sitios de menor actividad zooplántica corresponden a las Estaciones Punto Medio y Punto 3; en tanto que el la Estación 5, posee la mayor cantidad de especies y además la mayor cantidad de organismos por especie. Al comparar estos resultados, con los correspondientes a los parámetros de calidad de agua podemos ver que el punto 5 es el que tiene los mejores valores de calidad de agua, mientras que el punto 3 tiene la calidad de agua más pobre.

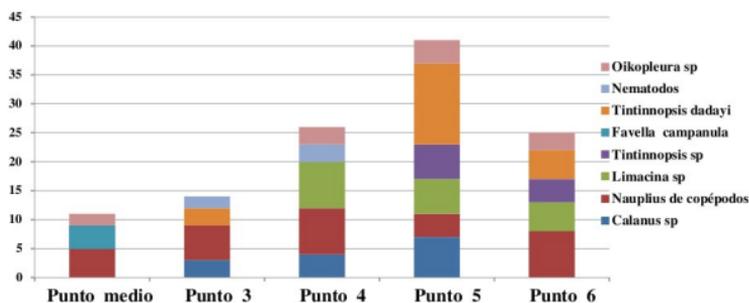


Figura 4. Abundancia e identificación de los principales grupos micro-zooplancónicos en cada una de las Estaciones

4.3.4. Evaluación cuali-cuantitativa del fitoplancton

La toma de muestras se realizó en los puntos indicados en el figura 5; la evaluación se la efectuó con la finalidad de obtener el estado físico y poblacional como indicador del estado de la cadena alimenticia de la fauna del sector Estación de Transferencia.

4.3.5. Resultados del informe de fitoplancton

El ensayo de plancton se realizó en el Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil. Las muestras se analizaron cuali-cuantitativamente, según la técnica de conteo en cámara Sedgwick – Rafter Wihpple (1927), Estándar Método 2005.



Puntos	Coordenadas	
3	2° 13' 51.40" S	79° 57' 31.08" N
4	2° 13' 51.37" S	79° 57' 29.87" N
PM"	2° 13' 48.34" S	79° 57' 32.23" N
5	2° 13' 44.19" S	79° 57' 34.07" N
6	2° 13' 43.41" S	79° 57' 33.91" N

Figura 5. Sitios de muestreo de fitoplancton y sus coordenadas.

La abundancia fitoplanctónica Cuadro 4, fue de 255 cel/ml y, se identificaron 21 especies distribuidas en: 2 cianophytas, 24 diatomeas (15 centrales y 9 pennatales). El grupo de las diatomeas destaca por su abundancia 93%, del cual las Diatomeas centrales tienen un 69% y las diatomeas pennadas un 24%; el 7% restante corresponde a las cianofitas. En la Cuadro 5 se reporta la distribución de las especies, en las que sobre sale la mayor abundancia de las mismas en el Estación 3, en tanto que en las restantes la distribución es uniforme entre el 15 al 19%.

Cuadro 4. Dominancia relativa de las especies encontradas en el Estero Tres Bocas

Especie	Abundancia
Diatomeas pennadas	24 %
Cianophytas	7 %
Diatomeas centrales	69 %

Cuadro 5. Distribución de las especies en las estaciones en el Estero de Tres Bocas

Estación	Abundancia
Punto 3	31 %
Punto 4	18 %
Punto 5	19 %
Punto 6	15 %
Punto medio	17 %

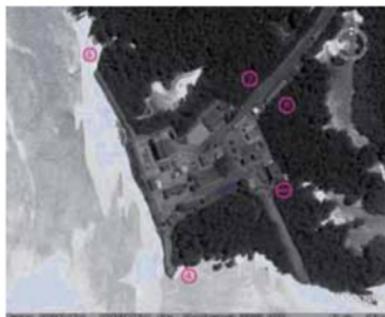
4.3.6. Conclusiones

Las concentraciones fitoplanctónicas encontradas en la zona de la estación Tres Bocas, corresponden a un área de moderada fertilidad biológica. En términos generales el fitoplancton del agua en la Estación de Tres Bocas, presenta una composición característica de agua de manglares, por su alta concentración de diatomeas; sin embargo la concentración de cianofitas y diatomeas es del 31%, por debajo del 50% que sería la concentración deseable.

Se encontró la especie bioindicadora *Rhizosolenia*, que aparece cuando existe influencia de aguas externas. Es importante señalar la presencia de la especie *Nitzschia longissima*, la cual es bioindicadora de materia orgánica en descomposición. También, aunque en cantidades poco significativas, se encontró la especie *Synedra ulna*, una microalga bioindicadora de desperdicios industriales tales como el petróleo.

4.4. EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LOS SEDIMENTOS

Se realizó una toma de muestras el día 12 de noviembre 2007 en los puntos marcados en la Figura 6, las muestras fueron obtenidas durante el período de marea baja.



Puntos	Coordenadas	
4	2° 13' 51.37" S	79° 57' 29.87" N
6	2° 13' 43.41" S	79° 57' 33.91" N
7	2° 13' 43.73" S	79° 57' 27.95" N
8	2° 13' 44.48" S	79° 57' 26.61" N
9 (MM")	2° 13' 48.06" S	79° 57' 27.61" N

MM" manglar muerto

Figura 6. Sitios de monitoreo ambiental microbiológico en sedimentos y coordenadas respectivas de toma de muestras de sedimentos.

4.4.1. Resultados de análisis microbiológico

El análisis microbiológico de las muestras de sedimentos fue realizado por el Laboratorio de Ensayo de Productos de Uso Acuícola LAB-EPA del Instituto Nacional de Pesca. Los métodos de análisis usados: US FDA/CFSNA – BAM Cap. 9 2001; AOAC998.08; AFNOR 3M -01/2-09/89 C y de Bioquímica empleando el API 20 E.

Los microorganismos encontrados corresponden a *Stenotrophomonas maltophilia*, *Vibrio fluvialis* y *Pseudomonas putida* y, la distribución en las diferentes estaciones se indican en el Cuadro 6.

En cuanto a los resultados de la identificación y conteo de microorganismos patógenos, como *E. Coli*, vibrios y coliformes, se indican en el Cuadro 7.

Cuadro 6. Microorganismos identificados en sedimentos

Muestra	Descripción	Organismo	Bioquímica
1	Punto 4	Stenotrophomonas maltophilia, Vibrio fluviales, Pseudomonas putida	API 20 E
2	Punto 6	Stenotrophomonas maltophilia	API 20 E
3	Punto 7	Stenotrophomonas maltophilia, Vibrio fluviales	API 20 E
4	Punto 8	Vibrio fluviales, Pseudomonas putida	API 20 E
5	Punto 9	Stenotrophomonas maltophilia, Vibrio fluvialis	API 20 E

Cuadro 7. Cuento de microorganismos en sedimentos

Parámetro	Método	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
V. cholerae	US FDA/CFSAN BAM Cap. 9 2001	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Coliformes totales	AOAC 998.08	10 ufc/g	20 ufc/g	30 ufc/g	30 ufc/g	30 ufc/g
C. termotolerantes	AFNOR 3M-01/2-09/89 C	<10 ufc/g				
E. coli	AOAC 998.08	<10 ufc/g				

4.4.2. Descripción de los principales microorganismos identificados

- a) **Stenotrophomonas maltophilia.**- Es una bacteria aerobia gram negativa, ampliamente difundida en el medio ambiente. En principio se denominó Pseudomonas maltophilia, posteriormente Xantomonas maltophilia y, por último, Stenotrophomonas maltophilia. Es un patógeno intrahospitalario que afecta principalmente a personas inmunosuprimidas, produciendo celulitis, abscesos cutáneos, infección del tracto urinario, meningitis, endocarditis bacteriana.
- b) **Vibrio fluvialis.**- Las infecciones sistémicas ocasionadas por esta bacteria son reportadas como la causa de la enfermedad flojera de langosta (limp lobster disease) donde las langostas marinas se vuelven letárgicas y al poco tiempo mueren.
- c) **Pseudomonas.**- Es un género de bacilos rectos o ligeramente curvados, aeróbicos estrictos. Se han aislado bacterias de este género tanto en suelos limpios como en suelos contaminados por productos biogénicos y xenobióticos. También son microbiota predominante en la rizosfera y en la filosfera de plantas; del mismo modo, se han aislado de ambientes acuáticos, tanto de agua dulce como de aguas marinas.
- d) **Pseudomonas putida.**- Es una de las cepas de mayor interés industrial entre las bacterias del género Pseudomonas, ya que unido a su potencial de

degradación de compuestos aromáticos y xenobióticos, presenta la capacidad de colonizar el sistema radicular de plantas y formar biopelículas.

4.5. EVALUACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LOS SUELOS

4.5.1. Metodología de la toma de muestras

Los sitios seleccionados para la toma de muestras de suelo y sus coordenadas se señalan en la Figura 7; a las cuales se les hizo el análisis para determinar la cantidad de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH). La selección de los sitios de muestreo se hizo considerando las áreas con riesgo de contaminación por derrames de hidrocarburos y aquellos sitios que se conocía habían sufrido algún impacto anteriormente.

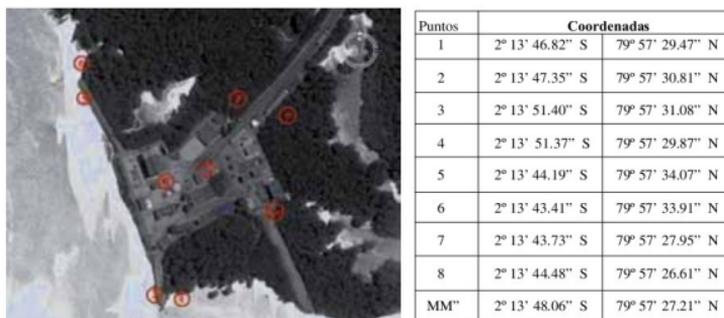


Figura 7. Sitios de monitoreo ambiental microbiológico y coordenadas de los puntos de muestras de suelo para mediciones de TPH.

Todas las muestras fueron obtenidas durante el período de marea baja y recogidas hasta una profundidad de 40 cm, tomando el material a lo largo de la columna, usándose para el efecto un muestreador de cuchareta; por cada 100 m² de superficie se tomaron cuatro muestras puntuales de dos kilos, se mezclan hasta obtener una masa homogénea, para proceder a tomar una alícuota de un kilogramo, lo cual constituye la muestra compuesta del sitio muestreado. Para el punto contaminado con una superficie menor (4 m²) se tomó una única muestra, que se constituyó en la muestra a ser analizada.

4.5.2 Descripción de los puntos de muestreo

Los nueve puntos de muestreo constan en el Cuadro 8 y sus coordenadas de ubicación. El análisis de las muestras de suelo, fueron realizados en el Laboratorio de Suelos Facultad de Ingeniería Química – Universidad de Guayaquil.

4.5.3. Transporte y preservación de muestras

Las muestras se transportaron hasta el laboratorio, dentro de una hielera a una temperatura de 10°C.

4.5.4. Análisis de laboratorio

Los análisis de las muestras de suelo, fueron realizados en el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.

4.5.5. Resultados de análisis de suelos

Los resultados del análisis de las muestras se indican en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Resultados del análisis TPH en suelos

Sitio	ppm (mg/Kg)
Punto 1	142,2
Punto 2	
Superficie contaminada, 4 m ²	34003,2
Punto 3	248,3
Punto 4	
Superficie contaminada, 250 m ²	1094,2
Punto 5	608,5
Punto 6	782,2
Punto 7	342,1
Punto 8, 250 m²	2202,7
Punto MM, 300 m²	7820,4

Nota: valores mayores al límite máximo permitidos se muestran en negrita

El valor máximo de contaminación encontrado está en el punto 2, que corresponde a una pequeña franja de suelo de 4 m², que existe sin recubrimiento de hormigón, en la base las bombas de la Estación.

El punto 4 con 1094,2 ppm de TPH, corresponde a sedimento de lecho marino, con una superficie contaminada de aproximadamente de 250 m². El punto 8 con 2202,7 ppm de TPH corresponde a una parte del manglar ubicado atrás del parqueadero de vehículos, con una superficie estimada de 250 m² y afectada en un derrame de combustible hace tres años atrás. Así mismo, el punto MM, denominado así por Manglar Muerto, tiene una concentración de TPH de 7820,4 ppm, con una superficie contaminada estimada en 300 m².



4.5.6. Análisis de resultados

Los resultados son comparados con el valor límite permitido de la Tabla 6 del RAOH en el Ecuador, para el contenido total de hidrocarburos TPH, que establece que en ecosistemas sensibles debe ser inferior a 1000 ppm. Por lo tanto los sitios ubicados en los puntos 2, 4, 8 y MM, deben ser remediados.

Al relacionar los resultados del análisis de suelos y sedimentos, con los indicadores bióticos, se tiene que el bajo nivel de contaminación por hidrocarburos, expresado como TPH en la estación de muestreo No. 3, probablemente fue alcanzado por autodepuración biológica, ya que no se encontraron moluscos biofiltradores en esta estación; lo cual si ocurre en las estaciones 4 (TPH 1094,2 ppm), 5 (TPH 608,5 ppm) y 6 (TPH 782,2 ppm).

La estación de muestreo No. 4, a pesar de contar con la presencia de Pterópodos, no es suficiente su concentración, para coadyuvar en la filtración de la contaminación; con seguridad la influencia de los hidrocarburos en el lecho marino, inhibe el desarrollo del zooplancton en esta zona, por lo tanto no existen las condiciones para lograr una autodepuración y si ésta se lleva a cabo actualmente, debe ocurrir muy lentamente.

La estación denominada Punto Medio en el estudio del fitoplancton, no contiene Diatomeas pennadas, lo que significa que no existe ninguna actividad biológica capaz de degradar los hidrocarburos presentes con 7820.4 ppm de TPH. Esta conclusión es corroborada con los resultados del estudio de zooplancton, por cuanto en la misma estación de muestreo, se obtuvo la más baja concentración micro-zoo planctónica.

4.5.7. Conclusiones

Las áreas identificadas en los puntos 2, 4, 8 y MM deben recibir acciones de remediación y/o mitigación.

El suelo contaminado en el punto 2, corresponde a una pequeña franja alrededor de las bases de las bombas. El tratamiento de este suelo se debe efectuar en otro sitio.

5. TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

Los resultados nos han permitido identificar, sectores que requieren ser remediados, motivo por el cual el informe de la presente investigación, ha sido puesto a consideración y conocimiento de las principales autoridades de EP PETROECUADORI de Quito y Guayaquil.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

La investigación ha permitido cuantificar el nivel de afectación del Estero Salado y el manglar, que limitan directamente con las instalaciones de la Estación de Tres Bocas.

Existen sitios contaminados en la Estación de Tres Bocas, en los cuales se ha llevado a cabo un proceso de autodepuración del lecho marino, debido a la acción de agentes biológicos y microbiológicos; sin embargo, existen signos de contaminación en varios puntos, que demandan una acción de mitigación y remediación.

La autodepuración de impactos antiguos del lecho marino se ha podido verificar por indicadores químicos (TPH) y biológicos (fitoplancton), en la estación de muestreo No. 3, en donde el nivel de TPH es de 248,3 ppm, por cuanto precisamente tiene la mayor riqueza de Diatomeas pennadas.

El análisis del sedimento marino, ha permitido establecer la presencia en el medio de microorganismos capaces de degradar desechos y restos de hidrocarburos, tal como la *Pseudomona putida* y la *Stenotrophomonas maltophilia*.

Con la identificación de las zonas contaminadas y la cuantificación de la superficie afectada, se ha elaborado un Plan de Remediación; el cual está basado en la ejecución de trabajos de bioestimulación, para acelerar la degradación del contenido de TPH del lecho marino y del suelo del manglar.

La *Pseudomona putida* y *Stenotrophomonas maltophilia* son los microorganismos encontrados en las Estaciones de muestreo 4 y 8, que presentan altos niveles de TPH y que pueden ser remediados empleando el proceso de bioestimulación. La habilidad de la *Pseudomona putida* para degradar hidrocarburos es ampliamente conocida y, en el caso de la *Stenotrophomonas maltophilia*, existen trabajos de investigación como “Biodegradación de asfaltenos del Prestige mediante la aplicación de técnicas de compostaje-vermicompostaje” (Gómez, E. et.al. 2006) y “Evaluación de la bioestimulación en la biodegradación de TPHs en suelos contaminados con petróleo”, (Vallejo, V., Salgado, L., Roldá, F. 2005) investigaciones en las cuales este microorganismo fue la especie predominante.

6.2. Recomendaciones

Al inicio y durante la ejecución de los trabajos de remediación, se recomienda ampliar los registros plantónicos –diatómicos y biológicos; para establecer

los índices plantónicos base en nuestro país, para aguas contaminadas por hidrocarburos.

EP PETROECUADOR debe monitorear continuamente el entorno de la Estación de Tres Bocas, con la finalidad de contribuir al mantenimiento de la biofauna y biodiversidad de la Reserva de Producción de Fauna Manglares El Salado, que depende en gran medida de las acciones de prevención y mitigación que se deben realizar en la esta Estación.

La Universidad de Guayaquil debe colaborar con EP PETROECUADOR, en la ejecución de los trabajos de remediación en la Estación de Tres Bocas, por parte del equipo de trabajo multidisciplinario recientemente conformado por la Universidad de Guayaquil para la Caracterización del Campo Atacapi 2.

7. PROGRAMA DE REMEDIACIÓN AMBIENTAL

7.1. Introducción

En razón de que la Estación de Tres Bocas se encuentra dentro de un área protegida y ubicada en un ecosistema sensible, amerita que se realicen trabajos de remediación en las áreas del manglar y en lecho marino afectados e identificados en la presente investigación.

A partir del estudio de caracterización, se ha concebido el plan de remediación, para reducir la contaminación hasta alcanzar las concentraciones por debajo de los valores límites establecidos en el Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.

7.2. Objetivo

Elaborar la propuesta de remediación de los sitios afectados en la Estación de Tres Bocas, para alcanzar los valores máximos permisibles establecidos en la Normatividad Ambiental del Ecuador.

7.3. Objetivos específicos

- Definir el tratamiento del suelo contaminado en el cuarto de bombas
- Determinar el tratamiento de la superficie afectada del manglar en los puntos 8 y MM, y recuperar el suelo hasta el nivel permitido de para ecosistemas sensibles.
- Proponer la técnica de remediación del sedimento o lecho marino contaminado, mediante el empleo de la técnica de bioestimulación y bioaumentación con microorganismos del mismo sector.

7.4. Descripción de la tecnología de remediación a utilizarse

a) Suelo de cuarto de bombas

Se recomienda retirar y enviar el suelo contaminado al Terminal de El Salitral junto con otros desechos, para su posterior tratamiento en celdas de landfarming. El volumen del material retirado deberá ser reemplazado por material de relleno y colocar en el mismo sitio una pequeña capa de hormigón.

b) Suelo de Manglares

La estimación de las superficies afectadas se detalla en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Descripción de los suelos a remediar

Descripción	Ubicación	Superficie, m ²	Volumen, m ³
Manglar, Punto 8	2° 13' 44.48" S 79° 57' 26.61" N	250	1000
Manglar, Punto MM	2° 13' 48.06" S 79° 57' 27.21" N	300	1200

En el manglar de la Estación, existen microorganismos que degradan hidrocarburos como la *Pseudomonas putida* y la *Stenotrophomonas maltophilia*, motivo por el cual se propone para la remediación, la incorporación de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, en una mezcla de lenta solubilidad y la incorporación de capas de suelo del mismo manglar.

Los trabajos de remediación, utilizando la técnica de bioestimulación, se pueden ampliar a las zonas 5, 6 y 7 a pesar de que sus niveles de TPH son inferiores a 1000 ppm.

c) Lecho marino afectado

El tratamiento del suelo del lecho marino con 1094,2 ppm de TPH y 250 m² de superficie, será efectuado “*in situ*”; aplicando las técnicas de remediación como son: bioestimulación, biotratamiento y bioaumentación.

Dado que el lecho marino está sujeto al efecto de la marea, los trabajos de remediación se deben realizar durante la marea baja; incorporando bacterias aisladas de la misma Estación, nutrientes NPK y suelo virgen del mismo sector, al mismo tiempo se debe “aírear” el suelo, a través del arado y rastrillado manual.



7.5. Análisis de alternativas tecnológicas

Dado que la Estación de Tres Bocas, está rodeada de manglar y agua de mar, y que la contaminación precisamente existe en el manglar y lecho marino; los trabajos de remediación se deben efectuar en el mismo lugar. Por otro lado, el suelo de manglar y el lecho marino contaminados, están sujetos a la influencia de la marea, por lo que los procesos para la biorremediación que pueden aplicarse, son bioestimulación, bioaumentación y biotratamiento.

El tratamiento del suelo contaminado de la sala de bombas, una vez removido del lugar, se propone realizarlo en otro sitio, mediante la conformación de biopilas del tipo compostaje, incorporándole material orgánico como gallinaza, aserrín y fertilizante.

En base a la experiencia obtenida en el “Estudio preliminar de la recuperación del Estero Salado, utilizando la técnica de bioaumentación” en el año 2002; en la cual se aplicaron bacterias y nutrientes al agua y lecho marino del Estero, es factible usar esta técnica para ejecutar los trabajos de remediación de las áreas afectadas de la Estación de Tres Bocas.

7.6. MONITOREO FÍSICO – QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE LA REMEDIACIÓN

7.6.1. MONITOREO FÍSICO QUÍMICO

Durante las diferentes etapas del proyecto de remediación, se ha previsto el monitoreo de la calidad del agua y de los suelos a remediar en la estación de Tres Bocas de Petrocomercial Sur, de acuerdo con las especificaciones que adelante se detallan.

a) Agua

Análisis de agua a la salida del separador API; como paso previo a su descarga al Estero, con el objeto de verificar si el efluente cumple con los límites permisibles.

También durante la ejecución de los trabajos de remediación de los sitios afectados, se debe efectuar el monitoreo de la calidad del agua del Estero Salado en sujeción a los límites permisibles para ecosistemas sensibles.

b) Suelo

Se lo realizará midiendo el pH y contenido de TPH, en muestras de suelo de las superficies sujetas a la biorremediación. Durante el primer mes, el seguimiento

será semanal, a partir del segundo mes hasta la finalización del tratamiento, el control se lo realizará cada 15 días.

Al finalizar los trabajos de remediación, se verificará el cumplimiento de los límites permisibles de: Hidrocarburos totales TPH, Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), y contenido de metales pesados, de acuerdo a la Tabla No. 6 del RAOH 1215.

7.6.2. MONITOREO BIOLÓGICO

Se efectuará el monitoreo de: microorganismos, flora, fauna, macroinvertebrados, plancton, al inicio de la remediación y luego de haber concluido dichos trabajos; para verificar posibles cambios en las poblacionales de los grupos observados y confirmar el restablecimiento del área afectada.

7.7. PLAZO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

El tiempo estimado para la ejecución de los trabajos de remediación en la estación de Tres Bocas es de 6 meses, de acuerdo con el Cronograma de Actividades establecido para la biorremediación del manglar y lecho marino contaminado.

7.8. PRESUPUESTO ESTIMADO

Para llevar a cabo los trabajos de remediación en la Estación de Tres Bocas, el costo estimado es de \$ 121,490.25, que comprende los costos de mano de obra, dirección técnica y provisión de insumos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alvares, J. A. (2006). Tratamiento de Sedimentos Marinos Contaminados. Centro de investigaciones del Petróleo, Ciudad de la Habana.
- Alvarez, J. A., & Ramos, E. (2006). Impacto ambiental ocasionado por la actividad petrolífera en Cuba y sus soluciones tecnológicas. Habana: Etapa 5,2 CUPET. C.
- Arias, M., & Colombo, P. (2008, 11 al 16 de Febrero). Taller: Gestión Ambiental para la remediación de suelos impactados y la disposición de desechos de la Industria Petrolera. Ecuador.
- Belloso, C. (1998). Biodegradación de Suelos contenidos en ternarios. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Biodegradación de Suelos Contenidos en Terrarios. (1998).
- Bracho, Díaz, M., & Soto, L. (2005). Degradación de Hidrocarburos aromáticos por bacterias aisladas de suelos contaminados con petróleo en el estado de

- Zulia, Venezuela.
- Cursi, E., & Calleja, C. (2000). Biorremediación de suelos contaminados con Hidrocarburos. Argentina: U.E. Mendoza.
- Dashko, R. E. Mecánica de los suelos.
- Eaton, A., & al. (2001). Standard Methods. For the examination of water & Wastewater. Centennial edition.
- Ercoli, E. C. (2001). Análisis y evaluación de parámetros críticos en biodegradación de HC en suelos. Argentina: Univ. Nac. De Cuyo.
- Ercoli, E., & al. (1999). Biorremediación de suelos altamente contaminados. Lima, Perú: INGPET 99.
- Ercoli, E., & Gálvez, J. Tratamiento biológico ex –situ de residuos semisólidos de oleoductos. Laboratorio de Bioprocesos, UN de Cuyo.
- Evaluación del Nivel de Contaminación por metales pesados y su incidencia en organismos bentónicos del Manglar Cerrito de los Morreños. (2007). Golfo de Guayaquil, Ecuador: Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales.
- Función Ejecutiva Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúferas en el Ecuador Decreto No. 1215, publicado en el Registro Oficial No. 265 de 13 de Febrero de 2001
- Gómez, E., Correa, A., Hernández, S., Navas, G., Gil, J., Sánchez, M., y otros. (2006). Biodegradación de asfaltenos del Prestige mediante la aplicación de técnicas de compostaje – vermicompostaje. Residuos: Revista técnica. (Año 16, 92), 56-62.
- Luque, J., & al. (1995). Características edáficas de suelos afectados por derrames de petróleo. BIP.
- (2005). Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos, Parte IV, Lucha contra los derrames de hidrocarburos. International Maritime Organization (IMO).
- Rittmann, B. E., & Mc-Carty, P. L. (2001). Biotecnología del Medio Ambiente. Mc-Graw Hill.
- Rivera, C. A., & Díaz, C. (2003). Grandes Taxones de Fitobentos y su relación con la Hidrología, Física y Química de Pequeños Ríos Andinos. Universitas Scientiarum. Vol 9, 75-86.
- Romero, Yollys, Lodeiros, César, Escaples, Mercedes et al. Efecto tóxico del cadmio sobre microalgas aisladas del nororiente de Venezuela. INCI, mar. 2002, vol.27, no.3, p.104-109. ISSN 0378-1844.
- TULAS (Ed.). Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remedación para Suelos Contaminados (Vol. VI Anexo 2).
- Vallejo, V., Salgado, L., & Roldán, F. (2005). Evaluación de la bioestimulación en la biodegradación de TPHs en suelos contaminados con petróleo. Revista Colombiana de Biotecnología.
- Zambrano, I. (2005). Folleto de identificación en la Cátedra de Fitoplancton (No publicado). Universidad de Guayaquil – Facultad de Ciencias Naturales – Escuela de Biología.

- Zambrano, I. (1988 – 1989). Manual de plancton de camaronerías. Guayaquil, Ecuador: Revista AQUANET.
- Zambrano, I. (1985). Plancton Común en estanques de Piscinas camaronerías. Presentado en el Segundo Congreso Nacional de Productores de Camarón.
- Zonificación de la Reserva de Producción de fauna Manglares El Salado. (2006). Fundación Natura .