

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y  
PETRÓLEOS**

**TÉCNICAS Y TECNOLOGÍA DE CONTENCIÓN DE  
DERRAMES DE PETRÓLEO: REVISIÓN DE TECNOLOGÍA  
ACTUAL Y APLICABILIDAD EN EL ECUADOR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
EN PETRÓLEOS**

**OPCIÓN: ENSAYO**

**JAIRO MAURICIO GUERRERO ESPINOSA**

jairo.guerrero@epn.edu.ec

**DIRECTOR: JOSÉ LUIS RIVERA PARRA, PhD**

jose.riverap@epn.edu.ec

**Quito, enero 2023**

## DECLARACIÓN

Yo, Jairo Mauricio Guerrero Espinosa, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**Jairo Mauricio Guerrero Espinosa**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jairo Mauricio Guerrero Espinosa, bajo mi supervisión.

**José Luis Rivera Parra, PhD**

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme siempre a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mi abuelo Benjamín por darme su apoyo y amor incondicional siempre, aunque ya no estes conmigo siempre te voy a guardar en mi corazón.

A mis amados padres, por todo el sacrificio, el amor, el tiempo y la paciencia depositadas en mi para que yo pueda estudiar, por estar siempre cuando más los necesité durante toda mi vida. No encuentro las palabras para describir que tan agradecido me siento con la vida por tenerlos como padres.

A mis amados hermanos, por acompañarme, darme consejos, ver por mi bienestar, motivarme desde el inicio y hasta el final de mi carrera.

A mis maestros y mentores, cada una de sus enseñanzas aportó para ser la persona que soy hoy en día.

Al Dr. José Luis Rivera, por apostar una vez más por mí, brindándome su ayuda incondicional a lo largo de estos años tanto como profesor y ahora como mi director del Trabajo de Titulación.

A mis amigos queridos, Ana, Emilia, Leonardo, Eduardo, Kevyn, Kari, David por su amistad pura e incondicional, por siempre brindarme su apoyo y palabras de aliento cuando más lo necesite.

A todos mis compañeros y amigos que formaron parte de esta maravillosa etapa de mi vida les agradezco por su valiosa amistad.

**Jairo Mauricio Guerrero  
Espinosa**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS Y TECNOLOGÍAS DE CONTENCIÓN DE DERRAMES	3
<b>2.1 Técnicas de contención de derrames de petróleo</b>	3
2.1.1 Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Suelo	4
2.1.1.1 Barreras Verticales	4
2.1.1.2 Barreras de Desviación de Tierra (Earth Diversion Berm)	5
2.1.1.3 Zanjas de Intercepción	6
2.1.1.4 Barreras Absorbentes Terrestres	7
2.1.1.5 Sellado Profundo	8
2.1.2 Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Agua	9
2.1.2.1 Barreras para Contención en Ríos (River Containment Booming)	9
2.1.2.2 Bloqueo de Alcantarilla (Culvert Blocking)	10
2.1.2.3 Presas de desbordamiento	11
2.1.2.4 Barreras Consecutivas o Barreras de Cascada (Cascading Booms)	12
2.1.2.5 Barreras Absorbentes	13
2.1.2.6 Barreras para Desviación de Ríos (River Diversion Booming)	14
<b>2.2 Los Principales Derrames en Ecuador: Impactos y análisis de casos destacados.</b>	16
2.2.1 Derrame en área protegida (28-01-2022)	16
2.2.2 Derrame de petróleo en San Rafael (07-04-2020)	17
2.2.3 Derrame en la laguna de Papallacta (08-04-2003)	18
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
<b>3.1 Características promedias de los campos del oriente ecuatoriano.</b>	19
<b>3.2 Comparación de Técnicas de Contención de Derrames de acuerdo a su aplicabilidad.</b>	22
3.2.1 Comparación de las Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Suelo	22
3.2.2 Comparación de las Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Agua	28
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
<b>4.1. Conclusiones</b>	34
<b>4.2. Recomendaciones</b>	35
5. BIBLIOGRAFÍA	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Uso de Presupuesto por Recurso en Técnicas Priorizadas en contención de derrames de petróleo en suelos. ....	27
<b>Figura 2.</b> Uso de Presupuesto por Recurso en Técnicas Priorizadas en contención de derrames de petróleo en agua.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Textura del suelo.....	20
<b>Tabla 2.</b> Variación de la permeabilidad según la textura del suelo. ....	21
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de crudos de acuerdo con la gravedad API. ....	21
<b>Tabla 4.</b> Tabla comparativa de las Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Suelo .....	22
<b>Tabla 5.</b> Tabla de ponderación.....	23
<b>Tabla 6.</b> Matriz de selección.....	24
<b>Tabla 7.</b> Análisis de Impacto de las Técnicas de Contención de Derrames en suelo. ....	25
<b>Tabla 8.</b> Costos de los métodos priorizados.....	26
<b>Tabla 9.</b> Tabla comparativa de las Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Agua.....	28
<b>Tabla 10.</b> Tabla de ponderación.....	29
<b>Tabla 11.</b> Matriz de selección.....	30
<b>Tabla 12.</b> Análisis de Impacto de las Técnicas de Contención de Derrames en suelo. ....	31
<b>Tabla 13.</b> Costos de los métodos priorizados.....	32

## RESUMEN

En la actualidad, cuando se produce un derrame de petróleo, se prioriza la contención en un área reducida de forma segura, rápida y eficiente como primera medida. El objetivo principal es minimizar el impacto en el medio ambiente, incluyendo la flora, la fauna y las comunidades cercanas a la zona afectada.

Este documento pretende ser un aporte teórico para determinar la aplicabilidad de las técnicas de contención de derrames de petróleo en suelo y agua que se pueden aplicar en los campos ecuatorianos, así como ser una guía para estudiantes y profesionales que requieran información acerca de estas técnicas que se implementan en la actualidad, alrededor del mundo.

Este documento inicia con una descripción de las técnicas de contención de derrames en agua y suelo, donde se consideran aspectos como el uso, limitaciones, instrucciones generales, equipos requeridos, mantenimiento, limpieza y variaciones. Posteriormente, se realizó un análisis de la técnica con mayor aplicabilidad para la realidad ecuatoriana mediante el uso de matrices de decisión, ya que es una herramienta particularmente útil cuando se debe decidir entre varias opciones, determinando así que las técnicas óptimas aplicables a las características de los campos ecuatorianos son: las Barreras Absorbentes Terrestres para suelos y las Barreras Absorbentes para agua, siendo bajas en costo y a su vez de fácil aplicabilidad.

**Palabras clave:** barreras, contención, derrames, petróleo, medio ambiente.



## **ABSTRACT**

Currently, when an oil spill occurs, the containment in a confined area is prioritized as the initial measure in a safe, fast, and efficient manner. The primary objective is to minimize the impact on the environment, including flora, fauna, and nearby communities.

This document looks forward to being a theoretical input for determining the applicability of techniques for the containment of oil spills in soil and water that can be applied in Ecuadorian fields, as well as to be a guide for students and professionals who require information about these techniques that are currently implemented around the world.

This document begins with a description of containment techniques for spills in water and soil, considering aspects such as usage, limitations, general instructions, required equipment, maintenance, cleaning, and variations. Subsequently, an analysis was conducted using decision matrices to determine the most applicable technique for the Ecuadorian context. The optimal techniques identified for Ecuadorian fields are Absorbent Soil Barriers for soil and Absorbent Barriers for water, which are cost-effective and easy to apply.

**Keywords:** barriers, containment, spills, oil, environment.

## 1. INTRODUCCIÓN

El petróleo ha tenido un impacto significativo en la economía ecuatoriana, siendo uno de los productos más importantes desde la década de los 70 (Farfán, 2020). La industria a lo largo de los años se ha especializado en realizar una variedad de actividades enfocándose en procesos como la exploración, explotación, refinación, distribución y comercialización (Martínez, 2013).

En Ecuador, las actividades relacionadas con la extracción de petróleo pueden tener un impacto en el medio ambiente, lo cual se puede observar tanto a pequeña como a gran escala en la región oriental, donde el crecimiento de la industria ha generado efectos negativos en la población y en el medio ambiente (Jiménez, 2020). La explotación de petróleo y la producción de sus derivados, así como las instalaciones para el transporte del crudo o de sus procesados, emplean grandes extensiones delicadas de terreno (Serrano, Torrado y Pérez, 2013) afectando al medio ambiente de forma particular y directa mediante la emisión de gases a la atmósfera, desechos sólidos a los suelos y desechos en general a los afluentes hídricos, los cuales son altamente contaminantes (Yáñez & Cedeño, 2017) alterando así el frágil equilibrio del ecosistema compuesto por zonas de un elevado valor ecológico para la nación y el mundo en general (Vizuite et al., 2019).

A pesar de que la cantidad de hidrocarburos que llega al medio ambiente debido a derrames accidentales en la industria petrolera es relativamente pequeña es importante reconocer que estos incidentes tienen el potencial de contaminar áreas pequeñas, dañar la flora, fauna propia del lugar y afectar negativamente la salud de las comunidades aledañas (Ivshina et al., 2015).

Los accidentes que ocasionan derrames pueden provenir de cualquier etapa en la industria (exploración, extracción, producción, refinación, transporte y comercialización). El impacto más evidente de la contaminación por derrames de petróleo en cuerpos de agua dulce es la reducción de la penetración de la luz; al cubrir el cuerpo de agua se disminuye el ingreso de luz la cual es imprescindible para los procesos vitales de los seres vivos que habitan en estas masas de agua. Por otro lado, aunque la tendencia general es pensar que la mancha interrumpe el intercambio gaseoso entre el cuerpo de agua y la atmósfera reduciendo así la captación de oxígeno, se ha demostrado que el petróleo no interviene en la penetración de oxígeno en el agua, sino que se mantiene estable. Este aspecto ya se había estudiado para casos de derrames marinos y cuerpos de agua dulce, siendo un comportamiento válido para ambos escenarios. Lo que sí es claro es que la producción de oxígeno por parte de los organismos fotosintéticos se reduce al mínimo o prácticamente se paraliza en eventos de derrames, básicamente debido al efecto tóxico que se ejerce sobre los miembros del eslabón primario de la cadena alimenticia de los cuerpos de agua, debido a la reducción de la

penetración de la luz necesaria para la fotosíntesis (Miranda & Restrepo, 2005).

Desde que comenzó la extracción de petróleo en el Ecuador, las poblaciones residentes en las áreas de producción de petróleo han expresado su preocupación por los efectos negativos que esta actividad tiene sobre el medio ambiente. Las comunidades indígenas, así como grupos ecologistas, se han unido en clara oposición a la falta de regulación del desarrollo petrolero y han expresado que la contaminación causa un enorme daño tanto al medio ambiente como a la salud de la población. Comunidades indígenas han informado que muchos esteros y ríos locales, antes ricos en peces, carecen actualmente de vida acuática; también se registran habitualmente muertes de ganado por beber en ellos (San Sebastián et al, 2001). Estos efectos pueden depender del tipo de petróleo que se derramó y dónde (en tierra, en un río o en el mar). Otros factores incluyen qué tipo de exposición y la cantidad de exposición que hubo. Los trabajadores que realizan la limpieza de los derrames presentan una situación de mayor riesgo. La irritación cutánea y ocular, los problemas neurológicos y respiratorios, y el estrés son algunos de los problemas que pueden surgir. No se sabe mucho acerca de los efectos a largo plazo de estos derrames.

La importancia que tiene una buena planeación de contingencias frente a derrames de petróleo y la generación de un plan de contingencia bien pensado y estructurado en las compañías que se encuentran dentro de las áreas de exploración, explotación, transporte, refinación y comercialización de petróleo crudo, es fundamental para intervenir, pues no solo elimina o minimiza el sentido de pánico, también puede minimizar el daño y el costo involucrado (Casallas & González, 2020).

Es importante destacar que la técnica se refiere al enfoque utilizado, mientras que la tecnología se refiere a la metodología empleada. En cuanto a la aplicación de las técnicas, es necesario considerar dos tipos: in situ y ex situ. En el primer caso, el tratamiento se lleva a cabo directamente en el lugar donde se encuentran los contaminantes, mientras que en el segundo caso se requiere la excavación del suelo contaminado para su tratamiento. Este tratamiento puede llevarse a cabo en el mismo lugar, conocido como tratamiento in situ, o en una instalación específica donde se requiere el transporte del suelo contaminado, denominado tratamiento ex situ (Casallas & González, 2020).

Este trabajo pretende investigar y comparar las técnicas de contención de derrames de petróleo que son aplicables para los campos petroleros, mediante recopilación de información de diferentes fuentes bibliográficas ya que esto será la base esencial para poder detallar las características de los derrames de petróleo, encontrar las principales ventajas y desventajas en relación con técnicas usadas actualmente a nivel mundial para poder así seleccionar la técnica que tenga los mejores resultados al momento de contener un derrame de petróleo.

## 2. DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS Y TECNOLOGÍAS DE CONTENCIÓN DE DERRAMES

Luego de producirse un derrame de petróleo, el comportamiento en el ambiente está dado por las características del tipo de sustancia vertida y las propiedades de las matrices ambientales involucradas. Se producen diversos procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el grado de daño que el hidrocarburo causa al ambiente (Castro, 2007).

El conocimiento de estos procesos y la interacción que se da entre ellos es fundamental para seleccionar las medidas más acertadas para minimizar las consecuencias durante un derrame de hidrocarburos (Castro, 2007).

Debido a las diferencias del manejo en caso de derrames, las técnicas que se describen a continuación están divididas según la matriz dónde ocurre el derrame, sea en suelo o en agua.

### 2.1 Técnicas de contención de derrames de petróleo

Estas técnicas no actúan sobre el contaminante (Aragón, 2013), se encargan de aislarlo del suelo y prevenir su expansión aplicando barreras físicas (Casallas & González, 2020). En el caso de cuerpos de agua se busca prevenir la contaminación de éste con el uso de barreras de absorbentes, barreras de contención, presas, bloqueos, etc.

En esta sección se detallan técnicas de contención de derrames de petróleo ya sea en agua (río) o en tierra.

Las siguientes técnicas de contención de derrames de petróleo que detallaremos en este capítulo se basan en su amplio uso a nivel mundial. Estas técnicas han sido estudiadas por diversos autores, demostrando su eficacia y capacidad para contener y reducir el impacto sobre el medio ambiente. Su adopción puede garantizar una respuesta efectiva y coordinada, protegiendo tanto el medio ambiente como a las comunidades afectadas.

Las técnicas descritas son:

#### Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Suelo

- Barreras Verticales
- Barreras de Desviación de Tierra (*Earth Diversion Berm*)
- Zanjas de Intercepción
- Barreras Absorbentes Terrestres
- Sellado Profundo

#### Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Agua

- Barreras para Contención en Ríos (*River Containment Booming*)

- Bloqueo de Alcantarilla (*Culvert Blocking*)
- Presas de desbordamiento
- Barreras o Bermas Consecutivas (*Cascading Booms/Berms*)
- Barreras Absorbentes
- Barreras para Desviación de Ríos (*River Diversion Booming*)

## 2.1.1 Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Suelo

### 2.1.1.1 Barreras Verticales

Las barreras verticales son unas paredes que se construyen debajo del suelo para controlar el flujo de las aguas subter neas. Se emplea in situ con el objetivo de reducir los movimientos laterales de los contaminantes (Thomas and Koerner, 1996), consiste en la instalación de muros de pantallas mediante la excavación de zanjas.

Estas técnicas de contención vertical son más efectivas cuando se aplican en suelos con una textura gruesa y no muy compactados. Sin embargo, en el caso de los muros pantalla, la presencia de grandes bloques puede representar un desafío durante las labores de excavación (Aragón, 2013).

- Uso: son barreras que contienen, capturan o dirigen el flujo de aguas subter neas, o el flujo de lixivianos, en la dirección deseada.
- Limitaciones: accesibilidad, tiempo de implementación, textura del suelo, condiciones del área afectada (si es extensa o profunda) (EPA, 2020), solo evita migraciones, no modifica toxicidad ni movilidad de los contaminantes, complejidad de la construcción y el tiempo de degradación de los materiales (Said, 2018).
- Instrucciones Generales: se instalan muros de pantalla mediante la excavación de zanjas de hasta 100 metros, las cuales son rellenadas por una mezcla de cemento y bentonita u hormigón que hacen el papel de material aislante (Casallas & González, 2020).

La inyección vertical a presión, generalmente hasta 50 m de profundidad, de lechada de cemento o cemento-bentonita a través de sondeos, formando pilotes, y culminada con la inyección adicional de lechada en el suelo existente entre los pilotes para conformar una barrera subter nea continua; y el tablestacado met lico, una sucesión de perfiles de acero con sección en forma de Z o U que se hinca verticalmente en el suelo no más allá de 30 m de profundidad sobre una base impermeable (natural o creada artificialmente) y que a veces se acompaña con la inyección de lechada de cemento-bentonita para sellar el espacio que ocupan (Ortiz et al., 2007).

Su aplicación se desarrolla en grandes superficies contaminadas, su coste de operación es muy asequible comparado con otras técnicas, la puesta en marcha es rápida y es flexible en cuanto a acción frente a diferentes contaminantes de baja peligrosidad (Said, 2018).

Una forma de mejorar las propiedades de estas barreras verticales es utilizar geomembranas, generalmente constituidas por polietileno de alta densidad (Thomas and Koerner, 1996).

- Equipo Requerido: retroexcavadora (para cavar la zanja), cargadora frontal, y herramientas manuales.
- Mantenimiento: se revisa la integridad de la construcción de que no tenga fugas o daños.

En el caso de instalar un sistema de bombeo para controlar el flujo se debe realizar ajustes periódicos a las bombas para compensar los cambios de caudales de la corriente.

- Limpieza: se retiran las barreras y recupere el restante de petróleo con absorbentes. Rellene el área excavada al finalizar las operaciones de limpieza (Entrix, 2012).
- Variaciones: no existen variaciones.

### 2.1.1.2 Barreras de Desviación de Tierra (*Earth Diversion Berm*)

Las barreras de desviación o barreras desvío de tierra son muy efectivas para mover flujos cargados de sedimentos a trampas, cuencas u otras estructuras/áreas. Cuando se usan como barrera contra el flujo laminar, las barreras pueden ser efectivas en la eliminación de sedimentos, pero pueden necesitar un mantenimiento frecuente ya que son propensas a obstruirse (MPCA, 2022).

- Uso: las barreras de desviación son construidas con materiales como tierra, roca, madera con la finalidad de desviar los flujos de petróleo hacia un punto de recuperación o rodeando un área vulnerable sin afectarla (Ticon, 2011).
- Limitaciones: accesibilidad, tiempo de implementación, terreno accidentado y daño ambiental causado por excavación de materiales para la construcción de barrera.
- Instrucciones Generales: para construir las barreras se va a ocupar equipos para el movimiento de tierras o herramientas manuales utilizando materiales del sitio. Se puede colocar sacos de arena en forma de hileras paralelas trazando la ruta deseada para que circule el flujo de petróleo (Entrix, 2012).

Si se utilizan materiales del sitio, se deberá excavar desde el lado cuesta abajo de la barrera o del lado contrario al del flujo de petróleo.

Se debe dejar un espacio considerable entre barrera y el sitio de excavación para

precautelar la integridad de la barrera (Entrix, 2001).

- Equipo Requerido: excavadora frontal, montacargas, nivelador de motor y herramientas manuales.
- Mantenimiento: se lleva a cabo una inspección de las barreras en busca de erosión, fugas o daños, asegurando que se encuentre en el nivel deseado.
- Limpieza: se procede a retirar las barreras y recuperar el restante de petróleo con absorbentes. La recuperación el petróleo acumulado se realiza mediante métodos como bombeo, aspirando o usando absorbentes. Se rellene el área excavada al finalizar las operaciones de limpieza.
- Variaciones: se pueden construir barreras de desviación a cada lado del flujo de petróleo para frenar el avance del derrame y poder dirigir al punto de recuperación (Ticona, 2011).

Las bermas construidas a lo largo de las carreteras pueden evitar que el petróleo cruce la carretera y/o desviar el petróleo a un sitio de recuperación (Entrix, 2012).

### 2.1.1.3 Zanjas de Intercepción

- Uso: las zanjas de intercepción o desviación se utilizan para interceptar flujos de petróleo en la superficie y desviarlos a puntos de recuperación o bordeando el área vulnerable (Entrix, 2001). Otra función sería promocionar una cuenca de captación para el derrame (Enbridge, 2018).
- Limitaciones: accesibilidad, tiempo de implementación, bajas viscosidades del petróleo, alto nivel freático y daño ambiental causado por la excavación de las zanjas.
- Instrucciones Generales: seleccionar la mejor ruta para excavar la zanja para poder interceptar el flujo de petróleo.

La zanja debe interceptar por completo el petróleo que se aproxima y desviarlo al punto de recuperación o más allá del área sensible.

Las dimensiones de las zanjas van a variar de acuerdo al volumen de petróleo derramado.

El material excavado puede utilizarse como barrera aguas abajo de la zanja para proporcionar mayor protección (Enbridge, 2018).

Si es posible, el lado bajo de la zanja debe ser revestido de Visqueen o un material impermeable similar para reducir la infiltración hacia los acuíferos o el flujo hacia áreas adyacentes (Entrix, 2001).

Para áreas relativamente planas, la profundidad de la zanja debe aumentar ligeramente hacia el punto de recuperación o de descarga para mantener un flujo adecuado en esa dirección (Entrix, 2012).

- Equipo Requerido: herramientas manuales, equipo de movimiento de tierras, rollos de plástico.
- Mantenimiento: revisar periódicamente si el flujo es adecuado, o por si hay fugas o bloqueos causados por la caída de las paredes internas de la zanja o la presencia de desechos dentro de la misma (Entrix, 2001).
- Limpieza: se debe lavar la zanja con agua (si corresponde), recuperar el petróleo acumulado mediante bombeo, aspirando o usando absorbentes. Se rellena el área excavada al finalizar las operaciones de limpieza
- Variaciones: Se inundan parcialmente la zanja con agua para inhibir la penetración de sedimentos y estimular el flujo.  
Se puede cavar una zanja perpendicular a la pendiente para contener, en lugar de desviar, el flujo de petróleo (Entrix, 2012).

#### 2.1.1.4 Barreras Absorbentes Terrestres

Las barreras absorbentes se consideran una tecnología de "primera línea de defensa" utilizada para contener y minimizar los impactos de los derrames de petróleo crudo (Pagnucco & Phillips, 2018). Las barreras absorbentes son ideales para absorber hidrocarburos y productos químicos.

- Uso: las barreras son construidas con absorbentes apilados en el suelo, este tipo de barreras se utilizan en terrenos planos o de poca pendiente para contener flujos de petróleo menores y poder recuperar una parte del mismo (Entrix, 2012).
- Limitaciones: pendientes pronunciadas, tiempo de implementación, problemas de limpiezas y generación de residuos (Entrix, 2012).
- Instrucciones Generales: se puede colocar absorbentes de tal manera que se forme una barrera continua a lo largo de todo el borde del flujo de petróleo derramado (Entrix, 2012).

Los hidrocarburos recogidos se recuperan mediante la eliminación física de los absorbentes gastados o aspirando o bombeando si la cantidad excede la capacidad de absorción de los adsorbentes (Entrix, 2012).

- Equipo Requerido: no se requiere de ningún equipo especial.
- Mantenimiento: se revisa las barreras en busca de fugas o daños. Gire las barreras o los absorbentes con regularidad esto con el fin de obtener su máxima eficiencia, cuando se encuentren totalmente saturados de petróleo se recomienda cambiar las barreras (Entrix, 2012).
- Limpieza: se recupera el petróleo acumulado mediante bombeo, aspirando o usando absorbentes. Los absorbentes utilizados deben ser depositados en recipientes a



prueba de fugas.

No almacene el material recuperado en el sitio. Minimice la mano de obra y la interrupción de la superficie durante la limpieza (Entrix, 2012).

- Variaciones: se puede cubrir toda la superficie de la barrera para inmovilizar el petróleo.

### 2.1.1.5 *Sellado Profundo*

Esta técnica permite la recuperación de suelos arruinados o corroídos, se basa en alterar in situ la estructura del suelo contaminado para disminuir su permeabilidad y controlar así el avance de la contaminación en profundidad.

- Uso: esta técnica controla el avance de la contaminación hacia capas más profundas alterando in situ la estructura del suelo, disminuyendo su permeabilidad. Esta técnica es recomendable para suelo con textura gruesa y con alta permeabilidad (Casallas & González, 2020).
- Limitaciones: accesibilidad, tiempo de implementación, textura del suelo, permeabilidad baja del suelo.
- Instrucciones Generales: normalmente, se inyectan materiales plastificantes en forma de lechadas (cemento-bentonita, silicato sódico o mezclas de bentonita con resinas orgánicas) hasta la profundidad deseada, que en el caso de sellados permanentes no debe sobrepasar los 20 m y en sellados temporales los 30 m (Ortiz et al., 2007).  
Las inyecciones se realizan a través de perforaciones verticales separadas entre sí y es recomendable no llegar al nivel freático para impedir la migración de los contaminantes. Está indicada en suelos de textura gruesa, con permeabilidad alta (Ortiz et al., 2007).
- Equipo Requerido: retroexcavadora (para cavar la zanja), cargadora frontal, y herramientas manuales.
- Mantenimiento: se revisa la integridad de la construcción que no tenga fugas o daños. En el caso de instalar un sistema de bombeo se debe realizar ajustes periódicos a las bombas.
- Limpieza: se recupera el restante de petróleo con absorbentes. Rellene el área excavada al finalizar las operaciones de limpieza (Entrix, 2012).  
Los materiales utilizados para la construcción deben ser retirados y devueltos a su sitio de préstamo (Entrix, 2012).
- Variaciones: no existe variación.

## 2.1.2 Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Agua

### 2.1.2.1 Barreras para Contención en Ríos (*River Containment Booming*)

Las técnicas y estrategias empleadas en cualquier río variarán según la estación y la presencia o ausencia de flujo de corriente. Si el lecho del río está seco o tiene un caudal muy bajo, las técnicas de contención/desvío de bermas o represas pueden ser apropiadas y pueden ser suficientes para evitar que los hidrocarburos lleguen a zonas vulnerables. Si hay un flujo de nivel moderado a alto, se requerirán varias técnicas de contención y desvío en la corriente. En condiciones de flujo alto, es muy probable que el petróleo llegue al área de los humedales y las aguas marinas, y se necesitarán técnicas de contención y limpieza de la costa (COMPLEX, 2012).

- Uso: las barreras se despliegan en un ángulo a lo largo de la línea fluvial para contener el flujo de petróleo derramado que viaja en dirección del flujo de agua abajo para su subsiguiente recuperación (Ticona, 2011).
- Limitaciones: accesibilidad, corrientes superiores a 2 nudos y profundidades menos a 1 pie por debajo de la parte inferior de la barrera y el tiempo de implementación (ERT, 1985).
- Instrucciones Generales: fije un extremo de la barrera a la orilla y use un bote o güinche para tirar la barrera libremente a través del río y anclar el otro extremo ligeramente río arriba.

El ángulo de colocación óptimo depende de la velocidad de la corriente, la longitud y la estabilidad de la barrera. En general, la longitud de la barrera debe ser cuatro veces el ancho del canal (Mobil, 1991).

A medida que aumentan las corrientes y la longitud de la barrera, el ángulo de colocación disminuye. Para obtener una mejor estabilidad la barrera puede ser anclada a varios lugares.

Recupere el petróleo del extremo aguas abajo de la barrera desnatando, bombeando o con camiones de vacío. Una zanja de contención excavada en la orilla ayuda a la contención y recuperación (Entrix, 2001).

- Equipo Requerido: bote o güinche, anclas, retroexcavadora (para cavar la zanja de contención) y herramientas manuales (Entrix, 2001).
- Mantenimiento: se revisa las barreras en busca de fugas o daños. En caso de ser necesario revise el ángulo de despliegue. Revisar también si la barrera presenta secciones con daño, torceduras o sumergidas. Revisar los anclajes (Mobil, 1991).
- Limpieza: se retira las barreras y recupere el restante de petróleo con absorbentes. Se deben limpiar las orillas para que no queden remanentes de petróleo (Entrix, 2012).

- Variaciones: cuando el río es ancho, se despliegan barreras de cada lado ligeramente aguas abajo. Ancle los extremos libres para que se superpongan un poco más allá de la mitad del río.

Si no hay suficientes barreras disponibles, despliegue una sola barrera en la parte donde se encuentra la mayor concentración de petróleo o en la orilla exterior de una curvatura del río donde el petróleo se acumulará naturalmente (Ticona, 2011).

### 2.1.2.2 Bloqueo de Alcantarilla (*Culvert Blocking*)

Las alcantarillas y otros conductos de gran diámetro que permiten que un curso de agua pase por debajo o a través de obstáculos presentan una oportunidad para controlar la propagación del petróleo. Si los flujos de agua son lo suficientemente bajos, se pueden bloquear por completo con tablas o madera contrachapada para contener el petróleo por encima de la alcantarilla. En situaciones de mayor caudal, se pueden instalar bloques de alcantarillado parciales para crear presas de desbordamiento (Enbridge, 2018).

La forma más efectiva de bloquear las alcantarillas es amontonar tierra, arena u otros materiales de tierra sobre el extremo de la alcantarilla (Moolin, 1985).

- Uso: tablas o láminas de maderas, sacos de arena, grava o sedimentos son usados para colocarse a lo largo de la alcantarilla para poder contener el avance de flujo de petróleo, mientras permita que el agua continúe pasando por debajo de su borde inferior (Enbridge, 2018).
- Limitaciones: accesibilidad limitada, tiempo de implementación, áreas de almacenamiento detrás de la alcantarilla, tamaño de la alcantarilla y la corriente de agua (Ivshina et al., 2015).
- Instrucciones Generales: coloque la lámina de madera contra la corriente de la alcantarilla.

Eleve la tabla lo necesario como para permitir el flujo del agua por debajo del borde inferior, se debe asegurar en su lugar clavando a través de estacas sobre la lámina de madera.

Se debe controlar los niveles de agua para que se permita el flujo suficiente por debajo del bloque de la alcantarilla, adicional a esto se ajusta el vertedero según corresponda. Es posible que sea necesario colocar adsorbentes entre el extremo áspero de la tubería de alcantarilla y la lámina de madera para garantizar un buen sellado (Enbridge, 2018).

- Equipo Requerido: retroexcavadora o cargadora frontal, camioneta con herramientas (COMPLEX, 2012).

- **Mantenimiento:** la tabla no debe asegurarse de forma permanente, sino que debe hacerse ajustable para tener en cuenta el flujo de agua. Se debe verificar que no existan fugas. En el caso de existir una fuga se debe colocar barreras de contención aguas abajo para poderla contener.
- **Limpieza:** se debe retirar los sedimentos con petróleo y el bloque de alcantarilla.
- **Variaciones:** si fluye ayuda hacia la fosa de drenaje, es posible que se requiera una bomba o un sifón para eliminar el agua acumulada de la alcantarilla bloqueada (CISPRI, 2017).

Si hay un poco o ningún área de almacenamiento aguas arriba de la alcantarilla, puede ser ventajoso permitir que el petróleo pase por la alcantarilla y contener el petróleo derramado a la salida de esta. En áreas donde la salida de la alcantarilla desemboca en un pozo de préstamo, el pozo de préstamo puede construirse una represa para formar un área de almacenamiento para el petróleo derramado. Si no existe una estructura para drenar la salida de la alcantarilla, se puede crear un área de almacenamiento construyendo un dique en forma de herradura alrededor de la salida (Entrix, 2001).

### 2.1.2.3 *Presas de desbordamiento*

Las presas se pueden construir en ríos poco profundos, alcantarillas y ensenadas utilizando herramientas manuales o maquinaria pesada, según esté disponible. Este tipo de presas se puede usar cuando hay demasiado flujo de agua para permitir un bloqueo completo de un canal de drenaje o un pequeño arroyo (CISPRI, 2017).

Para que esta técnica sea efectiva, la superficie del petróleo siempre debe estar por debajo del borde de la presa o vertedero, y la interfaz de petróleo/agua debe estar por encima de la parte superior de la abertura de flujo inferior (Moolin, 1985).

- **Uso:** se utiliza este tipo de presas para atrapar materiales más ligeros que el agua detrás de la presa haciendo que floten en la superficie del agua, mientras que el agua relativamente no contaminada fluye a través de las tuberías instaladas en la presa. Tierra, grava, sacos de arena, tablas, tuberías de drenaje u otras barreras son los materiales generalmente usados para construir estas presas.
- **Limitaciones:** accesibilidad limitada, tiempo de implementación y la corriente de agua
- **Instrucciones Generales:** se pueden construir presas de desbordamiento utilizando tuberías para formar un dique de flujo inferior para permitir el paso del agua mientras el petróleo permanece atrás (Mandler, 2001).

La entrada de la tubería se corta en ángulo para permitir un área de entrada más grande para el agua a fin de reducir las velocidades de entrada y la posibilidad de

arrastrar de hidrocarburos debido a la formación de remolinos (OMI, 2013).

Se debe tener cuidado para evitar que se formen remolinos que arrastren el petróleo hacia abajo para reducir esta posibilidad oriente la abertura del tubo cortado hacia abajo (o inserte un ángulo de 90 grados).

Esta técnica es efectiva para cuerpos de agua de menos de dos pies de profundidad donde el volumen de flujo puede acomodarse mediante el flujo de la tubería (OMI, 2013).

Puede ser necesario usar bombas para controlar o aumentar el flujo a través de las tuberías. Selle los bordes de un dique de presa con tierra compactada para evitar que el petróleo se filtre (EPA, 2013).

- Equipo Requerido: cargadora frontal, retroexcavadora, tuberías, bombas, mangueras y herramientas manuales.
- Mantenimiento: se revisa la integridad de la presa que no tenga fugas o daños. En el caso de instalar bombas para controlar el flujo se debe realizar ajustes periódicos para compensar los cambios de caudales de la corriente.

Reemplace el material erosionado según sea necesario. Supervise la interfaz petróleo/agua. Los cambios en el flujo de la corriente pueden requerir el ajuste de las tuberías o la altura de la presa.

- Limpieza: el restante de petróleo en la presa se recupera utilizando absorbentes. Los materiales utilizados para la construcción deben ser retirados y devueltos a su sitio de préstamo (Entrix, 2012).
- Variaciones: no existen variaciones.

#### 2.1.2.4 Barreras Consecutivas o Barreras de Cascada (*Cascading Booms*)

Las barreras consecutivas son una serie de barreras desplegadas en forma de cascada se utilizan en ríos o áreas costeras donde las corrientes son demasiado fuertes para una barrera de contención estándar (Entrix, 2012). Se puede usar este sistema de barrera en cascada si la corriente y el viento son constantes y, especialmente, si se dirigen a lo largo de la orilla.

- Uso: las barreras de cascada direccionan el flujo hacia la orilla del río (Entrix, 2001). También estas barreras se pueden utilizar para proteger áreas sensibles o para desviar el petróleo a *skimmers* que no pueden acercarse (OMI, 2013).
- Limitaciones: la consistencia de la corriente y del viento, corrientes superiores a 2.5 nudos. Accesibilidad, tiempo de implementación y lechos de ríos blandos
- Instrucciones Generales: se debe remolcar la barrera principal a la orilla opuesta o algún punto en medio de la corriente y se debe fijar formando un ángulo con respecto a la misma.

Despliegue una segunda barrera en ángulo hacia la orilla y ancle el extremo libre de 25 a 30 pies corriente abajo para que se superponga con el extremo posterior de la barrera principal.

Despliegue barreras sucesivas de la misma manera hasta llegar a la orilla (Entrix, 2012).

Para anclar de barreras se puede requerir el uso de objetos estacionarios como por ejemplo estacas en la orilla opuesta.

El petróleo es recuperado por medio de bombeo, desnatando o usando camiones de vacío. Se puede cavar una zanja de contención en la orilla del río para ayudar a la recuperación de petróleo (Entrix, 2001).

Para colocar correctamente la barrera, se conectan dos líneas aguas arriba y dos aguas abajo a cada sección de la barrera para proporcionar un control completo desde la orilla. Recomiendan usar secciones cortas de 50 pies de barreras de espuma de 4 por 6 (flotación de 4 pulgadas, calado de 6 pulgadas) cuando las corrientes superan los 3 nudos (Mandler, 2001).

El ángulo óptimo de despliegue disminuye al aumentar la corriente y la longitud de las barreras, a menos que se utilicen varios puntos de anclaje a lo largo de la barrera.

- Equipo Requerido: botes pequeños, barreras de contención, bridas de remolque, cuerdas, estacas, pasadores de anclaje (si es necesario), anclas, retroexcavadoras (para construir la zanja de contención) y herramientas manuales.
- Mantenimiento: revise las barreras en busca de fugas o daños. En caso de ser necesario revise el ángulo de despliegue. Revisar también si la barrera presenta secciones con daño, torceduras o sumergidas. Revisar los anclajes.
- Limpieza: se retira las barreras y recupere el restante de petróleos con absorbentes. Se deben limpiar las orillas para que no queden remantes de petróleo (Entrix, 2012).
- Variaciones: si no existen barreras disponibles o si el agua es poco profunda, se puede construir barreras usando materiales del lecho del río o de un sitio cercano colocándolos de tal manera que cumpla con la configuración de cascada (Entrix, 2012).

#### 2.1.2.5 *Barreras Absorbentes*

Las barreras absorbentes se consideran una tecnología de "primera línea de defensa" utilizada para contener y minimizar los impactos de los derrames de petróleo crudo (Pagnucco & Phillips, 2018).

- Uso: este tipo de barreras son utilizadas para delimitar, absorber y contener derrames de hidrocarburos en aguas superficiales y suelos. Las barreras son construidas con

cercas y materiales absorbentes con la finalidad de contener y recuperar la mayor porción de petróleo derramado. Tienen un alto grado de efectividad cuando se instalan detrás de los *skimmers* para recoger petróleo que se escapa de estos (Entrix, 2012).

- Limitaciones: tiempo de implementación, grandes cantidades de petróleo, corrientes de alta velocidad, profundidades excesivas de agua (Entrix, 2001).
- Instrucciones Generales: despliegue barreras absorbentes a lo largo de la vía fluvial con cada extremo anclado a la orilla.

Construya barreras de un solo lado impulsando una línea de postes en la parte inferior de la corriente con una pantalla de malla de alambre sujeta al lado aguas arriba.

Coloque absorbentes sueltos, cuadros o tiras al frente de las pantallas y la corriente los mantendrá en su lugar. En canales de marea con corrientes inversas, construya una barrera de doble cara.

La malla metálica debe ser compatible con el tipo y tamaño del sorbente de relleno y capaz de soportar las corrientes prevalecientes (Entrix, 2001).

- Equipo Requerido: cuerdas y herramientas manuales.
- Mantenimiento: se revisa las barreras en busca de fugas o daños. Gire las barreras o los absorbentes con regularidad esto con el fin de obtener su máxima eficiencia, cuando se encuentren totalmente saturados de petróleo se recomienda cambiar las barreras.
- Limpieza: los absorbentes utilizados deben ser depositados en recipientes a prueba de fugas.
- Variaciones: se pueden colocar múltiples barreras cuando existen cantidades de petróleo significativas.

#### 2.1.2.6 Barreras para Desviación de Ríos (*River Diversion Booming*)

Se pueden colocar barreras en los ríos en ángulo para desviar el hidrocarburo de áreas ambientalmente sensibles o vulnerables o para desviar el hidrocarburo a canales laterales o hacia las orillas donde se puede contener y recuperar. Se coloca barreras también para desviar el hidrocarburo en río o canales laterales donde las corrientes son menores o el acceso es más fácil (Calameo, 2016).

- Uso: las barreras se despliegan en los ríos en ángulo para desviar el petróleo lejos de las áreas ambientalmente sensibles cuando las corrientes son demasiado grandes para contenerlas (Mobil, 1991).
- Limitaciones: accesibilidad, corrientes mayores a dos nudos y profundidades menos a un pie por debajo del borde de la barrera (Ticona 2011).
- Instrucciones Generales: fije un extremo de la barrera a la orilla y use un bote o

güinche para tirar la barrera libremente a través del río y anclar el otro extremo ligeramente río arriba.

El ángulo de colocación óptimo depende de la velocidad de la corriente, la longitud y la estabilidad de la barrera (ERT, 1985).

El ángulo hacia la dirección del flujo debe ser menor para corrientes fuertes que para corrientes débiles (Entrix, 2001).

Esta relación es aplicable para la seleccionar la longitud de la barrera, la longitud óptima disminuye al aumentar la velocidad de la corriente. Cuando el derrame es grande la barrera debe colocarse en un ángulo óptimo (Entrix, 2001).

- Equipo Requerido: bote o güinche, anclas y herramientas manuales (Mobil, 1991).
- Mantenimiento: se revisa las barreras en busca de fugas o daños. En caso de ser necesario revise el ángulo de despliegue. Revisar también si la barrera presenta secciones con daño, torceduras o sumergidas. Revisar los anclajes (Mobil, 1991).
- Limpieza: se retira las barreras y recupere el restante de petróleo con absorbentes. Se deben limpiar las orillas para que no queden remanentes de petróleo (Entrix, 2012).
- Variaciones: si el área a proteger es grande, se pueden desplegar barreras de desvío adicionales aguas abajo de la misma manera (ERT, 1985). Esto con la finalidad de desviar el flujo de petróleo a un canal lateral un extremo de la barrera es anclado a la barra o isla de grava en la apertura del canal con el otro extremo colocado en ángulo aguas arriba hacia el centro del río (Entrix, 2001).



## **2.2 Los Principales Derrames en Ecuador: Impactos y análisis de casos destacados.**

A pesar de tener una gran biodiversidad y recursos naturales abundantes, Ecuador ha sufrido derrames importantes a lo largo de su historia. Estos incidentes han afectado a las comunidades locales y puesto en peligro la integridad de su ecosistema.

En este apartado del capítulo, nos centraremos en una revisión de los principales derrames que han ocurrido en Ecuador con el objetivo de comprender completamente la magnitud de estos eventos y su impacto en nuestro entorno.

### *2.2.1 Derrame en área protegida (28-01-2022)*

El 28 de enero del año 2022, ocurrió una rotura de la tubería de la operadora privada de transporte OCP Ecuador S.A., en el sector Piedra Fina, provincia de Napo (MERNNR, 2022) Ante la rotura del Oleoducto de Crudo Pesado (OCP) y el consecuente derrame de petróleo, provocado por un desprendimiento de tierra a causa de las fuertes lluvias, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) dispuso con carácter urgente e inmediato actividades de contingencia, limpieza y remediación en el área afectada (MAATE, 2022).

De acuerdo con los reportes del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), se registró una contaminación que afectó al menos 21,007.91 metros cuadrados (m<sup>2</sup>) del Parque Nacional Cayambe-Coca. Este parque es una de las 66 áreas de conservación en Ecuador y se encuentra en las proximidades del punto de captación de la Represa Coca Codo Sinclair, así como cerca de la inexistente Cascada San Rafael (Cazar, 2022).

En los informes preliminares del organismo de control ambiental se ha verificado que, de la superficie total afectada, 16,913.61 metros cuadrados (m<sup>2</sup>) están ubicados dentro de la zona de protección, mientras que los 4,094.3 m<sup>2</sup> restantes corresponden a la zona de amortiguamiento del área protegida. En los documentos presentados por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) se indicia que existe una amenaza para las especies animales que habitan la zona, como el cusumbo andino, el venado Chonta, el gallo de la peña y varias especies de anfibios. (Cazar, 2022)

Los resultados obtenidos en relación con el suelo, agua, aire, fauna y flora, así como los impactos sociales derivados del derrame, han mostrado la posibilidad de que se vean afectados los servicios ambientales y que existan riesgos para la salud humana (Cazar, 2022).

Se verificó que durante el suceso se construyeron en la zona del siniestro cinco piscinas de 1,50 metros de alto para acopiar ahí el crudo y luego reinyectarlo al sistema. También explicó que parte del material que se está procesando se lo está llevando a Joya de los Sachas, donde la empresa PEX está realizando una recuperación y para ello ha contratado mano de

obra local (Universo, 2022).

### *2.2.2 Derrame de petróleo en San Rafael (07-04-2020)*

El derrame de petróleo del 7 de abril de 2020 ocurrió en la Amazonía ecuatoriana, en la región de San Rafael en la frontera de las provincias de Napo y Sucumbíos, se debió a la rotura de tres importantes oleoductos: el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE), el Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) y el poliducto Shushufindi - Quito (Alianza por los Derechos Humanos Ecuador, 2020).

Petroecuador catalogó el derrame como un "evento de fuerza mayor" producto de la erosión del río Coca. La rotura de las tres tuberías fue causada por un hundimiento del terreno. La erosión es un problema crónico en la zona, y se ha agravado por el cambio climático (Plan V, 2022).

Más de 105 comunidades indígenas, con una población de al menos 27.000 personas, fueron afectadas por el derrame (Alianza por los Derechos Humanos Ecuador, 2020). Se estima que se derramó 15.800 barriles de petróleo. El crudo contaminó el río Coca, sus afluentes y las tierras de las comunidades indígenas. (Ruiz, 2022)

El derrame tuvo un impacto devastador en las comunidades y el medio ambiente. El agua, el suelo y la fauna fueron contaminados por el crudo. Las comunidades indígenas sufrieron la pérdida de sus fuentes de agua, cultivos y medios de vida.

Las autoridades y las empresas responsables del derrame iniciaron las labores de limpieza y remediación. Las empresas responsables del derrame, Petroecuador y OCP, utilizaron una variedad de métodos de contención, incluyendo:

- Barreras de contención: Estas barreras se colocan alrededor de la zona del derrame para evitar que el petróleo se propague.
- Skimmers: Estos dispositivos recogen el petróleo de la superficie del agua.
- Productos químicos: Estos productos químicos se utilizan para coagular el petróleo y facilitar su recolección. (Alianza por los Derechos Humanos Ecuador, 2020)

La falta de comunicación efectiva fue un factor que contribuyó a la falta de coordinación entre las empresas responsables y las autoridades. Las compañías involucradas afirmaron que no sabían del derrame hasta el 9 de abril, fecha en la que Petroecuador les informó. Las autoridades dijeron que las empresas responsables no les dieron información adecuada sobre la gravedad del derrame (Mongabay Latam, 2021).

El derrame de petróleo del 7 de abril de 2020 es uno de los derrames de petróleo más graves que Ecuador ha experimentado. El suceso reveló la susceptibilidad de la Amazonía ecuatoriana a los derrames de petróleo y la importancia de implementar medidas para evitarlos.

### 2.2.3 *Derrame en la laguna de Papallacta (08-04-2003)*

El derrame de petróleo del 08 de abril de 2003 tuvo lugar en el sector de Sucus-San Juan, dentro de la reserva Cayambe Coca: Este suceso se originó durante los trabajos para colocar otro oleoducto conductor de petróleo. En este proceso, se empleaba maquinaria pesada en la zona donde se encontraba el oleoducto, durante la remoción de la primera capa de tierra los tractores pasaron por donde el oleoducto se encontraba a 1,10 metros de profundidad de la tierra suelta. Esta circunstancia provocó la ruptura del SOTE (González, 2018).

Se estima que se derramó entre 6000 a 13.000 barriles de petróleo durante 9 horas de liberación del flujo. El derrame tomó el cauce del río Sucus y llegó hasta la laguna de Papallacta, la cual se cubrió hasta la mitad con residuos hidrocarbúricos (González, 2018). Este incidente fue excepcionalmente grave debido a su impacto directo en la laguna de Papallacta, que en ese momento desempeñaba un papel crucial como fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Quito, abasteciendo a aproximadamente la sexta parte de la población de la ciudad (FONAG, 2020).

El derrame de petróleo ocasionó un impacto de consideración en las fuentes de agua, la flora, la fauna y la calidad del suelo en el área afectada.

Una de las medidas implementadas para la contención del derrame de petróleo en la laguna de Papallacta consistió en colocar boyas flotantes de manera estratégica para crear una barrera física que pueda retener y contener el petróleo derramado en la superficie del agua. (González, 2018)

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la actualidad es fundamental abordar los derrames de petróleo en el Ecuador de manera efectiva y aplicar las mejores técnicas de contención disponibles. Esto implica evaluar rápidamente la magnitud del derrame y seleccionar la técnica más adecuada, considerando las características y condiciones ambientales del lugar afectado.

Al analizar las técnicas, se debe tener en cuenta la matriz en la que ocurra el derrame puesto que las características y condiciones ambientales presentes en el sitio del derrame definen la capacidad de absorber o no el impacto que el derrame puede producir (Miranda & Restrepo, 2005).

En este capítulo se analizó la técnica con mayor aplicabilidad en el Ecuador para lo cual se analizaron las técnicas que se detallaron en el capítulo anterior de acuerdo a la matriz dónde ocurre el derrame, sea suelo o en agua. Además, se especificarán las partes más importantes para diferenciar las técnicas entre sí.

#### **3.1 Características promedias de los campos del oriente ecuatoriano.**

Para esta sección, se analizaron diferentes características de los campos del oriente ecuatoriano con el fin de poder seleccionar una técnica que se acople a estas características tales como viscosidad, permeabilidad, textura del suelo, corrientes de agua, etc. Esto con el fin de poder evaluar las diferentes técnicas de contención de derrames de petróleo ya sea en suelo o en agua.

Existen otros factores que son fundamentales al momento de analizar una técnica, uno de estos es el costo. En este documento se abordará este apartado tomando solo en consideración el importe de equipos requeridos para implementar cada técnica, se excluyen otros factores como costos de limpieza, capacitación, formación para el uso de equipos, costos para usuarios del agua, costos de accidentes o daños de la salud humana, daños en flora y fauna.

- Textura del suelo

En los campos del oriente ecuatoriano se puede encontrar una gran variedad de suelos esto debido a la combinación entre materiales de partida y los factores climáticos. Se puede encontrar suelos con origen volcánico que se formaron por depósitos de cenizas y materiales volcánicos, suelos arcillosos y los que provienen de rocas solidas (Maldonado, 2006). El suelo se encuentra formado por un gran número de partículas las cuales tienen diferente

tamaño, esto ayudará a determinar la porosidad, la capacidad para absorber agua y la aireación del suelo. Siendo así, que dichas partículas si tienen granos muy gruesos se clasifiquen en arenas, limo si tienen granos intermedios y arcilla si estas partículas fueran muy finas (Varas, 2016). Otro tipo de suelo es el franco que se presenta cuando existe un equilibrio entre las diferentes partículas de suelo.

**Tabla 1.** Textura del suelo

<b>Textura del Suelo</b>			
<b>Gruesa</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moderadamente Fina</b>	<b>Fina</b>
Arenoso	Franco	Franco arcilloso	Arcilloso arenoso
	Franco-Limoso	Franco arenoso arcilloso	Arcilloso limoso
Franco – Arenoso	Limoso	Franco limoso arcilloso	Arcilloso

**Elaborado por:** Guerrero, 2023

**FUENTE:** (FAO, s.f.a)

“La mayor parte de los suelos del oriente ecuatoriano pertenecen al orden de los Inceptisoles” (Nierto & Caicedo, 2012), los suelos con este orden se caracterizan porque su contenido de arcilla es más elevado, siendo las texturas dominantes franco arcilloso, franco arenoso arcilloso y arcillosa (FAO, s.f.a).

- **Permeabilidad del suelo**

La permeabilidad puede definirse como la facilidad con que se mueve el fluido a través de un medio poroso. El tamaño de los poros del suelo reviste gran importancia con respecto a la tasa de filtración (movimiento del agua hacia dentro del suelo) y a la tasa de percolación (movimiento del agua a través del suelo). El tamaño y el número de los poros guardan estrecha relación con la textura y la estructura del suelo y también influyen en su permeabilidad (FAO, s.f.b). Como se detalla en la siguiente tabla de Permeabilidad de acuerdo con la textura del suelo.

**Tabla 2.** Variación de la permeabilidad según la textura del suelo.

Suelo	Textura	Permeabilidad
Suelo Arcilloso	Fina	De muy lenta a muy rápida
Suelo limoso	Moderadamente fina	
	Moderadamente gruesa	
Suelo Arenoso	Gruesa	

**Elaborado por:** Guerrero, 2023

**FUENTE:** (FAO, s.f.b)

- Viscosidad

Propiedad que describe la resistencia de un líquido a fluir y es muy importante determinarla tanto para la producción desde un yacimiento, como para calcular las pérdidas de carga en oleoductos, tuberías y conducciones a la refinería. Esta propiedad es muy sensible a la temperatura y diferente para cada tipo de crudo (Valladares, 2017).

- Gravedad API

Escala de gravedad específica desarrollada por el Instituto Estadounidense del Petróleo (American Petroleum Institute, API) para medir la densidad relativa de diversos líquidos de petróleo, expresada en grados. La gravedad API está graduada en grados en un instrumento de hidrómetro (Schlumberger, s.f.).

El petróleo crudo también se puede clasificar según su gravedad API, a medida que aumenta la gravedad API más liviano será el crudo. En la Tabla 3 la clasificación de crudo de acuerdo con su gravedad API.

**Tabla 3.** Clasificación de crudos de acuerdo con la gravedad API.

Tipo de Crudo	°API
Extrapesados	Hasta 9,9
Pesados	10-21,9
Medianos	22-29,9
Livianos	Más de 30,0

**Elaborado por:** Guerrero, 2023

**FUENTE:** (París, 2008)

En Ecuador, en el contexto de la exportación de petróleo crudo, se distinguen dos tipos principales: el crudo Oriente y Napo. Estas categorías se caracterizan por su gravedad específica API, ya que el crudo Oriente posee una gravedad API de 23 mientras que el crudo Napo tiene que una gravedad API de 17.

### 3.2 Comparación de Técnicas de Contención de Derrames de acuerdo a su aplicabilidad.

La matriz de decisiones es una herramienta que ayuda a considerar todos los factores importantes y relevantes de una realidad al tomar una decisión y, por ende, nos brinda un panorama más claro al poseer más información (Toledo, 2020).

Se utilizará esta matriz de decisiones para seleccionar la técnica con mayor aplicabilidad debido a que esta metodología es una herramienta particularmente útil para decidir entre más de una alternativa y existen varios factores que considerar para tomar la decisión final (Martins 2021).

Se seleccionaron los 3 métodos con mayor aplicabilidad (técnica-económica).

#### 3.2.1. Comparación de las Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Suelo

Se realizó un análisis de acuerdo a varios factores que son importantes para la implementación de las técnicas ya que una característica puede hacer gran diferencia al momento de utilizar cada una de estas. En la tabla 4 se detallan estos factores.

**Tabla 4.** Tabla comparativa de las Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Suelo

TÉCNICAS/ CARACTERÍSTICAS	Viscosidad	Permeabilidad	Textura del suelo	Complejidad de la construcción	Equipos requeridos	Costo
Barreras Verticales	No aplica	No aplica	No aplica	Alta	Retroexcavadora , cargadora frontal, cemento y bentonita u hormigón y herramientas manuales	Alto
Barreras de Desviación de Tierra	No aplica	No aplica	No aplica	Media	Excavadora frontal, montacargas, nivelador de motor y herramientas manuales.	Alto

Zanjas de Intercepción	Media-Alta	No aplica	No aplica	Baja	Herramientas manuales o equipo de movimiento de tierras, rollos de plástico.	Medio
Barreras Absorbentes Terrestres	No aplica	No aplica	No aplica	Baja	No se requiere de ningún equipo especial.	Bajo
Sellado Profundo	No aplica	Alta	Gruesas	Alta	Retroexcavadora , cargadora frontal, y herramientas manuales.	Alto

**Elaborado por:** Guerrero, 2023

En la tabla 4 se aprecia un análisis cualitativo de cada técnica, utilizando diferentes parámetros. Para utilizar la matriz de decisión por convención se requiere realizar un análisis cuantitativo el cual será desarrolla en las tablas siguientes.

El análisis cuantitativo se realizó mediante el uso de la matriz decisiones sobre la cual se seleccionaron las 3 mejores técnicas de contención de derrames de petróleo en suelo.

Para la ponderación de cada parámetro se otorga pesos de acuerdo con el nivel de importancia de cada uno de estos como se visualiza en la tabla 5.

**Tabla 5.** Tabla de ponderación.

Importancia	Textura del suelo	Permeabilidad	Viscosidad	Complejidad de la construcción	Costo
5.0	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Bajo	Bajo
4.0-4.99	Importante	Importante	Importante	Moderadamente Bajo	Moderadamente Bajo
3.0-3.99	Útil	Útil	Útil	Medio	Medio
2.0-2.99	Innecesario	Innecesario	Innecesario	Moderadamente Alto	Moderadamente Alto
1.0-1.99	Inútil	Inútil	Inútil	Alto	Alto

**Elaborado por:** Guerrero, 2023



En esta técnica el criterio que se maneja al momento de asignar el peso relativo está basado en su importancia siendo el 1 extremadamente importante, 2 Muy importante, 3 Un poco importante, 4 Ligeramente importante y 5 nada importante.

- Extremadamente importante (1): Utilizado para aspectos críticos que pueden tener un impacto sustancial en la seguridad, el éxito y la integridad de las operaciones de contención de derrames de petróleo.
- Muy importante (2): Aplicado a factores fundamentales que influyen en la eficiencia, la producción y la calidad de los resultados en la contención de derrames de petróleo.
- Un poco importante (3): Asignado a aspectos que tienen un impacto moderado en el rendimiento y que merecen atención, aunque con cierto margen para ajuste.
- Ligeramente importante (4): Para elementos que tienen un impacto menor en las operaciones y que pueden ser considerados de manera más flexible.
- Nada importante (5): Reservado para factores con un impacto muy limitado o insignificante en las operaciones de contención de derrames de petróleo y que pueden ser omitidos sin consecuencias graves.

**Tabla 6.** Matriz de selección.

TÉCNICA/ IMPORTANCIA QUE LE DA EL MÉTODO A LA CARACTERÍSTICA	TEXTURA DEL SUELO	PERMEABILIDAD	VISCOSIDAD	COMPLEJIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	COSTO	PUNTAJE	APLICABILIDAD
	PESO: 4	PESO: 1	PESO: 1	PESO: 1	PESO: 1		
<b>Barreras Verticales</b>	1	1	1	1	1	9	
<b>Barreras de Desviación de Tierra</b>	1	1	1	3	2,5	16	3ro
<b>Zanjas de Intercepción</b>	1	1	3	5	3	25	2do
<b>Barreras Absorbentes Terrestres</b>	1	1	1	5	5	25	1ro
<b>Sellado Profundo</b>	3	3	1	1	1	15	

**Elaborado por:** Guerrero, 2023

Luego analizar mediante la matriz de decisiones se seleccionó las siguientes técnicas Barreras de Desviación de Tierra, Zanjas de Intercepción y Barreras Absorbentes Terrestres de los cuales se explicará la factibilidad técnica y factibilidad económica, como se ver en la tabla 7.

La elección de las técnicas es debido su versatilidad para enfrentar condiciones de Textura de suelo, permeabilidad y viscosidad variables con respecto a las otras técnicas. Estas técnicas poseen un bajo nivel de complejidad en su implementación y se caracterizan por ser una opción de costo accesible. Esta selección se sustenta en la necesidad de contar con una solución robusta, adaptable a diferentes entornos, eficaz en la contención del petróleo derramado, y al mismo tiempo, económicamente viable en términos de su aplicación y mantenimiento.

**Tabla 7.** Análisis de Impacto de las Técnicas de Contención de Derrames en suelo.

Técnica	Necesidad de recursos	Factibilidad técnica	Factibilidad Económica
1. Barreras Absorbentes Terrestres	No requiere ningún equipo especial.	Alta factibilidad técnica, se tiene problemas solo en pendientes pronunciadas y a largo plazo en acciones de limpieza.	Alta por costos bajos
2. Zanjales de Intercepción	Herramientas manuales y equipo de movimiento de tierras.	Factibilidad técnica media, debido al alto tiempo de implementación y que solo funciona correctamente en petróleo con baja viscosidad	Media por costos medianos
3. Barreras de Desviación de Tierra	Excavadora frontal, montacargas nivelador y herramientas manuales.	Factibilidad técnica baja debido a los altos costos de los recursos requeridos y el alto costo ambiental derivado de la técnica.	Baja debido a altos costos

Elaborado por: Guerrero, 2023

Debido a su baja necesidad de recursos, alta factibilidad técnica y excelente viabilidad económica gracias a su bajo costo de implementación, las barreras absorbentes se convierten en la opción idónea. Estas barreras no requieren equipos complejos ni inversiones significativas, lo que las convierte en una opción sumamente eficaz y económicamente atractiva para la contención de derrames de petróleo.

En la tabla 8 se detalla los costos de los equipos requeridos de las 3 técnicas seleccionadas realizando comparación de costos entre cada técnica

**Tabla 8.** Costos de los métodos priorizados

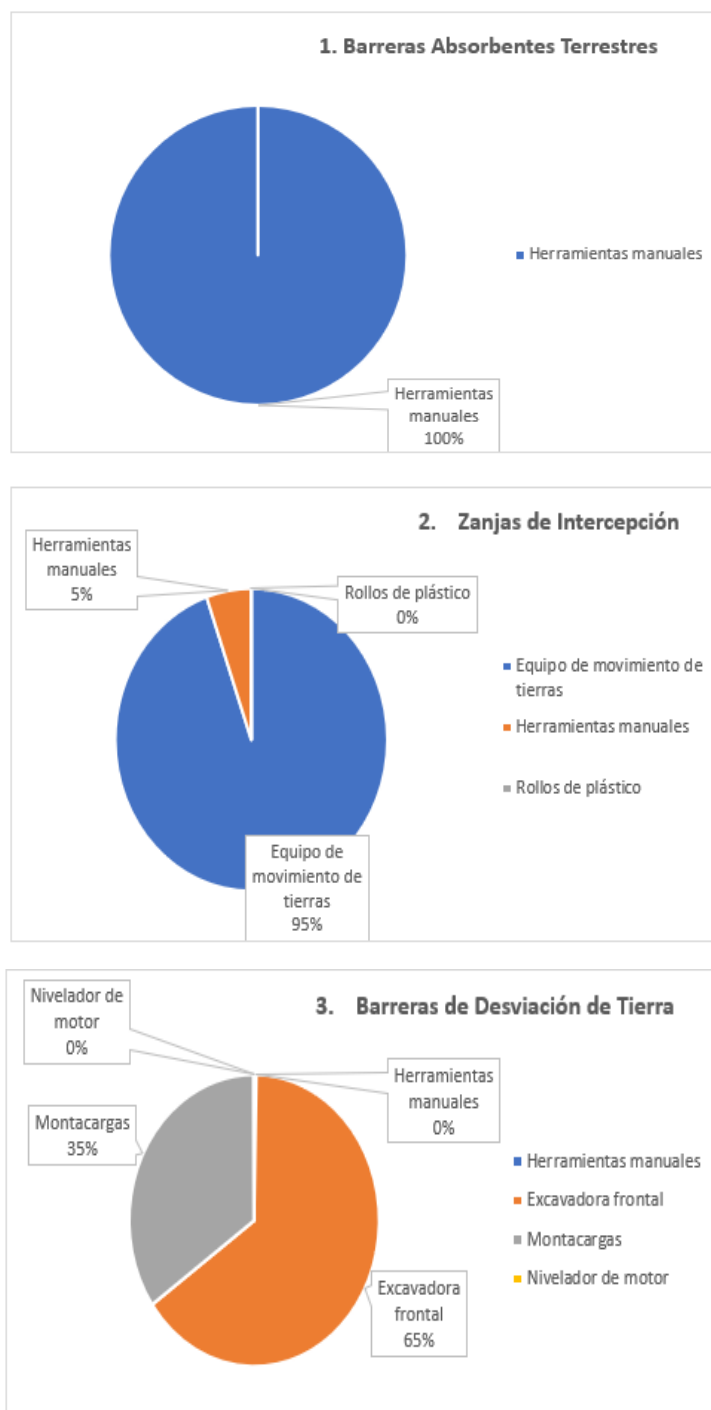
1. Barreras Absorbentes Terrestres		2. Zanjas de Intercepción		3. Barreras de Desviación de Tierra	
EQUIPOS REQUERIDOS	PRECIO ESTIMADO (C/U)	EQUIPOS REQUERIDOS	PRECIO ESTIMADO (C/U)	EQUIPOS REQUERIDOS	PRECIO ESTIMADO (C/U)
Herramientas manuales	355,18 (Kywi, s.f.)	Equipo de movimiento de tierras	89000,00 (Patiotuerca, 2022)	Excavadora frontal	82000,00 (Patiotuerca, 2022)
		Rollos de plástico	13,99 (Amazon, 2017)	Montacargas	43836,80 (Patiotuerca, 2022)
		Herramientas manuales	355,18 (Kywi, s.f.)	Nivelador de motor	69,99 (Amazon, 2016)
				Herramientas manuales	355,18 (Kywi, s.f.)
TOTAL	355,18	TOTAL	89369,17	TOTAL	126261,97

**Elaborado por:** Guerrero, 2023

En términos económicos la técnica de Barreras Absorbentes Terrestre es la técnica más factible ya que el costo de la implementación es menor con respecto a los otros.

El análisis de costos en la elección de las Barreras Absorbentes en comparación con las otras dos técnicas para la contención de derrames de petróleo es fundamental para tomar una decisión informada. En la tabla 8 se puede evidenciar una gran diferencia de costos debido al número de equipos requeridos ya que las Barreras Absorbentes son de fácil instalación y no se requiere de equipos complejos para su construcción. En términos económicos la técnica de Barreras Absorbentes es la técnica más factible ya que el costo de la implementación es menor con respecto a los otros.

**Figura 1.** Uso de Presupuesto por Recurso en Técnicas Priorizadas en contención de derrames de petróleo en suelos.



### 3.2.2. Comparación de las Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Agua

Se realizó un análisis de acuerdo a varios factores que son importantes para la implementación de las técnicas ya que una característica puede hacer gran diferencia al momento de utilizar cada una de estas. En la tabla 9 se detallan estos factores.

**Tabla 9.** Tabla comparativa de las Técnicas de Contención de Derrames de Petróleo en Agua

TÉCNICAS/ CARACTERÍSTICAS	Corriente	Profundidad	Volumen de Petróleo Derramado	Complejidad de la Construcción	Equipos requeridos	Costo
Barreras para Contención en Ríos (River Containment Booming)	Menores a 2 nudos	Mayores a 1 pie	No aplica	Media	Bote o gúinche, anclas, retroexcavadora y herramientas manuales.	Alto
<i>Bloqueo de Alcantarilla (Culvert Blocking)</i>	No aplica	No aplica	No aplica	Media	Retroexcavadora o cargadora frontal, camioneta con herramientas.	Medio
<i>Presas de desbordamiento</i>	No aplica	Menor a 2 pies	No aplica	Alta	Cargadora frontal, retroexcavadora, tuberías, bombas, mangueras y herramientas manuales.	Alto
<i>Barreras Consecutivas o Barreras de Cascada (Cascading Booms)</i>	Menores a 2.5 nudos	No aplica	No aplica	Alta	Botes pequeños, barreras de contención, bridas de remolque, cuerdas, estacas, pasadores de anclaje (si es necesario), anclas, retroexcavadoras y herramientas manuales.	Alto
Barreras Absorbentes	Bajas-Moderadas	Moderadas	Bajo-Medio	Baja	Cuerdas y herramientas manuales.	Bajo
<i>Barreras para Desviación de Ríos (River Diversion Booming)</i>	Menores a 2 nudos	Mayores a 1 pie	No Aplica	Alta	Bote o gúinche, anclas y herramientas manuales.	Medio

Elaborado por: Guerrero, 2023

En la tabla 9 se puede apreciar un análisis cualitativo de cada técnica, utilizando diferentes parámetros. Para poder utilizar la matriz de decisión por convención se requiere realizar un análisis cuantitativo el cual será desarrollado en las tablas siguientes.

El análisis cuantitativo se realizó mediante el uso de la matriz de decisiones sobre la cual se seleccionaron las 3 mejores técnicas de contención de derrames de petróleo en agua.

Para la ponderación de cada parámetro se otorga pesos de acuerdo al nivel de importancia de cada uno de estos como se visualiza en la tabla 10.

**Tabla 10.** Tabla de ponderación.

Importancia	Corriente y Profundidad	Volumen de petróleo derramado	Complejidad de la construcción	Costo
5.0	Indispensable	Indispensable	Indispensable	Bajo
4.0-4.99	Importante	Importante	Importante	Moderadamente Bajo
3.0-3.99	Útil	Útil	Útil	Medio
2.0-2.99	Innecesario	Innecesario	Innecesario	Moderadamente Alto
1.0-1.99	Inútil	Inútil	Inútil	Alto

**Elaborado por:** Guerrero, 2023

En esta técnica el criterio que se maneja al momento de asignar el peso relativo está basado en su importancia siendo el 1 extremadamente importante, 2 Muy importante, 3 Un poco importante, 4 Ligeramente importante y 5 nada importante.

- Extremadamente importante (1): Utilizado para aspectos críticos que pueden tener un impacto sustancial en la seguridad, el éxito y la integridad de las operaciones de contención de derrames de petróleo.
- Muy importante (2): Aplicado a factores fundamentales que influyen en la eficiencia, la producción y la calidad de los resultados en la contención de derrames de petróleo.
- Un poco importante (3): Asignado a aspectos que tienen un impacto moderado en el rendimiento y que merecen atención, aunque con cierto margen para ajuste.
- Ligeramente importante (4): Para elementos que tienen un impacto menor en las operaciones y que pueden ser considerados de manera más flexible.

- Nada importante (5): Reservado para factores con un impacto muy limitado o insignificante en las operaciones de contención de derrames de petróleo y que pueden ser omitidos sin consecuencias graves.

**Tabla 11.** Matriz de selección.

TÉCNICA/ IMPORTANCIA QUE LE DA EL MÉTODO A LA CARACTERÍSTICA	CORRIENTE Y PROFUNDIDAD	VOLUMEN DE PETRÓLEO DERRAMAD O	COMPLEJIDAD DE LA CONSTRUCCI ÓN	COSTO	PUNTAJE	APLICABILIDAD
	PESO: 4	PESO: 2	PESO: 3	PESO: 1		
Barreras para Contención en Ríos	3	1	3	1	24	
<i>Bloqueo de Alcantarilla</i>	1	1	3	3	16	
<i>Presas de desbordamiento</i>	2	1	5	1	21	
<i>Barreras de Cascada</i>	2	5	5	1	35	2do
Barreras Absorbentes	3	4,5	1	4	37,5	1ro
<i>Barreras para Desviación de Ríos</i>	4	1	1	3	29,5	3ro

**Elaborado por:** Guerrero, 2023

Luego analizar mediante la matriz de decisiones se seleccionó las siguientes técnicas Barreras Absorbentes, Barreras de Cascada y Barrera de Desviación de ríos de los cuales se explicará la factibilidad técnica y factibilidad económica, como se puede ver en tabla 12.

La elección de las técnicas es debido su versatilidad para enfrentar condiciones de corrientes fuertes y profundidades variables con respecto a las otras técnicas. Estas técnicas poseen un bajo nivel de complejidad en su implementación y se caracterizan por ser una opción de costo accesible. Esta selección se sustenta en la necesidad de contar con una solución robusta, adaptable a diferentes entornos, eficaz en la contención del petróleo derramado, y al mismo tiempo, económicamente viable en términos de su aplicación y mantenimiento.

**Tabla 12.** Análisis de Impacto de las Técnicas de Contención de Derrames en suelo.

Técnica	Necesidad de recursos	Factibilidad técnica	Factibilidad Económica
1. Barreras Absorbentes	Cuerdas y herramientas manuales	Sirve en derrames pequeños y moderados de petróleo	Alta debido a bajos costos
2. <i>Barreras de Cascada</i>	Botes pequeños, barreras de contención, bridas, cuerdas, estacas, etc.	La factibilidad técnica se considera como media ya que el método depende de variables sobre las cuales no se tiene control; vientos y corrientes	Media debido a costos altos de los recursos necesarios
3. <i>Barrera de Desviación de ríos</i>	Bote Winche y herramientas manuales	Se limita por la accesibilidad, altas corrientes y profundidades	Baja debido a altos costos de Botes Winches y accesibilidad del terreno.

**Elaborado por:** Guerrero, 2023

Debido a su baja necesidad de recursos, alta factibilidad técnica y excelente viabilidad económica gracias a su bajo costo de implementación, las barreras absorbentes se convierten en la opción idónea. Estas barreras no requieren equipos complejos ni inversiones significativas, lo que las convierte en una opción sumamente eficaz y económicamente atractiva para la contención de derrames de petróleo.

En la tabla 13 se detalla los costos de los equipos requeridos de las 3 técnicas seleccionadas realizando comparación de costos entre cada técnica



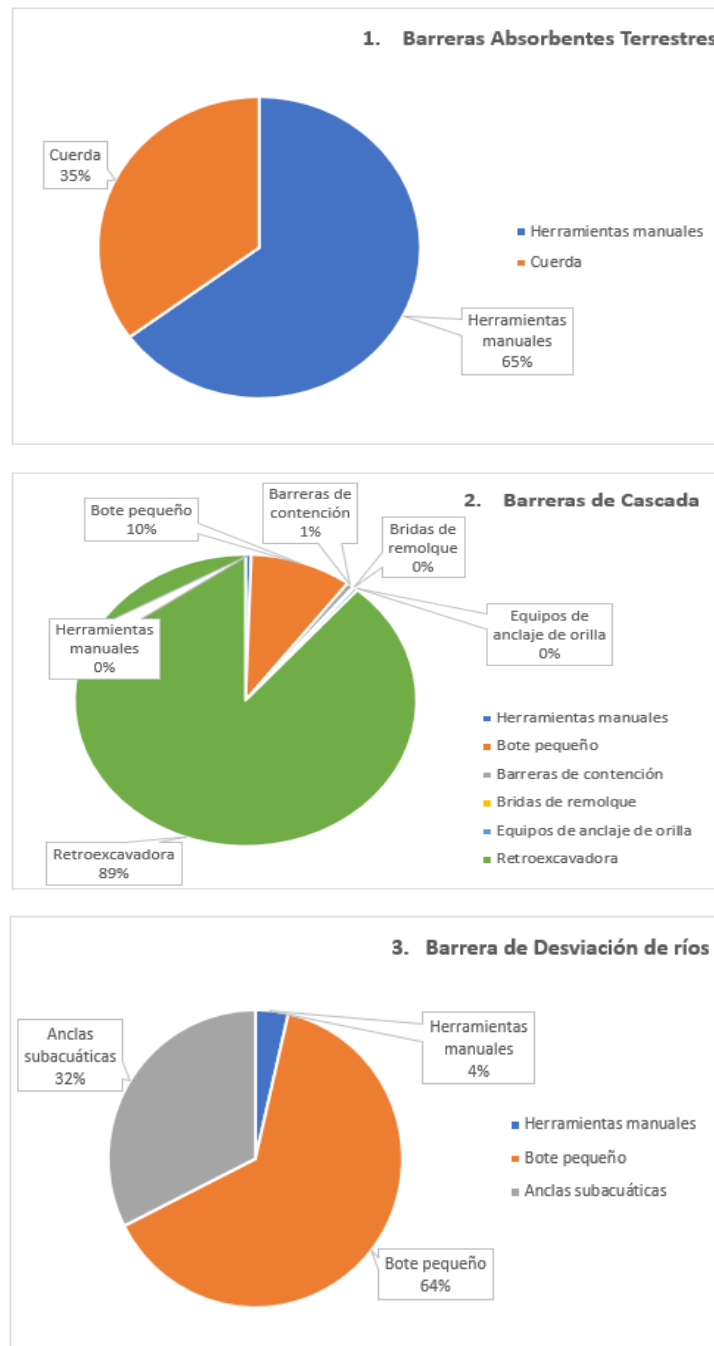
**Tabla 13.** Costos de los métodos priorizados

1. Barreras Absorbentes		2. Barreras de Cascada		3. Barrera de Desviación de ríos	
EQUIPOS REQUERIDOS	PRECIO ESTIMADO	EQUIPOS REQUERIDOS	PRECIO ESTIMADO	EQUIPOS REQUERIDOS	PRECIO ESTIMADO
Cuerdas	192,12 (Kywi, s.f.)	Bote pequeño	6300,00 (Doplim, s.f.)	Bote pequeño	6300,00 (Doplim, s.f.)
Herramientas manuales	355,18 (Kywi, s.f.)	Barreras de contención	430,00 (TPE, s.f.)	Anclas subacuáticas	3196,03 (CELEC, 2014)
		Bridas de remolque	89,99 (Amazon, 2017)	Herramientas manuales	355,18 (Kywi, s.f.)
		Equipos de anclaje de orilla	248,50 (CELEC, 2014)		
		Retroexcavadora	58.000,00 (Patiotuerca, 2022)		
		Herramientas Manuales	355,18 (Kywi, s.f.)		
<b>TOTAL</b>	<b>547,30</b>	<b>TOTAL</b>	<b>65423,67</b>	<b>TOTAL</b>	<b>9851,21</b>

**Elaborado por:** Guerrero, 2022

El análisis de costos en la elección de las Barreras Absorbentes en comparación con las otras dos técnicas para la contención de derrames de petróleo es fundamental para tomar una decisión informada. En la tabla 12 se puede evidenciar una gran diferencia de costos debido al número de equipos requeridos ya que las Barreras Absorbentes son de fácil instalación y no se requiere de equipos complejos para su construcción. En términos económicos la técnica de Barreras Absorbentes es la técnica más factible ya que el costo de la implementación es menor con respecto a los otros.

**Figura 2.** Uso de Presupuesto por Recurso en Técnicas Priorizadas en contención de derrames de petróleo en agua.



## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- Las técnicas para el control de derrames en suelo más factibles según la matriz de decisión, en orden de aplicabilidad son: Barreras de Desviación de Tierra, Zanjales de Intercepción y Barreras Absorbentes Terrestres. La elección de las técnicas es debido su versatilidad para enfrentar condiciones de Textura de suelo, permeabilidad y viscosidad variables con respecto a las otras técnicas. Estas técnicas poseen un bajo nivel de complejidad en su implementación y se caracterizan por ser una opción de costo accesible.
- La técnica de “Barreras Absorbentes Terrestres” es la técnica más aplicable para contención de derrames en suelo; luego de realizar el proceso de ponderación de las diferentes limitaciones técnicas y económicas obteniendo resultados favorables de aplicabilidad en el contexto ecuatoriano. Los factores que influyeron en la decisión son su baja necesidad de recursos, alta factibilidad técnica y excelente viabilidad económica gracias a su bajo costo de implementación. El uso de equipos para su implementación es muy bajo a comparación con las otras técnicas lo que la convierte en una opción sumamente eficaz y económicamente atractiva.
- Las técnicas para derrames en agua más viables de aplicación, según la matriz de decisión son las Barreras Absorbentes, Barreras Consecutivas o Barreras de Cascada y Barrera de Desviación de ríos. La elección de las técnicas es debido su versatilidad para enfrentar condiciones de corrientes fuertes y profundidades variables con respecto a las otras técnicas. Estas técnicas poseen un bajo nivel de complejidad en su implementación y se caracterizan por ser una opción de costo accesible.
- La técnica de “Barreras Absorbentes” como la técnica más adecuada para contención de derrames en agua en Ecuador. Debido a su baja necesidad de recursos, alta factibilidad técnica y excelente viabilidad económica gracias a su bajo costo de implementación. Estas no requieren equipos complejos ni inversiones significativas, lo que las convierte en una opción sumamente eficaz y económicamente atractiva.
- Realizando el proceso de análisis de costos de los métodos con mayor factibilidad se determina que el mayor rubro económico pertenece a la adquisición y movilización de maquinaria y equipos pesados.

## 4.2. Recomendaciones

- Las técnicas analizadas en este documento pueden ser implementadas en situaciones de contención de derrames de petróleo. Esto se justifica debido a que las características y limitaciones identificadas en las técnicas enfocadas en este documento son coherentes con las características típicas que se encontrarían en un evento de derrame de petróleo en los campos del oriente ecuatoriano.
- Una manera de profundizar el trabajo realizado sería la inclusión de más información ya que actualmente no se dispone de información detallada de planes de contingencia en casos de derrame de petróleo tanto como en agua como en suelo, ya que las empresas no tienen disponible al público dichos documentos.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Control de Contaminación de Minnesota [MPCA]. (18 de julio de 2022). Stormwater.Pca.State. Obtenido de [https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Sediment\\_control\\_practices\\_-\\_Stabilized\\_earth/soil\\_berm#Site\\_applicability](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Sediment_control_practices_-_Stabilized_earth/soil_berm#Site_applicability)
- Agencia de Protección Ambiental [EPA]. (2013). Manual de tácticas de respuesta en tierra; Tácticas generales a aplicar durante la respuesta inicial a un derrame de petróleo en agua dulce. Chicago.
- Agencia de Protección Ambiental [EPA]. (2020). Superfund Remedy Report
- Alianza por los Derechos Humanos Ecuador. (abril de 2020). ddhhecuador. Obtenido de <https://ddhhecuador.org/derrame-de-crudo-en-la-amazonia-ecuatoriana>
- Amazon. (01 de junio de 2016). Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/OEMTOOLS-24831-Nivelador-motor-toneladas/dp/B01GGBK2RM>
- Amazon. (2017). Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/Brida-de-remolque/dp/B075TJD3CQ>
- Amazon. (16 de marzo de 2017). Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/polietileno-pl%C3%A1stico-mantillo-hormig%C3%B3n-construcci%C3%B3n/dp/B06XPPJT5K>
- Aminian, K., & Ameri, S. (2000). Evaluación de la barrera de suelo seco basada en la tecnología del petróleo. Revista de ciencia e ingeniería del petróleo, 26 (1-4): 83-89.
- Aragón, C. (2013). DISEÑO A ESCALAS LABORATORIO Y PILOTO DE UN SISTEMA DE REMEDIACIÓN ELECTROCINÉTICA DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS. Quito.
- BETA UNIT COMPLEX. (2012). Plan De Respuesta Para La Prevención De Derrames De Hidrocarburos. Long Beach
- Botero, A. (2015). Simulación a Escala de Laboratorio de Barreras Hidráulicas contra la Intrusión Salina En Acuíferos Costeros Confinados Considerando los Efectos de la Estratificación del Medio. Bogotá.
- Calameo. (septiembre de 2016). Obtenido de <https://es.calameo.com/read/002625805b33f3ad8dc17>
- Casallas, S., & González, M. (2020). Evaluación técnica de la recuperación ambiental del suelo por derrame de petróleo crudo mediante la aplicación de la tecnología oil spill eater ii en un pozo de un bloque en el Casanare. BOGOTA.
- Castro, G. (junio de 2007). Informe Final Diseño Monitoreo Frente Derrames Dehidrocarburos. Obtenido de SAG: [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/INFORME\\_FINAL\\_ASESORIA\\_SAG\\_HCS2.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/INFORME_FINAL_ASESORIA_SAG_HCS2.pdf)

- Cazar, D. (31 de enero de 2022). Mongabay. Obtenido de <https://es.mongabay.com/2022/01/nuevo-derrame-en-ecuador-se-suma-a-la-cadena-de-desastres-provocados-por-la-erosion-del-rio-coca/>
- CELEC. (2014). Colocación de barreras antilechuguines en las comunidades del Embalse. Guayaquil.
- CISPRI. (2017). MANUAL TÉCNICO CISPRI. Kenai.
- Doplim. (s.f.). Doplim. Obtenido de <https://machala.doplim.ec/se-vende-bote-de-fibra-barcos-y-lanchas-id-1196411.html>
- Enbridge. (2018). Guía de tácticas de respuesta a derrames en el interior. Edmonton.
- ENTRIX. (2001). Proyecto Ecuador Oleoducto Para Crudos Pesados. QUITO.
- ENTRIX. (2012). Plan De Respuesta A Derrames En Facilidades. Walnut Creek
- Euskadi. (s.f.). Obtenido de [https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/vertederos\\_abandonados/es\\_documento/adjuntos/documento.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/vertederos_abandonados/es_documento/adjuntos/documento.pdf)
- Farfán, C. (8 de enero de 2020). Vistazo. Obtenido de <https://www.vistazo.com/actualidad/nacional/cual-es-el-protagonismo-del-petroleo-en-la-economia-de-ecuador-HYVI163721>
- FONAG. (7 de diciembre de 2020). FONAG. Obtenido de <https://www.fonag.org.ec/web/analisis-limnologico-de-la-laguna-papallacta/>
- Fundación Chile. (s.f.). fch. Obtenido de [https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados\\_baja-1.pdf](https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados_baja-1.pdf)
- González, E. (2018). Determinación del estado actual de contaminación de Papallacta por sondeo eléctrico vertical. Quito.
- Ivshina, I. B., Kuyukina, M. S., Krivoruchko, A. V., Elkin, A. A., Makarov, S. O., Cunningham, C. J., . . . Philp, J. C. (2015). Problemas de derrames de petróleo y respuesta sostenible. Proceso e impactos de la ciencia ambiental, 1201-1219.
- Investigación y tecnología ambiental [ERT]. (1985). Informe final de impacto ambiental/ Declaración de impacto ambiental/ Propuesta de Celeron/ Todos los proyectos de oleoductos de American y Gettyn. Evaston.
- Jiménez, A. (28 de julio de 2020). BIBDIGITAL. Obtenido de BIBDIGITAL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21002/1/CD%2010530.pdf>
- Kaifer, J., Aguilar, A., Arana, E., Balseiro, C., Torá, I., Caleya, J., & Pijls, C. (2004). Guía de Tecnologías de Recuperación de Suelos Contaminados. Madrid: Comunidad de Madrid, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- Kywi. (s.f.). Obtenido de Kywitiendaenlinea: <https://kywitiendaenlinea.com/product/cabo-polipropileno-10mm-rollo-440mt/>
- Kywi. (s.f.). Obtenido de Kywitiendaenlinea: <https://kywitiendaenlinea.com/product->

- category/herramientas-manuales/
- Líneas de oleoductos de la costa oeste de Mobil Oil Corporation [Mobil]. (1991). Final Informe de Impacto Ambiental/ Declaración de Impacto Ambiental. Torrance.
- MAATE. (29 de enero de 2022). ambiente.gob.ec. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/ministerio-del-ambiente-agua-y-transicion-ecologica-coordina-acciones-inmediatas-ante-derrame-de-crudo-en-napo/>
- Maldonado, F. 2006. Proyecto de manejo integrado y sostenible de recursos hídricos transfronterizos en la cuenca del río Amazonas (en línea). Quito, Ecuador. 144 p. Informe Final. Disponible en <http://iwlearn.net/iw-projects/2364/reports/amazon-basin-vision/RelatorioFinalFaustoMadonaldoVisaoEcuador.pdf>
- Mandler, M. (2001). Respuesta a derrames de petróleo en corrientes rápidas Una guía de campo. Shennecossett.
- Martínez, M. (junio de 2013). Repositorio Digital UCE. Obtenido de Repositorio Digital UCE: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1989/1/T-UCE-0008-04.pdf>
- Martins, J. (abril 2021). Asana. Obtenido de Asana: <https://asana.com/es/resources/decision-matrix-examples>
- Mena, C. (2010). Deforestación en el Norte de la Amazonía Ecuatoriana: del Patrón al Proceso. Obtenido de Revista Polemik USFQ: [https://www.usfq.edu.ec/publicaciones/polemika/Documents/polemika005/polemika005\\_009\\_articulo006.pdf](https://www.usfq.edu.ec/publicaciones/polemika/Documents/polemika005/polemika005_009_articulo006.pdf)
- MERNNR. (02 de febrero de 2022). Recursos y Energía. Obtenido de <https://www.recursosyenergia.gob.ec/el-ministerio-de-energia-y-recursos-naturales-no-renovables-supervisa-trabajos-de-remediacion-en-piedra-fina/>
- Miranda, D., & Restrepo, R. (2005). Los derrames de petróleo en ecosistemas tropicales— impactos, consecuencias y prevención. International Oil Spill Conference Proceedings, 571- 575.
- Mongabay Latam. (2021). El derrame de petróleo del 7 de abril de 2020: Un año después, la Amazonía ecuatoriana sigue pagando el precio. Mongabay Latam.
- Moolin, F. (febrero de 1985). Arlis. Obtenido de <https://www.arlis.org/docs/vol1/Susitna/27/APA2776.pdf>
- Mulligan, C. N., Yong, R. N., and Gibbs, B. F. 2001. Tecnologías de remediación para suelos y aguas subterráneas contaminados con metales: una evaluación. Ingeniería Geológica, 60: 193-207.
- Nieto, C., & Caicedo, C. (2012). Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. Joya de los Sachas.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (s.f.a). FAO.org. Obtenido de

[https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s06.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm)

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (s.f.b).  
FAO.org. Obtenido de

[https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm#top](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm#top)

Organización Marítima Internacional [OMI]. (2013). Guía para La respuesta a derrames de hidrocarburos en corrientes rápidas. Londres.

Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). Técnicas recuperación suelos contaminados. Informe de vigilancia técnico. Madrid, España; Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME)

Pagnucco, R., & Phillips, M. (2018). Eficacia comparativa de subproductos naturales y adsorbentes sintéticos en barreras de derrames de petróleo. Revista de gestión ambiental, 10-16.

Patiotuerca. (2022). Obtenido de <https://ecuador.patiotuerca.com/vehicle/maquinarias-jcb-js200lc-quito-2010/1695319?owt=p>

Patiotuerca. (2022). Obtenido de <https://www.pintulac.com.ec/montacargas-5-toneladas-motor-diesel-mitsubishi-4-metros-altura-muth.html>

Patiotuerca. (2022). Obtenido de [https://ecuador.patiotuerca.com/vehicle/maquinarias-caterpillar-950\\_gc-machala-2021/1659558?owt=p](https://ecuador.patiotuerca.com/vehicle/maquinarias-caterpillar-950_gc-machala-2021/1659558?owt=p)

Patiotuerca. (2022). Obtenido de [https://ecuador.patiotuerca.com/vehicle/maquinarias-new\\_holland-b110b-cuenca-2015/1571595?owt=d](https://ecuador.patiotuerca.com/vehicle/maquinarias-new_holland-b110b-cuenca-2015/1571595?owt=d)

París de Ferrer, M. (2008). Fundamentos De Ingeniería De Yacimientos. Maracaibo

Plan V. (29 de septiembre de 2022). Plan V. Obtenido de <https://www.planv.com.ec/investigacion/investigacion/el-7-abril-2020-el-rio-napo-ya-no-fluia-vida-sino-muerte#:~:text=Era%20costumbre%20de%20los%20ni%C3%B1os,jugar%20y%20la var%20los%20trastes>.

Ruiz, G. (17 de julio de 2022). Open Democracy. Obtenido de <https://www.opendemocracy.net/es/ambiente-toxico-scontinuos-derrames-petroleros-secuador/>

Said, A. (2018). Tecnologías físico-químicas en la regeneración de suelos contaminados. Sevilla.

San Sebastián, M., Armstrong, B., & Stephens, C. (2001). La salud de mujeres cerca de pozos y estaciones de petróleo en Ecuador. Revista Panamericana de Salud Pública, 375-384.

Schlumberger. (s.f.). Energy Glossary. Obtenido de



[https://glossary.slb.com/es/terms/a/api\\_gravity](https://glossary.slb.com/es/terms/a/api_gravity)

- Serrano, M., Torrado, L., & Pérez, D. (2013). Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. *Revista científica General José María Córdova*, 11(12), 233-244.
- Terminales Portuarios Euroandinos. (s.f.). Puertopaita. Obtenido de [https://puertopaita.com/wp-content/uploads/public/Tarifas/773\\_Tarifario\\_V12.pdf](https://puertopaita.com/wp-content/uploads/public/Tarifas/773_Tarifario_V12.pdf)
- Thomas, R. W. and Koerner, R. M., " Avances en muros de barrera de HDPE," *Diario. Geotextiles y Geomembranas*, Vol. 14, Nos. 7/8, Elsevier, 1996, pp. 393-408.
- Ticona, C. (2011). PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANEJO Y RESTAURACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR DERRAMES DE PETROLEO EN EL TRAMO E.B. BUENA VISTA-TERMINAL CBBA DEL OLEODUCTO OSSA-I. Cochabamba.
- Toledo, F. (11 de septiembre de 2020). Obtenido de <https://www.federico-toledo.com/matriz-de-decision/>
- Universo, E. (02 de febrero de 2022). El Universo. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/segun-reportes-recibidos-por-el-ministerio-del-ambiente-una-mancha-de-crudo-por-derrame-de-ocp-llego-hasta-el-yasuni-nota/>
- Yanez, A., & Cedeño, C. (2017). Análisis descriptivo de la afectación del sistema de vida de los habitantes de la parroquia de Dayuma causada por la industria petrolera en la Amazonía ecuatoriana. *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN, 1180-1197
- Vizúete, R., Lascano, A., & Moreno, R. (2019). Análisis econométrico en la gravedad de un derrame petrolero y su contaminación ambiental. Caso de estudio: Campo Sacha - Ecuador. *Espacios*, 24.
- Valladares, J. (2017). FORMULACIÓN DE UN COMBUSTIBLE NAVIERO A PARTIR DE CRUDOS PESADOS Y EXTRA PESADOS Y DETERMINACIÓN DE SU COMPORTAMIENTO REOLÓGICO. Quito.
- Vaca, M., & Astudillo, E. (2016). Diagnóstico de la gestión de derrames de hidrocarburos en gasolineras. *Investigatio*, 63-78.
- Varas, J. (2016). Evaluación de la aptitud de los suelos para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Comunidad El Rocano del Cantón Arenillas de la Provincia de El Oro. Guayaquil.
- Vergara, I., & Pizarro, F. (1981). *Manual de Control de Derrames de Petróleo*. Santiago, Chile: CEPAL.B