

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA PLANTA DE
TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS ACEITOSOS GENERADOS EN LA
ZONA DE INFLUENCIA DE LA GERENCIA REFINERÍA DE
BARRANCABERMEJA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

Ing. EDGAR WILLIAM TOLOSA CETINA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA

2019

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA PLANTA DE
TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS ACEITOSOS GENERADOS EN LA
ZONA DE INFLUENCIA DE LA GERENCIA REFINERÍA DE
BARRANCABERMEJA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ingeniería Ambiental

Ing. EDGAR WILLIAM TOLOSA CETINA

Director:

HUMBERTO ESCALANTE HERNÁNDEZ

Ph. D. en Ingeniería Química

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

Este trabajo quiero dedicársela a Dios padre, quien me dio una segunda oportunidad de vida, para ver concluido el trabajo, que un día, en su primera etapa, finalizaba en el año 2.014, en ese 24 agosto, terminando el último capítulo del primer trabajo de tesis, me infarte. Gracias a la misericordia del señor Jesús, por la intersección de la virgen María me regalaron esta nueva oportunidad y hoy 9 de marzo de 2019, finalmente pude concluir mis estudios de Maestría.

Todo sea para La gloria para DIOS

Dedico mi trabajo a los seres que más amo:

A mi padre Luis Emilio y madre María Guillermina por ese continuo motivar, para que concluyera este trabajo

A Mi esposa Solange por todo el apoyo, ayuda, motivación, sacrificio, fue ella quien me alentó para volver a retomar los estudios, me espero y me dio el respaldo para finalmente a concluir este ciclo.

A Mis queridos hijos Andrés Felipe y Laura Natalia a mi nieto Daniel Felipe, son ellos mi motor, mi inspiración, la razón por que quería acabar este trabajo, para algún día inspirarlos y darles mi mejor lección de padre, la mayor inspiración de todo ser humano, es la que brota por la fuerza del amor a su familia y si esta la ilumina el amor a Dios, toda meta se logra alcanzar.

Los proyectos de vida planeados y respaldados por el autor de la vida, siempre tiene un sabor a sacrificio; pero finalmente se pueden hacer, cuando se une la voluntad de uno con la voluntad de Dios.

AGRADECIMIENTOS

A la universidad libre por haberme aportado una gran parte de la financiación de la maestría y a su rector Nelson Medina por motivarme a iniciar los estudios de maestría.

A mi director de tesis el Doctor Humberto Escalante, al cual le reconozco como un verdadero docente y gran profesional, no solo fue mi director, un verdadero amigo, me acompañó me guió, me motivó, fue un honor conocer a ese excelente ser humano, gracias Dios por haberlo puesto en mi camino.

Al Director del programa de Maestría, gracias doctor, por sus ayudas; a cada funcionario, a los docentes mil gracias por su conocimiento.

A la empresa FERMAR a su gerente el doctor Leonardo Macías, por apoyarme con los estudios requeridos y por permitirme aplicar el plan de manejo al proyecto.

A mis compañeros de trabajo: a la ingeniera Mildred Osorio, compañera de la maestría por su siempre y oportuna ayuda, al ingeniero Oscar Leal y a la ingeniera Yulemi Ramírez por toda su colaboración, por acompañarme en esas largas jornadas de trabajo, me siento afortunado por haber sido su profesor y hoy recibir de ustedes su ayuda como profesionales de la ingeniería ambiental.

A mi familia mi esposa y mis queridos hijos a quienes amo, por ese tiempo que me dedicaban, por estar siempre cuando los necesité por sacar tiempo, por ayudarme a tramitar cuando no podía ir, por comprenderme y esperarme cuando caí. A mi primo Wilson y a su esposa, a Claudia y Omar, a mis sobrinos Javier y David por su apoyo tecnológico.

A mis hermanos y todas esas personas que impulsaban y que, con su amor, me alentaban cuando ya no creía que se podía concluir.

Finalmente, a todos los que oraron por mí, mi tía Lolita y a las comunidades de las terciarias capuchinas a los amigos de Emaus y a cada alma orante que pidieron porque sanará y pudiera concluir mi maestría en ingeniería ambiental.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. PROBLEMÁTICA.....	19
2. JUSTIFICACIÓN.....	25
3. OBJETIVOS.....	27
3.1. Objetivo general	27
3.2. Objetivos específicos	27
4. MARCO TEÓRICO	28
4.1. Características de los lodos aceitosos	31
4.2. Plan de manejo ambiental	33
4.3. Lineamientos legales.....	39
5. ESTADO DEL ARTE	43
5.1. Planes de Manejo Ambiental.....	43
5.2. Tratamiento de Lodos aceitosos	44
5.2.1. Métodos Físicos	46
5.2.2. Métodos Químicos	48
5.2.3. Métodos Térmicos.....	48
5.2.4. Métodos Biológicos	49

6. METODOLOGÍA.....	56
6.1. Localización.....	56
6.2. Medio abiótico	56
6.3. Medio biótico	57
6.4. Zonificación ambiental.....	58
6.5. Evaluación ambiental	58
6.6. Zonificación del manejo ambiental	64
6.6.1. Áreas de exclusión.....	65
6.6.2. Áreas de intervención con restricciones (AIR)	66
6.6.3. Áreas de intervención.....	66
6.7. Plan de manejo ambiental	67
7. RESULTADOS	68
7.1. Localización.....	68
7.2. Criterios para la determinación del área de influencia ambiental	70
7.3. Descripción técnica del proyecto.....	72
7.3.1. Infraestructura del diseño técnico conceptual del proyecto.....	74
7.3.2. Instalaciones de la planta.....	75
7.3.3. Descripción de los procesos que conforman el sistema propuesto.....	77

7.3.4. Construcción. El plan de construcción de obras y adecuaciones de la planta de tratamiento se ejecutaría en 3 fases.	84
7.4. Caracterización de la línea base	86
7.4.1. Medio abiótico.....	87
7.4.2. Medio biótico	88
7.5. Zonificación ambiental.....	89
7.5.1. Áreas de importancia social.	89
7.5.2. Área de producción de hidrocarburos	89
7.5.3. Área de recuperación ambiental. El área de estudio se encuentra en medio de un campo petrolero activo, por esta razón se localizaron zonas de compensación.....	89
7.5.4. Área de producción económica.....	90
7.5.5. Área de riesgos y amenazas.....	90
7.6. Evaluación ambiental	92
7.6.1. Calificación de impactos ambientales componente medio físico general área de influencia directa e indirecta	92
7.6.2. Calificación de impactos ambientales etapa de construcción sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación	94
7.6.3. Calificación de impactos ambientales etapa de operación sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación	97
7.6.4. Calificación de impactos ambientales etapa de clausura sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación	101

7.7.	Zonificación del manejo ambiental	105
7.7.1.	Áreas de exclusión	105
7.7.2.	Áreas de intervención con restricciones (Air)	105
7.7.3.	Áreas de intervención.....	105
7.8.	Plan de manejo ambiental	106
8.	CONCLUSIONES	112
9.	RECOMENDACIONES.....	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	115
	APÉNDICES.	125

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Residuos aceitosos (sólidos y líquidos) Bloque la Cira, en el año 2011. .	20
Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de los lodos aceitosos.	23
Tabla 3. Método de tratamiento de borras en cada fase.....	46
Tabla 4. Resumen de la capacidad de remoción de las diferentes técnicas de tratamiento de borras de la industria del petróleo.	52
Tabla 5. Criterios que caracterizan el impacto ambiental.	59
Tabla 6. Intensidad (In).	60
Tabla 7. Extensión (Ex).....	60
Tabla 8. Momento (Mo).....	61
Tabla 9. Persistencia (PE).	61
Tabla 10. Manifestación temporal de los efectos.	61
Tabla 11. Reversibilidad (MC).....	62
Tabla 12. Recuperabilidad (MC).	62
Tabla 13. Sinergia (RV).	63
Tabla 14. Acumulación (AC).	63
Tabla 15. Efecto (EF).....	63
Tabla 16. Periodicidad (PR).....	64
Tabla 17. Relación de parámetros contemplados en el protocolo Louisiana 29B..	83

Tabla 18. Cobertura del área de estudio.....	88
Tabla 19. Zonificación Ambiental.....	91
Tabla 20. Evaluación ambiental espacio físico general AID y All.	92
Tabla 21. Impactos significativos medio físico general AID Y All.....	93
Tabla 22. Etapa de construcción sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.	94
Tabla 23. Impactos significativos etapa de construcción sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.....	95
Tabla 24. Etapa de operación sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.	97
Tabla 25. Impactos significativos etapa de construcción sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.....	98
Tabla 26. Etapa de clausura sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.	101
Tabla 27. Impactos significativos etapa de clausura sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del predio seleccionado y los pozos petroleros existentes.	69
Figura 2. Delimitación de influencia Directa e Indirecta.	71
Figura 3. Distribución espacial planta de tratamiento.	74
Figura 4. Diagrama de flujo de procesos para el sistema de tratamientos propuesto para los lodos aceitosos.	76
Figura 5. Planta de tratamiento de aguas industriales procedentes de la deshidratación de lodos	77
Figura 6. Síntesis del proceso de tratamiento de residuos líquidos.	81
Figura 7. Esquema del procedimiento de tratamiento de residuos sólidos relacionando las etapas realizadas en biorremediación.	83
Figura 8. Zonificación Ambiental.	91
Figura 9. Mapa de zonificación ambiental.....	105

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice A. Ficha No. FMA 01 - 2 Manejo de aguas residuales domésticas e industriales.....	125
--	-----

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS ACEITOSOS GENERADOS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA GERENCIA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER*

AUTORES: EDGAR WILLIAM TOLOSA CETINA**

PALABRAS CLAVES: lodos aceitosos, evaluación de impacto, plan de manejo ambiental, planta de tratamiento de lodos aceitosos PTAR, línea base

DESCRIPCIÓN:

Esta investigación tiene como propósito elaborar una propuesta para un plan de manejo ambiental, para la construcción de una planta de disposición final de tratamiento y disposición final de lodos aceitosos, generados en la zona de influencia de gerencia refinería de Barrancabermeja. La metodología exigió tres fases: pre-campo, campo y pos-campo, recopilando información primaria y secundaria del área donde se ubicará la posible PTAR, se inició haciendo la línea base ambiental, con datos como: topografía, fotografía aérea, hidrología, geología, componentes bióticos y abióticos, se determinó la actual intervención ambiental sin proyecto, del área de influencia tanto directa como indirecta, donde se localizará la posible planta. La siguiente fase realizada fue, el pre diseño y definición conceptual de la PTAR, estableciendo los procesos unitarios requeridos para, disminuir la contaminación física, química y biológica, generada por los lodos aceitosos. Conocido el proyecto este se implantó en el área y se procedió a realizar la evaluación de impactos con el uso de matrices cualitativas y cuantitativas, estas permitieron definir, cuáles serían los posibles impactos ambientales que se generarían en las fases de construcción, operación y clausura de la PTAR. A partir de esa valoración se definieron en el conjunto de medidas preventivas, de control, de reducción y mitigación requeridas para disminuir los impactos potenciales que generará el proyecto, dichas fueron el conjunto de acciones que incluyeron: capacitación del personal, dotación, equipamiento, construcción de infraestructura e implementación de tecnologías limpias, requeridas por cada componente ambiental afectado. Para garantizar los resultados esperados por la formulación del plan de manejo además se debe incluir, el plan de contingencias, el plan de riesgos y el plan de clausura.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Maestría en Ingeniería Ambiental. Directora: Humberto Escalante Hernández, Ph. D., en Ingeniería Química.

ABSTRACT

TITLE: PROPOSAL OF A PLAN FOR THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT FOR THE SLUDGE TREATMENT PLANT AND THE OIL MUD GENERATED IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE REFINERY MANAGEMENT OFFICE IN BARRANCABERMEJA, IN THE DEPARTMENT OF SANTANDER*

AUTHORS: EDGAR WILLIAM TOLOSA CETINA**

KEYWORDS: oil mud, impact assessment, environmental management plan, sludge treatment plant PTAR, base line.

DESCRIPTION:

This research has as a purpose the elaboration of a plan for the environmental management, for the construction of a sludge treatment plant and for the final disposition of oil mud generated in the zone of influence of the refinery management office in Barrancabermeja. The methodology demanded three phases: pre-field, field and post-field, gathering primary and secondary information in the area where the PTAR will possible be located. It started by drawing the environmental base line using data such as: topography, aerial photography, hydrology, geology, biotic and abiotic components, it was determined the current environmental intervention without a project in the influence area, both direct and indirect, where the possible plant will be located. The next phase was the pre-design and conceptual definition of the PTAR establishing the required unitary processes for the reduction of physical, chemical and biological contamination generated by the oil mud. As soon as the project was known, it was implanted in the area and the assessment of the impact began with the implementation of qualitative and quantitative matrices, these allowed to define which will be the possible environmental impact that will be generated during the phases of construction, operation and closure of the PTAR. Starting from this assessment, a set of preventive, control, reduction and mitigation rules were defined to reduce the potential impact that the project may generate. These rules were a set of actions which included: personnel training, endowment, equipment, infrastructure construction and clean technologies implementation required for each affected environmental component. To guarantee the expected results in the formulation of the management plan, a contingency, risk and closure plan must be included.

* Bachelor Thesis

** Facultad de ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Maestría en Ingeniería Ambiental. Directora: Humberto Escalante Hernández, Ph. D., en Ingeniería Química.

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos y líquidos generados en la actividad petrolera han provocado una severa contaminación de los recursos naturales en países donde se realiza su explotación. Colombia por su parte, en su afán por incrementar sus reservas petroleras, desde el año 2011 ha iniciado una carrera de exploración, trayendo como consecuencia el incremento significativo de residuos tóxicos los cuales vienen siendo objeto de inadecuada disposición y manejo, condición que pone en inminente riesgo la biodiversidad que bien la identifica ante el mundo.

En las diferentes actividades que se realizan en la exploración y explotación petrolera se obtienen como mayores residuos contaminantes los cortes y lodos de perforación. Los cortes de perforación están compuestos de una mezcla heterogénea de rocas, cuya composición depende de la estratología local, que puede incluir metales pesados, sustancias radioactivas u otros elementos contaminantes. A mayor profundidad perforada, mayor cantidad de desechos, los mismos que contienen niveles más altos de toxicidad. En esta actividad se utilizan los lodos de perforación, que pueden ser en base a aceite o agua, los cuales contienen una gran cantidad de aditivos químicos.

La disposición ambiental adecuada de los residuos sólidos con altos contenidos de hidrocarburos generados durante los procesos de la perforación, extracción y producción del petróleo se encuentra dentro de las prioridades fundamentales de la industria petrolera. Las técnicas de tratamiento de residuos consisten en la aplicación de procesos químicos, biológicos o físicos a desechos peligrosos o materiales contaminados a fin de cambiar su estado en forma permanente. Estas técnicas transforman contaminantes o los modifican a fin de que dejen de ser peligrosos, además pueden reducir la cantidad del material contaminado presente

en un lugar, retirar el componente de los desechos que los hace peligrosos o inmovilizar el contaminante en los desechos¹.

En tal sentido, la presentación de un sistema de tratamiento y disposición final de lodos aceitosos y su respectivo plan de manejo ambiental, constituyen una oportunidad para la identificación de actividades orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales generados por la explotación de hidrocarburos.

El plan de manejo ambiental propuesto para el sistema de tratamiento de lodos aceitosos generados en el área de influencia de la gerencia refinera de Barrancabermeja, contiene los lineamientos definidos en la normatividad colombiana e internacional, así mismo la metodología base del plan de manejo sigue taxativamente los términos de referencia emitidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.

¹ FLORES, N. Y COL. Utilización de lodos residuales en la restauración de suelos contaminados con hidrocarburos. VI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, Pachuca; México, 2001.

1. PROBLEMÁTICA

El área de localización del problema se suscribe a los bloques de explotación de El Centro, Lisama y Llanito, ubicados en la jurisdicción de los municipios de Barrancabermeja, San Vicente de Chucurí, El Carmen de Chucurí, Betulia, Simacota y Puerto Wilches del departamento de Santander.

En la zona se generan grandes impactos ambientales por la explotación de hidrocarburos. Para dichos bloques de producción, Ecopetrol está tramitando la modificación y actualización del Plan de Manejo Ambiental Integral de Mares PMAI, de acuerdo con el decreto 1076 de 2015, decreto 2041 de 2014, y la resolución 0631 del 2015. El trámite se está realizando ante la Autoridad Nacional de Licenciamiento Ambiental (ANLA). El plan previsto busca ajustarse a las normas antes mencionadas específicamente en las medidas de prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales generados por las actividades petroleras del área de Mares, que incluye la refinería del complejo petrolero del Municipio de Barrancabermeja.

La composición de los lodos puede base agua o aceite. Los lodos se generan en los diferentes ciclos del proceso de producción del hidrocarburo: 1) en la fase de explotación aparecen como fluidos de completamiento y residuos de *workover* (mantenimiento y reparación del pozo), 2) en la fase de producción corresponde a lodos aceitosos, borras de tanques, y lodos provenientes de los separadores API, 3) en la fase de transporte están constituidos por aguas aceitosas, y suelos contaminados debido a roturas, y 4) en la fase de refinación se presentan como borras de tanques.

Uno de los impactos a controlar por Ecopetrol es el manejo y disposición final de los lodos base agua o aceite incluidos dentro del plan de manejo de los residuos industriales. Dichos lodos son generados en su gran mayoría en el bloque centro

del campo de producción de Cira Infantas, operado por Ecopetrol y La Occidental Andina LLC. Ecopetrol ha contemplado el manejo de los residuos especiales dentro del programa de manejo del recurso hídrico y el manejo del recurso suelo, dado que son los elementos bióticos y abióticos los más afectados.

Los procedimientos operacionales para el manejo y disposición de los lodos requieren la adopción de nuevas tecnologías, con el fin de realizar un tratamiento adecuado para el control, la mitigación y disminución de los impactos generados por ellos. El tratamiento final de los lodos requiere un operador que cumpla todos los requisitos exigidos por la Corporación Ambiental Regional de Santander CAS bajo los términos de referencia del ANLA, para la prestación del servicio ex situ. Además, se requiere la destinación de un área de biorremediación para el tratamiento y disposición de los lodos que garantice el manejo adecuado y cumpla con las disposiciones jurídicas y técnicas como estabilidad, permeabilidad y accesibilidad.

La generación de los lodos base agua y aceite en la Refinería de Barrancabermeja (bloque la Cira, Mares y Campo Colorado) para el año 2011 sumaron 63.338,9 m³. Las cifras generadas se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Residuos aceitosos (sólidos y líquidos) Bloque la Cira, en el año 2011.

CAMPO	PRODUCCIÓN	WORKOVER	TOTAL
Cira Infantas	15.801,3 m ³	38.230 m ³	53.861 m ³
Mares	4.739,7 m ³	2347,6 m ³	7.087,36 m ³
Colorado	1.966,8 m ³	44,7 m ³	2.011,5 m ³

Fuente: Informe de Cumplimiento Ambiental 2011². Superintendencia de Operaciones de Mares³.

² ECOPETROL S.A. Informe de Cumplimiento Ambiental No.3 para el campo de producción La Cira – Infantas, Radicación 4120-E1-45783, 2011.

Específicamente, en el campo La Cira infantas se encuentra un Área de Manejo Integral de Residuos (AMIR) la cual se divide en cuatro zonas según los residuos a tratar, las cuales se describe a continuación.

- **Zona A: celda de disposición final de residuos sólidos ordinarios (clausurada)**

Actualmente se encuentra ubicada en un terreno con estabilización de taludes, sistema de alivio de gas y manejo de lixiviados, adicionalmente está siendo sometida a restauración paisajística.

- **Zona B: tratamiento de lodos base agua**

El tratamiento se hace a los lodos de perforación base agua, rípios o cortes, aguas residuales industriales y retorno de cimentación, algunos de los cuales se acondicionan para reúso y otros se llevan a la zona para disposición final. El proceso se inicia con la recepción de lodos en un tanque de almacenamiento. Posteriormente los lodos son acondicionados y sometidos a limpieza; se le adicionan químicos para evitar la degradación del lodo y se deja en condiciones para reutilizar.

El agua asociada a los lodos de perforación se conduce desde el pozo y se deposita en piscinas. Allí se realizan los procesos de coagulación, floculación, ajuste de pH, sedimentación y luego se aplica hipoclorito de calcio para su desinfección. Una vez tratada el agua se envía a piscinas de estaciones para incluirlas en el proceso de inyección.

³ ECOPETROL S.A. Informe de Cumplimiento Ambiental No.3 para el campo de producción La Cira – Infantas, Radicación 4120-E1-45786, 2011.

- **Zona C: tratamiento de lodos base aceite**

Se tratan residuos líquidos aceitosos y emulsiones. El tratamiento se divide en procesos físicos químicos y mecánicos. El proceso inicia con la recepción de los residuos líquidos y borras en las diferentes piscinas de acuerdo con la concentración del agua o del hidrocarburo. Sigue un tratamiento fisicoquímico en el que se separa la fase acuosa de la aceitosa y luego un proceso de floculación para separar los sólidos del agua. El agua sobrante se envía a reinyección y los sólidos a biorremediación.

- **Zona D: tratamiento de residuos por biorremediación**

En esta fase el sólido se mezcla con material de préstamo y mediante retroexcavadora se homogeniza y se airea. Posteriormente se agrega cal y un caldo microbiano que permite agilizar el proceso de degradación del material en el sitio. Una vez homogenizado el material se extiende en capas de cuarenta centímetros para continuar con el proceso de degradación.

Finalmente se realiza a disposición final mediante transporte con volquetas en sitios acondicionados para tal fin.

Los procesos anteriormente mencionados, exigen unos tratamientos más eficientes que garanticen el cumplimiento del protocolo de Louisiana 29B, de acuerdo con el contenido de grasas y aceites.

Definidos los volúmenes generados en cada uno de los bloques de producción, se hace necesario conocer las características fisicoquímicas de los mismos para establecer los procesos unitarios que serán aplicados con el propósito de remover, neutralizar o modificar los componentes que más impacto negativo generan.

Las características de los lodos aceitosos fueron determinadas por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) quien realizó el análisis fisicoquímico y de toxicidad (tabla 2) de acuerdo con los parámetros de vertimientos establecidos por la norma.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de los lodos aceitosos.

Parámetro	Resultado	Unidad
Azufre	0.57	% peso
Agua y sedimentos BSW	70.0	%volumen
Calor de combustión bruto	15.038	MJ/kg
Cenizas	10.576	%peso
Punto de inflamación	>100.0	°C
Hidrocarburos totales (TPH)	22.21	%peso
Sodio	2616.00	mg/kg
Magnesio	563.16	mg/kg
Silicio	833.94	mg/kg
Potasio	6040.00	mg/kg
Titanio	526.31	mg/kg
Vanadio	17.56	mg/kg
Cromo	39.15	mg/kg
Manganeso	255.28	mg/kg
Hierro	16316.00	mg/kg
Cobalto	3.61	mg/kg
Níquel	19.40	mg/kg
Cobre	211.81	mg/kg
Zinc	121.04	mg/kg
Rubidio	14.06	mg/kg
Estroncio	80.03	mg/kg
Estaño	12.39	mg/kg
Bario	117.60	mg/kg
Lantano	3.68	mg/kg
Tungsteno	71.99	mg/kg
Plomo	66.83	mg/kg
Cerio	8.66	mg/kg

Fuente: Resultados análisis de laboratorio realizado por el Instituto Colombiano del Petróleo, 2005⁴.

La toxicidad de los lodos aceitosos se asocia principalmente al contenido de metales pesados, que generan impacto a las comunidades microbianas residentes en los suelos y afectan la actividad y producción de la biomasa. Según el análisis fisicoquímico, los lodos aceitosos contienen bario (117,60 mg/kg), plomo (66,83

⁴ CABARIQUE, M. & ROJAS, M. Estructuración del plan de gestión integral de residuos aceitosos de la Superintendencia de Mares (SMA) de Ecopetrol S.A., Universidad de la Salle. Bogotá, 2006.

mg/kg), zinc (121,04 mg/kg) y níquel (19,40 mg/kg) los cuales son de naturaleza tóxica con impactos directos letales⁵.

La generación de los lodos aceitosos provoca mayor afectación en los cuerpos hídricos y el suelo, definiendo diferentes grados de contaminación fisicoquímica y biológica. La magnitud de su impacto está relacionada con la concentración de los parámetros de interés sanitario contenidos en los lodos, contemplados en la normatividad de vertimientos y de suelos.

Adicionalmente el inadecuado tratamiento y disposición final de los lodos aceitosos modifican las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo y de las aguas superficiales, lo que afecta la disponibilidad del recurso hídrico.

Por la toxicidad de algunos metales pesados presentes en los lodos se genera un impacto directo referido a la alteración de los ecosistemas de la zona de influencia de cada uno de los bloques de producción, lo cual conduce a la pérdida de flora y fauna de la estructura ecológica principal.

Es necesario anotar que dada la nueva normatividad en lo referido a vertimientos (decreto 0631 del 2015) el tratamiento actualmente implementado, no garantiza el cumplimiento de las disposiciones legales vigentes, además las áreas dispuestas no son suficientes y no cumplen con los requerimientos exigidos.

De acuerdo con lo anterior, la pregunta a resolver con el presente trabajo de aplicación es: ¿Cuáles deben ser las medidas de mitigación, prevención y control a implementar en el sistema de tratamiento de lodos aceitosos generados en los procesos de producción de hidrocarburos?

⁵ CABARIQUE, M. & ROJAS, M. Estructuración del plan de gestión integral de residuos aceitosos de la Superintendencia de Mares (SMA) de Ecopetrol S.A., Universidad de la Salle. Bogotá, 2006.

2. JUSTIFICACIÓN

La Empresa Colombiana de Petróleo – Ecopetrol - ha definido acciones para mitigar los pasivos ambientales producto de su actividad de explotación y refinación de petróleo, por lo que ha formulado su Plan de Manejo que incluye medidas específicas para la descontaminación de cuerpos de agua en concordancia a su programa de producción más limpia y de biodegradación de lodos aceitosos.

Sin embargo, las medidas tomadas no son suficientes para mitigar los efectos generados por las actividades de la industria, específicamente en el procesamiento de residuos como los lodos base agua y base aceite, por lo que se hace necesario la formulación de un plan de manejo ambiental que contemple su tratamiento y disposición final de los mismos.

La formulación del Plan de Manejo Ambiental (PMA) integra acciones dirigidas a prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los efectos ocasionados por la generación de lodos aceitosos a partir de su proceso de tratamiento, el cual integra la implementación de tecnologías actualmente usadas por las más influyentes industrias petroleras en el mundo.

El plan de manejo es una herramienta útil para Ecopetrol, en el sentido en que se alinea a la normatividad legal colombiana, específicamente en los parámetros definidos por el ANLA, en los términos de referencia Sector hidrocarburos HI-TER-1-03 de 2010 y por la autoridad ambiental regional, adicionalmente porque su formulación parte del diagnóstico de la situación referida al tratamiento de lodos aceitosos y tiene como propósito la protección de los ecosistemas propios de las zonas de interés.

Desde el punto de vista ambiental, el alcance del PMA permite a la industria enfocarse en la disminución de los factores de riesgo ambiental y social en el territorio donde se concentran las actividades de explotación de hidrocarburos, teniendo en cuenta que las proyecciones en los bloques de producción tienden a incrementarse, lo que por consiguiente aumentaría la generación de lodos base agua y aceite.

De otro lado, las medidas comprendidas en el plan están enfocadas en la prevención de factores de deterioro ambiental, ya que existen evidencias científicas que comprueban los efectos al medio biofísico y a las comunidades generados por la industria del petróleo, incluso pueden ser irreversibles.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Proponer un plan de manejo ambiental para la planta de tratamiento y disposición de lodos aceitosos generados en la zona de influencia de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja, Departamento de Santander.

3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual referida al tratamiento y disposición final de lodos aceitosos generados en la refinería de Barrancabermeja.
- Proponer un sistema para el tratamiento de lodos aceitosos basado en las actuales tendencias tecnológicas de la industria petrolera.
- Evaluar los impactos potenciales que generaría el sistema propuesto para el tratamiento de lodos aceitosos.
- Establecer las medidas de manejo ambiental encaminadas a la prevención, mitigación, control y/o corrección de los impactos ambientales identificados como posibles, durante la ejecución de actividades propias del proyecto.

4. MARCO TEÓRICO

Los hidrocarburos son compuestos de origen orgánico constituidos básicamente por carbono e hidrogeno. Son inmiscibles en agua y por tanto se conocen como NAPLS (por sus siglas en inglés “*Non-aqueous phase liquids*”). Los hidrocarburos cuya densidad es menor a la del agua se denominan LNAPLS (del inglés “*light non-aqueous phase liquid*”) y flotan en los cuerpos de agua superficiales y en los mantos freáticos. El petróleo y sus productos derivados son mezclas complejas de diferentes compuestos químicos que tienen propiedades particulares⁶.

La actividad petrolera es una de las industrias que más impactos ambientales generan tanto en la biodiversidad a nivel local como global. La manera como se explota el crudo, el acceso a los campos y las dinámicas económicas y productivas del petróleo son determinantes en el deterioro del ambiente y en la modificación de los ecosistemas nativos. Cada etapa del proyecto implica unas consecuencias negativas sobre el ambiente, los animales y la flora. Por tanto, se debe entender cómo funciona la industria de la extracción petrolera en ecosistemas tropicales, pues para extraer el petróleo del subsuelo, hay una serie de prácticas operacionales que alteran el equilibrio ecológico y afectan las comunidades biológicas⁷. A continuación, se describen las etapas del proceso de extracción del petróleo.

- **Perforación**

Uno de los principales impactos de esta etapa del proceso se genera por los desechos llamados “cortes” y lodos de perforación, ya que se inicia la apertura de

⁶ SAVAL, S. Biorremediación de un suelo contaminado con diésel. Ingeniería y Ciencias Ambientales, 3, 24-30, 1997.

⁷ BRAVO, E. Documentos ambientales. Recuperado el 30 de agosto de 2017, de Fundación Regional de Asesoría en Derechos Humanos, 2007.

un hoyo a la tierra, triturando y rompiendo rocas hasta grandes profundidades donde está atrapado el hidrocarburo.

En esta etapa se utilizan materiales tóxicos contenidos en los lodos de perforación que ayudan a llevar los cortes hasta la superficie y a la vez, se extraen otras sustancias también contaminantes. Los cortes de perforación están compuestos de una mezcla heterogénea de rocas, cuya composición depende de la estratigrafía local, que puede incluir metales pesados, sustancias radioactivas u otros elementos contaminantes⁸.

Entre mayor es la profundidad a la que se perfora, se generan mayor cantidad de desechos, los mismos que contienen niveles más altos de toxicidad. Los lodos de perforación pueden ser a base de aceite y pueden contener aditivos químicos. Este lodo se bombea al pozo productor para actuar como lubricante y refrigerante a la broca o como herramienta, para levantar la roca cortada por la broca, evitar la corrosión, el derrumbe de las paredes del pozo, controlar que los líquidos en las diferentes formaciones del subsuelo (aguas de formación y crudo) y el gas, fluyan sin control hacia la superficie⁹.

El principal inconveniente de los lodos de perforación es la generación de residuos contaminantes al ambiente. Otros impactos durante la perforación pueden ser: la deforestación, pérdida de la biodiversidad, erosión, interrupción de flujos de agua, uso de recursos naturales y ruido. En otras palabras, lo que la tierra ha tardado millones de años en crear en los terrenos y sus sustratos, la fase de perforación la destruye rápidamente sin garantía de que se dé un proceso de recuperación nuevamente¹⁰.

⁸ BRAVO, E. Documentos ambientales. Recuperado el 30 de agosto de 2017, de Fundación Regional de Asesoría en Derechos Humanos, 2007.

⁹ BRAVO, E. Documentos ambientales. Recuperado el 30 de agosto de 2017, de Fundación Regional de Asesoría en Derechos Humanos, 2007.

¹⁰ BRAVO, E. Documentos ambientales. Recuperado el 30 de agosto de 2017, de Fundación Regional de Asesoría en Derechos Humanos, 2007.

- **Extracción**

A fin de evaluar el tamaño de las reservas presentes, la primera fase de la extracción también es exploratoria. Este procedimiento consiste en la extracción de una cantidad de crudo determinada (desecho de pruebas), el cual se deposita en una piscina llamada de “desecho”; en algunos casos este material se incinera.

Luego de las pruebas se declara su viabilidad económica o no para la apertura de nuevos pozos. Una vez se determina que el yacimiento es comercializable, se definen los métodos de extracción y se inicia el proceso (se construyen baterías de tanques para almacenamiento y separación de fluidos en la misma locación del pozo). Junto con el crudo, del subsuelo salen dos tipos de compuestos asociados: las aguas de formación y el gas. Las aguas de formación salen a la superficie asociadas con el crudo y son uno de los principales generadores de impactos negativos al ambiente de esta industria. El agua de formación es un agua sedimentaria de 150 millones de años. Debido al prolongado contacto agua/roca, concentra niveles de salinidad (particularmente cloruro de sodio y otros sólidos) que pueden llegar variar desde 30.000 ppm (por ejemplo, en el caso de los campos operados por Petroecuador) hasta 100.000 ppm en yacimientos de crudos pesados¹¹. En contraste, la salinidad de los ríos Amazónicos, o de otros cuerpos de agua dulce, es de 7 ppm¹² (p. 13).

Esta etapa es particularmente invasiva teniendo en cuenta la extracción exploratoria que desecha y la definitiva que afecta, sin duda, fuentes hídricas y sus niveles de salinidad.

¹¹ REYES, F. Y AJAMIL, C. El agua de formación como pasivo ambiental acumulado. En: Petróleo, Amazonía y Capital Natural. Fondo Editorial C.C.E. Quito, 2005.

¹² BRAVO, E. Documentos ambientales. Recuperado el 30 de agosto de 2017, de Fundación Regional de Asesoría en Derechos Humanos, 2007.

- **Transporte**

Por último, en la cadena de la industria petrolera se da el proceso de transporte, el cual se realiza principalmente a través de oleoductos. El principal riesgo de este medio de transporte es la posibilidad de un derrame de crudo, que puede afectar la seguridad de las comunidades vecinas y generar graves consecuencias para los recursos naturales.

Cuando la contaminación llega al agua, los componentes más pesados tienden a hundirse en los sedimentos, provocando una contaminación constante del agua, y afectando a la fauna acuática y fundamentalmente a los organismos que viven en el fondo de los ríos y de los lagos.

La contaminación en el suelo por petróleo y sus compuestos asociados hace que los compuestos solventes se filtren, y los sólidos y grasas permanezcan en la superficie o sean llevados hacia tierras más bajas. La contaminación del suelo provoca la destrucción de los microorganismos produciéndose un desequilibrio ecológico general¹³ (p.19).

El otro sistema de transporte es el de carro tanques; en departamentos como el Meta ha aumentado significativamente su tránsito por carreteras afectando considerablemente la movilidad entre este departamento y el centro del país. Subsiste así el riesgo de accidentes y la consecuente contaminación de la zona de desastre.

4.1. Características de los lodos aceitosos

La actividad industrial, y específicamente la petrolera representan una preocupación importante en materia de salud pública para las comunidades por la generación de residuos peligrosos de diversa índole que esta área desencadena.

¹³ BRAVO, E. Documentos ambientales. Recuperado el 30 de agosto de 2017, de Fundación Regional de Asesoría en Derechos Humanos, 2007.

Ejemplo de ellos son las emisiones, los metales pesados, residuos fenólicos, y lodos aceitosos tipo borras, entre otros. Para cada uno de estos residuos existen diversos métodos o controles que se aplican a fin de poder cumplir con los lineamientos de regulación ambiental.

Las borras generadas en los tanques y tuberías de la industria del petróleo son residuos que se forman después de largos periodos de tiempo, por sedimentación y aglomeración de compuestos hidrocarbonados, especialmente de cadenas más largas, presentes en el crudo; sólidos, sedimentos (rocas, arena, lodos de perforación, entre otros) y materia orgánica, y agua. Como consecuencia de las aglomeraciones de los hidrocarburos, la emulsión del agua en el crudo y la retención de sedimentos en aquella; los grados API disminuyen, alcanzando valores incluso inferiores a 10 °API, formándose masas densas y viscosas, difíciles de bombear, que se depositan en el fondo de los tanques, reduciendo su capacidad, o generan taponamientos en las tuberías¹⁴.

Tipos de borras: La clasificación de las borras dependerá directamente del tipo de crudo almacenado en el tanque, a su vez el tipo de crudo dependerá de su composición.

En general según La Sociedad Nacional De Minería, Petróleo Y Energía, establece la composición de un crudo es: 83 – 87% de Carbono, 11 – 14% de Hidrogeno, 0 – 5 de Oxigeno, 0 – 6% de azufre, 0 – 0.5% de Nitrógeno y 0 – 0.1% de Compuestos inorgánicos. Los crudos se pueden clasificar según su composición en¹⁵:

¹⁴ CARRASCO, M. Y ORE J. Tratamiento de las borras ácidas producidas en la manufactura de las bases lubricantes del tipo LCT en la refinería de Talara Perú, órgano de la divulgación científica y tecnológica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo Valencia, Venezuela, volumen 7, Núm. 001, 2000.

¹⁵ CRUZ RAMÍREZ, I. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. Identificación de los Problemas del Terreno, Primera Edición. Perú, 2004.

- **Parafínicos:** sus compuestos principales son hidrocarburos saturados de bajo peso molecular, lo que permite que sean crudos muy fluidos. Tienen una densidad alrededor de 0,85 kg/L y están por encima de los 31 °API. Son los crudos más apetecidos comercialmente y de mayor precio, por su facilidad de ser procesados y por la calidad de los productos obtenidos. Estos crudos producen mayores porcentajes de parafinas, naftas (solventes y gasolinas) y bases de aceites lubricantes que otros crudos.
- **Nafténicos:** sus compuestos principales son naftenos e hidrocarburos aromáticos; tienen un mayor peso molecular que los compuestos Parafínicos y una densidad alrededor de 0,95 kg/L. Están entre los 10 y los 22° API, siendo muy viscosos y de coloración oscura. Generan gran cantidad de residuos en los procesos de destilación, principalmente asfalto.
- **Mixtos:** están formados por toda clase de hidrocarburos: parafinas, naftenos, hidrocarburos saturados, insaturados y aromáticos, entre otros, encontrándose densidades alrededor de 0,9 kg/L y gravedades API entre los 22° y los 31°.
- **Dulce:** su contenido de azufre es menor de 0,5%, por lo cual requiere menor costo en su proceso de refinación para producir gasolina.
- **Agrio:** su contenido de azufre es mayor que 1%, necesitando mayor inversión en su procesamiento para retirar este contaminante.

4.2. Plan de manejo ambiental

Los conceptos definidos en este apartado son fundamento de la problemática antes descrita. Adicionalmente para poder desarrollar el plan de manejo ambiental se siguen los lineamientos contenidos en los términos de referencia sector de hidrocarburos HI-TER-1-003 publicados por el ministerio de Ambiente, Vivienda y

Desarrollo Territorial en el año 2010, hoy ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

El PMA es el conjunto detallado de medidas y actividades que, producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales debidamente identificados, que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia, y abandono según la naturaleza del proyecto, obra o actividad.

El Plan de Manejo Ambiental podrá hacer parte del Estudio de Impacto Ambiental o como instrumento de manejo y control para proyectos obras o actividades que se encuentran amparados por un régimen de transición.

Las etapas que comprenden la formulación y conformación del plan de manejo ambiental tienen referencia a las tenidas en cuenta para el estudio de impacto ambiental, las cuales se describen a continuación:

Inicialmente se debe realizar la descripción de proyecto, lo cual implica distinguir, entre otras cosas, la localización, características del proyecto, infraestructura existente, estrategias de desarrollo, abandono y restauración final. La importancia de esta primera fase es distinguir a detalle los factores externos que pueden influenciar positiva o negativamente en el desarrollo del proyecto.

La siguiente fase contempla la caracterización del área de influencia, donde se pretende que el estudio de impacto ambiental delimite y defina las áreas de influencia directa e indirecta del proyecto con base en una identificación de los impactos que puedan generarse durante la construcción y operación del proyecto. Para los medios abiótico y biótico, se tendrán en cuenta unidades fisiográficas naturales y ecosistémicas; y para el medio socioeconómico, las entidades territoriales y las áreas de uso social, económico y cultural, entre otros, asociadas a las comunidades étnicas y/o no étnicas asentadas en dichos territorios.

Del medio abiótico debe incluirse estudios geológicos, tanto del área de influencia directa como indirecta, la definición de las unidades geomorfológicas a partir del análisis del origen de las diferentes unidades de paisaje, análisis de las formas de las laderas, análisis de los procesos de tipo denudativo, análisis y mapeo de las formas de tipo estructural que imperan sobre el relieve. Como parte del análisis geomorfológico del área en estudio, es necesario incluir el examen de fotointerpretación geomorfológica de fotografías aéreas y de otras imágenes de sensores remotos disponibles, y el trabajo de campo realizado directamente en el área de estudio, que incluya las siguientes variables:

Del componente suelo se hace necesario presentar la clasificación agrológica de los suelos, identificar el uso actual y potencial y establecer los conflictos de uso del suelo y su relación con el proyecto.

Del componente hidrología es preciso reconocer los sistemas lénticos y lóticos, así como el establecimiento de los patrones de drenaje a nivel regional y la identificación el régimen hidrológico y de caudales característicos de las principales corrientes. Sin embargo, se hace necesario el análisis del tipo y distribución de las redes de drenaje, los sistemas lénticos, permanentes e intermitentes, la descripción y localización de la red hidrográfica y la identificación de la dinámica fluvial de las fuentes que pueden ser afectadas por el proyecto, así como las posibles alteraciones de su régimen natural (relación temporal y espacial de inundaciones).

Con respecto a la calidad de agua para las fuentes susceptibles de intervención (captaciones, vertimientos, ocupación de cauces, entre otras) y localizadas en el área de influencia directa del proyecto, se debe contemplar la realización de la caracterización fisicoquímica, bacteriológica e hidrobiológica, considerando al menos dos periodos climáticos (época seca y época de lluvias). En este sentido también se incluye el análisis de los usos de agua y los usuarios tanto actuales

como potenciales y la caracterización de acuíferos a partir de la posible intervención del proyecto.

Como componentes del medio abiótico, la identificación de las condiciones atmosféricas representa la oportunidad de distinguir los factores climáticos, de calidad de aire y los niveles de ruido.

Por su parte el componente biótico contempla el análisis a detalle de los ecosistemas estratégicos, terrestres y acuáticos que se encuentran en el área de influencia del proyecto. Su resultado seguramente tiene injerencia en la implementación de los procesos definidos por las empresas para el tratamiento de lodos aceitosos.

Adicional a lo anterior, otro componente a considerar tiene que ver con la caracterización del medio socioeconómico el cual debe ser realizado para el área de impacto directo del proyecto, con base en información primaria, analizando su relación con el proyecto, y de manera que sirva para dimensionar los impactos que éste pueda ocasionar en las dinámicas sociales, económicas y culturales. Otro componente se refiere al análisis del paisaje, incluye básicamente el análisis de la relación del proyecto con las características paisajísticas de su entorno.

Finalmente, el ultimo componente de esta fase incluye la zonificación ambiental, la cual debe analizarse con base en la caracterización ambiental y social del área de influencia y la legislación vigente, incluye efectuar un análisis integral de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, con el fin de realizar la zonificación ambiental, en donde se determine la potencialidad, fragilidad y sensibilidad ambiental del área, en su condición sin proyecto.

Para el análisis con proyecto, se deberá recoger la oferta ambiental establecida a través del análisis de aptitud física del terreno y junto con la oferta ambiental del medio biótico y socioeconómico, para establecer las ventajas y desventajas que ofrece el medio frente a la instauración de un nuevo proyecto.

La segunda fase tiene que ver la determinación de la demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales. Aquí se requiere presentar una detallada caracterización de los recursos naturales que demandará el proyecto y que serán utilizados, aprovechados o afectados durante las diferentes etapas y actividades de este incluyendo los que requieren o no permiso, concesión o autorización. La información relacionada con los permisos, concesiones y autorizaciones para el aprovechamiento de los recursos naturales se debe presentar de acuerdo con la información requerida en los Formularios Únicos Nacionales, existentes para tal fin.

Los elementos por considerar tienen relación con la caracterización de aguas superficiales, aguas subterráneas, vertimientos, ocupación de causas, materiales de construcción (cuando se requieran para la ejecución de obras civiles), aprovechamiento forestal, emisiones atmosféricas y residuos sólidos.

La tercera fase necesaria para llegar al plan de manejo tiene que ver con la evaluación ambiental. Para la identificación y evaluación de impactos ambientales se debe partir de la caracterización del área de influencia. Dicha caracterización expresa las condiciones generales de la zona sin los efectos del proyecto y se constituye en la base para analizar cómo el proyecto la modificará. Lo anterior indica que se analizarán dos escenarios a saber: la determinación de impactos ambientales con y sin proyecto, estableciendo los indicadores de vulnerabilidad, sensibilidad y criticidad a fin de reconocer y precisar los impactos atribuibles al proyecto. Se debe presentar la metodología utilizada.

Un elemento importante en esta fase es la evaluación económica en el proceso de evaluación de impacto ambiental. Este análisis debe presentar una estimación del valor económico de beneficios y costos ambientales potenciales y considerados relevantes, sobre los flujos de bienes y servicios de la zona de influencia directa e indirecta del proyecto en el escenario de línea base y desde una perspectiva ex ante. además, se deberán identificar los valores (de uso y de no uso) que serán

impactados, con el fin de aplicar criterios de asignación del grado de importancia para el control de las afectaciones. Una vez estimados los beneficios y costos ambientales derivados del proyecto, se desarrollará un análisis costo beneficio ambiental y un análisis costo efectividad de las inversiones en control de impactos ambientales, de tal forma que se pueda evaluar la eficiencia, eficacia y equidad en el desarrollo de proyectos de inversión.

La cuarta fase que hace parte del PMA es la zonificación de manejo ambiental del proyecto. A partir de la zonificación ambiental y teniendo en cuenta la evaluación de impactos realizada, se debe determinar la zonificación de manejo ambiental para las diferentes actividades del proyecto que sean aplicables atendiendo la siguiente clasificación:

- **Áreas de Exclusión:** corresponde a áreas que no pueden ser intervenidas por las actividades del proyecto. Se considera que el criterio de exclusión está relacionado con la fragilidad, sensibilidad y funcionalidad socio ambiental de la zona; de la capacidad de auto recuperación de los medios a ser afectados y del carácter de áreas con régimen especial.
- **Áreas de Intervención con Restricciones:** se trata de áreas donde se deben tener en cuenta manejos especiales y restricciones propias acordes con las actividades y etapas del proyecto y con la sensibilidad socio ambiental de la zona. En lo posible deben establecerse grados y tipos de restricción y condiciones de estas.
- **Áreas de Intervención:** Corresponde a áreas donde se puede desarrollar el proyecto, con manejo socio ambiental acorde con las actividades y etapas de este.

Finalmente, el plan de manejo ambiental contempla el conjunto de programas, proyectos y actividades, necesarios para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos generados por el proyecto durante las diferentes etapas. Cada impacto identificado debe tener su correspondiente medida de manejo, por lo

tanto, se requiere que se presente un cuadro o esquema de los impactos versus la medida de manejo ambiental correspondiente.

El PMA debe ser presentado en fichas en las cuales se debe precisar como mínimo: objetivos, metas, etapa, impactos a controlar, tipo de medida, acciones a desarrollar, lugar de aplicación, población beneficiada, mecanismos y estrategias participativas, personal requerido, indicadores de seguimiento y monitoreo (cualitativas y cuantitativas, especificando lo que se pretende medir y monitorear con cada uno), responsable de la ejecución, cronograma y presupuesto.

Se espera que como mínimo se incluya los programas para el componente abiótico (manejo de suelo, recurso hídrico, aire) y para el componente biótico (programa para manejo de suelos, programa de revegetalización y/o reforestación, programa de manejo del recurso hídrico, programa de conservación de especies vegetales y faunísticas, endémicas con algún grado de amenaza), programa de compensación para el medio biótico (protección y compensación de flora y fauna) y programa de compensación ambiental y medio socioeconómico.

4.3. Lineamientos legales

Los lineamientos conceptuales que orientan la propuesta de un plan de manejo ambiental (PMA) para la planta de tratamiento y disposición de lodos aceitosos en la zona de influencia de la gerencia de refinería de Barrancabermeja, según la normatividad legal colombiana, son los referidos a los lineamientos ambientales del Decreto 1076 de 2015¹⁶ “Por el cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible” y el Decreto 2041 de 2014¹⁷ “Por el

¹⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Decreto 1076 (Mayo 26, 2015). Por el cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. Bogotá, D.C., 2015.

¹⁷ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Decreto 2041 (Octubre 15, 2014). Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Bogotá, D.C., 2014.

cual se reglamenta el título 8 de la ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales”.

La Constitución Política de Colombia en sus artículos 8, 79 y 80 señala que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica, fomentar la educación para el logro de estos fines, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Que así mismo, el artículo 8 y el numeral 8 del artículo 95 de la Constitución Política disponen que es obligación de los particulares proteger los recursos naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano¹⁸.

Por su parte la Ley 99 de 1993¹⁹ resalta la importancia en la planificación de los proyectos, incluyendo criterios ambientales para el diseño, construcción y operación y proporcionar los términos de referencia para la elaboración de los estudios ambientales.

La Ley 99 de 1993²⁰, en su artículo 2°, en concordancia con el Decreto 3570 de 2011 dispuso la creación del Ministerio del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado entre otras cosas, de definir las regulaciones a las que se sujetarán la conservación, protección, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible.

¹⁸ CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA. (Julio 20, 1991) Gaceta Constitucional No. 116, 1991.

¹⁹ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA, Ley 99 (Diciembre 22, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., 1993.

²⁰ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA, Ley 99 (Diciembre 22, 1993). Bogotá, D.C., 1993.

De otra parte, el Decreto único ambiental No. 1076 de 2015²¹ recopila toda la normatividad ambiental emitida por el congreso de la república hasta el año 2015. En ella establece, para el caso de este estudio en su artículo 2.2.2.3.9.4 que para el seguimiento de los proyectos, obras o actividades objeto de licencia ambiental o plan de manejo ambiental, las autoridades ambientales adoptaran los criterios definidos en el Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Para el caso del proceso de licenciamiento ambiental el artículo 8 del Decreto 2041 de 2014²² estipula que para el sector de hidrocarburos la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA- otorgará o negará de manera privativa la licencia ambiental al desarrollo de actividades asociadas a la explotación de hidrocarburos que incluye, la perforación de los pozos de cualquier tipo, la construcción de instalaciones propias de la actividad, las obras complementarias incluidas el transporte interno de fluidos del campo por ductos, el almacenamiento interno, vías internas y demás infraestructuras asociada y conexa.

Este mismo decreto establece que el plan de manejo ambiental es el conjunto detallado de medidas y actividades que, producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales debidamente identificados, que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia, y abandono según la naturaleza del proyecto, obra o actividad. El plan de manejo ambiental podrá hacer parte del estudio de impacto ambiental o como instrumento de manejo y control para proyectos, obras o actividades que se encuentran amparados por un régimen de transición.

²¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Decreto 1076 (Mayo 26, 2015). Por el cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. Bogotá, D.C., 2015.

²² COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Decreto 2041 (Octubre 15, 2014). Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Bogotá, D.C., 2014.

Adicionalmente indica que los titulares de los planes de manejo ambiental podrán solicitar la modificación de este instrumento a la autoridad ambiental competente con el fin incluir los permisos, autorizaciones y/o concesiones para uso, aprovechamiento y/o afectación recursos renovables, que sean necesarios para el proyecto, obra o actividad. En los permisos, autorizaciones y/o concesiones para uso, aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales renovables serán incluidos dentro del plan de manejo ambiental y su vigencia iniciará a partir del vencimiento de permisos que se encuentran vigentes.

El Decreto 0631 de 2015²³ en su artículo 11 que corresponde a actividades de hidrocarburos define los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales residuales no domésticos a cuerpos de agua superficiales de actividades asociadas con hidrocarburos. A diferencia de la norma 1584 del 84 que regulaba la máxima carga contaminante, la 0631 del 2015 define la concentración máxima expresada en mg/l y en el artículo 11 define 46 parámetros de interés sanitario a controlar lo que hace más exigente los procesos unitarios necesarios para entregar un vertimiento que cumpla este nuevo decreto.

En concordancia con la formulación de planes de manejo ambiental, se da necesidad de soportar la normatividad legal vigente asociada a los diferentes impactos referidos a los procesos de construcción operación y mantenimiento, específicamente los que tienen que ver con la flora, fauna, recurso hídrico, suelo y aire.

²³ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Decreto 631 (Abril 18, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., 2015.

5. ESTADO DEL ARTE

5.1. Planes de Manejo Ambiental

Existen diversos documentos en Colombia que indican sobre los pasos para alcanzar un plan de manejo ambiental, sin embargo, el enfoque depende del área donde se requiera implementar. Desde el ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se han formulado distintas guías que bien son utilizadas para minimizar los impactos asociados al desarrollo de proyectos de cualquier área.

Recientemente se publicó la guía de planes de manejo para acuíferos. En ella se contemplan la fase de aprestamiento que incluye el proceso de organización del equipo técnico y logística requerida para la formulación del PMA, seguidamente la fase de diagnóstico tiene como alcance la caracterización de la situación actual a partir del modelo hidrogeológico y del diagnóstico participativo. Posteriormente se incluye la etapa de formulación a partir de la identificación de líneas estratégicas hasta la priorización de proyectos e indicadores de seguimiento. Por último, contempla la fase de seguimiento y evaluación, la cual parte de la revisión del plan operativo, programas y estrategias hasta la definición de acciones de mejora. Esta última parte tiene como característica principal la función sistemática de todos los procesos.

En el año 2010, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, construyó los términos de referencia sector hidrocarburos sobre estudios de impacto ambiental. Esta guía básicamente contempla su alcance en 7 pasos así: la definición de generalidades, descripción del proyecto, caracterización de las áreas de influencia del proyecto, demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales, evaluación ambiental, zonificación de manejo ambiental del proyecto, plan de manejo ambiental y programa de seguimiento y monitoreo del proyecto.

Además de estas, existen guía de planes de manejo ambiental dirigidas al sector de la construcción, y otras que han sido elaboradas incluso por parte de las autoridades Ambientales regionales a partir de la publicación de normatividad relacionada.

5.2. Tratamiento de Lodos aceitosos

El tratamiento de los residuos peligrosos tipo borras generados en los tanques de almacenamiento de la industria del petróleo constituye hoy día uno de los problemas ambientales más graves a nivel mundial. Se han estudiado diferentes métodos de tratamiento para este tipo de residuos, desde procesos convencionales biológicos y físicos hasta llegar a métodos químicos, térmicos y combinaciones de estos, siempre buscando la forma más económica y eficiente²⁴.

La contaminación del suelo y agua ha venido en aumento como resultado de la explotación, refinación, distribución y almacenamiento de petróleo crudo y sus derivados²⁵.

Las borras o lodos aceitosos generadas en los tanques y tuberías de la industria del petróleo son residuos que se forman después de largos periodos de tiempo, por sedimentación y aglomeración de compuestos hidrocarbonados, especialmente de cadenas más largas, presentes en el crudo; sólidos, sedimentos (rocas, arena, lodos de perforación, entre otros) y materia orgánica, y agua. Como consecuencia de las aglomeraciones de los hidrocarburos, la emulsión del agua en el crudo y la retención de sedimentos en aquella; los grados API disminuyen, alcanzando valores incluso inferiores a 10 °API, formándose masas densas y

²⁴ GÓMEZ OCAMPO, L. J., & GÓMEZ DOMÍNGUEZ, M. P. Métodos utilizados para el tratamiento de las borras de tanques de almacenamiento en la industria del petróleo. 2015.

²⁵ FERRERA-CERRATO, et. al. Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. Revista latinoamericana de Microbiología, 48(2), 179-187, 2006.

viscosas, difíciles de bombear, que se depositan en el fondo de los tanques, reduciendo su capacidad, o generan taponamientos en las tuberías.

A mediados del siglo XX se desarrollaron las primeras investigaciones encaminadas a estudiar el potencial de los microorganismos para biodegradar contaminantes. Este uso intencionado recibió entonces el nombre de biorremediación ("*bioremediation*"). Las primeras técnicas que se aplicaron fueron similares al "*landfarming*" (labranza) actual y sus actores, lógicamente, compañías petrolíferas. Las primeras patentes, fundamentalmente para remediación de vertidos de gasolina, aparecen en los años 70. En los años 80 se generalizó el uso del aire y peróxidos para suministrar oxígeno a las zonas contaminadas mejorando la eficiencia de los procesos degradativos. Durante los años 90 el desarrollo de las técnicas de "*air sparging*" (burbujeo de oxígeno) hizo posible la biorremediación en zonas por debajo del nivel freático. Al mismo tiempo, la implementación en la práctica de aproximaciones experimentales en el laboratorio permitió el tratamiento de hidrocarburos clorados, los primeros intentos con metales pesados, el trabajo en ambientes anaerobios, etc. Paralelamente, se desarrollaron métodos de ingeniería que mejoraron los rendimientos de las técnicas más populares para suelos contaminados ("*landfarming*", "*composting*", etc.)²⁶.

Hay que resaltar que en las borras se distinguen tres fases a saber: aceitosa, acuosa, y sólida. Teniendo en cuenta la eficiencia y el grado de especialización, el tratamiento puede ser clasificado en tratamiento primario, secundario y terciario. Dentro de esta clasificación, los métodos aplicados pueden agruparse de la siguiente manera: a) físicos b) químicos c) térmicos d) biológicos.

De la aplicación de uno o la combinación de estos métodos depende el éxito del tratamiento de la borra. De tal manera que muchos investigadores han

²⁶ GROSSO VARGAS, J. L. Tendencias de biorremediación para la industria petrolera. In Feria y Seminario Internacional. Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos Siglo XXI (pp. 1-82). ACODAL, 2007.

concentrado sus esfuerzos en desarrollar estas técnicas con el objetivo único de lograr un tratamiento y una disposición adecuada de estos desechos con el mínimo impacto posible al medio ambiente y a las personas.

La tabla 3 presenta los métodos de tratamiento de borras en cada una de sus fases.

Tabla 3. Método de tratamiento de borras en cada fase.

BORRAS O LODOS ACEITOSOS	FASE	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO
	ACEITE	Asentamiento y sedimentación	T. térmico T. químico. Centrifugación	Separación electrostática
	ACUOSA	Asentamiento y sedimentación	Flotación Floculación Filtración	Tratamiento biológico Biodefenolización Biodesulfuración Oxigenación inducida. Filtros biológicos
	SÓLIDOS	Separación física y tamizado	Lavado emulsionado Inyección de vapor Biosurfactantes	Biodegradación Estimulada e Intensiva

Fuente: Métodos utilizados para el tratamiento de las borras de tanques de almacenamiento en la industria del petróleo²⁷, 2015.

A continuación, se hace una descripción de los tipos de métodos empleados en el tratamiento de borras según el tipo principal de fase a tratar.

5.2.1. Métodos Físicos

- Asentamiento y sedimentación: Una vez extraída la borra de los tanques de almacenamiento de crudo y posterior al tamizado de sólidos, esta es depositada

²⁷ GÓMEZ OCAMPO, L. J., & GÓMEZ DOMÍNGUEZ, M. P. Métodos utilizados para el tratamiento de las borras de tanques de almacenamiento en la industria del petróleo. 2015.

en piscinas construidas en sitios cercanos a la extracción; estas piscinas son recubiertas con material especial para evitar la infiltración de material contaminante al subsuelo. La borra extraída se deja por un periodo de tiempo tal que se logre una separación de hidrocarburos y lodos de forma natural. Luego de esto, el hidrocarburo, el agua y los sólidos son separados para continuar con tratamientos secundarios. Este método presenta desventajas como los riesgos asociados a fugas de hidrocarburos.

- Tamizado: Este tratamiento se aplica para separar los sólidos gruesos de la borra antes de enviarla a las piscinas para su decantación²⁸.
- Flotación, floculación y filtración: Procesos asociados al tratamiento del agua separada de la fase aceite. Estos procesos persiguen retirar del agua todos los sólidos suspendidos posibles contenidos para poder pasar al tratamiento terciario.
- Separación Electrostática: Se utiliza como último paso para el tratamiento del crudo recuperado. Y consiste en someter el crudo un campo eléctrico intenso, generado por la aplicación de un alto voltaje entre dos electrodos. La aplicación del campo eléctrico sobre la emulsión induce a la formación de dipolos eléctricos en las gotas de agua, lo que origina una atracción entre ellas, incrementando su contacto y su posterior coalescencia. Como efecto final se obtiene un aumento del tamaño de las gotas, lo que permite la sedimentación por gravedad.

²⁸ SUÁREZ, L. Desarrollo de un método químico para recuperación de crudo a partir de las borras generadas en los procesos de mantenimiento de tanques y tuberías en distritos de producción petroleros de Colombia, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2011.

5.2.2. Métodos Químicos. En algunos casos se hace uso de disolventes de baja densidad que simplemente diluyen la borra, aumentando los grados API hasta llegar a cumplir con las especificaciones necesarias para reinyectar en tubería; en otros casos se usan rompedores de aglomeraciones que reducen la viscosidad de la borra

En ninguno de los dos casos los tratamientos hacen remoción de contaminantes como arena, arcilla, sedimentos o agua, por lo que, al inyectar nuevamente las borras tratadas en las líneas de producción, pueden generar taponamientos en las tuberías²⁹.

5.2.3. Métodos Térmicos

- **Desorción térmica:** La desorción térmica, también llamada secado, es un proceso para remover orgánicos y agua de los sólidos. Estos procesos operan a mucha menor temperatura que los incineradores y en ausencia de oxígeno, puesto que no se pretende que exista combustión de los desechos. Las mezclas de orgánicos, agua y sólidos se calientan para separar los volátiles. El agua en el desecho se convierte en vapor y ayuda a despojar compuestos semi volátiles de punto de ebullición alto. Existen muchas variaciones diferentes de este tipo de proceso³⁰.
- **Incineración:** En un incinerador el residuo se inyecta y se quema dentro del incinerador a temperaturas del orden de 800 a 1200 °C. Los sólidos que se remueven del incinerador son analizados para determinar el contenido de metales pesados y, si es necesario, estabilizarlos antes de ser colocados en un relleno. Los compuestos orgánicos son transformados en CO₂ y H₂O por

²⁹ SUÁREZ, L. Desarrollo de un método químico para recuperación de crudo a partir de las borras generadas en los procesos de mantenimiento de tanques y tuberías en distritos de producción petroleros de Colombia, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2011.

³⁰ ESPINOZA, J. Tratamiento y disposición final de residuos industriales generados en una refinería. Rev. Inst. investig. Fac. minas metal, Cienc. Geogr. 6 (11): 20-31, 2007.

combustión, y HCl si cualquier orgánico clorado se encuentra presente. El HCl y partículas se remueven antes de descargar los gases a la atmósfera. La incineración es uno de los procesos más probados y ensayados; desdichadamente es el más costoso. Esta es la razón por la cual se evalúan otros procesos o combinaciones.

5.2.4. Métodos Biológicos. Asociados al tratamiento final dado al agua separada de las borras. Entre los principales tratamientos están:

- Biodefenolización: proceso por el cual se realiza la remoción de fenoles (compuestos altamente tóxicos) del agua por microorganismos. La degradación de los compuestos fenólicos puede ser llevada a cabo por organismos procariotas y eucariotas, tanto en condiciones aeróbicas (oxígeno como aceptor final de electrones) como anaeróbicas (nitrato, sulfato, iones metálicos o dióxido de carbono como aceptores finales de electrones³¹.
- Biodesulfurización: es el proceso en el cual se emplean microorganismos para remover sulfuros del medio. Se basa en la capacidad de ciertos microorganismos para oxidar compuestos reducidos de azufre transformados en compuestos de fácil eliminación. Este proceso posee una serie de ventajas como: bajos costos de inversión y de operación ya que utiliza equipos sencillos y de bajo consumo de reactivo y menor consumo energético al poderse trabajar a temperatura ambiente.
- Filtros biológicos: es un proceso muy usado para el tratamiento de aguas residuales. Está diseñado para poner en contacto aguas residuales con la biomasa adherida a un medio de soporte fijo, constituyendo un lecho de oxidación biológica. Un filtro biológico tiene por objeto reducir la carga orgánica en aguas residuales ya sean domesticas o industriales. Consiste en un lecho de

³¹ RUÍZ N., et al. Phenol biodegradation using a repeated batch culture of *Candida tropicalis* in a multistage bubble column. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 43: 19-25, 2001.

piedras, u otro medio natural o sintético, sobre el cual se aplican las aguas residuales, con el consecuente crecimiento de microorganismos, lamas o películas microbiales sobre el lecho.

- LandFarming: Es una técnica de biorrecuperación que puede ser utilizada para descontaminación tanto “in situ” como “ex situ”, y consiste en provocar la oxidación biológica de los hidrocarburos contenidos en el suelo, por medio de la estimulación de la microflora natural que se encuentra en el suelo (levaduras, hongos o bacterias) mediante el agregado de fertilizantes, arado y riego superficial. En el fondo, se trata pues de una bioestimulación de las poblaciones necesarias que interesa activar.

El proceso de *landfarming* tiene una serie de ventajas como son: su bajo costo, no dejar residuos posteriores, no provocar (si se realiza en condiciones controladas) riesgos de contaminación, tanto superficial como subterránea, debido a la migración de hidrocarburos, su impacto ambiental es mínimo, cuando el proceso está bien realizado, y puede resultar una técnica susceptible de emplearse en una gran variedad de condiciones climáticas.

Además, si se realiza en condiciones óptimas, se consigue degradar una considerable proporción de los hidrocarburos contenidos en los suelos. Sin embargo, también presenta inconvenientes o desventajas, como es el a veces elevado tiempo necesario para eliminar los hidrocarburos. La efectividad de esta metodología depende de innumerables factores tales como tipo y concentración de contaminante, nutrientes, aireación, condiciones ambientales, presencia de inhibidores, concentración de microorganismos, etc.³² La capacidad de controlar y optimizar todas estas variables anteriormente citadas son las que determinaran la eficiencia del proceso de *Landfarming*.

³² ERCOLI, E. Biorremediación de Suelos desde el concepto de su aplicación. Foro Internacional de Supervisión y Fiscalización Ambiental en el Sector Hidrocarburos. Lima, Perú. 2008.

- Biorremediación. Es un proceso natural o controlado, en el cual, la actividad biológica, especialmente la microbiana, acumula o transforma los contaminantes a niveles no tóxicos. Los procesos de biorremediación se pueden aplicar bajo las condiciones naturales del sitio o estimulando la actividad biológica, a través de la adición de nutrientes, de aceptores de electrones, controlando la humedad u otro parámetro³³.

Los tratamientos de remediación en suelo, se pueden aplicar *in situ*. Esta operación se realiza en el mismo sitio contaminado sin excavar ni disponer el suelo para su tratamiento; modificando de forma mínima la estructura del suelo. Requiere de periodos de tratamiento más largos y es menos seguro debido a la heterogeneidad propia del suelo. Las tecnologías de biorremediación *in situ*, incluyen: bioventeo, bioaumentación, bioestimulación, fitorremediación y atenuación natural³⁴.

Fuera del sitio (*ex situ*) - Operaciones que requieren que el suelo contaminado sea excavado y transportado a otro sitio, para ser sometido a un tratamiento de remediación. Generalmente requiere periodos más cortos de tratamiento, son más seguros en cuanto a uniformidad de tratamiento ya que el sistema puede homogeneizarse; sin embargo, requieren de excavación del suelo, lo que provoca un aumento en los costos para su tratamiento. Las tecnologías de biorremediación *ex situ*, en general incluyen: composteo (biopilas) y biorreactores³⁵.

³³ RUÍZ N., et al. Phenol biodegradation using a repeated batch culture of *Candida tropicalis* in a multistage bubble column. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 43: 19-25, 2001.

³⁴ VAN DEUREN, J., WANG, Z. & LEDBETTER, J. Remediation technologies screening matrix and reference guide. 3a Ed. Technology innovation office, EPA. 1997.

³⁵ VAN DEUREN, J., et al. Remediation technologies screening matrix and reference guide. 3a Ed. Technology innovation office, EPA. 1997.

Entre las ventajas de las técnicas de biorremediación se encuentran: a) son tecnologías limpias, b) es un sistema biológico de bajo costo, c) se puede llevar a cabo en el mismo sitio, eliminando el costo de transporte, d) ocasiona trastornos mínimos al sitio, e) los contaminantes son eliminados (no transferidos) al formar bióxido de carbono y agua y e) son tecnologías que gozan de aceptación social y por las autoridades ambientales³⁶.

Entre las desventajas de las técnicas de biorremediación se encuentran; a) no tiene éxito en suelos de baja permeabilidad, b) la actividad de los microorganismos se puede inhibir con altas concentraciones de contaminantes, c) algunos compuestos no pueden ser eliminados, y d) necesidad de monitoreo extensivo para cada sitio.

En la siguiente tabla se muestra la capacidad de remoción de las diferentes técnicas utilizadas actualmente para el tratamiento de borras en cada una de las fases en que se compone la misma.

Tabla 4. Resumen de la capacidad de remoción de las diferentes técnicas de tratamiento de borras de la industria del petróleo.

TÉCNICA USADA	TIPO	FASE	CAPACIDAD DE REMOCIÓN	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
Flotación de Espuma + Emulsionante	Físico	Aceite	55% de HC	India	Ramaswamy, B., Kar, D.D., De, S. 2007.
BioRecOil Recuperación Biológica de Petróleo	Físico	Aceite	95% de HC	Italia	Idrabel Italia Srl 2010.
Centrifugación	Físico	Aceite	90% HC	Colombia	Foro de Entorno Tecnológico Ambiental en la Industria del Petróleo. Ecopetrol – UNAB. 2009.

³⁶ SAVAL, S. Biorremediación de un suelo contaminado con diésel. Ingeniería y Ciencias Ambientales Núm. 33, Julio -Septiembre: 24-30, 2007.

TÉCNICA USADA	TIPO	FASE	CAPACIDAD DE REMOCIÓN	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
Fluidización de los sedimentos y la recuperación de hidrocarburos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos	Físico	Aceite		Colombia	Vidales H., et. al. 2008.
Deshidratación de borras aceitosas usando lechos de secado con filtros de geotextil	Físico	Aceite			Mendonga M., et. al. 2008.
Sistemas desmenuzantes para el rompimiento de la borra	Químico	Aceite	Alta	Kuwait	Abdel-Azim A. et al, 2011.
Tratamiento de lodos aceitosos por termo química	Químico	Aceite – Lodos	97% HC	China	Guolin J., Tingting C., Mingming L. 2011.
Agente Químico Petromax	Químico	Aceite	Alta	USA	Blancon – The Enviro Services Specialists
Estabilización – Solidificación	Químico - Físico	Lodo	Media	España	CONAMA10 (Congreso Nacional del Medio Ambiente)
Estabilización / solidificación a base de cemento en los lodos de refinería de petróleo	Químico - Físico	Lodo	Media		Karamalidis A., Voudrias E, 2007.
Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos	Químico - Biológico	Aceite – Lodo	Alta	Argentina	Riojas H., et. al. 2010.
Co-Incineración	Térmico	Lodos	Alta	China	Liu, J., et al., 2009.
Ultrasonido / Congelación / Descongelación	Térmico	Aceite – Lodos	80% de HC	Canadá	Zhang J., et al., 2012.
Tecnologías para el tratamiento del agua residual que se genera en la industria del petróleo y gas	Biológicos – Físico - Químico	Lodos – Agua			Fakhru'l-Razia A., et. al. 2009.
Biodegradación	Biológicos	Lodos		Jordania	Tahhan, R.y Abu-Ateih R. 2009.
Degradación Microbiana	Biológicos	Lodos	16% – 95%	Rumania	Lazar I., et al., 1999.
Biorremediación	Biológicos	Lodos		Argentina	Vecchioli G.I., et. al. 2007.
Bacterias Hidrocarburohíticas en Suelo Sometido A Biorremediación	Biológicos	Lodos		Argentina	Altamirano M., Pozzo M., 2007.

Tabla 4. (Continuación).

TÉCNICA USADA	TIPO	FASE	CAPACIDAD DE REMOCIÓN	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
Biorremediación - aspectos tecnológicos y aplicación al vertido del Prestige	Biológicos	Lodos		España	Rodríguez J y Sánchez J., 2002
Optimización del Proceso de Recuperación de Hidrocarburos por medio de Biosurfactantes	Biológico	Aceite – Lodos	74.50%	China	Zheng C., et. al., 2012.
Caracterización de los lodos aceitosos de una refinería de petróleo de Teherán	Biológicos	Lodos		Irán	Heidarzadeh N, et. al., 2009.
Tabla 4. (Continuación). Comparación de la eficiencia entre un birreactor de fabricación local y un sistema de agitación en frasco	Biológicos	Lodos	46% de HC	Nigeria	Okpokwasili G. y Ndunno O., 2006.
Monitoreo de Biopilas de Lodos Aceitosos en proceso de compostaje	Biológicos	Lodos	68% de HC	Estonia	Kriipsalu M., Nammari D., 2009.
Biorremediación de hidrocarburos de petróleo en los suelos	Biológicos	Lodos	Alta	USA	Salanitro J., 2001.
Biorremediación de lodos que contiene hidrocarburos – Bioaugmentación	Biológicos	Lodos	84% de HC	Nigeria	Ayotamunoo M., et.al., 2007.
biodegradación potencial de lodos aceitosos por cultivos bacterianos puros y mixtos	Biológicos	Lodos	39-90% de HC		Cerqueiraa V., et.al., 2011.
Recuperación de HC de lodos aceitosos de refinería de petróleo usando ramnolípido biosurfactante productor de Pseudomonas	Biológicos	Lodos	91.5% de HC		Yana P., et. al., 2012.
Biorremediación de un lodo de refinería que contienen hidrocarburos, en un clima semi- árido	Biológicos	Lodos	80% de HC	España	Marin J.A., Hernandez T., Garcia C., 2005.
Biorremediación de lodos de hidrocarburos utilizando biosurfactantes crudo	Biológicos - Químico	Lodos	90 – 98% de HC	India	Cameotra S., Singh P., 2008.
Landfarming de lodos aceitosos en regiones áridas y riesgo que tiene para la salud humana	Biológicos	Lodos		Arabia Saudita Golfo Pérsico	Hejazia R., Husainb T., Khanb F., 2003.
Biorremediación de lodos aceitosos en parcelas preparadas	Biológicos	Lodos	27-46% de HC	China	Liua W., et. al., 2009.

Tabla 4. (Continuación).

TÉCNICA USADA	TIPO	FASE	CAPACIDAD DE REMOCIÓN	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
La biorremediación por el aumento de biopreparado vs compostaje convencional	Biológicos	s Lodos	30-53% de HC	China	Ouyanga W., et. al., 2005.
Biorremediación de un suelo contaminado con petróleo empleando bagazo de caña con diferentes tamaños de partícula	Biológicos	Lodos	30% de HC	México	Ordaz J., et. al., 2011.
Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de suelo contaminado con hidrocarburo	Biológicos	Lodos	50-60% de HC	México	García R., et. al., 2011.
Bases moleculares de la fitorremediación de hidrocarburos totales del petróleo	Biológicos	Lodos		México	Peña J., Barrera B., Ruiz R., Xoconostle B., 2006.
Fitorremediación de un suelo contaminado con combustóleo usando Phaseolus Coccineus y fertilización orgánica e inorgánica	Biológicos	Lodos		México	Ferrera R., et. al., 2007.

Tabla 4. (Continuación).

6. METODOLOGÍA

El presente trabajo de aplicación se desarrolló en 7 fases, y se fundamenta en los términos de referencia HI-TER-1-03³⁷. A continuación, se describen cada una de las fases.

6.1. Localización

La propuesta del sistema de tratamiento y disposición final de lodos aceitosos contempla la selección de su ubicación, el análisis de los componentes biótico, abiótico y socioeconómico, la descripción de los procesos unitarios y conformación del tren de cargas. Cabe resaltar que el diseño se fundamentó en las tecnologías actuales de tratamiento para este tipo de residuos de la industria petrolera y en los lineamientos legales referidos a la remoción de cargas contaminantes contenidos en la resolución 0631 de 2015.

6.2. Medio abiótico

Se realizaron pruebas SPT (*Standard Penetration Test*) para determinar la tabla de agua. Se utilizaron los registros de la estación Aeropuerto Yarigüies para establecer las condiciones ambientales en el sector El Lomaral.

Adicionalmente, se utilizaron los registros de la estación Puente Carretera para determinar el factor de trasposición de caudales o rendimiento hídrico en la zona de estudio.

³⁷ MAVDT. Términos de referencia Sector hidrocarburos. Estudio de impacto ambiental proyectos de explotación de hidrocarburos HI-TER-1-03, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Bogotá, D.C., 2010.

6.3. Medio biótico

La metodología usada para el análisis de coberturas fue CORINE Land Cover Adaptada para Colombia³⁸, la cual describe, caracteriza y clasifica la cubierta (ocupación) biofísica de la superficie terrestre, basada en la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador, con el objeto de generar una base de datos geográfica utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La clasificación del mapa de coberturas y uso, según el análisis CORINE Land Cover, es:

Territorios artificializados: comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y, aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos.

Territorios agrícolas: son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes y áreas de pastos.

Bosques y áreas seminaturales: comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación. Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras coberturas que son el resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición.

³⁸ IDEAM, M., IGAC, I., & SINCHI, P. Capa Nacional de Cobertura de la Tierra (periodo 2005-2009): Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1: 100.000. V1. 0, 2012.

Áreas húmedas: comprende aquellas coberturas constituidas por terrenos anegadizos, que pueden ser temporalmente inundados y estar parcialmente cubiertos por vegetación acuática, localizados en los bordes marinos y al interior del continente.

6.4. Zonificación ambiental

Se aplicaron criterios basados en aspectos de interés ambiental que permitan identificar “áreas homogéneas” por su mayor vulnerabilidad frente a factores generalmente de origen antrópico, que puedan inducir o agravar situaciones o estados indeseables del entorno natural o humano, teniendo como base las condiciones actuales del mismo.

Con la información de la caracterización y demanda de recursos para la implementación del proyecto, se elaboró un mapa temático tendiente a definir las áreas zonificadas. Se utilizó superposición de mapas intermedios de diagnóstico para obtener la zonificación final. Las unidades zonificadas para toda el área de estudio se definieron de acuerdo con las siguientes categorías de sensibilidad ambiental: área de importancia social, área de producción de hidrocarburos, área de recuperación ambiental, área de producción económica y, área de riesgos y amenazas.

6.5. Evaluación ambiental

La evaluación de los impactos ambientales consistió en la identificación, previsión, interpretación y medición de las consecuencias ambientales del proyecto. La evaluación de los impactos se realizó en el marco de procedimientos adecuados que, en forma concurrente, permitiera identificar las acciones y el medio a ser impactado, establecer las posibles alteraciones y valorar las mismas. Esta última etapa se encaminó a expresar los impactos en forma cuantitativa y, cuando ello no fuera posible, cualitativamente.

En la siguiente tabla se relacionan los criterios para la valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales que se ocasionarían.

Tabla 5. Criterios que caracterizan el impacto ambiental.

IMPACTO AMBIENTAL	SIGNO	Positivo +, Negativo -, Indeterminado x		
		IMPORTANCIA (grado de manifestación cualitativa)	Grado de incidencia	Intensidad
			Caracterización	Extensión
				Manifestación
				Persistencia
	VALOR (grado de manifestación)	MAGNITUD (grado de manifestación cuantitativa)	Cantidad	Reversibilidad
				Sinergia
				Acumulación
				Efecto
			Cantidad	Periodicidad
				Recuperabilidad

Fuente: Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental³⁹, 2009.

La siguiente es la descripción de los criterios de evaluación de los impactos ambientales⁴⁰, que permitirán realizar la evaluación y posterior manejo ambiental del proyecto.

Carácter del impacto o naturaleza: los impactos pueden ser beneficiosos o perjudiciales. Los primeros son caracterizados por el signo positivo (+), los segundos se expresan como negativos (-).

El impacto se considera positivo cuando el resultado de la acción sobre el factor ambiental considerado produce una mejora de la calidad ambiental, entre tanto, el impacto se considera negativo cuando el resultado de la acción produce una disminución de la calidad ambiental de factor ambiental considerado.

³⁹ FERNÁNDEZ-VÍTORA, V. C. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Mundi-Prensa Libros, 2009.

⁴⁰ FERNÁNDEZ-VÍTORA, V. C. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Mundi-Prensa Libros, 2009.

Intensidad (In): se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor en el ámbito específico en el que actúa. Para efectos negativos, se expresó el grado de destrucción del factor, al igual para el efecto contrario reflejará el grado de reconstrucción o restauración del medio.

Tabla 6. Intensidad (In).

INTENSIDAD	VALOR	DESCRIPCIÓN
Baja o mínima	1	Afectación mínima
Media	2	Inestabilidad media
Alta	4	Inestabilidad alta
Muy alta	8	Inestabilidad notable
Total 1	12	Destrucción total del factor

Extensión (Ex): se refiere en sentido amplio, al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto en el que se sitúa el factor. Este atributo recibe también la denominación de escala espacial o dimensional. En ocasiones la incidencia del impacto está circunscrita en el área de influencia directa; en otros casos se extiende disminuyendo sus efectos hasta que los mismos no son medibles. En algunos casos sus efectos pueden manifestarse más allá del área del proyecto y de la zona de localización.

Tabla 7. Extensión (Ex).

EXTENSIÓN	VALOR	DESCRIPCIÓN
Puntual	1	Afectación muy localizada
Parcial	2	Influencia se localiza en una parte del factor
Amplio o extenso	4	La influencia se presenta en gran parte del factor
Total	8	Influencia generalizada del impacto
Crítico	(+4)	Impacto de ubicación crítica

Momento (Mo): plazo de manifestación del impacto, con respecto al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.

Tabla 8. Momento (Mo).

MOMENTO	VALOR	DESCRIPCIÓN
Largo plazo	1	Cuando el efecto tarde en manifestarse más de 10 años
Medio plazo	2	Cuando el tiempo transcurrido entre la acción y el efecto varía de 1 a 10 años
Largo plazo	3	Cuando el tiempo transcurrido entre la acción y el efecto es inferior a 1 año
Inmediato	4	El tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto es nulo
Crítico	(+4)	Aquel en que el momento de la acción es crítico independientemente del plazo de manifestación

Persistencia (PE): se refiere al tiempo que el efecto se manifiesta hasta que se retorne a la situación inicial en forma natural o a través de medidas correctoras. Un efecto considerado permanente puede ser reversible cuando finaliza la acción causal (caso de vertidos de contaminantes) o irreversible (caso de afectar el valor escénico en zonas de importancia turística o urbanas a través de la alteración de geoformas o por la tala de un bosque). En otros casos los efectos pueden ser temporales.

Tabla 9. Persistencia (PE).

PERSISTENCIA	VALOR	DESCRIPCIÓN
Fugaz	1	La permanencia del efecto es casi nula
Momentáneo	1	El efecto que tiene lugar es < de 1 año
Temporal	2	El efecto que tiene lugar entre 1 - 10 años
Pertinaz	3	El efecto que tiene lugar entre 10 - 15 años
Permanente	4	El efecto que tiene lugar es > 15 años

Tabla 10. Manifestación temporal de los efectos.

MANIFESTA CIÓN DE LOS EFECTOS	ATRIBUTOS								C
	MOMENTO		PERSISTENCIA		REVERSIBILIDAD		RECUPERABILIDAD*		
	tm=tj-to	V	tp=tr-tj	V	Trev=tpr=tr-t	V	tR=trMC-tOMC	V	
t = 0	Inmediato	4	Efímero o Fugaz	1	Inmediato	1	Inmediato	1	TEMPORALES, REVERSIBLES Y/O RECUPERABLES
t < 1 año	Corto plazo	3	momentáneo o de corto plazo	1	Corto plazo	1	Corto plazo	2	
1 < t < 10 años	Medio plazo	2	Temporal, transitorio o de mediano plazo	2	Medio plazo	2	Medio plazo	3	
10 < t < 15 años	Largo plazo	1	Pertinaz, Persistente o Duradero	3	Largo plazo	3	Largo plazo	4	

Tabla 10. (Continuación).

t > 15 años	Largo plazo		Estable o permanente	4	Quasi irreversible/ irreversible	3	Recuperable / Irrecuperable	4		PERMANENTES
t >> 15 años			Constante	4	Irreversibles	4	Irrecuperable			
Indistinta	Crítico	(+1) a (+4)	-	-	-	-	Mitigable/Compensable/ sustitutorio / contraprestación	4		OTROS

Reversibilidad: la persistencia y la reversibilidad son independientes. Este atributo está referido a la posibilidad de recuperación del componente del medio o factor afectado por una determinada acción. Se considera únicamente aquella recuperación realizada en forma natural después de que la acción ha finalizado. Cuando un efecto es reversible, después de transcurrido el tiempo de permanencia, el factor retornará a la condición inicial.

Tabla 11. Reversibilidad (MC).

REVERSIBILIDAD	VALOR	DESCRIPCIÓN
Corto plazo	1	El efecto que tiene lugar es < de 1 año
Mediano plazo	2	El efecto que tiene lugar entre 1 - 10 años
Largo plazo	3	El efecto que tiene lugar entre 10 - 15 años
Irreversible	4	El efecto que tiene lugar es > 15 año

Recuperabilidad (MC): mide la posibilidad de recuperar (total o parcialmente) las condiciones de calidad ambiental iniciales como consecuencia de la aplicación de medidas correctoras.

Tabla 12. Recuperabilidad (MC).

RECUPERABILIDAD	VALOR	DESCRIPCIÓN
Recuperable de forma inmediata	1	Efecto recuperable de manera inmediata
Recuperable a corto plazo	2	Efecto recuperable en un plazo < 1 año
Recuperable a medio plazo	3	Efecto recuperable entre 1 a 10 años
Recuperable a largo plazo	4	Efecto recuperable entre 10 a 15 años
Mitigable, sustituible y compensable	4	Indistinta en el tiempo
Irrecuperable	8	Alteración es imposible de reparar

Sinergia: se refiere a que el efecto global de dos o más efectos simples es mayor a la suma de ellos, es decir a cuando los efectos actúan en forma independiente.

Tabla 13. Sinergia (RV).

SINERGIA	VALOR	DESCRIPCIÓN
Sin sinergismo simple	1	Cuando la acción no es sinérgica
Sinergismo moderado	2	Sinergismo moderado en relación con una situación extrema
Muy sinérgico	4	Altamente sinérgico donde se potencia la manifestación de manera ostensible

Acumulación (AC): se refiere al aumento del efecto cuando persiste la causa

Tabla 14. Acumulación (AC).

ACUMULACIÓN	VALOR	DESCRIPCIÓN
Simple	1	Cuando la acción se manifiesta sobre un solo componente o cuya acción es individualizada
Acumulativo	4	Cuando la acción al prolongarse el tiempo incrementa la magnitud del efecto

Efecto: el impacto de una acción sobre el medio puede ser “directo” es decir impactar en forma directa, o “indirecto” es decir se produce como consecuencia del efecto primario el que, por tanto, devendría en causal de segundo orden.

Tabla 15. Efecto (EF).

EFEECTO	VALOR	DESCRIPCIÓN
Indirecto o secundario	1	En caso de que el impacto sea indirecto
Directo o primario	4	En caso de impacto directo al medio

Periodicidad (PR): este atributo hace referencia al ritmo de aparición del impacto.

Tabla 16. Periodicidad (PR).

PERIODICIDAD	VALOR	DESCRIPCIÓN
Irregular	1	cuando la manifestación del efecto es discontinuo e impredecible
Periódico	2	Presenta cierta regularidad los efectos con respecto al tiempo
Continuo	4	Efectos continuos en el tiempo

Importancia del Impacto: La importancia del efecto de una acción sobre un factor ambiental, es la estimación del impacto en base al grado de manifestación cualitativa del efecto. La importancia del impacto viene representada por un número que se deduce mediante el modelo matemático de las ponderaciones de los atributos de los impactos anteriormente mencionados. Según Fernández⁴¹, la importancia del impacto se puede expresar a través de la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Los valores de Importancia del Impacto varían entre 13 y 100, y se clasifican como:

	Irrelevantes cuando presentan valores menores a 25.
	Moderados cuando presentan valores entre 25 y 50.
	Severos cuando presentan valores entre 50 y 75.
	Críticos cuando su valor es mayor de 75.

6.6. Zonificación del manejo ambiental

La zonificación de manejo buscó evaluar la vulnerabilidad de las unidades ambientales (zonificación ambiental) ante la construcción y operación del proyecto.

⁴¹ FERNÁNDEZ-VÍTORA, V. C. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Mundi-Prensa Libros, 2009.

El análisis de las unidades de manejo se realizó de manera cualitativa y cuantitativa utilizando sistemas de información geográfica. La evaluación definió las restricciones de tipo abiótico y socioeconómico.

Se agruparon las unidades en las siguientes áreas de manejo:

- Áreas de exclusión.
- Áreas de intervención con restricciones
- Áreas de intervención

A partir de este nivel de sensibilidad de la oferta ambiental, se determinó el nivel de intervención en función de los requerimientos de las diferentes actividades proyectadas de tal manera que se garantizara la sostenibilidad ambiental del área.

6.6.1. Áreas de exclusión. Se definieron aquellas áreas que por su valor ecológico, ambiental, social, cultural, antropológico u otro similar son fundamentales para el mantenimiento de las áreas naturales, procesos ecológicos y de otros tipos. Para el caso del área de estudio se dividió en dos categorías:

Áreas de exclusión por criterios ambientales (AEA): se determinaron las áreas de importancia ambiental en el área de influencia del proyecto, las que corresponden a las coberturas de arbustos y matorrales y zonas pantanosas.

Área de exclusión por criterios de no propiedad (AEP): estas áreas se determinaron por estar fuera del predio seleccionado para la implementación de sistema propuesto, aunque pertenecen al área de influencia indirecta del predio. En esta área no es posible adelantar actividades.

Las áreas pertenecientes a las categorías presentadas no podrán ser intervenidas, ocupadas, alteradas o modificadas como consecuencia del desarrollo de programas, obras y actividades en la construcción, operación y abandono del proyecto referido a al sistema de tratamiento de lodos aceitosos propuesto.

6.6.2. Áreas de intervención con restricciones (AIR). Se trata de las áreas donde se desarrollarán los manejos especiales y restricciones acordes con las potencialidades, fragilidades y vulnerabilidades ecosistémicas que ameritan tanto manejos preventivos como mitigatorios particulares.

Las áreas pertenecientes a esta categoría corresponden a la canalización de escorrentías naturales, las cuales presentan unidades disipadoras de energía, pre-sedimentadores y trampas de grasa por contingencias por fugas de aceites.

6.6.3. Áreas de intervención. Son las áreas que se encuentra ubicadas en el área de influencia directa de proyecto y allí se construirán los equipamientos para el tratamiento de lodos. Para el caso del área de estudio se divide en dos categorías área de intervención construcción operación y área de intervención compensación.

Área de intervención construcción operación (AICO): esta área se encuentra destinada para la construcción de las obras principales del proyecto, se distribuye en tres plataformas, una para el tratamiento biológico de lodos, otra para la plata de tratamiento de agua proveniente de la deshidratación de lodos, áreas administrativas y otra para la construcción de piscinas de contingencias.

Es importante resaltar que las coberturas actuales son de pastos limpios y que en años anteriores era un área de tratamiento de lodos.

Área de intervención compensación (AIC): esta área está destinada a la compensación por actividades que generan impacto total en la construcción y operación del proyecto. Estas áreas serán objeto de reforestación con especies nativas a lo largo de la vida útil del proyecto.

6.7. Plan de manejo ambiental

A partir de la evaluación ambiental desarrollada para el proyecto se formularon las estrategias, programas y proyectos orientados al establecimiento de medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación.

Las medidas de manejo ambiental contienen aspectos como: tipo de impacto, tipo de medida, localización, objetivos, metas, descripción técnica, actividades, cronograma, costo y responsable.

Se definieron los indicadores ambientales de evaluación y seguimiento para permitan evaluar el cumplimiento y efectividad de las medidas de manejo planteadas.

En el plan de manejo ambiental se incluyeron las medidas para reducir o evitar impactos mediante estrategias o alternativas de localización, cambios en el diseño o configuración del proyecto, cambios en los métodos o procesos, tratamiento de vertimientos y emisiones, cambios en los planes y prácticas de implementación, medidas para reparar o remediar impactos y medidas para compensar impactos, entre otros.

Se integró el plan de manejo ambiental con las actividades del proyecto, considerando que los impactos más significativos son generados en una o varias de las etapas del proyecto. Por medio de la evaluación de impactos potenciales se predijo en cuál etapa sucederá el fenómeno y se diseñó un programa, obra o acción para controlar su efecto o que sea mitigado.

Para el manejo ambiental se establecieron 8 fichas ambientales, las cuales presentan el manejo de aguas de escorrentía superficial, manejo de aguas residuales domésticas e industriales, manejo del descapote y revegetalización, manejo de residuos sólidos, manejo de suelos, manejo de material particulado y gases, manejo de flora y fauna y capacitaciones, cuyo propósito tiene que ver con la construcción operación y abandono del sistema propuesto para el tratamiento de lodos aceitosos.

7. RESULTADOS

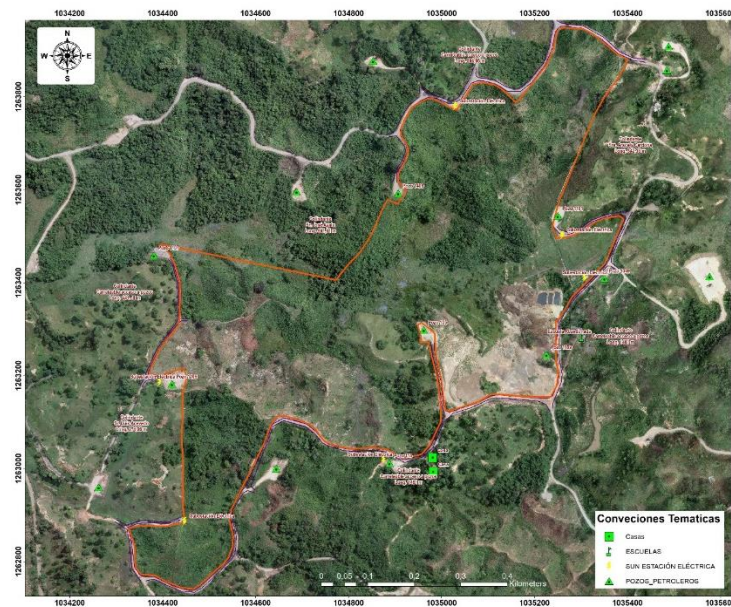
En el presente trabajo se propone un sistema para el tratamiento y la disposición final de los lodos base agua y aceite, generados en el proceso de extracción y refinación del petróleo de la empresa colombiana de petróleos ECOPETROL. Específicamente, se abordó el caso del campo la Cira Infantas, que contempla 3 bloques de producción. Se formuló el Plan de Manejo Ambiental (PMA) de acuerdo con los lineamientos legales establecidos por la normatividad colombiana.

7.1. Localización

La implementación del PMA requirió inicialmente la delimitación de un área cercana al proceso de producción del hidrocarburo. Para el caso específico del presente estudio se contempló la selección de un predio denominado El Lomaral, en el cual se construiría la planta con el propósito de realizar la recolección, almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, recuperación y disposición final de lodos aceitosos y base agua generados en el área de influencia del campo Cira Infanta. El predio está localizado en la vereda Planta Nueva del municipio de Barrancabermeja, en el departamento de Santander. El área del lote es de aproximadamente 51,12 ha, de las cuales se intervendrían 6 ha. En la siguiente figura 1 se observa el área del predio seleccionado para la construcción del sistema propuesto de tratamiento de lodos aceitosos.

El predio está localizado estratégicamente por hallarse ubicado en el cruce de vías terciarias veredales, lo que permite accesos directos. El estado de las vías tiene una capa de rodadura con riego de asfalto de crudo de castilla facilitando la movilidad. Cuenta con servicios de luz y agua, este último prestado por el acueducto de la vereda. Con respecto al servicio de alcantarillado este se realiza con tratamientos primarios de pozos sépticos.

Figura 1. Localización del predio seleccionado y los pozos petroleros existentes



Fuente: Adaptado de aerografías Base IGAC⁴².

El área de estudio abarcaría un sistema 19 pozos de extracción de crudo, algunos en servicio y otros ya clausurados, perteneciente al proyecto Cira Infantas, el cual cuenta con una red vial de comunicación entre los diferentes pozos y conectividad con las áreas veredales, suburbana y urbana.

La cobertura vegetal existente es el producto de las medidas de restauración ambiental de los proyectos de explotación, además su morfo-dinámica ha sido modificada a lo largo de varias décadas. En el área se observa la contaminación producto de derrames de crudo, que por procesos de interacción con el agua lluvia, estos afloran del suelo en épocas invernales.

⁴² IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014. Disponible en Internet: <https://geoportal.igac.gov.co/>

Existe un antecedente consignado en la resolución No. 1641 del 7 de septiembre del 2007, emanada por el Ministerio de Medio Ambiente, en el numeral 2.3, respecto a la Audiencia Pública, en la cual se definieron los sitios en los cuales se evidenciaba contaminación, en donde se referencia la contaminación por actividades de explotación y transporte de fluidos en la vereda Planta Nueva, en la cual se proyecta la construcción de un equipamiento para el tratamiento de lodos petroleros.

7.2. Criterios para la determinación del área de influencia ambiental

La definición y la determinación del área de influencia del proyecto “Planta de tratamiento y disposición de lodos aceitosos” se sustenta por las consideraciones de carácter ambiental y social que justifican la interrelación de las actividades de construcción, implementación y manejo de la planta de tratamiento de Lodos provenientes de la Industria petrolera.

Para tener una mayor comprensión y facilidad de análisis de la situación ambiental de la zona, el área de influencia se subdividió en: directa e indirecta. En este sentido, la determinación del área de influencia se definió utilizando criterios ambientales y los cuales se señalan a continuación.

- **Área de Influencia Directa (AID)**

Correspondería al área de construcción de la planta de tratamiento y disposición de los lodos aceitosos, en donde se presentarían los impactos ambientales con mayor intensidad debido a la ejecución de las etapas de construcción, operación y manejo.

Este espacio contaría con un área de 6,09 ha. Se establece que los posibles impactos por la operación del proyecto no tendrían una repercusión fuera del área demarcada.

- **Área de Influencia Indirecta (AII)**

Se estableció con base en las áreas o sectores que generan influencia en los flujos o conexión con la planta. Para el caso particular se estableció una franja de 150 m a la redonda del área de influencia directa.

Este espacio contaría con un área de 22,30 ha, las cuales pertenecen a un sistema de extracción petrolero activo, además de algunos proyectos de restauración ecológica. En la siguiente figura se muestra el AID y el AII.

Figura 2. Delimitación de influencia Directa e Indirecta.



Fuente: Adaptado de aerografías Base IGAC⁴³.

⁴³ IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014. Disponible en Internet: <https://geoportal.igac.gov.co/>

7.3. Descripción técnica del proyecto

El sistema propuesto se proyectó según la norma RAS (2017) para una vida útil de 25 años contados a partir de la expedición de la Licencia Ambiental por parte de la Autoridad Ambiental Competente.

- **Topografía del terreno**

El terreno de implantación del proyecto está dividido en tres lotes de 1,3; 1,7; y 1,78 ha, respectivamente. Cada uno ha sido morfológicamente alterado de manera antropológica, por el uso que se le ha dado con anterioridad por la industria petroquímica. Sin embargo, los lotes conservan algunas características naturales, que permiten manejar hidráulicamente las escorrentías naturales.

El terreno no presenta problemas de manejo de aguas superficiales, pues estas drenan siguiendo las diferencias actuales del nivel del terreno. Tampoco hay presencia de acuíferos libres. Sin embargo, se recomienda diseñar un sistema de drenaje para conducir las aguas causadas por escorrentía superficial.

Del terreno objeto del estudio se levantó topográficamente tanto su planimetría como su altimetría. Las características particulares de las vías terciarias que confluyen al lote exigen un rediseño geométrico (alineamientos horizontales y verticales), para evitar riesgos en el transporte del fluido. Adicionalmente, se requiere un programa de mantenimiento que incluya reparcheos, construcción de cunetas, obras de control de erosión y manejo de aguas.

- **Distribución espacial de la planta de tratamiento de lodos**

Cada uno de los tres lotes tendría un uso específico de acuerdo con los procesos unitarios que allí se desarrollarían y el tipo de residuo a tratar.

El lote 1 se destinaría para la construcción de dos piscinas de recepción de lodos base aceite o agua, los cuales se generan cuando hay una contingencia

ocasionada por derrames en las instalaciones petroleras en producción. Las piscinas estarán diseñadas con un tiempo de retención hidráulica que permita la sedimentación parcial de por lo menos un 30 % de los lodos y posteriormente se enviarían al tren de cargas, para separar las aguas aceitosas de los lodos.

En el lote 2 se encontrarían diferentes zonas, entre ellas las administrativas, de control, recepción, laboratorios, zonas de parqueo. Adicionalmente, se en este lote se ubicarán los procesos unitarios operativos del tren de tratamiento para tratar los lodos aceitosos base agua y aceite. Igualmente, se ubicarían zonas de puntos ecológicos para el manejo de los residuos peligrosos generados en la operación y los residuos domésticos generados por las áreas administrativos.

En el lote 3 se hallaría una vía para comunicar con el lote 2, para trasladar los lodos con una humedad inferior al 30 % que provienen de la centrifuga. Para estos lodos se dispondría unas eras longitudinales para desarrollar el proceso de biorremediación. Las eras ocuparían más del 80% del área total del lote, y en la parte inferior de este se ubicaría un humedal artificial y el campo de irrigación de los efluentes generados. Está zona tendría barreras naturales, y encerramiento para evitar la invasión de especies de fauna en el área de trabajo.

La selección de los lotes y su respectivo uso obedeció a criterios tales como: atributos físicos (topografía e hidrología), y a la lógica de conectividad de los procesos y su secuencia de desarrollo.

A continuación, se muestra de forma general el uso que se desarrollaría en cada zona.

Figura 3. Distribución espacial planta de tratamiento.



7.3.1. Infraestructura del diseño técnico conceptual del proyecto. Para el diseño de cada área (lote 1, 2 y 3) fue necesario establecer los procesos unitarios que permitirían definir el tren de cargas en sus tratamientos primario, secundario y terciario.

La definición de los procesos unitarios se realizó a partir de la concentración fisicoquímica y biológica de los lodos, determinada por los estudios del ICP; dicha información se relaciona en la descripción del problema de este proyecto.

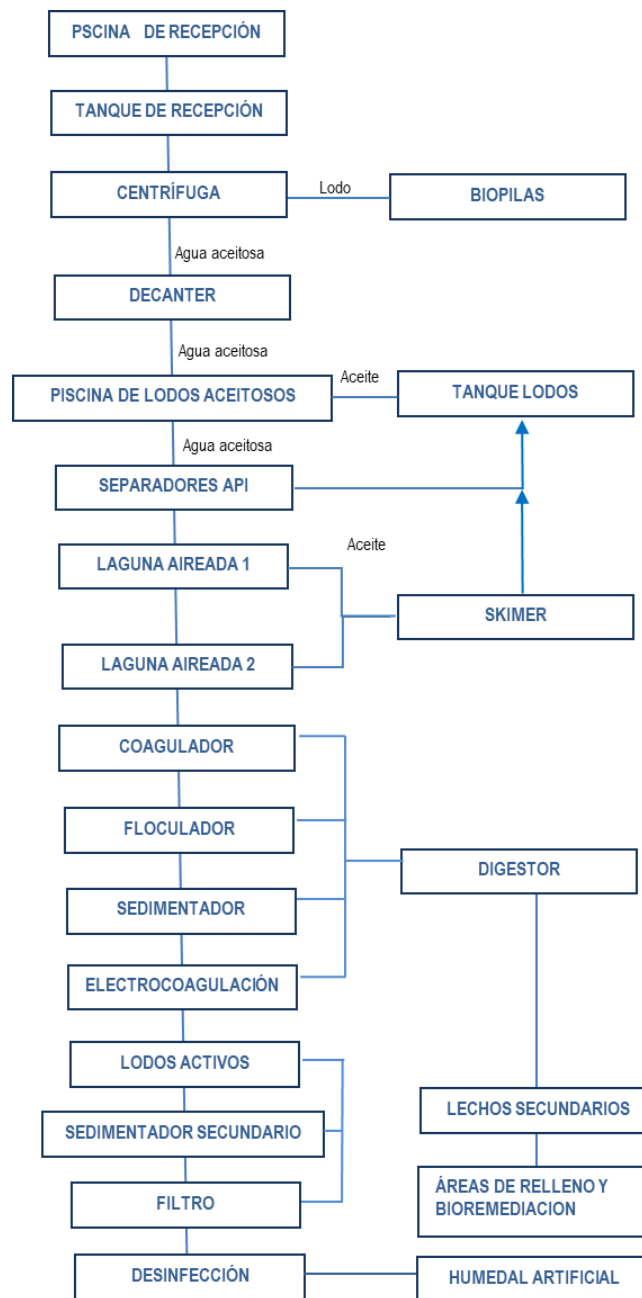
Posteriormente se definieron las secuencias del tren de cargas previsto. Para ello se hizo necesario la revisión de estudios similares realizados en Colombia y en el exterior con el propósito de determinar las tecnologías más eficientes para el tratamiento de lodos aceitosos y la función de cada una de las partes del sistema en cuanto a remoción de material contaminante, de modo que su implementación permitiera alcanzar los niveles permisibles por la legislación en cuanto al tratamiento y disposición final de este tipo de residuo.

Los procesos que contemplan el tren de cargas del sistema de tratamientos propuesto para los lodos aceitosos se presentan en la figura 4.

7.3.2. Instalaciones de la planta. La planta de tratamiento de lodos contaría con las siguientes áreas para el desarrollo de sus actividades:

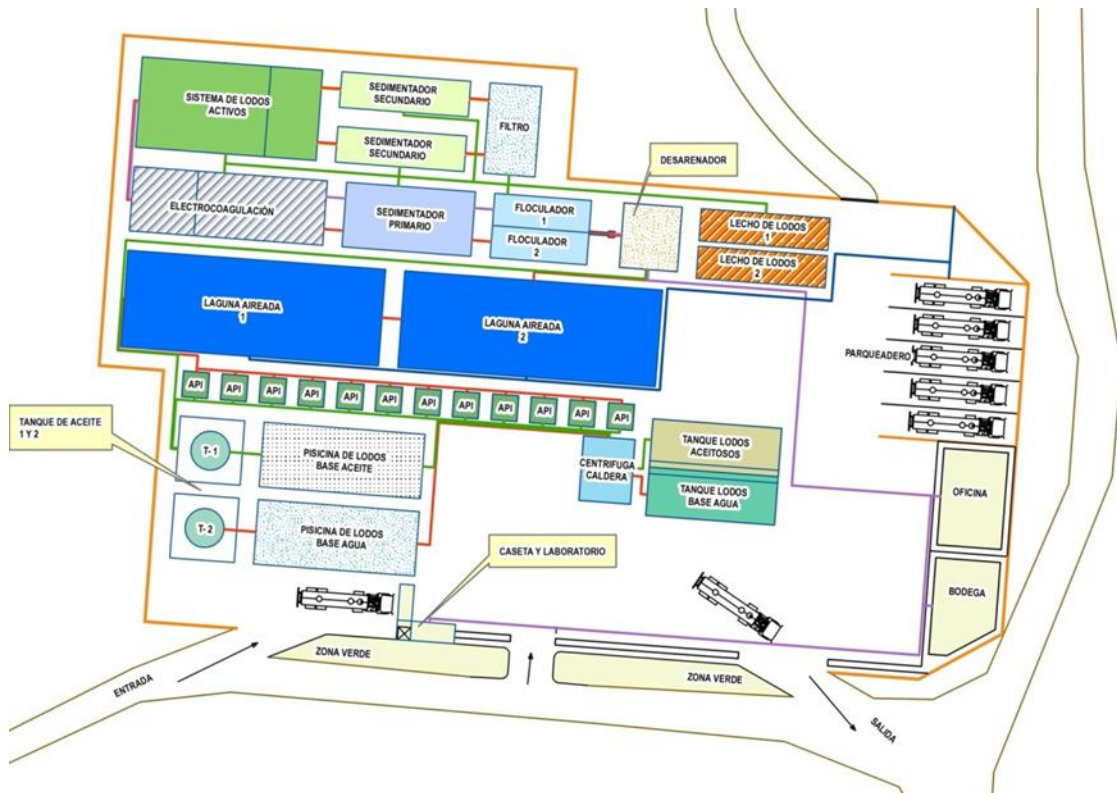
- Área de recepción y descarga.
- Área de almacenamiento.
- Zona de disposición de residuos sólidos.
- Pista de Biorremediación.
- Zona del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (STARI).
- Laboratorio Ambiental.
- Área de aspersión.
- Zona de descanso
- Cuarto de alojamiento de personal.

Figura 4. Diagrama de flujo de procesos para el sistema de tratamientos propuesto para los lodos aceitosos.



En la siguiente figura se observa la distribución del lote 2. En esta área se encontraría la planta de tratamiento de aguas industriales y domésticas, la zona de parqueo, áreas de bodegas, recepción, laboratorio y oficinas.

Figura 5. Planta de tratamiento de aguas industriales procedentes de la deshidratación de lodos



7.3.3. Descripción de los procesos que conforman el sistema propuesto

- **Recepción de lodos**

La recepción y registro de ingreso de lodos se realizaría por medio de un formato de ingreso, en el cual se tomarían los datos de cada vehículo que ingresa a la planta, tipo de residuo, volumen, sector de procedencia, cliente y transportador. Posteriormente, esta información se emplearía para disponer el residuo en el proceso de tratamiento correspondiente.

Los procesos unitarios para el tratamiento de las aguas residuales industriales procedentes de la deshidratación de lodos se describen a continuación.

- **Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (STARI)**

El tratamiento de los residuos líquidos industriales se realiza mediante el desarrollo de los siguientes procesos:

Descarga: luego de su registro, clasificación y pesaje de los vehículos se procedería a descargar las aguas para iniciar la fase de tratamiento. La planta contaría con cuatro puntos para el descargue de aguas residuales industriales, distribuidos así: dos lagunas de recepción para manejo de contingencias, dos tanques de recepción para lodos base agua y aceite.

Tratamiento primario: la fase inicial de tratamiento consistiría en la separación de partículas discretas y de compuestos insolubles (grasas y aceites) mediante los siguientes procesos: se depositarían los lodos mediante bombas a presión en los tanques de recepción; en estos recipientes se adicionarían coagulantes para ayudar a separar partículas discretas, luego por bombeo se enviaría a un proceso de centrifugado para separar los lodos del aceite o los lodos del agua, de la centrifuga. El lodo separado se descargaría mediante la tolva de lodos hacia los vehículos de cargue, el agua aceitosa se enviaría a una piscina para una posterior sedimentación y flotación respectivamente. Las aguas se conducirían a través de un tren de separadores API con un tiempo de retención hidráulica de 2 h por unidad. Esto posibilitaría que se genere en la parte superior del fluido una película de aceite, la cual se retiraría periódicamente, mediante la evacuación de aguas en tratamiento del primer compartimiento, en donde se quedaría la mayor parte del fluido aceitoso. La parte inferior de la estructura contaría con una válvula para la descarga por gravedad el fluido a un tanque de 6000 galones. Posteriormente, el agua (con reducido contenido de grasas y aceites), se conduciría hacia la piscina.

Tratamiento secundario: Posteriormente las aguas se conducirían a dos piscinas aireadas configuradas para operar en serie. El proceso de aireación se realizaría por medio de compresores de 185 pie³/min a través de un sistema de

flautas. Así mismo, se realizaría recirculación y aireación a través de cañones ubicados en la parte lateral de cada una de las piscinas. Paralelamente se daría inicio a tratamiento químico en el cual se suministrarían agentes para degradar los hidrocarburos.

La aireación del agua residual es de importancia para eliminar sustancias volátiles tales como CO_2 , H_2S , CH_4 , N_2 entre otros, además permitiría el desarrollo de comunidades bacterianas para realizar un proceso de biodegradación de TPH's, sólidos en suspensión y fracciones orgánicas del efluente, reduciendo la demanda química y biológica de oxígeno (DQO Y DBO). El volumen de la piscina 1 más la piscina 2 sería de aproximadamente 12.000 m^3 . Los muros que separarían entre sí las piscinas (altura aproximada 2,90 m), cuentan con tres tubos instalados a 60 cm del fondo, los cuales llevarían un sistema para suspender o dar paso hacia la siguiente piscina. Este sistema permitiría desocupar y realizar el mantenimiento periódico.

Tratamiento terciario: en la actualidad el tratamiento biológico aeróbico ha resultado ser eficiente para aguas residuales e industriales especialmente para la degradación de compuestos químicos con resistencia a la biodegradabilidad, tales como hidrocarburos y fenoles. El tratamiento terciario se basa en la implementación de este tipo de sistema.

Las aguas de la piscina No. 2 serían bombeadas a cinco unidades RedFox adecuadas específicamente para el tratamiento de aguas residuales industriales. Las unidades estarían configuradas en paralelo, por lo cual las aguas pasarían a una de las cinco unidades para su tratamiento. Cada unidad operaría de manera análoga a un reactor secuencial de flujo discontinuo. La operación de cada reactor se basa en el principio de llenado-descarga, el cual contempla los procesos unitarios de llenado, reacción por aireación, sedimentación y descarga.

Llenado: el primer compartimiento en el reactor correspondería al contenedor en el cual se realiza el proceso de llenado con aireación. En esta etapa se llevarían a cabo dos procesos: en primer lugar, la generación de burbujas por medio de difusores situados en la parte inferior del tanque, lo cual permitiría que componentes inmiscibles, tales como aceites y grasas remanentes, floten y sean removidos posteriormente por medios mecánicos. En segundo lugar, la aireación es fundamental para el desarrollo de comunidades bacterianas asociadas a este tipo de efluentes, las cuales ejercerían un proceso de biodegradación de agentes que persisten en las aguas en esta etapa. El reactor proveería condiciones de aireación más homogéneas que las piscinas y, por tanto, se daría inicio a reacciones aeróbicas que se completan en el paso de reacción.

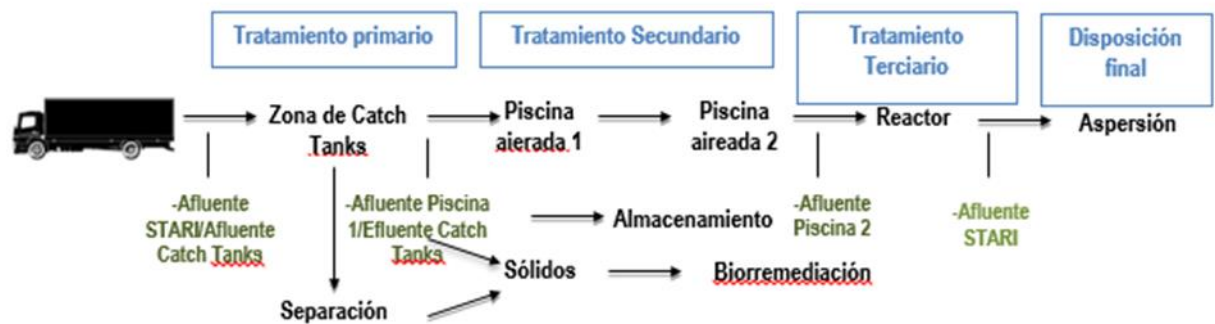
Reacción por aireación: en esta etapa se completarían las reacciones aeróbicas iniciadas durante el llenado aireado. La finalidad es realizar una mezcla de lodos con el agua dispuesta en el contenedor. El sistema permitiría realizar un procedimiento de recirculación de los lodos generados en el compartimiento de sedimentación al compartimiento de aireación. El propósito de esta etapa sería poner en contacto el material generado con altas concentraciones de comunidades bacterianas asociadas al efluente, con la finalidad de degradar los constituyentes persistentes en esta etapa del proceso. Fundamentalmente, se buscaría la remoción en esta fase de reacción de la DBO, DQO, SST, grasas, aceites, hidrocarburos totales y fenoles.

El compartimiento de sedimentación también contaría con retornos hidroneumáticos que evitarían que el lodo pierda propiedades y los regresa al sistema para que se regeneren. Este proceso aumentaría paulatinamente la eficiencia de la unidad. El diseño ofrecería una operación excelente y no requiere mantenimiento; solo limpieza rutinaria e inspección visual. El Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) variaría entre 6 y 8 h, y el tiempo de retención celular entre 15 y 20 días.

Disposición final: el efluente se dispondrá en cinco tanques ubicados en la parte posterior del sistema de reactores. Posteriormente, según sea requerido, el agua se bombeará al campo de aspersión donde se realizaría su disposición final (previa supervisión de cumplimiento de los parámetros establecidos por la normatividad ambiental).

En la siguiente figura se sintetiza el esquema del procedimiento de tratamiento de residuos líquidos. En la planta de tratamiento de aguas industriales se relacionan las etapas realizadas (azul), y en el cual se indican los puntos de monitoreo establecidos para análisis de laboratorio (verde).

Figura 6. Síntesis del proceso de tratamiento de residuos líquidos.



- **Tratamiento de residuos sólidos**

El tratamiento de los lodos provenientes del sistema de deshidratación tiene como finalidad mineralizar los constituyentes de los lodos, de tal forma que se reduzca su carga contaminante y el producto obtenido pueda ser aplicado en proyectos de reforestación o de paisajismo. A continuación, se describe el proceso de tratamiento a desarrollar.

Biorremediación: El proceso de biorremediación de los lodos provenientes de la industria petroquímica se realizaría por medio de las siguientes etapas:

Recepción e ingreso del material a la planta: luego de su ingreso a la planta, el material a tratar sería dispuesto en una pista de biorremediación que tendrá un área de 1 ha.

Preparación del terreno, inoculación y adición de nutrientes: luego de la deshidratación y estabilización del material, se llevaría a cabo la preparación del terreno. Después de realizar la disposición del terreno se extendería el material y se realizaría la incorporación de agentes microbiológicos conformados por cepas bacterianas. Así mismo, se realizaría la incorporación de nutrientes en proporciones definidas con la finalidad de estimular el crecimiento y desarrollo de los microorganismos y garantizar la viabilidad de las bacterias incorporadas.

Mezcla de suelo contaminado con tierra o material recuperado: seguidamente el material se mezclaría con tierra y material recuperado. Se aplicaría sobre la capa de lodo una capa de tierra de aproximadamente 30 cm y se procedería a mezclar la tierra con el material a tratar hasta obtener un material uniforme, con ayuda de una retroexcavadora.

Aireación y mantenimiento de la humedad: la actividad bacteriana requeriría un ambiente aerobio. Por tanto, esta etapa constituiría uno de los pasos más importantes del biotratamiento. La aireación se realizaría diariamente empleando una retroexcavadora sobre orugas y un tractor con arado. Tres meses luego de iniciado el proceso se llevaría a cabo un segundo muestreo para realizar el análisis correspondiente en laboratorios acreditados de metales, TPH's, entre otros parámetros contemplados en la normatividad. Posteriormente, se daría el visto bueno para la salida del material tratado.

Retiro de suelos recuperados: luego de analizar los resultados de laboratorio de las muestras de suelo procesadas y después de haber recibido su visto bueno para la salida, se procedería a retirar el material recuperado de la pista de biorremediación y se dispondría en un área al interior de la planta, para el

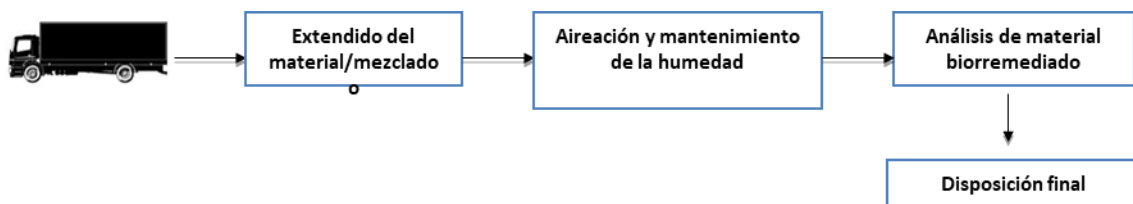
desarrollo de procesos de paisajismo interno y para ser remezclado en el tratamiento de nuevo material contaminado. A continuación, se relacionan los parámetros para tener en cuenta con sus respectivos límites permisibles, y en la figura se muestra el diagrama de flujo para el tratamiento de residuos sólidos.

Tabla 17. Relación de parámetros contemplados en el protocolo Louisiana 29B.

Suelo Biodegradado	
Parámetro	Límite de Calidad Admisible
pH	6 -9 Unidades
Conductividad	< 4000 mmhos/cm
Humedad	20%
Grasas y Aceites	1 % en peso
BTEX	1 mg/kg
TPH	< 1%
HAPT - Carcinogénicos	20 mg/kg
Arsénico	10 mg/kg
Bario	20000 mg/kg
Cadmio	10 mg/kg
Cromo	500 mg/kg
Plomo	500 mg/kg
Mercurio	10 mg/kg
Selenio	10 mg/kg
Plata	200 mg/kg
Zinc	500 mg/kg

Fuente: Protocolo Louisiana 29 B⁴⁴.

Figura 7. Esquema del procedimiento de tratamiento de residuos sólidos relacionando las etapas realizadas en biorremediación.



⁴⁴ DNR. Louisiana Administrative Code. Statewide Order No. 29-B-a. Department of Natural Resources, Office of Conservation, 2010.

7.3.4. Construcción. El plan de construcción de obras y adecuaciones de la planta de tratamiento se ejecutaría en 3 fases.

- **Primera fase**

Se ejecutarían las obras de construcción que incluyen: adecuación de oficinas, bodegas, parqueaderos, laboratorio, piscinas cubiertas, obras para el sistema de control y manejo de aguas lluvias, se incluye en esta fase lo relacionado con obras civiles, excavaciones y construcción de estructuras de cimentación en concreto.

Estas actividades exigen para su control de calidad pruebas de ensayo para estabilidad de los suelos, pruebas de densidad y resistencia de materiales, de acuerdo con el estudio de suelo.

Previo a su inicio, se adelantarían labores de descapote y conformación de las áreas de operación, excavaciones del suelo, en un volumen promedio de 39.199,2 m³ en total para el proyecto; el dato volumen de movimiento del material será reportado a medida que se vayan desarrollando las obras en los Informes de Cumplimiento Ambiental.

Movimiento de maquinaria y equipo: Para las obras civiles de remoción de cobertura vegetal (pastos), excavaciones, rellenos, construcción de canales perimetrales y demás estructuras en concreto. Las horas máquina a emplear para la etapa inicial será de 1.300 h aproximadamente. Se pretendería al máximo no realizar tala de árboles, pues los únicos árboles se hallan como cercas vivas.

Construcción de piscinas de recepción y almacenamiento: para la recepción de fluidos se construirán tres piscinas de 2.025 m³ de capacidad cada una, para un total de 6.075 m³, de dimensiones 15 m ancho x 45 m largo x 3 m profundidad, revestida en geomembrana de HDPE 60ML y techadas con cubierta en teja termo acústica, para evitar derrames por aumento en los niveles de la lámina de agua, dentro de las piscinas causada por las lluvias. Estas piscinas sólo

serán de recibo de fluidos (aguas aceitosas y salmueras) y se usarán como zona de transición hacia las diferentes áreas de tratamiento en función del tipo de fluido.

Construcción de piscina de efluente final de aguas tratadas. Para el almacenamiento del efluente final del agua tratada que sale del sistema de tratamiento, se construirán dos piscinas de 400 m³ de capacidad, cada una con unas dimensiones de 10 m ancho x 20 m largo x 2 m profundidad, revestida en geomenbrana de HDPE 60ML. Esta piscina no tendría cubierta ya que el agua que aquí se almacenaría cumpliría con los requisitos exigidos por el decreto 1594 de 1984 y el Decreto 3930 de 2010 para vertimiento. Esta piscina sería solo de recibo de aguas tratadas.

Construcción de piscinas de almacenamiento de borras, lodos y suelos contaminados en el área operativa: Para la recepción de borras, lodos y suelos contaminados se construirán dos piscinas de 400 m³ de capacidad cada una, para un total de 800 m³, con unas dimensiones de 10 m ancho x 20 m largo x 2 m profundidad, revestida en geomenbrana de HDPE 60ML y techadas con cubierta en material termo acústico, para evitar derrames por lluvias. En estas piscinas se aplicarían coagulantes para disminuir los sólidos y luego se enviarían a las centrífugas, las cuales separarían el lodo del agua.

- **Segunda fase**

Se contempla la instalación de equipos para el tratamiento de aguas (unidad de centrifuga, unidad de separación lodos de aguas aceitosas y tanques de almacenamiento de crudo). Luego se tendría el proceso de tratamiento de separación de grasas y aceites llamados unidades API. De ahí se enviarían a las piscinas de aireación y se daría inicio al tratamiento fisicoquímico con las unidades de coagulación, floculación y sedimentación. En este proceso se adicionarían coagulantes, y finalmente irían las unidades de lodos activados, sedimentación

filtración, desinfección; los lodos provenientes de las anteriores unidades se enviarán a los lechos de lodos.

- **Tercera fase**

Se construirían las biopilas, *landfind*, celdas de seguridad, pozo de dilución, la zona de almacenamiento de maquinaria, la planta para el proceso de preparación de fluidos salinos, la zona de tratamiento químico y biológico, y finalmente un humedal de flujo subsuperficial.

Construcción de eras de biorremediación por biopilas: las eras tendrían dimensiones de 70 x 5 x 0,55 m. Para esta actividad se utilizarían retroexcavadoras, buldócer, cargador y tractor. La tierra removida sería utilizada para la construcción de diques y como material de mezcla de dilución para el proceso de biorremediación, las cuales serían almacenadas en zonas de acopio rodeadas de diques.

Señalización y delimitación de las áreas de trabajo: se colocará señalización adecuada para garantizar la seguridad al personal durante la operación. Ésta incluye cintas reflectivas alrededor de eras y piscinas, carteles denotando la ubicación de las instalaciones, rutas de evacuación y punto de encuentro, así como indicaciones para la seguridad de los visitantes.

7.4. Caracterización de la línea base

A continuación, se señalan la caracterización de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, que permitirán determinar las condiciones ambientales iniciales del área donde se desarrollará el proyecto “Planta de tratamiento de lodos contaminados Lomaral”.

7.4.1. Medio abiótico. La siguiente información permite conocer las condiciones físicas existentes en el área de influencia directa e indirecta del proyecto, además representa un referente del estado inicial antes de la ejecución.

El área objeto de estudio se emplaza en la cuenca media del río Magdalena, mejor conocido como el Valle Medio del Magdalena, ampliamente destacado en el ámbito nacional por sus acumulaciones de hidrocarburos.

Las pruebas SPT (*Standard Penetration Test*) en el terreno indicaron la no existencia de la tabla de agua, sin embargo, en un segundo sondeo se encontró la tabla de agua a 1,8 metros de profundidad. Adicionalmente en los estudios no se detectaron suelos con características especiales, de acuerdo con la definición del NSR-10 (1997).

Según la clasificación de Caldas- Lang⁴⁵, el clima predominante en el sector El Lomarl y sus proximidades es cálido semi – húmedo. La precipitación media multianual es de 2767 mm/año, con un promedio de número de días de lluvias de 169. El predio El Lomarl se localiza a una altura entre 80 – 105 msnm. La amplitud térmica es de 8,3 °C, a lo largo del año puede alcanzar los 30,6 °C, y una temperatura mínima de 22,3°C. La temperatura media anual, según los registros de la estación Aeropuerto Yarigüies, es de 28,2°C, con una humedad relativa media 77%. En la zona se tiene un valor anual de evaporación es de 1528 mm, el brillo solar es de 181 h, y la nubosidad es de 5 octas.

Anualmente, aproximadamente el 65,1 % del agua que precipita pasa a la atmósfera por el proceso de evapotranspiración con un valor medio de 1810 mm; y el 34,9 %, es decir un promedio anual de 969 mm, por efectos de infiltración se transporta a los acuíferos, y el restante hace parte de la escorrentía superficial y subsuperficial.

⁴⁵ IDEAM. Clasificación Climática Caldas - Lang. 2017. Disponible en Internet: <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Clasificaci-n-Clim-tica-Caldas-Lang-2012/3akx-3ph5>.

Teniendo en cuenta el área del predio El Lomaral que es de 51,12 ha, es decir 0,5112 km² y aplicando un factor de trasposición de caudales o rendimiento hídrico de 0,044 m³/s/km², se obtiene que el terreno puede generar un promedio de 22,5 L/s de agua de escorrentía superficial. Cabe anotar, que el factor de trasposición está sujeto a la información de la estación Puente Carretera, la cual solo presenta once años de registro de caudales de la quebrada El Zarzal, y no se tiene en cuenta las transformaciones del paisaje, ocurrencia de fenómenos naturales, cambios de uso del suelo, y todas aquellas acciones que puedan transformar el régimen hidrológico del sector. Sin embargo, aún es una región de alta pluviosidad en el territorio de Santander, con un alto poder erosivo.

7.4.2. Medio biótico. Se utilizó un mosaico de fotos tomadas en agosto de 2009 y corroboración en campo en el año 2014. Debido a que la zona tiene uso industrial donde se localizan 19 pozos petroleros y que, además, la zona ha sido utilizada para procesos de biorremediación de suelos, las especies que allí se encuentran son producto de siembras por restauración. El desarrollo de la industria ha modificado las condiciones naturales del entorno de estudio, por lo que se hace difícil encontrar ecosistemas endémicos debido a las dinámicas de desplazamientos que ha generado la explotación de hidrocarburos.

En la siguiente tabla se relacionan las coberturas del área de estudio.

Tabla 18. Cobertura del área de estudio.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Cobertura	Área (m ²)	Área (Ha)	(%)
Territorios Artificializados	1.1 Zonas Urbanizadas	1.1.2 Tejido urbano discontinuo	Casa	953,12	0,095	0,34
			Escuela	3684,60	0,368	1,30
	1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación Redes de Comunicación	1.2.1 Zonas industriales o comerciales	Vías terciarias	8391,87	0,839	2,96
Territorios Artificializados	1.3 Zonas de extracción mineras y escombreras	1.3.1 Zonas de extracción minera	Explotación Petrolera	4217,07	0,422	1,49
Territorios Agrícolas	2.3 Pastos	2.3.1 Pastos Limpios	Pastos mejorados	52255,23	5,226	18,40
		2.3.3 Pastos enmalezados o enrastrados	Pastos naturales	67677,97	6,768	23,84

Tabla 18. (Continuación).

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Cobertura	Área (m²)	Área (Ha)	(%)
Bosques y área seminaturales	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.3 Vegetación secundaria o en transición	Rastrojos bajos	108511,96	10,85	38,22
Áreas Húmedas	4.1 Áreas Húmedas Continentales	4.1.1 Zona pantanosa	Pantano aguas lluvias	38251,80	3,825	13,47
TOTAL				283943,61	28,39	100,00

7.5. Zonificación ambiental

La siguiente es la descripción de la zonificación ambiental del área de estudio.

7.5.1. Áreas de importancia social. Para la determinación de esta área se tomaron como base los asentamientos humanos, infraestructura física y social. Estas categorías se encuentran localizadas en el área de influencia indirecta del proyecto, encontrando 2 casas de habitación, una escuela abandonada y la infraestructura vial que permite el acceso a la zona de explotación de hidrocarburos y conectividad veredal. Esta categoría corresponde al 4,59 % y es el equivalente al 1,3 ha del área total de estudio.

7.5.2. Área de producción de hidrocarburos. Para la determinación de esta área se tomó como base la ubicación de los pozos de explotación petrolera y las subestaciones eléctricas para su funcionamiento. Esta categoría se encuentra localizada en el área de influencia directa con un pozo e indirecta con un número de 4 pozos. Lo anterior corresponde al 1,48 % y es el equivalente al 0,42 ha del área total de estudio.

7.5.3. Área de recuperación ambiental. El área de estudio se encuentra en medio de un campo petrolero activo, por esta razón se localizaron zonas de compensación ambiental, siendo criterio para la zonificación la cobertura vegetal presente. La morfodinámica de esta área ha sido modificada. Esta categoría se

encuentra localizada en el área de influencia indirecta, con cobertura de vegetación herbácea o arbustiva, y corresponde al 38,21 %, equivalente a 10,85 ha del área total de estudio.

7.5.4. Área de producción económica. Los criterios para determinar las zonas homogéneas de producción económica se basaron en actividades como la agricultura o la ganadería. Las zonas de producción agrícola se encuentran distribuidas en el área de influencia directa e indirecta, siendo los pastos mejorados, pastos naturales y sabanas las características base para la zonificación. Esta categoría corresponde al 42,25 % y es el equivalente a 11,99 ha del área total de estudio, del cual el área de influencia directa cuenta con un 21,45 % que equivale a 6,09 ha y el área de influencia indirecta con 20,80 %, equivalente al 5,90 ha.

7.5.5. Área de riesgos y amenazas. Los criterios para determinar esta categoría se basaron en eventos de deslizamientos o inundaciones. El área de estudio cuenta con una zona de inundación producto de la escorrentía superficial y del cambio en la dinámica hídrica por la actividad de explotación de hidrocarburos, las cuales históricamente modificaron la morfo dinámica de la zona. El área inundada no es un humedal sino una zona de empozamiento en puntos ciegos por efectos de la lluvia. Esta categoría corresponde al 13,47 % y es equivalente a 3,82 ha del área total de estudio.

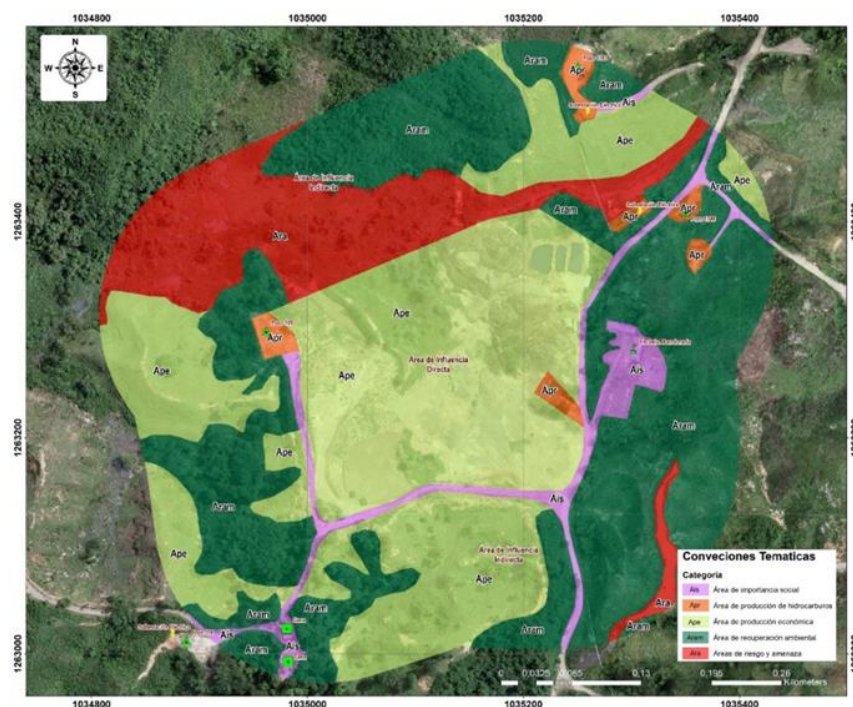
En la siguiente tabla se referencian las categorías utilizadas en la zonificación ambiental para el proyecto.

Tabla 19. Zonificación Ambiental.

<i>Categoría</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Porcentaje</i>
Área de producción de hidrocarburos	Apr	0,42	4199,81	1,48
Área de recuperación ambiental	Aram	10,85	108478,70	38,21
Área de riesgo y amenaza	Ara	3,82	38249,58	13,47
Áreas de importancia social	Ais	1,30	13015,81	4,59
Área de producción económica	Ape	11,99	119933,20	42,25
TOTAL		28,39	283877,09	100,00

En la siguiente figura se muestran las áreas de zonificación.

Figura 8. Zonificación Ambiental.



Fuente: Adaptado de aerografías Base IGAC⁴⁶.

⁴⁶ IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014. Disponible en Internet: <https://geoportal.igac.gov.co/>

7.6. Evaluación ambiental

A continuación, se relaciona la valoración de los impactos ambientales producto de la implementación, operación y abandono del proyecto.

7.6.1. Calificación de impactos ambientales componente medio físico general área de influencia directa e indirecta. Para el componente medio físico se hizo referencia a una visión general del proyecto en el cual se tuvieron en cuenta las afectaciones debido a las actividades desde la construcción y operación. De igual manera se calificó la recuperabilidad del área en la etapa de clausura y restauración ambiental. En la siguiente tabla se referencia el resultado de la evaluación cuantitativa del componente medio físico.

Tabla 20. Evaluación ambiental espacio físico general AID y AII.

Acción	Componente/ Subcomponente		TOTAL	VULNERABILIDAD	
MEDIO FÍSICO GENERAL AID Y AII	Geología y Geomorfología	Modificación de la estabilidad estructural	Transporte terrestre	- 23	IRRELEVANTE
			Movimiento y nivelación de tierras	- 52	SEVERO
			Mejoramiento de vías y accesos	- 13	IRRELEVANTE
			Construcción de accesos fijos viales	- 33	MODERADO
			Construcción de campamentos temporales	- 13	IRRELEVANTE
			Emisiones fuentes fijas	- 16	IRRELEVANTE
			Emisiones fuentes móviles	- 16	IRRELEVANTE
			Acopio de material	- 16	IRRELEVANTE
		Reducción de los procesos de erosión	Rehabilitación y Restauración de Áreas Afectadas	+ 33	MODERADO
			Reforestación	+ 48	MODERADO
			Clausura y cierre del proyecto	+ 76	CRÍTICO
			Cierre de accesos	+ 35	MODERADO
	Edafología	Recuperación de la capacidad productiva	Rehabilitación y Restauración de Áreas Afectadas	+ 33	MODERADO
			Reforestación	+ 48	MODERADO
			Construcción de campamentos temporales	+ 0	IRRELEVANTE
			Clausura y levantamiento de estructuras y redes	+ 70	SEVERO

En el siguiente cuadro se describen los impactos positivos y negativos del componente medio físico del área de influencia total del proyecto y que son base de la calificación de la matriz anterior.

Tabla 21. Impactos significativos medio físico general AID Y AII.

MEDIO FÍSICO				
Sub-componente	Actividad	Imp	Vulnerabilidad	Descripción del impacto
Modificación de la estabilidad estructural	Movimiento y nivelación de tierras	- 52	SEVERO	En la construcción y clausura del proyecto, se producirán afectaciones por la modificación y estabilidad estructural, por el volumen del movimiento de suelos, en la conformación de plataformas, excavaciones para piscinas y obras estructurales. Además, se establecen actividades similares en la conformación y clausura definitiva del proyecto.
	Construcción de accesos fijos viales	- 33	MODERADO	La apertura de la vía y su diseño geométrico implica movimientos de suelos, conformación de banca y estructuras de drenaje, las cuales modifican la estabilidad estructural del suelo en el área de influencia del proyecto.
Reducción de los procesos de erosión	Rehabilitación y Restauración de Áreas Afectadas	+ 33	MODERADO	Es un impacto positivo, el cual califica el impacto ambiental de las actividades de rehabilitación y restauración de las áreas intervenidas en la implementación, operación y clausura del proyecto.
	Reforestación	+ 48	MODERADO	Impacto positivo, es el resultado de las medidas de compensación que se realizarán en el área de influencia directa e indirecta, siendo importante que las especies utilizadas para dicha actividad sean nativas.
	Clausura y cierre del proyecto	+ 76	CRÍTICO	Es un impacto positivo que evidencia el compromiso de recuperar toda el área afectada por las obras y actividades realizadas en la construcción, operación de la planta de tratamiento de aguas aceitosas y pilas de biorremediación. Este impacto es el resultado de la implementación de medidas ambientales de mitigación, compensación establecidas por el PMA del proyecto.
	Cierre de accesos	+ 35	MODERADO	El impacto positivo evidencia que las actividades de clausura del proyecto están en acción, eliminando el acceso vehicular y los impactos asociados a la actividad vehicular y se inicia el proceso de restauración a las características iniciales del suelo intervenido.
Recuperación de la capacidad productiva	Clausura y levantamiento de estructuras y redes	+ 70	SEVERO	El impacto es positivo, porque al retirar del terreno todas las estructuras y redes del espacio físico, permitirá implementar actividades diferentes a las industriales, entre las cuales estaría la recuperación de la capa vegetal y la recuperación del horizonte productivo del suelo.

Dentro de los resultados presentados se evidencia la generación de impactos positivos con un número igual a los negativos, por estar vinculados los impactos por clausura y restauración ecológica. La importancia de la restitución ambiental del área afectada por la implementación de un equipamiento para el manejo y tratamiento de aguas aceitosas y tratamiento de lodos.

7.6.2. Calificación de impactos ambientales etapa de construcción sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación. El componente construcción del sistema de tratamiento de aguas aceitosas y biorremediación, presenta los impactos producidos por la implementación de obras y actividades de adecuación del terreno, la construcción de obras de concreto, instalación de tuberías, excavación e impermeabilización de piscinas y la ubicación de las unidades de la línea de procesos.

Tabla 22. Etapa de construcción sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.

Acción	Componente/ Subcomponente			TOTAL		VULNERABILIDAD
ETAPA DE CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUAS ACEITOSAS Y BIORREMEDIACIÓN	Biotopos	Afectación Fauna	Alteración del hábitat	-	25	IRRELEVANTE
			Desplazamiento a poblaciones faunísticas	-	24	IRRELEVANTE
		Afectación Flora.	Cambio en cobertura vegetal	-	47	MODERADO
	Aire	Emisiones	Fuentes fijas	+	0	IRRELEVANTE
			Fuentes móviles (emisiones por operación de maquinaria)	-	33	MODERADO
		Material particulado por movimiento y adecuación de tierras		-	31	MODERADO
		Emisiones de vapor de agua con altas temperaturas (caldera)		+	0	IRRELEVANTE
		Ruidos y vibraciones por operación de equipos y maquinaria		-	19	IRRELEVANTE
	Agua	Aguas de escorrentía superficial (arrastre de sedimentos y derrames de aceite)		-	39	MODERADO
		Aguas Subsuperficiales (Por excavación para conformación de piscinas)		-	34	MODERADO
		Acueducto público existente (Uso de agua)		-	27	MODERADO
		Aguas residuales domésticas (Generadas por campamentos)		-	38	MODERADO
		Aguas residuales de tipo especial (Vertimiento Industrial)		+	0	IRRELEVANTE
		Fugas de aguas aceitosas en proceso de tratamiento por bombeo		+	0	IRRELEVANTE
		Derrames de mezcla de químicos para el proceso de tratamiento		+	0	IRRELEVANTE
		Escapes por purga de lodos		+	0	IRRELEVANTE
	Suelo	Residuos	Domésticos (Generados en campamento)	-	32	MODERADO

Tabla 22. (Continuación).

Acción	Componente/ Subcomponente		TOTAL		VULNERABILIDAD
	sólidos	Especiales e industriales (talleres)	+	0	IRRELEVANTE
		Escombros	-	28	MODERADO
		Químicos (laboratorios)	+	0	IRRELEVANTE
		Biológicos (Tratamiento biológico)	+	0	IRRELEVANTE
		Modificación de uso	-	37	MODERADO
		Pérdida o ganancia de suelo por movimientos de tierra	-	43	MODERADO
		Cambio en la calidad de los suelos	+	0	IRRELEVANTE
		Cambio de pendiente por conformación de plataformas.	-	30	MODERADO
		Densidad de construcción	-	37	MODERADO
		Fugas de aguas en proceso de tratamiento por bombeo	+	0	IRRELEVANTE
		Derrames de mezcla de químicos para el proceso de tratamiento	+	0	IRRELEVANTE
		Escapes por purga de lodos	+	0	IRRELEVANTE
	Paisaje	Alteración de los valores escénicos de unidad de paisaje	-	47	MODERADO
	socio económico y cultural	Generación de desplazamiento poblacional y productivo	+	0	IRRELEVANTE
		Daños a infraestructura de predios	+	0	IRRELEVANTE
		Afectación a la infraestructura vial	-	17	IRRELEVANTE
		Afectación a la movilidad vehicular (tráfico atraído)	-	25	IRRELEVANTE
		Interacción con la comunidad	+	31	MODERADO
		Generación de empleo	+	31	MODERADO
	Otros riesgos	Accidentes en el manejo de combustible fósil	-	39	MODERADO
		Manejo de Sustancias peligrosas	+	0	IRRELEVANTE
		Manejo de riesgos químicos y biológicos	+	0	IRRELEVANTE
		Uso de materias primas	+	0	IRRELEVANTE

En la siguiente tabla se realiza una descripción de los impactos producidos en la etapa de construcción. Los impactos descritos son los que presentan calificaciones de la importancia igual o superior a la categoría de moderado.

Tabla 23. Impactos significativos etapa de construcción sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.

CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUAS ACEITOSAS Y BIORREMEDIACIÓN				
Componente	Actividad	Imp	Vulnerabilidad	Descripción del impacto
Biotopos	Cambio en cobertura vegetal	- 47	MODERADO	En esta etapa constructiva se requiere una remoción total de la cobertura vegetal del área de influencia directa del proyecto, para adecuar el terreno para la construcción de las estructuras necesarias para la implantación de un sistema de tratamiento de lodos aceitosos. Es importante resaltar que la cobertura vegetal del área de influencia directa son pastos mejorados y que dicha área históricamente ha tenido actividades de tratamiento de lodos.
Aire	Fuentes móviles (emisiones por operación de maquinaria)	- 33	MODERADO	Este impacto es generado en actividades constructivas del proyecto, por la utilización equipos, maquinaria y vehículos, los cuales aportan emisiones por la combustión interna de motores.
	Material particulado por movimiento y	- 31	MODERADO	Causa efecto negativo por la cantidad de material particulado que se emite al aire por el desplazamiento de los diferentes equipos pesados,

CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUAS ACEITOSAS Y BIORREMEDIACIÓN				
Componente	Actividad	Imp	Vulnerabilidad	Descripción del impacto
	adecuación de tierras			por actividades de corte, relleno y conformación de terrazas.
Agua	Aguas de escorrentía superficial (arrastre de sedimentos y derrames de aceite)	- 39	MODERADO	El arrastre de sedimentos al agua se presenta por lluvias, las cuales transportan el suelo de áreas sin cobertura vegetal, además por la implementación de estructuras y modificación de pendientes, cambia la dinámica hídrica del área de influencia directa. Por otra parte, al ocurrir derrames de aceites provenientes de motores, éstos también son transportados por la escorrentía superficial.
	Aguas Subsuperficiales (Por excavación para conformación de piscinas)	- 34	MODERADO	La negatividad del impacto se da por la necesidad de las excavaciones para la adecuación de las piscinas de recepción, las cuales requieren cortes de más de 3 metros. En estudios de diagnóstico se identifica la presencia de agua subsuperficial se encuentra a 1.80 metros, comprometiendo la calidad de agua subsuperficial y por ende un efecto negativo.
	Acueducto público existente (Uso de agua)	- 27	MODERADO	Consumo de agua requerido para elaboración de mezclas de concreto de las construcciones civiles y el consumo propio por el personal encargado de la construcción.
	Aguas residuales domésticas (Generadas por campamentos)	- 38	MODERADO	Dado el número de obreros profesionales, técnicos especializados y operadores de maquinaria requeridos en la fase de construcción generan vertimientos de aguas domésticas en las unidades sanitarias
Suelos	Residuos sólidos domésticos (Generados en campamento)	- 32	MODERADO	Los generados por varias actividades de campamentos del personal administrativo y técnico.
	Escombros	- 28	MODERADO	La conformación de vías, plataformas y cimentaciones generan escombros de procesos constructivos.
	Modificación de uso	- 37	MODERADO	El impacto por modificación de uso de suelo se presenta básicamente por el cambio de actividad en el área de influencia directa, pasando de un área con una cobertura de pastos mejorados a un uso que permite instalar un equipamiento de alto impacto, como lo es una planta para el tratamiento de lodos y aguas aceitosas.
	Pérdida o ganancia de suelo por movimientos de tierra	- 43	MODERADO	La pérdida y ganancia de los suelos se refleja por el manejo de volúmenes y movimiento de tierra requeridos para la conformación de corte y terraplenes de vías y plataformas operativas, dando lugar a la degradación, transporte y deposición de material del suelo por agentes erosivos.
	Cambio de pendiente por conformación de plataformas.	- 30	MODERADO	La alteración de la pendiente del terreno genera procesos erosivos por acción la escorrentía superficial y vientos. La modificación de la topografía original por la conformación de plataformas totalmente niveladas y la presencia de talud con pendientes del 45%, generan impactos directos en la pérdida de suelo.
	Densidad de construcción	- 37	MODERADO	Se presenta un impacto negativo moderado por una densidad de construcción alta con respecto al área de influencia directa, modificando totalmente el uso del suelo y la cobertura actual.
Paisaje	Alteración de los valores escénicos de unidad de paisaje	- 47	MODERADO	El impacto al paisaje es negativo, por la modificación de la morfodinámica del área de influencia directa, el impacto visual está relacionado básicamente por los cambios que sufre el paisaje y los efectos que estos cambios se realizan por la implantación de un proyecto obra o actividad.
Socio económico y cultural	Interacción con la comunidad	+ 31	MODERADO	Históricamente la zona ha sido intervenida por el sector petroquímico, la población rural de zona deriva buena parte de sustento de la interacción con el sector de manera directa e indirecta. Por tanto, la relación con la comunidad genera un impacto positivo.

Tabla 23. (Continuación).

Tabla 23. (Continuación).

CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUAS ACEITOSAS Y BIORREMEDIACIÓN				
Compone nte	Actividad	Imp	Vulnerabili da	Descripción del impacto
	Generación de empleo	+ 31	MODERADO	El proyecto genera una oportunidad de vinculación laboral en las diferentes etapas del proyecto, de ahí el impacto positivo del mismo
Otros riesgos	Accidentes en el manejo de combustible fósil	- 39	MODERADO	Las fugas, derrames, escapes y actos inseguros del personal técnico que trabaja con ese tipo de productos generan la probabilidad de ocurrencia de un accidente

7.6.3. Calificación de impactos ambientales etapa de operación sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación. El componente de operación del sistema de tratamiento de aguas aceitosas y biorremediación presenta los impactos producidos por las diferentes operaciones unitarias en el área de tratamiento y almacenamiento de aguas aceitosas y lodos. De igual manera, los generados por las áreas administrativas y laboratorios.

Tabla 24. Etapa de operación sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.

Acción	Componente/ Subcomponente		TOTAL		VULNERABILIDAD
ETAPA DE OPERACIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUAS ACEITOSAS Y BIORREMEDIACIÓN	Biotopos	Afectación Fauna	Alteración del hábitat	+ 0	IRRELEVANTE
			Desplazamiento a poblaciones faunísticas	+ 0	IRRELEVANTE
		Afectación Flora.	Cambio en cobertura vegetal	+ 0	IRRELEVANTE
	Aire	Emisiones	Fuentes fijas	- 27	MODERADO
			Fuentes móviles (emisiones por operación de maquinaria)	- 40	MODERADO
		Material particulado por volteo de biopilas, paso de vehículos y acción del viento		- 35	MODERADO
		Emisiones de vapor de agua con altas temperaturas (caldera)		- 25	IRRELEVANTE
		Ruidos y vibraciones por operación de equipos y maquinaria		- 30	MODERADO
	Agua	Aguas de escorrentía superficial (arrastre de sedimentos y derrames de aceite)		- 39	MODERADO
		Aguas Subsuperficiales (Por excavación para conformación de piscinas)		+ 0	IRRELEVANTE
		Acueducto público existente (Uso de agua)		- 25	IRRELEVANTE
		Aguas residuales domésticas (Generadas por campamentos)		- 53	SEVERO
		Aguas residuales de tipo especial (Vertimiento Industrial)		- 65	SEVERO
		Fugas de aguas aceitosas en proceso de tratamiento por bombeo		- 62	SEVERO
		Derrames de mezcla de químicos para el proceso de tratamiento		- 19	IRRELEVANTE
		Escapes por purga de lodos		- 31	MODERADO
	Suelo	Residuos sólidos	Domésticos (Generados en campamento y oficinas)	- 34	MODERADO
			Especiales e industriales (talleres, bodegas y área operativa)	- 40	MODERADO

Tabla 24. (Continuación).

Acción	Componente/ Subcomponente		TOTAL		VULNERABILIDAD
		Escombros	+	0	IRRELEVANTE
		Químicos, físico químicos y fármacos (laboratorios)	-	20	IRRELEVANTE
		Biológicos (Tratamiento biológico)	-	21	IRRELEVANTE
		Modificación de uso	+	0	IRRELEVANTE
		Acopio y banco de estériles para Land Farming	-	39	MODERADO
		Cambio en la calidad de los suelos	+	0	IRRELEVANTE
		Cambio de pendiente por conformación de plataformas.	+	0	IRRELEVANTE
		Densidad de construcción	+	0	IRRELEVANTE
		Fugas de aguas aceitosas en proceso de tratamiento por bombeo	-	50	MODERADO
		Derrames de mezcla de químicos para el proceso de tratamiento	-	19	IRRELEVANTE
		Escapes por purga de lodos	-	31	MODERADO
	Paisaje	Alteración de los valores escénicos de una unidad de paisaje	+	0	IRRELEVANTE
	Socio económico y cultural	Generación de desplazamiento poblacional y productivo	+	0	IRRELEVANTE
		Daños a infraestructura de predios	+	0	IRRELEVANTE
		Afectación a la infraestructura vial	-	17	IRRELEVANTE
		Afectación a la movilidad vehicular (tráfico atraído)	-	25	IRRELEVANTE
		Interacción con la comunidad	+	31	MODERADO
		Generación de empleo	+	31	MODERADO
	Otros riesgos	Manejo de combustible fósil	-	45	MODERADO
		Manejo de Sustancias peligrosas	-	35	MODERADO
		Manejo de riesgos químicos y biológicos	-	28	MODERADO
		Uso de materias primas	+	0	IRRELEVANTE

En el siguiente cuadro se realiza una descripción de los impactos producidos en la etapa de operación. Los impactos descritos presentan calificaciones de la importancia igual o superior a la categoría de moderado.

Tabla 25. Impactos significativos etapa de construcción sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.

CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUAS ACEITOSAS Y BIORREMEDIACIÓN				
Compone nte	Actividad	Imp	Vulnerabilidad	Descripción del impacto
Aire	Fuentes fijas	- 27	MODERADO	Las emisiones se generan en la caldera y en la centrifuga, adicionalmente los gases emitidos en las piscinas de recepción como de las diferentes unidades de tratamiento tanto aerobio como facultativo aportan metano, ácido sulfúrico, monóxido de carbono y otros gases algunos con olores ofensivos.
	Fuentes móviles (emisiones por	- 40	MODERADO	El ingreso y salida de carotankes a las áreas de maniobra para descargar lodos aceitosos, el traslado en volquetas de los lodos de la centrifuga, así como el volteo y extendido de los lodos deshidratados en la zona de biorremediación,

CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUAS ACEITOSAS Y BIORREMEDIACIÓN				
Compone nte	Actividad	Imp	Vulnerabilidad	Descripción del impacto
	operación de maquinaria)			generan gases de combustión durante la jornada de operación.
	Material particulado por volteo de biopilas, paso de vehículos y acción del viento	- 35	MODERADO	El área de biorremediación donde se acordona extiende y se voltea para procesos de aireación, genera el mayor desprendimiento de material particulado, sumado a que se desprende por el flujo permanente por la entrada y salidas de vehículos en los accesos sin pavimentar
	Ruidos y vibraciones por operación de equipos y maquinaria	- 30	MODERADO	Son generados en el patio de maniobras de la zona de tratamiento de aguas aceitosas como de la zona de biorremediación por equipos, motores, motobombas, calderas, tolvas y en las zonas de anclaje de los equipos.
Agua	Aguas de escorrentía superficial (arrastre de sedimentos y derrames de aceite)	- 39	MODERADO	Dado que el área del proyecto cuenta con áreas sin tratamiento superficial, con rampas diseñadas con pendientes superiores al 6% que facilitan la conducción de aguas por escorrentía arrastrando sedimentos y los aceites derramados por fugas de las áreas de operación
	Aguas residuales domésticas (Generadas por campamento s)	- 53	SEVERO	El personal administrativo y de operación generan vertimientos por uso permanente de las unidades sanitarias y generan impactos severos al no existir cuerpos de agua para ser llevados, lo que obliga a que el tratamiento de agua sea muy exigente
	Aguas residuales de tipo especial (Vertimiento Industrial)	- 65	SEVERO	La separación de las aguas aceitosas de los lodos en la centrifuga, genera un vertimiento industrial de alto impacto en la calidad del agua que implica un tratamiento físico, químico y biológico para devolver al agua su calidad inicial, cumpliendo con la norma de vertimientos.
	Fugas de aguas aceitosas en proceso de tratamiento por bombeo	- 62	SEVERO	El diseño del tipo de tratamiento y sus procesos unitarios requiere de equipos de bombeo para circular el fluido a través de las unidades de tratamiento, lo que ocasiona riesgos por fugas de tuberías y de equipos sin contar las contingencias propias de la operación, sus derrames ocasionan impactos severos por la naturaleza de los hidrocarburos.
	Escapes por purga de lodos	- 31	MODERADO	La operación de las unidades de tratamiento requiere de mantenimiento periódico con la purga de lodos, la posibilidad de escapes por sellos hidráulicos de la tubería y de las salidas de los tanques generan escapes de lodos.
Suelos	Residuos sólidos domésticos	- 34	MODERADO	Las actividades propias de alimentación en la zona laboral y las actividades de administración generan residuos domésticos inertes, orgánicos y reciclables lo que exigen

Tabla 25. (Continuación).

CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUAS ACEITOSAS Y BIORREMEDIACIÓN				
Compone nte	Actividad	Imp	Vulnerabilidad	Descripción del impacto
	(Generados en campamento y oficinas)			una correcta disposición, pero de hecho generan contaminación directa al suelo.
	Residuos sólidos Especiales e industriales (talleres, bodegas y área operativa)	- 40	MODERADO	Cada zona genera un tipo de residuos industriales. Tanto en talleres, como estacionamientos, bodegas de almacenamiento y áreas operativas producen residuos RESPEL muy contaminantes sin el adecuado tratamiento y disposición final.
	Acopio y banco de estériles para Land Farming	- 39	MODERADO	La operación de las zonas de biorremediación requiere de banco de suelos estériles para diluir la concentración inicial de hidrocarburos y luego, llevarlos al tratamiento con microorganismos. Estos bancos generan contaminación por arrastre al suelo.
	Fugas de aguas aceitosas en proceso de tratamiento por bombeo	- 50	MODERADO	Los descargues de lodos aceitosos, su traslado a la centrifuga y demás transportes del fluido viscoso, generan fugas por las conducciones hidráulicas, que caen al suelo alterando sus propiedades fisicoquímicas iniciales.
	Escapes por purga de lodos	- 31	MODERADO	Los lodos de purga vertidos son vertidos por error en conexiones a los suelos implicando procesos de biorremediación a los suelos afectados.
Socio económico y cultural	Interacción con la comunidad	+ 31	MODERADO	La comunidad se ve beneficiada por los trabajos de operación de la planta, por los servicios indirectos que podrán ofrecer a los operadores del sistema de tratamiento. Cabe aclarar que en la zona de influencia indirecta solo hay dos casas.
	Generación de empleo	+ 31	MODERADO	Operar la planta exige mano de obra especializada y no especializada lo que permite contratar personal de manera permanente y estable.
Otros riesgos	Manejo de combustible fósil	- 45	MODERADO	La operación exige acumular diferentes combustibles y aceites para mantener un volumen para los diferentes equipos, motores maquinaria. Su manipulación crea riesgos por contacto directo, absorción con los operadores y puede ser motivo de conato de incendio.
	Manejo de Sustancias peligrosas	- 35	MODERADO	Los productos con características químicas clasificados como tóxicos usados en la operación de los equipos y de las unidades de tratamiento, ocasionan riesgos considerables.
	Manejo de riesgos químicos y biológicos	- 28	MODERADO	Las sustancias químicas aplicadas en el tratamiento de las aguas son responsables de los riesgos químicos.

Tabla 25. (Continuación).

7.6.4. Calificación de impactos ambientales etapa de clausura sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación. El componente de clausura del sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación, presenta los impactos generados por las actividades realizadas durante el cierre del proyecto, al igual que los factores que influyen social, ambiental y políticamente el área de influencia.

Tabla 26. Etapa de clausura sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.

Acción	Componente/ Subcomponente		TOTAL	VULNERABILIDAD		
ETAPA CLAUSURA DEL PROYECTO	Biotopos	Afectación Fauna	Alteración del hábitat	+ 0	IRRELEVANTE	
			Desplazamiento a poblaciones faunísticas	+ 0	IRRELEVANTE	
		Afectación Flora.	Cambio en cobertura vegetal	+ 55	SEVERO	
	Aire	Emisiones	Fuentes fijas	+ 0	IRRELEVANTE	
			Fuentes móviles (emisiones por operación de maquinaria)	- 33	MODERADO	
		Material particulado por movimiento y adecuación de tierras		- 31	MODERADO	
		Emisiones de vapor de agua con altas temperaturas (caldera)		+ 0	IRRELEVANTE	
		Ruidos y vibraciones por operación de equipos y maquinaria		- 19	IRRELEVANTE	
	Agua	Aguas de escorrentía superficial (arrastre de sedimentos y derrames de aceite)		- 39	MODERADO	
		Aguas Subsuperfiales (Por excavación para conformación de piscinas)		+ 0	IRRELEVANTE	
		Acueducto público existente (Uso de agua)		- 27	MODERADO	
		Aguas residuales ordinarias (Generadas por campamentos)		- 38	MODERADO	
		Aguas residuales de tipo especial (Vertimiento Industrial)		+ 0	IRRELEVANTE	
		Fugas de aguas en proceso de tratamiento por bombeo		+ 0	IRRELEVANTE	
		Derrames de mezcla de químicos para el proceso de tratamiento		+ 0	IRRELEVANTE	
		Escapes por purga de lodos		+ 0	IRRELEVANTE	
	Suelo	Residuos sólidos	Domésticos (Generados en campamento y oficinas)	- 32	MODERADO	
			Especiales e industriales (talleres)	- 40	MODERADO	
			Escombros	- 42	MODERADO	
			Químicos (laboratorios)	+ 0	IRRELEVANTE	
			Biológicos (Tratamiento biológico)	+ 0	IRRELEVANTE	
		Modificación de uso		- 37	MODERADO	
		Pérdida o ganancia de suelo por movimientos de tierra		- 49	MODERADO	
		Cambio en la calidad de los suelos		+ 42	MODERADO	
		Cambio de pendiente por conformación final del terreno		+ 44	MODERADO	
		Densidad de construcción		+ 0	IRRELEVANTE	
		Fugas de aguas en proceso de tratamiento por bombeo		+ 0	IRRELEVANTE	
		Derrames de mezcla de químicos para el proceso de tratamiento		+ 0	IRRELEVANTE	
		Escapes por purga de lodos		+ 0	IRRELEVANTE	
		Paisaie	Alteración de los valores escénicos de una unidad de paisaie		+ 59	SEVERO

Tabla 26. (Continuación).

Acción	Componente/ Subcomponente		TOTAL	VULNERABILIDAD
	socio económico y cultural	Generación de desplazamiento poblacional y productivo	+ 0	IRRELEVANTE
		Daños a infraestructura de predios	+ 0	IRRELEVANTE
		Afectación a la infraestructura vial	- 17	IRRELEVANTE
		Afectación a la movilidad vehicular (tráfico atraído)	- 25	IRRELEVANTE
		Interacción con la comunidad	+ 31	MODERADO
		Generación de empleo	+ 31	MODERADO
	Otros riesgos	Manejo de combustible fósil	- 39	MODERADO
		Desinstalación de estructuras y equipos (campamentos, oficinas, laboratorios, bombas etc..)	+ 59	SEVERO
		Relleno y compactación de áreas de piscinas	+ 53	SEVERO
		Demolición de obras de concreto, encerramientos andenes, etc....	- 46	MODERADO
		Revegetalización del área de tratamiento	+ 79	CRÍTICO

En la siguiente tabla se realiza una descripción de los impactos producidos en la etapa de clausura. Los impactos descritos presentan calificaciones de la importancia igual o superior a la categoría de moderado.

Tabla 27. Impactos significativos etapa de clausura sistema de tratamiento aguas aceitosas y biorremediación.

ETAPA CLAUSURA DEL PROYECTO				
Componente	Actividad	Imp	Vulnerabilidad	Descripción del impacto
Biotopos	Afectación flora. Cambio en cobertura vegetal	+50	SEVERO	El espacio físico natural donde se desarrollan las comunidades recibe cambios importantes con la recuperación de la cobertura vegetal, luego del desmantelamiento, se revegetalizará toda el área impactada.
Aire	Emisiones. Fuentes móviles (emisiones por operación de maquinaria)	-33	MODERADO	Es necesario contratar maquinaria pesada para demoler las estructuras civiles, tanto metálicas como las de concreto para habilitar los espacios. Esta actividad será intensa y la emisión de fuentes móviles será elevada.
	Material particulado por movimiento y adecuación de tierras	-31	MODERADO	Arrancar las estructuras, demoler, retirar escombros, son actividades que producen gran cantidad de material particulado en un periodo corto de tiempo.
Agua	Aguas de escorrentía superficial (arrastre de sedimentos y derrames de aceite)	-39	MODERADO	Demoler y rehabilitar las zonas de operación desprende gran cantidad de material estéril que será arrastrado por las lluvias trasladando los sedimentos a los cuerpos de agua no permanentes, ubicados en la zona baja del terreno.

ETAPA CLAUSURA DEL PROYECTO				
Componente	Actividad	Imp	Vulnerabilidad	Descripción del impacto
	Acueducto público existente (Uso de agua)	-27	MODERADO	Las demoliciones generan gran cantidad de material particulado que requiere el uso de agua para regar continuamente las zonas involucradas con aspersores y carrotanques con flautas de aspersión (agua usada para controlar las emisiones).
	Aguas residuales ordinarias (Generadas por campamentos)	-38	MODERADO	La contratación extra de personal para hacer el retiro de estructuras motiva un aumento del caudal vertido y afectación directa al vertimiento final
Suelos	Residuos sólidos Domésticos (Generados en campamento y oficinas)	- 32	MODERADO	La relación directa de la producción per cápita con el número de usuarios dispara la generación de más residuos, esto se debe a la contratación de personal adicional para clausurar el proyecto
	Residuos sólidos Especiales e industriales (talleres)	- 40	MODERADO	Al desmontar los talleres, las bodegas, las áreas de operación, esta actividad genera residuos especiales que deberán disponerse adecuadamente por el riesgo que ocasionan provocando que los suelos se vean afectados seriamente.
	Escombros	- 42	MODERADO	La cantidad de escombros que resultan de la demolición son tan elevados comparados con la actividad normal, que generan afección negativa al suelo donde se dispondrán los residuos.
	Modificación de uso	-37	MODERADO	Clausurar las zonas de tratamiento de aguas y remediación de lodos permite recuperar el uso inicial de terreno restaurado con cobertura vegetal para evitar procesos erosivos del suelo.
	Pérdida o ganancia de suelo por movimientos de tierra	-49	MODERADO	El retiro de las placas de concreto e instalaciones hidráulicas exige remover grandes cantidades del suelo y exige la reconfiguración del terreno esto induce pérdidas y ganancias del suelo.
	Cambio en la calidad de los suelos	+ 42	MODERADO	Restaurar luego de clausurar, implica la adición de abonos, sales minerales y manto orgánico que permitirán instalar nueva cobertura vegetal
	Cambio de pendiente por conformación final del terreno	+ 44	MODERADO	La conformación del terreno luego de los retiros de las estructuras exige escarificar, revolver material estéril con nutrientes y humus orgánico. Esto cambiará los suelos compactados a suelos con mínima escorrentía lo que ayudará a mejorarlos e igualmente evitar el arrastre de los nuevos nutrientes adicionados.
Paisaje	Alteración de los valores escénicos de una unidad de paisaje	+ 59	SEVERO	El retorno a la conformación del terreno inicial, la empradización, la siembra de semillas de pastos y la reforestación, consolidará el nuevo paisaje natural homogéneo con el área de influencia indirecta, recuperando la unidad de paisaje.
Socio económico y cultural	Interacción con la comunidad	+ 31	MODERADO	La restauración de las zonas verdes y la pérdida de flujo vehicular debido al cierre de la operación devolverá al sector las condiciones de calidad de vida del escenario sin proyecto.

Tabla 27. (Continuación).

ETAPA CLAUSURA DEL PROYECTO				
Componente	Actividad	Imp	Vulnerabilidad	Descripción del impacto
	Generación de empleo	+ 31	MODERADO	Desmantelar es una actividad que genera empleos adicionales, contratación, equipos de vehículos de transporte y la contratación de técnicos especializados en desmontajes. Estos empleos adicionales estimulan la actividad socioeconómica.
Otros riesgos	Manejo de combustible fósil	- 39	MODERADO	La maquinaria y equipos requeridos para desmantelar las zonas de operación exigen el manejo de combustibles fósiles que por su naturaleza produce riesgos fisicoquímicos lesivos al personal que los manipula
	Desinstalación de estructuras y equipos (campamentos, oficinas, laboratorios, bombas etc..)	+ 59	MODERADO	El desmantelamiento de estructuras genera riesgos mecánicos, estructurales, físicos, psicosociales que obliga a tomar todas las medidas de seguridad industrial para evitar accidentes que lesionen al personal.
	Relleno y compactación de áreas de piscinas	+ 53	MODERADO	Desocupar las piscinas y rellenarlas es una actividad crítica por la manipulación de los lodos aceitosos que son altamente contaminantes.
	Demolición de obras de concreto, encerramientos andenes, etc....	-46	MODERADO	La demolición de cimientos de estructuras obliga el uso de compresores y material detonante, que ocasiona ondas explosivas y emisión de material pétreo a distancias considerables siendo una actividad de riesgo.
	Revegetalización del área de tratamiento	+ 79	CRÍTICO	La siembra de pastos, de reforestación, de empradización de taludes, controles de erosión eólica e hídrica, impide procesos de remoción en masa disminuyendo todos los riesgos.

Tabla 27. (Continuación).

7.7. Zonificación del manejo ambiental

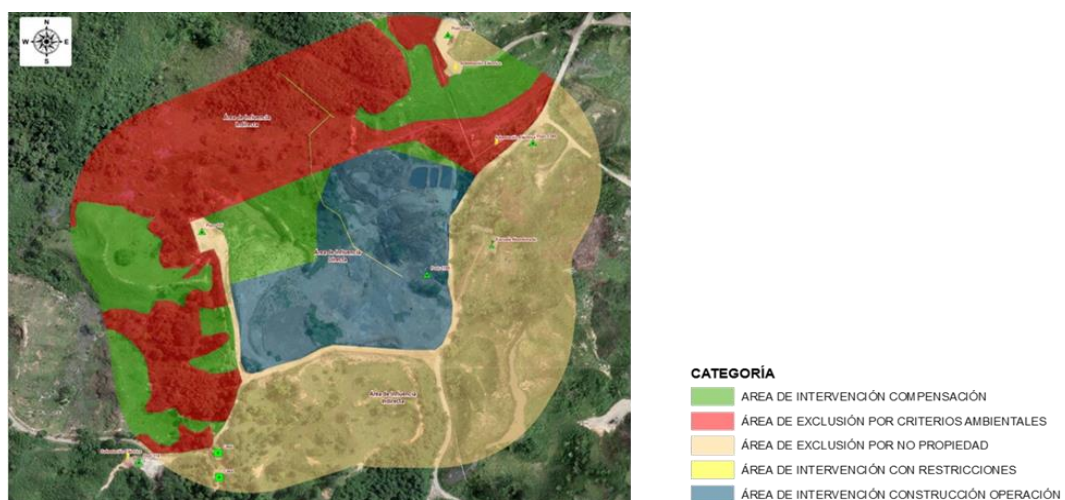
7.7.1. Áreas de exclusión. El área de exclusión contó con 18,93 ha, el equivalente a 66,62 % del área de estudio, de la cual 8,44 ha pertenecen a la categoría de áreas de exclusión por criterios ambientales con un porcentaje de ocupación del 29,70 % del área total de influencia del proyecto y 10,49 ha que pertenecen a la categoría de áreas de exclusión por criterios de no propiedad del predio con un porcentaje de ocupación del 36,92 % del área total de influencia del proyecto.

7.7.2. Áreas de intervención con restricciones (AIR). El área de intervención con restricciones (AIR), cuenta con 0,036 ha, las cuales corresponden al 0,13 % del área total del proyecto.

7.7.3. Áreas de intervención. El área de intervención construcción operación (AICO), cuenta con 4,80 ha, las cuales corresponden al 16,91 % del área total del proyecto. El área de intervención compensación (AIC), cuenta con 4,64 ha, las cuales corresponden al 16,35 % del área total del proyecto.

En la siguiente figura se muestran las áreas correspondientes a la zonificación del manejo ambiental del área de influencia del estudio.

Figura 9. Mapa de zonificación ambiental.



7.8. Plan de manejo ambiental

A continuación, se presentan las fichas relacionadas con el sistema propuesto para el tratamiento de lodos aceitosos:

- Ficha No. FMA 01 - 1 Manejo de aguas de escorrentía superficial
- Ficha No. FMA 01 - 2 Manejo de aguas residuales domésticas e industriales
- Ficha No. FMA 01 - 3 Manejo del descapote y revegetalización
- Ficha No. FMA 01 - 4 Manejo de residuos sólidos
- Ficha No. FMA 01 - 5 Manejo de suelos
- Ficha No. FMA 01 - 6 Manejo de material particulado y gases
- Ficha No. FMA 01 - 7 Manejo de Flora y Fauna
- Ficha No. FMA 01 - 8 Capacitaciones

Ficha No. FMA 01 - 1 Manejo de aguas de escorrentía superficial

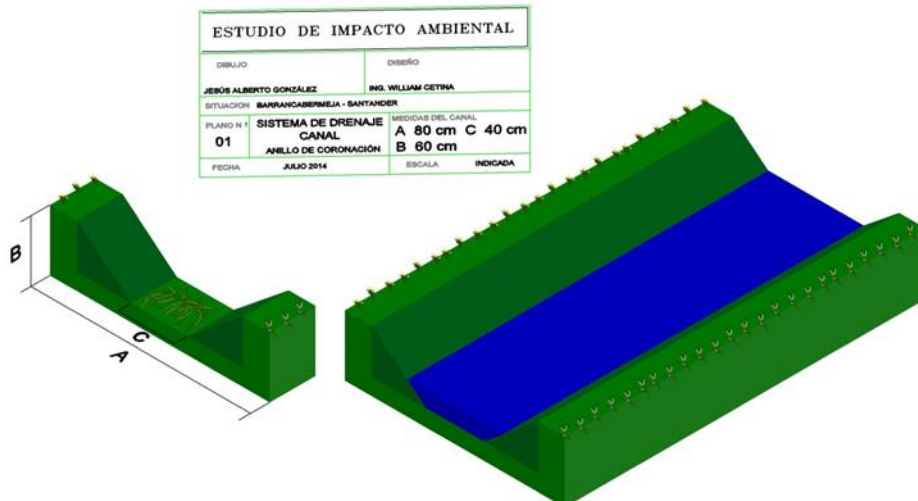
FICHA DE MANEJO AMBIENTAL																
MANEJO DE AGUAS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL														Versión 1.0		
														Fecha 10/05/2018		
														Código FMA 01- 01		
Objetivo: Prevenir, controlar y mitigar la contaminación del agua por efecto del arrastre de material por escorrentía superficial, provenientes de las obras y actividades de construcción, funcionamiento y abandono de la planta de tratamiento de lodos y base aguay área de almacenamiento de lodos petroleros.																
ACTIVIDADES QUE GENERAN IMPACTOS																
X	X	X			X					X						
X	X	X			X					X						
IMPACTOS GENERADOS																
IMPACTOS										ELEMENTOS						
Arrastre de sedimentos										Agua						
Cambio de la dinámica hídrica																
Cambio de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua																
Tipo de medida	Prevención	X	Mitigación							X	correctiva			compensación		
Fase de aplicación			Construcción				X	Operación			X	Clausura			X	

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

En el proceso de construcción, implementación y abandono de la planta de tratamiento de lodos, se producen impactos negativos por efectos de arrastre de sedimentos por escorrentía superficial a los cuerpos de agua, lo que involucra la formulación e implementación de medidas de manejo preventivo, controlador y mitigador. Para lo cual se tomará las siguiente:

Fase 1. Construcción

- Identificación de los drenajes naturales del área de estudio, la dirección de flujo, la acumulación que se cruzan sobre el área de implementación del proyecto
- Identificación de las estructuras de drenaje artificial que se encuentran construidas antes de la implementación del proyecto
- Realizar un aislamiento de las aguas de escorrentía superficial de los frentes de trabajo mediante diques armados en tierra con talud 1:1
- Una vez realizada la conformación final de los niveles de las terrazas de operación, se construirán los canales perimetrales en concreto de sección trapezoidal con un ancho de 0.80m
- Canalización en concreto de drenaje de escorrentía superficial para el manejo de las aguas provenientes de los frentes de trabajo y conducción al drenaje de escorrentía natural superficial. Este transporte de agua se hará con un canal de 360m lineales de sección de 1 a 1.20m
- Construcción de sumideros para el manejo de las aguas de escorrentía que cruzan sobre las vías de acceso y la comunicación interna de los frentes de trabajo
- Ubicación de obras disipadoras de energía de aguas, presedimentadores y trampa de grasas, diseñadas para prevenir la acumulación de sedimentos y las grasas y aceites presentes en el agua.
- Dado que en los estudios geotécnicos se encontró nivel freático a 1.80m de profundidad y considerando que para la construcción de algunas obras se requiere bajar a profundidades de más de 3m, surge la necesidad de abatir las aguas freáticas mediante de drenes denominados tipo filtro francés. Estos drenes se diseñarán de manera perimetral a el área de piscinas



Fase 2. Operación

- Las aguas provenientes de techos y tejados deben ser conducidas por una red de aguas lluvias a un tanque de almacenamiento donde se le hará un pretratamiento por prefiltros de grava y luego, podrán ser reutilizadas para las obras de limpieza, tratamiento y sistema sanitario.

- La red de canales internos a las áreas de operación recogerá las aguas lluvias de los patios que pueden estar contaminadas por grasas, aceites y químicos. Estas aguas se conducirán a un tanque final y por bombeo se ingresarán al sistema de tratamiento de aguas residuales e industriales.
- En las eras de biopilas se controlará el agua superficial por lluvias con el recubrimiento de las biopilas con un geotextil que no permite el ingreso de aguas lluvias. Las aguas que caigan sobre el geotextil se conducirán por la red de drenaje que será llevada al canal perimetral.
- Mantenimiento preventivo a toda la red de canales, a las trampas de grasa, cámaras de disipación, presedimentadores por lo menos una vez cada seis meses.

Fase 3. Clausura

- Se acordonará y acomodará los materiales provenientes del desmantelamiento y demolición de las estructuras, de tal manera que no obstruya las redes de drenaje. Los escombros serán manejados con la ficha número X.
- Una vez clausurada el área de operación y revegetalizado el área de proyecto se preservará la red de drenaje artificial instalada como una medida de prevención de erosión hídrica.
- Los acopios de material de cobertura y de material de préstamo deben ubicarse fuera de las áreas de escorrentía natural y deben realizarse las respectivas obras que no permita el ingreso de aguas lluvias

TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

- Conducción de aguas por la red de canales
- Cámaras disipadoras de energía para disminuir la velocidad de las aguas en los canales
- Unidades de pretratamientos, trampas de grasa y filtros de grava
- Canalización de las aguas lluvias generadas por las cubiertas para el aprovechamiento y reúso

Para llevar a cabo el uso de estas tecnologías es necesario realizar capacitaciones para toma de muestras, para llevar a cabo ensayos que permita determinar la calidad del agua, para monitoreos, interpretación de resultados y manejo y operación de los diferentes sistemas de tratamientos propuestos.
(Ver ficha No. FSMC 02 - 8 Capacitación)

Realizar el muestreo de agua previo inicio de las actividades para tener puntos de comparación. Socialización de los resultados y envío a la Interventoría y serán parte de la información a transmitir a las autoridades ambientales.

NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE APLICABLE

La siguiente es la normatividad vigente y aplicable para aguas de escorrentía superficial:

- Código de los Recursos Naturales (Decreto - Ley 2811 de 1974)
- Decreto 1729 de Cuencas Hidrográficas.
- Decreto 1594 de 1984. Uso del Agua y Vertimientos
- Resolución 1433 de 2004. Plan de saneamiento y manejo de vertimientos
- Decreto 3930 de 2010 Uso del Agua y Vertimientos Líquidos
- Decreto 4728 de 2010 "Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010
- Decreto 2115 de 2007 características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano

Lugar de aplicación	Tratamiento lodos	X	Tratamiento aguas	X	Piscinas recepción	X
Responsable	FERMAR	X	Contratista		Interventoría	

PERSONAL REQUERIDO

Un (1) Ingeniero Ambiental que se encargará de la dirección de las labores de Monitoreo y de las actividades concernientes a la prevención de los impactos al componente hídrico.

Un interventor (preferiblemente ingeniero Ambiental) con experiencia en este tipo de labores, el cual velará por el cumplimiento de la normatividad ambiental y la ejecución apropiada de las labores pertinentes.

Un (1) técnico en agua potable residual para operar las plantas Un (1) técnico químico para la toma de muestra, monitoreos y ensayos La toma de muestras se realizará con un laboratorio Certificado por el IDEAM, con el equipo de profesionales para tal fin.		
SEGUIMIENTO Y MONITOREO		
Es muy importante realizar monitoreos a las aguas de escorrentía represadas para identificar el grado de contaminación que estas puedan tener, y luego ser contrastadas con el monitoreo realizado durante la construcción, operación y abandono del proyecto. Se realizará un seguimiento continuo a la construcción de todas las obras que garanticen y minimicen los impactos de la escorrentía superficial y la prevención de la sedimentación a los cuerpos de agua. Se presentarán informes de avance de las obras realizadas. Los monitoreos se realizarán una vez al mes en la etapa de construcción y abandono; y cada seis meses en la fase de operación de la planta o cada vez que se requiera por la autoridad ambiental competente o por la implementación de alguna contingencia.		
INDICADORES		
Descripción Indicador Las siguientes son las características de los indicadores propuestos: - Indicador de Cobertura - Indicador de Eficiencia	Pertinencia Indicador Permite evidenciar la implementación de actividades para el manejo de la dinámica hídrica de los frentes de trabajo del proyecto	Unidad de medida Porcentaje (%)
Fórmula		
$\frac{\text{Número de actividades de control de escorrentía superficial}}{\text{Número de frentes de trabajo}} \times 100$ $\frac{\text{Metros lineales de canal construido}}{\text{Metros lineales totales diseñados}} \times 100$		
Frecuencia	Lugar de aplicación	Limitante del indicador
Cada seis meses Antes, durante y después de la finalización de las obras de construcción, operación y clausura y cada vez que se presuma impactos generados al componente hídrico.	Frentes de trabajo	El indicador no permite evidenciar la calidad de las obras y actividades implementadas para el manejo de las aguas de escorrentía superficial
	Drenajes naturales	

ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN				
Actividades	Construcción	Operación	Clausura	
Construcción de terraplenes y canales	X			
Mantenimiento de canales		X	X	
Aprovechamiento de las aguas lluvias.		X		
Manejo de aguas producto de los drenajes de los campos de operación		X		
COSTOS				
Descripción	Und.	Cantidad	Valor Und.	Valor total
Canal perimetral	mL	1250	\$38.000,00	\$47.500.000,00
Canalización drenaje superficial (1.0m)	mL	270	\$42.000,00	\$11.340.000,00
Canalización drenaje superficial (2.0m)	mL	90	\$45.000,00	\$4.050.000,00
Sumideros con reja metálica	mL	32	\$82.000,00	\$2.624.000,00
TOTAL				\$65'514.000,00

En el Apéndice A se pueden consultar las demás fichas del plan de manejo ambiental.

8. CONCLUSIONES

Se elaboró un plan de manejo ambiental para la planta de tratamiento y disposición de los lodos aceitosos generados en la zona de influencia de la gerencia refinera de Barrancabermeja. No obstante, la metodología desarrollada puede ser aplicada de forma general para el tratamiento de los residuos en la industria petrolera, e incluso para otras industrias que lo requieran.

El sistema de tratamiento propuesto adopta las tecnologías más eficientes en cuanto a remoción de contaminantes con altos contenidos de hidrocarburos. Además, contempla las operaciones unitarias coherentes de acuerdo con las concentraciones máximas permisibles, descritas en la resolución 0631 de 2015, específicamente para este sector, lo que garantiza la mitigación de los impactos generados por los lodos base agua y base aceite.

La propuesta del plan de manejo ambiental se fundamentó en la protección y conservación de los elementos bióticos y abióticos del área de influencia del proyecto. Por tanto, su aplicación constituye un modelo para el mejoramiento de la calidad ambiental de las zonas de explotación de hidrocarburos.

El plan de manejo ambiental desarrollado es una herramienta dinámica que puede ser utilizada para mitigar, corregir y prevenir impactos tanto en el presente como a futuro. Además, permite a las autoridades ambientales y demás actores involucrados realizar los procesos de monitoreo, seguimiento y verificación, permitiendo proponer nuevos planes de acción para corregir posibles debilidades en la fase de proyección del plan.

9. RECOMENDACIONES

En la ejecución de megaproyectos y construcciones de ingeniería que actualmente se desarrollan en el país, tanto en el área minera y civil, se detectan los siguientes eventos: grandes desastres, improvisación, accidentes en obras, pérdidas de vida, pérdidas económicas y daños ecológicos irreversibles, reflejando la ausencia de ingenieros y personal técnico, expertos en planeación prospectiva, en control de riesgos, manejo de contingencias, tanto de origen antrópico como ambientales. Por las consideraciones anteriores, se genera una gran necesidad y un reto para la academia y la ingeniería en el sentido de formar profesionales en competencias de modelación, simulación de contingencias, manejo y prevención de riesgos, antes, durante y en la clausura de los proyectos de ingeniería, capaces de generar, diseñar y ejecutar planes, proyectos y estrategias directas que sean una solución real y efectiva, con el propósito de intervenir y superar las contingencias potenciales por amenazas, riesgos ambientales y de seguridad industrial.

La fase de diagnóstico exige un estudio de evaluación permanente, que permita monitorear los puntos de generación, las cantidades de residuos diarias, mensuales y anuales, y la eficiencia del manejo y tratamiento de los lodos aceitosos que actualmente se realiza. De esta manera, se podrían alimentar bases de datos para modelar el comportamiento en el tiempo y realizar un diagnóstico más acertado que entregue resultados en tiempo real.

La fase conceptual del tren de procesos unitarios para el tratamiento de los lodos aceitosos propuesto en el presente estudio requiere ser complementada con la fase de diseño, por carga hidráulica y carga contaminante, definiendo el tipo, tamaño y secuencia de las unidades de tratamiento, el diseño de ingeniería de detalle, redes y obras hidráulicas, eléctricas, civiles, incluyendo memorias planos y presupuesto definitivo para la construcción, previa aprobación del plan de

manejo por parte de la autoridad ambiental (ANLA, CAR o Ministerio de Medio Ambiente).

El estudio de evaluación de impactos potenciales requiere un complemento metodológico que integre no solo las matrices de valoración de impactos de manera cualitativa realizada por expertos, sino que además incluya matrices cuantitativas que permitan realizar un modelamiento, para establecer de manera más precisa la calificación de los mayores impactos ambientales.

Para garantizar la eficiencia y eficacia de un plan de manejo ambiental se debe realizar: monitoreo, seguimiento, y evaluación permanente de los planes propuestos, incluyendo rediseño y mejoramiento continuo del PMA para hacerlo más operativo al momento de controlar, mitigar y corregir los impactos ambientales ocasionados, por la construcción, y operación de la planta de tratamiento de lodos aceitosos.

BIBLIOGRAFÍA

ABDEL-AZIM, A., ABDUL-RAHEIM, M., KAMEL R, ABDEL-RAOUF, M. Demulsifier systems applied to breakdown petroleum sludge. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 78, 364–370, 2011.

ACIS. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. Asociación colombiana de ingeniería sísmica, NSR-10, 1997.

ALTAMIRANO, M. & POZZO, M. Aislamiento e identificación de bacterias hidrocarburofíticas provenientes de un suelo sometido a biorremediación. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental 1 III-131, 2007.

AYOTAMUNOA, M., OKPARANMAA, R., NWENEKAA, E., OGAJIB S. & PROBERTB S. Bioremediation of a sludge containing hydrocarbons. *Applied Energy*. Volume 84, Issue 9, September 2007, Pages 936–943. Agricultural and Environmental Engineering Department, Rivers State University of Science and Technology, Port Harcourt, P. M. B. 5080, Rivers State, Nigeria. 2007.

BLANCON. The Enviro Servicices Specialist. Servicios de limpieza de tanques y de tratamiento de hidrocarburos. Estados Unidos.

BRAVO, E. Documentos ambientales. Recuperado el 30 de agosto de 2017, de Fundación Regional de Asesoría en Derechos Humanos, 2007. Disponible en Internet:

http://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf.

CABARIQUE, M. & ROJAS, M. Estructuración del plan de gestión integral de residuos aceitosos de la Superintendencia de Mares (SMA) de Ecopetrol S.A., Universidad de la Salle. Bogotá, 2006.

CAMEOTRA, S. & SINGH, P. Bioremediation of oil sludge using crude biosurfactants. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Volume 62, Issue 3, Pages 274–280. Institute of Microbial Technology, MTCC and Gene Bank, Sector 39-A, Chandigarh 160036, India, 2008.

CARRASCO, M. Y ORE, J. Tratamiento de las borras ácidas producidas en la manufactura de las bases lubricantes del tipo LCT en la refinería de Talara Perú, órgano de la divulgación científica y tecnológica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo Valencia, Venezuela, volumen 7, Núm. 001, 2000.

CERQUEIRAA, V., HOLLENBACHA, E., MABONIB, F., VAINSTEINB, M., CAMARGOC, F., PERALBAD, M. & BENTO, F. Biodegradation potential of oilysludge by pure and mixed bacterial cultures. *Bioresource Technology*. Volume 102, Issue 23, Pages 11003–11010, 2011.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA, Ley 99 (Diciembre 22, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., 1993.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE LA FUNCIÓN PÚBLICA. Decreto 3570 (Septiembre 27, 2011). Por el cual se modifican los objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, D.C., 2011.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Decreto 631 (Abril 18, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los

valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., 2015.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Decreto 1076 (Mayo 26, 2015). Por el cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. Bogotá, D.C., 2015.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Decreto 2141 (Octubre 15, 2014). Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Bogotá, D.C., 2014.

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA. (Julio 20, 1991) Gaceta Constitucional No. 116, 1991.

CRUZ RAMÍREZ, I. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. Identificación de los Problemas del Terreno, Primera Edición. Perú, 2004.

DNR. Louisiana Administrative Code. Statewide Order No. 29-B-a. Department of Natural Resources, Office of Conservation, 2010.

ECOPETROL S.A. Informe de Cumplimiento Ambiental No.3 para el campo de producción La Cira – Infantas, Radicación 4120-E1-45783, 2011.

ERCOLI, E. Biorremediación de Suelos desde el concepto de su aplicación. Foro Internacional de Supervisión y Fiscalización Ambiental en el Sector Hidrocarburos. Lima, Perú. 2008.

ESPINOZA, J. Tratamiento y disposición final de residuos industriales generados en una refinería. Rev. Inst. investig. Fac. minas metal, Cienc. Geogr. 6 (11): 20-31, 2007.

FAKHURU'L-RAZIA, A., PENDASHTAHA, A., ABDULLAHA, L., AWANG, D., MADAENIC, S. & ABIDINA, Z. Review of technologies for oil and gas produced

water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 170, Issues 2–3, Pages 530–551, 2009.

FERNÁNDEZ-VÍTORA, V. C. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Mundi-Prensa Libros, 2009.

FERRERA, R., ALARCÓN, A., MENDOZA, M., SANGABRIEL, W., TREJO, D., CRUZ, J., LÓPEZ, C. & DELGADILLO, J. Fitorremediación de un suelo contaminado con Combustóleo usando *Phaseolus Coccineus* y Fertilización Orgánica e Inorgánica. *Agrociencia*, vol. 41, núm. 8, pp. 817-826. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México, 2007.

FERRERA-CERRATO, R., ROJAS-AVELIZAPA, N. G., POGGI-VARALDO, H. M., ALARCÓN, A., & CAÑIZARES-VILLANUEVA, R. O. Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. *Revista latinoamericana de Microbiología*, 48(2), 179-187, 2006.

FLORES, N. & COL. Utilización de lodos residuales en la restauración de suelos contaminados con hidrocarburos. VI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, Pachuca; México, 2001.

GARCÍA, R., RIOS, E., MARTÍNEZ, A., RAMOS, F., CRUZ, J. & CUEVAS, M. Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 27, núm. 1, febrero, pp. 31-39. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México, 2011.

GÓMEZ OCAMPO, L. J., & GÓMEZ DOMÍNGUEZ, M. P. Métodos utilizados para el tratamiento de las borras de tanques de almacenamiento en la industria del petróleo. 2015.

GROSSO VARGAS, J. L. Tendencias de biorremediación para la industria petrolera. In Feria y Seminario Internacional. Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos Siglo XXI (pp. 1-82). ACODAL, 2007.

GUOLIN, J., TINGTING, C. & MINGMING, L. Studying oily sludge treatment by thermos chemistry. Arabian Journal of Chemistry. King Saud University. College of Chemistry and Chemical Engineering, Northeastern Petroleum University, Daqing, People's Republic of China, 2011.

HEIDARZADEH, N., GITIPOUR, S. & ABDOLI, MA. Characterization of oily sludge from a Tehran oil refinery. Waste Manag Res. 2010 Oct, 28 (10):921-7. Epub Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran. Iran, 2009.

HEJAZIA, R., HUSAINB, T. & KHANB, F. Landfarming operation of oilysludge in arid region—human health risk assessment. Journal of Hazardous Materials, Volume 99, Issue 3, Pages 287–302. Environmental Unit, R&D Center, Saudi Aramco, Dhahran, Saudi Arabia, 2003.

HIDALGO, M., GÓMEZ, M., MURCIA, M. & LAX, M. Análisis de diferentes técnicas de inertización de residuos peligrosos. Universidad de Murcia, España. Comunicación técnica del Congreso Nacional del Medio Ambiente C10 – CONAMA10, 2010.

IDEAM, M., IGAC, I., & SINCHI, P. Capa Nacional de Cobertura de la Tierra (periodo 2005-2009): Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1: 100.000. V1. 0, 2012.

IDEAM. Clasificación Climática Caldas - Lang. 2017. Disponible en Internet: <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Clasificaci-n-Clim-tica-Caldas-Lang-2012/3akx-3ph5>.

IDRABEL ITALIA. A Big Challenge in Oil Storage Tanks Management – Safe Tank Cleaning Process – Minimising Downtime. HYDROCARBONWORLD 2008, 2010.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014. Disponible en Internet: <https://geoportal.igac.gov.co/>

KARAMALIDIS, A. & VOUDRIAS, E. Cement-based stabilization/solidification of oil refinery sludge: Leaching behavior of alkanes and PAHs. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 148, Issues 1–2, Pages 122–135, 2007.

KRIIPSALU, M. & NAMMARI, D. Monitoring of biopile composting of oily sludge. *Waste Manag Res.* 2010 May. 28 (5):395-403. Estonian University of Life Sciences, 51014 Tartu, Estonia, 2009.

LAZAR, I., DOBROTA, S., VOICU, A., STEFANESCU M., SANDULESCU, L. & PETRISOR I. Microbial degradation of waste hydrocarbons in oily sludge from some Romanian oil fields. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 22, 151–160, 1999.

LIU, J., JIANG, X., ZHOU, L., HAN, X. & CUI, Z. Pyrolysis treatment of oil sludge and model-free kinetics analysis. *Journal of Hazardous Materials* 161, 1208–1215, 2009.

LIUA, W., LUOA, Y., TENGA, Y., LIA, Z & CHRISTIEC, P. Prepared bed bioremediation of oilsludge in an oilfield in northern China. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 161, Issue 1, Pages 479–484, 2009.

MARIN, J.A., HERNANDEZ, T. & GARCIA, C. Biorremediation of oil refinery sludge by landfarming in semiarid conditions: Influence on soil microbial activity. *Environmental Research*, Volume 98, Issue 2, Pages 185–195. Department of Soil and Water Conservation and Waste Management, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), P.O. Box 164, 30100 Murcia, Spain, 2005.

MAVDT. Términos de referencia Sector hidrocarburos. Estudio de impacto ambiental proyectos de explotación de hidrocarburos HI-TER-1-03, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Bogotá, D.C., 2010.

MENDONGA, M., EHRLICH, M., CAMMAROTA, M. & FREIRE, D. Dewatering of oily slurry using drying bed with geotextile filter. *Geosynthetics International*, Volume 15, Issue 3, pages 184 –191, ISSN: 1072-6349, E-ISSN: 1751-7613, 2008.

OKPOKWASILI, G. & NDUNNO, O. Comparative applications of bioreactor and shakeflask systems in the laboratory treatment of oily sludge. *International Journal of Environment and Waste Management* 2006 - Vol. 1, No.1 pp. 49 – 60. Department of Microbiology, University of Port Harcourt, Nigeria, 2006.

ORDAZ, J., MARTÍNEZ, A., RAMOS, F., SÁNCHEZ, L., MARTÍNEZ, A., TENORIO, J. & CUEVAS, M. Biorremediación de un suelo contaminado con petróleo mediante el empleo de bagazo de caña con diferentes tamaños de partícula. *Multiciencias*, vol. 11, núm. 2, pp. 136-145. Universidad del Zulia. Punto Fijo, Venezuela, 2011.

OUYANGA, W., LIUB, H., MURYGINAC, V., YUA, Y., XIUD, Z. & KALYUZHNYIC, S. Comparison of bio-augmentation and composting for remediation of oilysludge: A fieldscale study in China, Volume 40, Issue 12, Pages 3763–3768. *Process Biochemistry*, 2005.

PEÑA, J., BARRERA, B., RUIZ, R. & XOCONOSTLE, B. Bases moleculares de la fitorremediación de hidrocarburos totales del petróleo. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 24, Núm. 4, pp. 529-539. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, 2006.

RAMASWAMY, B. & KAR, D. D. A study on recovery of oil from sludge containing oil using froth flotation. *Journal of environmental management*, 85(1), 150-154, 2007.

RAS. Norma RAS para agricultura sostenible para producción agrícola y ganadera de fincas y grupos de productores. Red de Agricultura Sostenible, 2017.

REYES, F. Y AJAMIL, C. El agua de formación como pasivo ambiental acumulado. En: Petróleo, Amazonía y Capital Natural. Fondo Editorial C.C.E. Quito, 2005.

RIOJAS, H., TORRES, L., MONDACA, I., BALDERAS, J. & GORTÁRES, P. Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Química Viva, vol. 9, núm. 3, pp. 120-145 Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 2010.

RODRIGUEZ, J. & SÁNCHEZ, J. Biorremediación: Aspectos tecnológicos y aplicación al vertido del Prestige. Asturias: Universidad de Oviedo, Área de Ecología, 2002.

RUÍZ, N., RUÍZ J., CASTAÑÓN, J., HERNÁNDEZ E., CRISTIANI E. & GALÍNDEZ J. Phenol biodegradation using a repeated batch culture of *Candida tropicalis* in a multistage bubble column. Revista Latinoamericana de Microbiología, 43: 19-25, 2001.

SALANITRO, J. Bioremediation of petroleum hydrocarbons in soil Advances in Agronomy. Volume 72, 2001, Pages 53–105. Westhollow Technology Center Houston, Texas 77251-1380 USA, 2001.

SAVAL, S. Biorremediación de un suelo contaminado con diésel. Ingeniería y Ciencias Ambientales Núm. 3, 24-30, 1997.

SAVAL, S. Biorremediación de un suelo contaminado con diésel. Ingeniería y Ciencias Ambientales Núm. 33, Julio -Septiembre: 24-30, 2007.

SUÁREZ, L. Desarrollo de un método químico para recuperación de crudo a partir de las borras generadas en los procesos de mantenimiento de tanques y tuberías

en distritos de producción petroleros de Colombia, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2011.

SUAREZ, L.M. Desarrollo de un método químico para recuperación de crudo a partir de las borras generadas en los procesos de mantenimiento de tanques y tuberías en distritos de producción petroleros de Colombia. Tesis de grado para optar al título de Magister en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia, 2011.

TAHHAN, R., ABU-ATEIH, R. Biodegradation of petroleum industry oily-sludge using Jordanian oil refinery contaminated soil. *International Biodeterioration&Biodegradation* 63. 1054–1060, 2009.

UNAB. Foro de Entorno Tecnológico Ambiental en la Industria del Petróleo. Ecopetrol – UNAB, 2009.

VAN DEUREN, J., WANG, Z. & LEDBETTER, J. Remediation technologies screening matrix and reference guide. 3a Ed. Technology innovation office, EPA. 1997.

VECCHIOLI, G.I., COSTANZA, O.R., MORELLI, I.S., DEL PANNO, M.T., PAINCEIRA, M.T. & BENAVIDEZ, H. Biorremediación como alternativa a la incineración de residuos con hidrocarburos aromáticos polinucleares. Laboratorio de Biodegradación Microbiológica de Hidrocarburos - UNLP 47 y 115 (1900). 2007.

VIDALES, H., AFANADOR, L., PARRA, M., RODRIGUEZ, L., LOSIK, E. & VARGAS, J. Method for the Fluidisation of Sediment and the Recovery of Hydrocarbons from Hydrocarbon Storage Tanks. Ecopetrol S A, 2008.

YANA, P., LUC, M., YANGD, Q., ZHANGD, H., ZHANGA, Z. & CHENE, R. Oil recovery from refinery oilsludge using a rhamnolipid biosurfactant-producing *Pseudomonas*. *Bioresource Technology*, 2012.

ZHANG, J., LI, J., THRINGA, R., HUB X. & SONGA, X. Oil recovery from refinery oily sludge via ultrasound and freeze/thaw. *Journal of Hazardous Materials* 203–204 (2012) 195– 203, 2012.

ZHENG, C., WANG, M., WANG, Y. & HUANG, Z., Optimización del proceso de recuperación de hidrocarburos por medio de biosurfactantes. *Bioresources Technology* 110, 338 – 342, 2012.

APÉNDICES

Apéndice A. Ficha No. FMA 01 - 2 Manejo de aguas residuales domésticas e industriales.

FICHA DE MANEJO AMBIENTAL																				
MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES													Versión 1.0							
													Fecha 10/05/2018							
													Código FMA 01- 2							
Objetivo: Prevenir, controlar y mitigar la contaminación del agua por efecto del vertimiento directo de aguas domésticas e industriales proveniente de las obras y actividades en las fases de construcción, operación y clausura del sistema propuesto para el tratamiento de lodos aceitosos generados en el campo Cira Infantas.																				
ACTIVIDADES QUE GENERAN IMPACTOS																				
Movimiento y nivelación de tierras	Excavaciones profundas	Excavación para conformación de piscinas	Elaboración de mezclas	Uso de unidades sanitarias	Remoción de cobertura vegetal	Separación de aguas aceitosas de lodos	Bombeo del fluido de aguas aceitosas	Extracción de lodos de las unidades de tratamiento	Vapores de agua por altas temperaturas	Biorremediación de las biopilas	Demolición de estructuras	Limpieza y lavado de las unidades de tratamiento	Irrigación de agua para control de material sólido	Cargue y descargue de lodos	Tráfico vehicular de equipos y maquinaria pesada	Operación de lagunas anaeróbicas	Operación piscinas de recepción	Acordonamiento, extendido de biopilas y volteo para aireación	Demolición y retiro de escombros	Reconformación de la cobertura vegetal
			X	X		X	X	X		X		X			X	X				
IMPACTOS GENERADOS																				
IMPACTOS										ELEMENTOS										
Cambio físico químico y microbiológico en la calidad del agua										Agua										
Contaminación del suelo por derrames y percolaciones de aguas contaminadas										Suelo										
Cambio físico químico y microbiológico en la calidad del suelo																				
Olores ofensivos por vertimiento de aguas domésticas e industriales										Aire										
Generación de vectores generadores de enfermedades										Social										
Tipo de medida	Prevención	X	Mitigación	X	correctiva					compensación										
Fase de aplicación			Construcción			X	Operación			X	Clausura			X						

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

En el proceso de construcción, implementación y abandono del sistema propuesto para el tratamiento y disposición final de lodos aceitosos, se producen impactos negativos por efectos de la contaminación del agua, suelo, aire y afectaciones al componente social por las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, lo que involucra la formulación e implementación de medidas de manejo preventivo y mitigador. Para lo cual se tomará las siguiente:

Fase 1. Construcción

En esta fase se presentan vertimientos generados por los campamentos provisionales y las unidades sanitarias. Las siguientes son las actividades propuestas para el manejo de dichos vertimientos:

- **Baterías sanitarias.** Se instalarán baterías sanitarias portátiles en la zona de tratamiento biológico de lodos (biopilas), en el área de construcción de la planta de tratamiento de aguas aceitosas y zonas administrativas y en el área de almacenamiento de contingencias, por cada 15 trabajadores 1 batería sanitaria; se sugiere su utilización debido a que estas baterías se adaptan a las condiciones del terreno, no requiere adecuación especial del mismo, se transportan con facilidad y no producen fuentes de contaminación como olores o desechos.

Las unidades sanitarias deben ser suministradas por una compañía que cuente con los permisos respectivos y que además ofrezca el servicio de disposición final de los lodos generados y dispuestos en sitios debidamente autorizados por la Autoridad Ambiental Competente.

Su mantenimiento se efectuará mediante pastillas, las cuales son un potente desodorizante de sanitarios portátiles que elimina los olores más fuertes. Contiene efectivos tensoactivos y humectantes que facilitan la disolución de los restos fecales, cumpliendo las normativas en materia de biodegradabilidad.

Para el manejo adecuado de las baterías sanitarias se tendrán en cuenta los siguientes procedimientos:

- Se capacitará al personal de trabajadores para el uso correcto de las baterías sanitarias.
- Se retirarán las instalaciones sanitarias, una vez concluyan las actividades de construcción.
- Se recuperará las áreas intervenidas para la instalación de las baterías sanitarias, a partir del momento de su desmantelamiento.

Sistema de evacuación de desechos:

Se realizará mediante una bomba succionadora que extraerá los residuos y los depositará en el sitio destinado para su evacuación. Estos residuos (Sólidos y/o Líquidos) al ser tratados con tensoactivos y humectantes se transforman en elementos biodegradables no contaminantes que no producen olores y no atraen aves y roedores. La disposición final de estas aguas las realizará la empresa que suministra las unidades sanitarias.

Fase 2. Operación

En la operación se generan aguas de tipo industrial y doméstico, las siguientes son las medidas de manejo para cada tipo de vertimiento.

Aguas residuales domésticas. Las aguas residuales domésticas del proyecto, en cualquier etapa de su desarrollo, se manejarán a través de redes independientes. La operación del proyecto exige la construcción de una red sanitaria que captará los puntos sanitarios de las diferentes áreas del proyecto como:

- Oficinas
- Laboratorios
- Áreas comunes

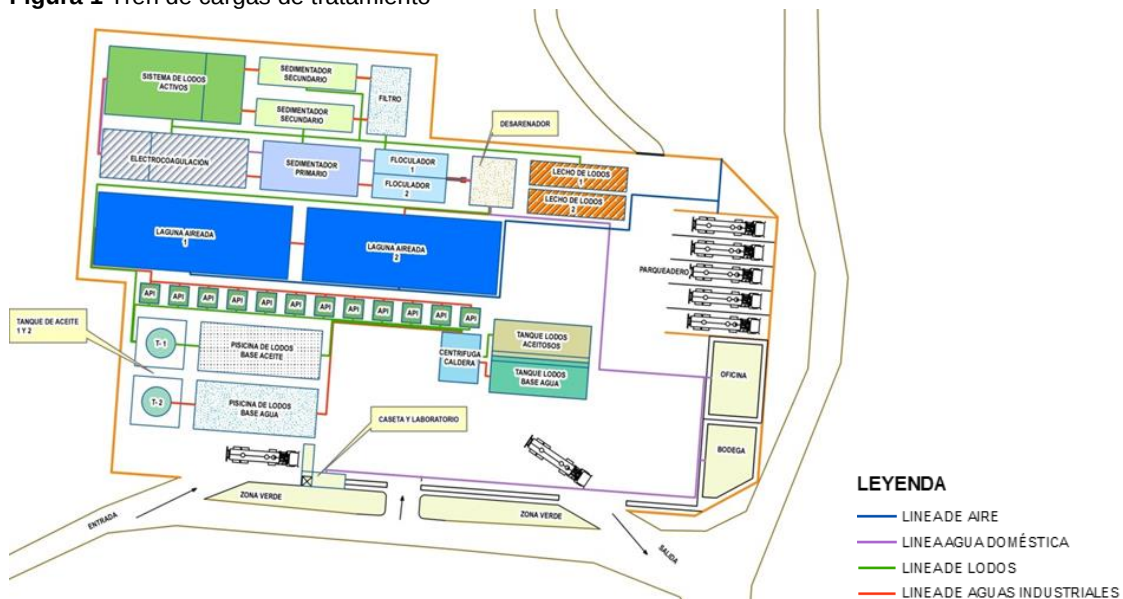
La red sanitaria que conducirá las aguas grises contará con un sistema aerobio denominado lodos activados,

seguida de sedimentadores y filtración, estas unidades de procesos unitarios hacen parte del sistema de tratamiento de aguas industriales y domésticas diseñadas para el tratamiento del agua proveniente de la deshidratación de los lodos petroleros.

Aguas residuales Industriales. Las aguas industriales solo se generarán en la etapa de operación. El tren de cargas previsto para ese tratamiento exige las siguientes etapas:

- Coagulación inicial antes del proceso de centrifugado
- Sistema de flotación
- Separadores Api
- Lagunas de aireación
- Tratamiento físico químico
- Electrocoagulación
- Tratamiento biológico con lodos activados

Figura 1 Tren de cargas de tratamiento



Para control de fugas de lodos, grasas, aceites y combustibles todas las unidades estarán confinadas en diques de concreto y estos diques están conectados a la red de canales internos del área de operación descrita en la Ficha No. **FMA 01 - 1**

Labores de operación. Para la operación del sistema de tratamiento se requieren dos fases:

- **Arranque y estabilización de la planta.** Para poder activar los sistemas fisicoquímicos y microbiológicos, se requiere dar inicio al tratamiento con un caudal mínimo diferente al caudal de diseño, para definir dosis de insumos químicos, crecimiento, reproducción y adaptación de los consorcios microbianos, realizar pruebas hidráulicas, de bombeo, sistemas de sensores y ajuste electromecánico del sistema, de acuerdo con el manual de operación de la planta.
- **Puesta en marcha.** Se prevé la utilización del caudal de diseño y verificación continua de los sistemas de tratamiento mediante el monitoreo permanente en cada unidad de proceso y verificación de eficiencia de remoción de acuerdo con la normatividad ambiental vigente.

Labores de mantenimiento. Cada unidad del tren de tratamiento tiene un mantenimiento particular y preventivo, y se establecen dos programas:

- Mantenimiento preventivo permanente, es cual es llevado a cabo por sensores del sistema y análisis de eficiencia de cada proceso unitario.
- Mantenimiento correctivo, el cual identifica variables como la corrosión de ductos, tuberías, fallas en el sistema electromecánico, colmatación de unidades, desaparición súbita de los consorcios microbianos por alteración bioquímica. En esta fase se prevé la operación de la planta al 50%, debido a la existencia de unidades paralelas de los procesos unitarios, para evitar una parada general y por consecuencia un nuevo arranque del sistema de tratamiento. Se estima que este mantenimiento debe realizarse cada 6 meses

El éxito de las labores de operación y mantenimiento deben ser realizadas por personal capacitado, con las competencias requeridas.

El efluente de la planta de tratamiento de aguas será dispuesto en un humedal artificial. Los efluentes finales deberán cumplir con la normatividad ambiental vigente para el vertimiento y aspersión en áreas de restauración.

Las aguas residuales industriales provenientes de las piscinas de recepción y en el área de biotramiento de lodos petroleros, serán conducidas un tanque de almacenamiento y bombeada la planta de tratamiento de aguas industriales

Fase 3. Clausura

Previamente al cierre y clausura de la planta se dejará un tiempo de retención para tratar y evacuar todo el excedente de aguas contaminadas.

Una vez iniciado el desmantelamiento de la planta se realizarán las actividades prevista en la etapa de construcción, en donde ya no se generarán aguas industriales, sino aguas domésticas y el tratamiento será por medio de baterías de baños portátiles.

Nota: Es importante resaltar que para el vertimiento industrial y doméstico es necesario tramitar el permiso de vertimiento ante la Autoridad Ambiental Competente

TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

- Tratamiento primario incluye (cribas, desarenador, sistemas de flotación, trampas de grasas y separadores Api
- Tratamiento secundario (Piscina de aireación, tratamiento físico químico y lodos activados)
- Tratamiento terciario (Electrocoagulación, filtración y humedal artificial)

El sistema será automatizado para controlar cambios de presión, niveles piezométricos

Para llevar a cabo el uso de estas tecnologías es necesario realizar capacitaciones para toma de muestras, para llevar a cabo ensayos que permita determinar la calidad del agua, para monitoreos, interpretación de resultados y manejo y operación de los diferentes sistemas de tratamientos propuestos.

Realizar el muestreo de agua previo inicio de las actividades para tener puntos de comparación. Socialización de los resultados y envío a la Interventoría y serán parte de la información a transmitir a la Autoridades Ambiental Competente.

NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE APLICABLE						
La siguiente es la normatividad ambiental vigente y aplicable para vertimiento industriales y domésticos • Código de los Recursos Naturales (Decreto - Ley 2811 de 1974) • Decreto 1729 de Cuencas Hidrográficas • Decreto 1594 de 1984. Uso del Agua y Vertimientos • Resolución 1433 de 2004. Plan de saneamiento y manejo de vertimientos • Decreto 3930 de 2010 Uso del Agua y Vertimientos Líquidos • Decreto 4728 de 2010 "Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010 • Decreto 2115 de 2007 características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano						
Lugar de aplicación	Tratamiento lodos	X	Tratamiento aguas	X	Piscinas recepción	X
Responsable	FERMAR	X	Contratista		Interventoría	
PERSONAL REQUERIDO						
Un (1) Ingeniero Ambiental que se encargará de la dirección de las labores de Monitoreo y de las actividades concernientes a la prevención de los impactos al componente hídrico. Un (1) Técnico en agua residual para operar la planta Un (1) Técnico laboratorio Un (1) Disponibilidad de (1) en electromecánica La toma de muestras se realizará con un laboratorio Certificado por el IDEAM, con el equipo de profesionales para tal fin.						
SEGUIMIENTO Y MONITOREO						
• Estudio de vertimientos una vez al año por efecto de cobro de tasa retributiva • Medición de parámetros diarios del efluente in situ • Estudio de análisis de eficiencia de remoción de la planta cada mes, en la cual se revisarán parámetros como DBO, DQO, sólidos, grasas, aceites, nitritos, nitratos y sales • Realizar un estudio cada seis meses en donde se evalúa metales pesados, fenoles, hidrocarburos y otros que la normatividad ambiental vigente lo exija. • Registro fotográfico						
INDICADORES						
Descripción Indicador	Pertinencia Indicador		Unidad de medida			
Las siguientes son las características de los indicadores propuestos: 1. Indicador de Cobertura 2. Indicador de Cobertura 3. Indicador de Eficiencia 4. Indicador de Eficiencia	Permite cuantificar la implementación de unidades y sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas en las diferentes etapas de proyecto		Porcentaje (%)			

Fórmula			
Monitoreo de residuos líquidos (M R L)			
1. $\frac{\text{Número de unidades sanitarias instaladas}}{\text{Número total de usuarios y personas de la obra}}$			
2. $\frac{\text{Número de procesos unitarios instaladas}}{\text{Número total de procesos unitarios diseñados}} \times 100$			
3. $\frac{\text{Metros cúbicos de agua residual industrial tratada}}{\text{Metros cúbicos totales de agua residual industrial producida}} \times 100$			
4. $\frac{\text{Número de parámetros físico químicos y microbiológicos que cumplen con la normatividad ambiental}}{\text{Número totales de parámetros monitoreados}} \times 100$			
Frecuencia	Lugar de aplicación	Limitante del indicador	
Un informe mensual sobre los avances de estas actividades de manejo en la etapa de construcción	En los tres Frentes de trabajo	No permite identificar las competencias del personal que labora en el proceso	
Un informe semestral sobre los avances del monitoreo, control y eficiencia de remoción de carga contaminante de la planta	En los tres Frentes de trabajo		
Un informe mensual sobre los avances de estas actividades de manejo en la etapa de desmantelamiento	En los tres Frentes de trabajo		
ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN			
Actividades	Construcción	Operación	Clausura
Manejo de aguas residuales domésticas	X	X	X
Manejo de aguas Industriales		X	

COSTOS				
Descripción	Und.	Cantidad	Valor Und.	Valor total
Redes sanitarias de 4"	mL	160	\$ 54.500,00	\$ 8.720.000,00
Puntos sanitarios de 3"	Und	30	\$ 44.000,00	\$ 1.320.000,00
Unidades sanitarias	Und	5	\$ 300.000,00	\$ 1.500.000,00
Cabinas sanitarias portátiles	GL	1	\$ 600.000,00	\$ 600.000,00
Tratamiento primario	GL	1	\$ 60.000.000,00	\$ 60.000.000,00
Tratamiento secundario	GL	1	\$ 210.000.000,00	\$ 210.000.000,00
Tratamiento terciario	GL	1	\$ 100.000.000,00	\$ 100.000.000,00
Manejo de lodos	GL	1	\$ 10.000.000,00	\$ 10.000.000,00
Accesorios y equipos	GL	1	\$ 60.000.000,00	\$ 60.000.000,00
TOTAL				\$392'140.000,00

Ficha No. FMA 01 - 3 Manejo del descapote y revegetalización

FICHA DE MANEJO AMBIENTAL																		
MANEJO DEL DESCAPOTE Y REVEGETALIZACIÓN														Versión 1.0				
														Fecha 10/05/2018				
														Código FMA 01- 03				
Objetivo: Minimizar la afectación a los recursos naturales, promoviendo medidas de manejo de los materiales de desmonte y descapote que permitan la conservación del suelo para su utilización en labores de restauración de las áreas afectadas por la implementación del proyecto																		
ACTIVIDADES QUE GENERAN IMPACTOS																		
X	X	X			X					X						X	X	X
X	X	X			X					X								
IMPACTOS GENERADOS																		
IMPACTOS										ELEMENTOS								
Generación de material particulado										Aire								
Cambio en la calidad fisicoquímica del agua										Agua								
Contaminación al suelo										Suelo								
Pérdida de cobertura vegetal																		
Alteración geomorfológica																		
Alteración paisajística																		
Cambio de uso actual del suelo																		
Tipo de medida		Prevención		X	Mitigación		X	correctiva		X	compensación		X					
Fase de aplicación				Construcción			X	Operación			Clausura			X				

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La actividad de descapote se realizará en los frentes de trabajo (área de biotratamiento de lodos, área de la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas y en la zona de almacenamiento de contingencias), es importante resaltar que en estas áreas se encuentra una cobertura vegetal actual de pastos limpios, no hay árboles ni arbustos, no es necesario tramitar permiso de aprovechamiento forestal ante la Autoridad Ambiental Competente. Las siguientes son las actividades propuestas para el manejo del descapote:

FASE CONSTRUCCIÓN

- Identificar las profundidades promedio del primer horizonte (A) para ser removido y dispuesto separadamente de la siguiente capa de suelos.
- Remover la siguiente capa de suelos (horizontes B y C), los cuales deberán ser dispuestos separadamente de la anterior capa.
- El material para descapotado corresponde a las áreas de conformación de terrazas de operación y el material dispuesto lateralmente producto de la excavación en la construcción de taludes de vías y conformación de estas.
- El área de acopio de materia de descapote debe estar protegido del sol, escurrimiento superficial y compactación, manteniéndolo durante el periodo de conformación (corte y relleno de terrazas operativas) y su posterior utilización en la revegetalización de las áreas conformadas para taludes de áreas operativas y de zonas verdes del proyecto
- La diferencia de nivel entre las terrazas de operación genera taludes erosionables los cuales requiere empujar para evitar desprendimiento y arrastre de sólidos.
- En la generación de material particulado, por acciones de conformación de terrazas, se encuentran escritas en la Ficha No. FMA 01 - 1 Manejo de material particulado
- Las medidas de manejo en la calidad fisicoquímica del agua por efectos de descapote, se encuentran descritas en la Ficha No. 01 – 1 Manejo de aguas de escurrimiento superficial. Es importante resaltar que en el área de estudio no se encuentran corrientes permanentes ni transitorias, solo hay drenajes de escurrimiento de agua superficial.

Por ser esta región de alta precipitación se deberán construir sistemas de drenaje temporal cuando se prolongue las obras de restauración, a fin de evitar concentración de flujo y erosión del terreno.

FASE CLAUSURA

Una vez desmantelado las estructuras se procede a la reconformación y revegetalización de las áreas afectadas, las siguientes son las actividades para realizar:

Reconformación de la cobertura superficial. El plan de revegetalización se fundamenta principalmente en el establecimiento de una cobertura vegetal similar a la original, ya que esta incide directamente sobre la fauna que allí ha de habitar

- Se propiciará el enriquecimiento de los suelos de las áreas intervenidas, mediante el esparcimiento de material orgánico, para la posible siembra de vegetación de estrato rasante y otras especies factibles de utilizar en las actividades de revegetalización.
- Se deberá tener en cuenta la selección de especies propias de la zona que poseen un crecimiento denso, rápido desarrollo y buen desarrollo de raíces para que formen un obstáculo efectivo al arrastre del suelo.
- En áreas de talud, se complementará la siembra de especies rasantes con el sistema de biomanto, el cual consiste en la preparación de un sustrato de hojarasca, material orgánico (compost, gallinaza, cascarilla de arroz, suelo orgánico proveniente del descapote etc.) y semillas de gramíneas.

TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

Durante el desarrollo del proyecto se removerán volúmenes de material herbáceo el cual, entremezclado con el suelo orgánico del descapote, arroja un volumen considerable de material, que puede ser utilizado posteriormente para restaurar aquellas zonas que queden expuestas a erosión. En caso de que este material pueda ser reutilizado, se seguirá el siguiente procedimiento para su manejo:

MANEJO:

- Antes de dar inicio a esta actividad, el Contratista se asegurará de que el descapote sea el mínimo necesario, de acuerdo con los diseños definitivos, por lo que se deberá planear y programar todas las actividades por ejecutar.
- Se llevará un control permanente del volumen removido; de esta manera se minimizará la afectación de la cobertura vegetal.
- El operador del Buldócer, encargado del descapote, debe tener cuidado suficiente al realizar esta actividad, para evitar altas emisiones del suelo al aire.
- La remoción de la capa orgánica debe hacerse bajo estricto control, por lo que debe haber un inspector que le indique al operario, la profundidad a la cual debe maniobrar las cuchillas, para evitar la mezcla de estériles con la capa vegetal.

ALMACENAMIENTO:

- El suelo orgánico se colocará en un sitio adecuado dentro del frente de obra, previamente seleccionado, para que pueda ser utilizado posteriormente en la restauración de esta o de otras áreas del proyecto.
- Debe tenerse especial cuidado en la forma de colocación de los cespedones, vigilando que quede pasto sobre pasto y tierra sobre tierra, de manera que no se vayan a dañar.
- En este caso, el material deberá disponerse en capas cuya altura no superen los 2,0 m, en una superficie plana que impida su compactación.

PROTECCIÓN:

- Durante el tiempo que los suelos estén almacenados deberán ser tratados, con el fin de evitar su degradación, compensar la pérdida de materia orgánica e inducir la formación de una capa vegetal adecuada para la zona.
- Si esto no es posible, se protegerá con material impermeable (lonas o plásticos), para evitar que la lluvia o el viento lo disperse o arrastre.

RESTAURACIÓN DE ZONAS:

- Para minimizar el impacto al paisaje, el material almacenado se utilizará dentro del proyecto para revegetalizar aquellas zonas que queden desprovistos de cobertura vegetal.
- Se combinarán diferentes técnicas de revegetalización que incluyen: selección de especies vegetales, aplicación de estacas vivas, fajinas vivas y arborización, biomanto de fique para facilitar el establecimiento de la vegetación.

NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE APLICABLE						
• Código de los Recursos Naturales (Decreto - Ley 2811 de 1974) • Decreto 1791 de 1996 (Régimen de aprovechamiento forestal) • Decreto-Ley 154 de 1976 en cuanto a protección del paisaje. • Decreto 2820 de 2010, por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales • Resolución 1503 de 2010, por medio de la cual se adopta la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones.						
Lugar de aplicación	Biotratamiento de lodos	X	Tratamiento aguas	X	Piscinas recepción	X
Responsable	FERMAR	X	Contratista		Interventoría	
PERSONAL REQUERIDO						
Un (1) Ingeniero Agrícola, Agrónomo o Forestal que se encargará de la dirección de las labores de remoción de cobertura vegetal y prestación de la asesoría técnica. Un Interventor ambiental (preferiblemente ingeniero Forestal o Ambiental) con experiencia en este tipo de labores, el cual velará por el cumplimiento a cabalidad de la normatividad ambiental y la ejecución apropiada de las labores pertinentes. Un (1) tecnólogo forestal y obreros rasos que se encargarán de la siembra y revegetalización						
SEGUIMIENTO Y MONITOREO						
Se realiza seguimiento y control a las actividades y áreas dispuestas para: • El almacenamiento transitorio de cobertura y capa vegetal, además de obras necesarias para el aislamiento de zonas recuperadas • Debe monitorearse que el área a afectar se estrictamente la necesaria para la implementación de las zonas de tratamiento, administrativas y de conectividad • Que la disposición del material vegetal no afecte otros recursos como, por ejemplo: cuerpos de agua cercanos y material particulado • Debe tomarse registro fotográfico de todas las actividades realizadas y garantizar así, toda la implementación de las medidas del presente plan						
INDICADORES						
Descripción Indicador	Pertinencia Indicador		Unidad de medida			
Las características de los indicadores establecidos para estas actividades son: 1. Indicador de cobertura 2. Indicador de cobertura 3. Indicador de cobertura	Este indicador permite evaluar y cuantificar la implementación de las actividades de descapote y revegetalización del proyecto		Porcentaje (%)			

Fórmula				
Monitoreo de Descapote (MD)				
1. $\frac{\text{metros cuadrados de área descapotada}}{\text{metros cuadrados de área del proyecto}} \times 100$				
2. $\frac{\text{metros cuadrados de área revegetalizada en la fase de construcción}}{\text{metros cuadrados totales de área a restaurar en la fase de construcción}} \times 100$				
3. $\frac{\text{metros cuadrados de área revegetalizada en la fase de clausura}}{\text{metros cuadrados totales de área a restaurar en la fase de clausura}} \times 100$				
Frecuencia	Lugar de aplicación	Limitante del indicador		
Un informe mensual sobre los avances de esta actividad de manejo en la etapa de construcción	En las tres áreas de operación (recepción de lodos, biotratamiento de lodos y tratamiento de aguas)	La identificación de las especies a revegetalizar		
Un informe semestral sobre los avances de la medida en la fase de operación		No tiene control sobre las técnicas utilizadas en el descapote		
Un informe mensual sobre los avances de esta actividad de manejo en la etapa de desmantelamiento				
ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN				
Actividades	Construcción	Operación	Clausura	
Localización y replanteo del área a remover	X	X	X	
Retiro manual o mecánico del descapote	X	X		
Retiro del manto orgánico del suelo	X	X		
Disposición de residuos vegetales y fase orgánica del suelo, y revegetalización	X			
Almacenamiento temporal de la materia orgánica y de los cespiones	X			
Revegetalización	X	X	X	
COSTOS				
Descripción	Und.	Cantidad	Valor Und.	Valor total
Descapote a máquina	m ²	27300	\$ 700,00	\$ 19.110.000,00
Replanteo	Ha	2,73	\$ 350.000,00	\$ 955.500,00
Almacenamiento de material	m ³	2730	\$ 6.000,00	\$ 16.380.000,00
Revegetalización	m ²	27300	\$1.000	\$ 27.300.000,00
TOTAL				\$63.745.500,00

Ficha No. FMA 01 - 4 Manejo de residuos sólidos

FICHA DE MANEJO AMBIENTAL																				
MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS															Versión: 1.0					
															Fecha 10/05/2018					
															Código FMA 01- 04					
Objetivo: Diseñar medidas de prevención, disminución y manejo que permitan un tratamiento y disposición adecuada de los residuos sólidos generados en cada una de las etapas del sistema propuesto para el tratamiento y disposición final de lodos aceitosos.																				
ACTIVIDADES QUE GENERAN IMPACTOS																				
Movimiento y nivelación de tierras	Excavaciones profundas	Excavación para conformación de piscinas	Elaboración de mezclas	Uso de unidades sanitarias	Remoción de cobertura vegetal	Separación de aguas aceitosas de lodos	Bombeo del fluido de aguas aceitosas	Extracción de lodos de las unidades de tratamiento	Vapores de agua por altas temperaturas	Biorremediación de las biopilas	Demolición de estructuras	Limpieza y lavado de las unidades de tratamiento	Irrigación de agua para control de material particulado	Cargue y descargue de lodos	Tráfico vehicular de equipos y maquinaria pesada	Operación de lagunas anaeróbicas	Operación piscinas de recepción	Acordonamiento, extendido de biopilas y volteo para disposición	Demolición y retiro de escombros	Reconformación de la cobertura vegetal
X	X	X			X			X		X	X	X		X	X			X	X	
IMPACTOS GENERADOS																				
IMPACTOS									ELEMENTOS											
Alteración de la calidad del aire									Aire											
Cambios en la calidad fisicoquímica y microbiológica del suelo									Suelo											
Alteración paisajística																				
Disminución del área de relleno																				
Cambios en la calidad de las aguas subsuperficiales									Agua											
Salud de los trabajadores									Social											
Tipo de medida	Prevención	X	Mitigación		X	Correctiva		X	Compensación		X									
Fase de aplicación			Construcción			X	Operación			X	Clausura			X						

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

Dada la complejidad de las diferentes fases del proyecto y la cantidad y la caracterización de residuos generados en cada una de sus etapas se requiere como metodología y estrategia denominada plan de manejo integral de Residuos Sólidos (PMIRS), los residuos generados son los siguientes:

DEFINICIONES

Residuos sólidos urbanos: componen los residuos domésticos, que varía según los niveles de ingreso, los hábitos de consumo, la calidad de vida y la disponibilidad y desarrollo tecnológico de la población. Estos residuos se generan en los campamentos.

Residuos industriales: Son los producidos según el tipo de actividad en una industria; en donde se podrá separar principalmente, según la calidad de las materias primas y las propiedades físicas y químicas. Estos residuos se generan en la industria petroquímica.

Residuos institucionales: Son generados por el sector terciario que abarcan los bancos, las oficinas, los centros de enseñanza, cementerios, prisiones, etc. Son los residuos generados en las oficinas, laboratorio y área administrativa.

Residuos hospitalarios o patogénicos: Restos del trabajo clínico o de investigación. Actualmente el manejo de los residuos hospitalarios no es el más apropiado ya que no existe un reglamento claro al respecto. El manejo de estos residuos es realizado a nivel del generador y no bajo un sistema descentralizado. A nivel del hospital los residuos son generalmente esterilizados. La composición de los residuos hospitalarios varía desde el residuo tipo residencial y comercial, a residuos de tipo médico que contienen sustancias peligrosas. Estos residuos se generan en la sala de primeros auxilios.

Residuos de construcción y demolición: Son aquellos generados por las actividades de excavación, construcción de obras de concreto, de carpintería metálica, techos, acabados, remodelación y demolición.

Los residuos producidos en los centros de trabajo de la planta de tratamiento de residuos sólidos se clasifican en:

- **Residuos generados en la fase de construcción:** los generados en los campamentos y en la fase de construcción.
- **Residuos generados en la fase de operación:** los generados en las piscinas de recepción de contingencias, los generados en la planta de tratamiento de aguas industriales y de aguas domésticas, y en las áreas de biorremediación
- **Residuos generados en la fase de clausura:** los generados en procesos de demolición, desmontaje de las estructuras, retiro final de escombros y sobrantes y la restauración vegetativa y reforestación de la zona.

Los tipos de residuos presentes en la obra son:

Tipo 1 (Reciclable y/o reutilizables): material de vidrio, aluminio, madera, papel, cartón, empaques plásticos y Chatarra.

Tipo 2 (Contaminados): Geotextiles, lonas, guantes, zapatos, estopa, en general los materiales utilizados para contener o recoger derrames de combustibles, aceites y pinturas, empaques y envases provenientes de los combustibles, lubricantes, solventes, cemento, pinturas y residuos provenientes de la enfermería.

Tipo 3 (orgánicos): sobrantes de comida y en general todos los desperdicios orgánicos.

Para el manejo adecuado de estos residuos, se adelantarán las siguientes actividades:

- Realización del inventario del tipo de residuos, controlar la compra de insumos y productos necesarios, definir los sitios de producción dentro del área operativa, calcular la cantidad generada tanto de residuos

domésticos, de construcción y RESPEL.

- Conociendo la cantidad, la caracterización y el sitio donde se produce definir los posibles puntos ecológicos, el tipo de recipiente, el volumen del recipiente y el rótulo de acuerdo con la seguridad de salud ocupacional.
- Definir la clasificación del tipo de residuo y las posibles alternativas de tratamiento y disposición final
- Dependiendo de la clasificación, caracterización y cantidad producida se define la presentación del residuo, se diseña y se define el área de bodegaje y el sitio de almacenamiento temporal.

Para el manejo de dichos residuos se realizarán las siguientes actividades principalmente:

- Capacitación al personal en cuanto a tipo de residuos, riesgo, clasificación adecuada, así como de los procesos de reutilización y reciclaje de los materiales y finalmente el almacenamiento de los residuos generados.
- Nombrar una brigada especial de gestión ambiental encargada de orden y aseo.
- Definir el manual de funciones y responsabilidades para el personal en la obra sobre el manejo, separación y disposición adecuada de los residuos generados.
- Adquirir y dotar con equipos de protección personal a los trabajadores. De igual forma asignar las rutas de recolección y los equipos de transporte para el traslado de los residuos.
- Disponer de los puntos de recolección temporal para material reciclable y reusable en las obras.
- Los residuos sólidos deben disponer en recipientes tapados, en diversos puntos y protegidos contra la acción del agua y deben ser diferenciados por colores con el fin de realizar la separación de los mismo en la fuente.

Puntos ecológicos



- Disponer de un punto de almacenamiento temporal de manejo de RESPEL en los frentes de obra y el punto de recolección para retiro de este material por una firma autorizada y certificada por la autoridad ambiental competente, los recipientes destinados para la recolección de estos residuos sólidos especiales deberán ser resistentes al efecto corrosivo.
- Realizar la recolección diaria de los residuos generados dirigida por la brigada de orden y aseo.
- Realizar la disposición final adecuada para cada tipo de residuo.

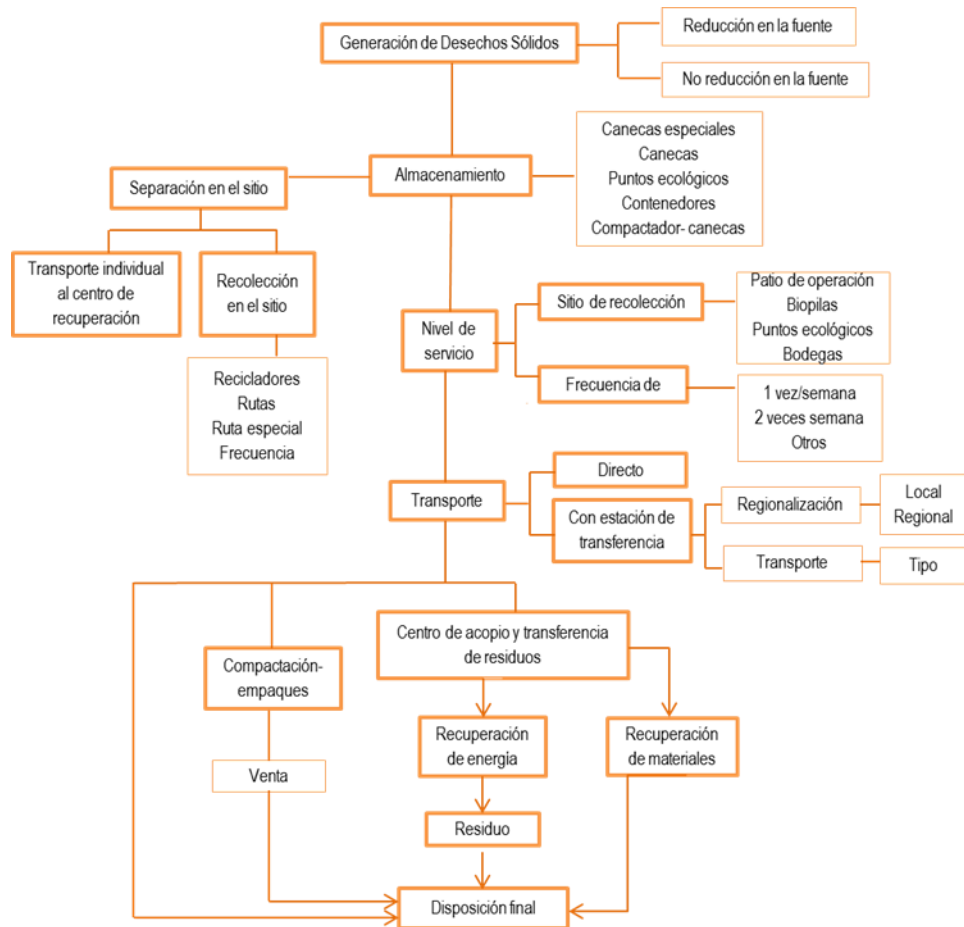
Acciones para residuos peligrosos:

- Identificar y clasificar por categorías para tratamiento, eliminación y transporte
- Montar infraestructura especial para su disposición y manejo
- Llevar registros rigurosos y confiables de origen, uso y destino
- No permitir la entrada a personas ajenas por posibles peligros a los que se expongan
- Adelantar campañas educativas sobre la manipulación, equipos de protección personal y riesgos por la manipulación de residuos químicos, tóxicos y explosivos

TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

Se tendrá como base el PMIRS (Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos)

ALTERNATIVAS DE DECISIONES PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS



Las alternativas tecnológicas son aquellas que permiten reducir la generación de los residuos, reúso y reutilización y correcto aprovechamiento y disposición final.

Se proponen las siguientes alternativas:

1. Racionalización del consumo de elementos de oficina
2. Reducción de empaques, envases y embalajes
3. Recuperación de partes, piezas y equipos
4. Garantizar un mantenimiento preventivo de equipos
5. Optimizar los procesos de construcción y los de operación
6. Reutilización al máximo de los materiales provenientes de la construcción
7. Utilizar los envases para puntos ecológicos cambiando el rótulo y dando un color apropiado.
8. Recuperar los hidrocarburos de los lodos aceitosos en el tratamiento primario
9. Utilización racional de materia prima e insumos
10. Comprometer que el proveedor sea el encargado de la disposición final de los insumos que generan residuos peligrosos
11. La empresa debe formular el plan de gestión de residuos sólidos de acuerdo con la normativa ambiental vigente
12. Seleccionar de acuerdo con el residuo, la empresa encargada de la disposición final

NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE APLICABLE

La siguiente es la normatividad vigente y aplicable para el manejo de los residuos sólidos:

- Resolución 2309 de 1986. Por el cual se dictan normas para el cumplimiento y del contenido del Título III de la Parte 4 del Libro 1 del Decreto – Ley Número 2811 de 1974 y de los Títulos I, III y XI de la Ley 9 de 1979, en cuanto a Residuos Especiales. Ministerio de Salud.
- Ley 430 DE 1998. Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 1609 de 2002. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
- Decreto 1713 de 2002. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- Decreto 4741 de 2005. Reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
- Ley 1252 de 2008. Normas prohibitivas en material ambiental referentes a residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
- Resolución 019 de 2008. Se derogan unas disposiciones y se unifica la reglamentación para compra, venta, consumo, distribución, almacenamiento y transporte de las sustancias sometidas a control especial.
- Resolución 2400 de 1979. Estatuto de seguridad industrial. Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.
- Ley 9 de 1979. Código sanitario. Por la cual se dictan medidas sanitarias. Normas para preservar, conservar y mejorar la salud de los individuos en sus ocupaciones.

<i>Lugar de aplicación</i>	<i>Tratamiento lodos</i>		<i>Tratamiento aguas</i>		<i>Piscinas recepción</i>	<i>X</i>
<i>Responsable</i>	<i>FERMAR</i>	<i>X</i>	<i>Contratista</i>	<i>X</i>	<i>Interventoría</i>	<i>X</i>

PERSONAL REQUERIDO

Todo el personal interno, contratistas, proveedores o partes interesadas deben realizar separación en la fuente de los residuos generados en las diferentes áreas del proyecto.

Un (1) coordinador ambiental que lidera los procesos de capacitación y formación asociados a la gestión de los residuos sólidos. De igual maneja deberá verificar la separación y garantizar la adecuada disposición de los residuos.

Una empresa encargada de la recolección de los residuos RESPEL y de los residuos orgánicos.

SEGUIMIENTO Y MONITOREO

- Formatos de registro: residuos sólidos generados y residuos sólidos dispuestos
- Actas de talleres de capacitación, socialización del plan de gestión integral de residuos sólidos y peligrosos
- Registro fotográfico de sitios de almacenamiento y de control ecológico

<i>Descripción Indicador</i>	<i>Pertinencia Indicador</i>	<i>Unidad de medida</i>
Eficiencia	Permite medir, controlar, seguir y disponer la cantidad de residuos generados	Porcentaje (%)

Fórmula				
Monitoreo Integral de Residuos Sólidos (MIRS)				
$MIRS = \frac{\text{Residuos sólidos separados}}{\text{Total de Residuos sólidos Producidos}} * 100$				
$MIRS = \frac{\text{Residuos sólidos Producidos Kg/mes}}{\text{Residuos sólidos Manejados Kg/mes}} * 100$				
Frecuencia	Lugar de aplicación	Limitante del indicador		
Aplicación semanal y un informe mensual sobre los avances de esta actividad de manejo	En las áreas de operación	Mide la recolección y el manejo más no mide la eficiencia de separación y disposición final		
ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN				
Actividades	Construcción	Operación	Abandono	
Separación, clasificación y almacenamiento temporal	X	X	X	
Almacenamiento y disposición final	X	X	X	
COSTOS				
Descripción	Und.	Cantidad	Valor Und.	Valor total
Caseta de almacenamiento				
placa de concreto	m ²	20	\$ 44.000,00	\$ 880.000,00
Cubierta	m ²	14	\$ 49.000,00	\$ 686.000,00
cercha metálica	m ²	12	\$ 135.000,00	\$ 1.620.000,00
malla metálica	m ²	35	\$ 52.000,00	\$ 1.820.000,00
canal en concreto	mL	18	\$ 44.000,00	\$ 792.000,00
malla metálica	mL	18	\$ 32.000,00	\$ 576.000,00
Puntos ecológicos				
placa de concreto 0.10*(2*2.5)	m ²	5	\$ 44.000,00	\$ 220.000,00
estructura metálica (1.5*2)	m ²	3	\$ 135.000,00	\$ 405.000,00
tubería 2 1/2"	mL	6	\$ 45.000,00	\$ 270.000,00
excavaciones	m ³	1	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
Canecas	unidad	4	\$ 85.000,00	\$ 340.000,00
TOTAL				\$ 7.634.000,00

Ficha No. FMA 01 - 5 Manejo de suelos

FICHA DE MANEJO AMBIENTAL																				
MANEJO DE SUELOS															Versión 1.0					
															Fecha 10/08/2018					
															Código FMA 01- 05					
Objetivo: Determinar los criterios generales que conduzcan a la prevención o minimización de la contaminación del suelo y los procesos erosivos generados en las zonas donde se desarrolla las fases de operación del proyecto.																				
ACTIVIDADES QUE GENERAN IMPACTOS																				
Movimiento y nivelación de tierras	Excavaciones profundas	Excavación para conformación de piscinas	Elaboración de mezclas	Uso de unidades sanitarias	Remoción de cobertura vegetal	Separación de aguas aceitosas de lodos	Bombeo del fluido de aguas aceitosas	Extracción de lodos de las unidades de tratamiento	Vapores de agua por altas temperaturas	Biorremediación de las biopilas	Demolición de estructuras	Limpieza y lavado de las unidades de tratamiento	Irrigación de agua para control de material particulado	Cargue y descargue de lodos	Tráfico vehicular de equipos y maquinaria pesada	Operación de lagunas anaeróbicas	Operación piscinas de recepción	Acordonamiento, extendido de biopilas y volteo para siembra	Demolición y retiro de escombros	Reconformación de la cobertura vegetal
X	X	X		X	X	X				X	X		X		X			X	X	X
IMPACTOS GENERADOS																				
IMPACTOS										ELEMENTOS										
Remoción de cobertura vegetal										Suelo										
Generación de zonas de erosión																				
Alteración geomorfológica																				
Cambio de uso del suelo																				
Pérdida de características físicas, químicas y microbiológicas del suelo																				
Arrastre de nutrientes y el sustrato orgánico																				
Contaminación del suelo																				
Restauración de condiciones naturales morfológicas del terreno																				
Tipo de medida	Prevención	X	Mitigación			X	Correctiva				Compensación									
Fase de aplicación			Construcción			X	Operación			X	Clausura			X						

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

Para el manejo de suelos en el proyecto, se adelantarán las siguientes medidas:

Fase 1. Construcción

- Debido al alto movimiento de tierras que se genera, la ejecución de cortes y rellenos deberá hacerse con taludes apropiados de acuerdo con las recomendaciones del estudio geotécnico
- Se debe evitar el acopio de materiales cerca de las estructuras de drenaje o zonas donde por acción de las aguas de escorrentía pueda transportar sedimentos a los drenajes naturales
- Como medida transitoria se harán diques armados en tierra
- A medida que se vayan conformando los taludes tanto en corte como en excavación se deben ir implementando las medidas de revegetalización y empradización
- El material de corte de las plataformas podrá ser utilizado como material de relleno, el resto se dispondrá en la zona de disposición de materiales de sobrantes autorizados
- Para controlar el arrastre de material por acción de los vientos, se debe mantener húmedas las zonas y cubrir el material de retiro sobrante
- Si en el momento de realización de cortes se encuentran fallos en el suelo por inestabilidad del terreno, estos deben ser mitigados inmediatamente de acuerdo con las recomendaciones del estudio geotécnico para evitar hundimientos y colapsos en las estructuras.
- El transporte de material fuera de la obra se realizará con vehículos en buen estado y la carga debe protegerse con carpas o lonas debidamente aseguradas con ganchos
- Evitar mezclar residuos sólidos de la obra con material de suelo inerte
- Para el material orgánico se le hará una disposición temporal dentro de la obra, con construcción de obras temporales de contención como trinchos, empalizadas y se debe señalar el puesto de disposición y cubrir ese material orgánico. El uso de material orgánico y cespiones debe ser usado en las actividades de revegetalización de taludes y zonas verdes dentro de la obra
- El material extraído de las excavaciones para tubería y cimentaciones se debe retirar a un metro mínimo de la apertura del terreno para evitar generar un sobrepeso en las mismas que puede provocar un derrumbe de los taludes y exponer al personal.
- El material producto de las excavaciones profundas se debe aislar a más de tres metros del borde de la excavación y en lo posible retirar inmediatamente a un sitio de disposición temporal o fuera de la obra en una escombrera autorizada
- Para evitar la futura contaminación con aguas aceitosas al suelo en las piscinas de recepción, aireación y almacenamiento temporal se deberá recubrir el fondo con geomembranas HD60 para evitar la percolación.
- Una vez conformados los niveles definitivos en las terrazas, luego de los cortes y rellenos, se debe realizar la fase de compactación e instalación de subbase y base en las vías y la aplicación de un riego asfáltico para darle capacidad aportante a las vías y áreas de maniobra evitando con ello la impregnación de grasas y aceites de las fugas de los vehículos
- En la construcción de las áreas para las biopilas en las zonas de biorremediación y dado el nivel freático de las aguas, se recomienda aplicar geomembrana a una profundidad de un metro y encima de ella se colocará material drenante, tubería para drenaje de lixiviados. Estas actividades requeridas para evitar la percolación de lixiviados al suelo
- Cuando se requiera adelantar la mezcla de concreto en el sitio de la obra, esta debe realizarse sobre una plataforma metálica o sobre geotextil de calibre que garantice su aislamiento al suelo, de tal forma que el lugar permanezca en óptimas condiciones (se prohíbe realizar la mezcla directamente sobre el suelo o sobre zonas duras existentes, en caso de un derrame de mezcla de concreto esta se deberá recoger y disponer de manera inmediata, la zona donde se presentó el derrame debe quedar limpia de tal manera que no se evidencie el vertimiento presentado)

Fase 2. Operación

En la fase de operación la mayor contaminación al suelo se presenta por fugas de vehículos de grasa y aceites, por fugas de tuberías, por desbordamiento de aguas industriales de las unidades de tratamiento.

- Para controlar las fugas por derrames y aceites de los vehículos, carrotaques, maquinaria pesada, se

debe hacer un control previo en las zonas de mantenimiento preventivo de los vehículos, para garantizar que no tengan fugas en sus sistemas hidráulicos y neumáticos antes de ingresar al área del proyecto. En el caso de fugas dentro de la operación por ruptura de las mangueras hidráulicas, se hará un dique de contención inmediato en torno al derrame y se diluirá las grasas y aceites con material inerte que las absorba y se retirará inmediatamente de la zona.

- Las fugas de agua provenientes de la operación de las unidades del sistema de tratamiento para aguas industriales se controlarán los vertimientos para que no contaminen el suelo, mediante diques de contención en concreto y canales perimetrales que arrastraran la aguas fuera de las áreas de operación
- Se revisa la implementación de las obras de contención, las obras para el control de erosión y la reposición de la cobertura vegetal en los taludes.
- El suelo en el área de la implementación de los equipamientos para el tratamiento de lodos presenta un impacto total, por lo cual se formulan medidas de compensación. El área de impacto total es de 27.300m² de ahí que, en el área de influencia directa, se prevé realizar una reforestación con especies nativas en un área equivalente a la afectada.

(VER FICHA DE MANEJO DE AGUA DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL)

Fase 3. Clausura

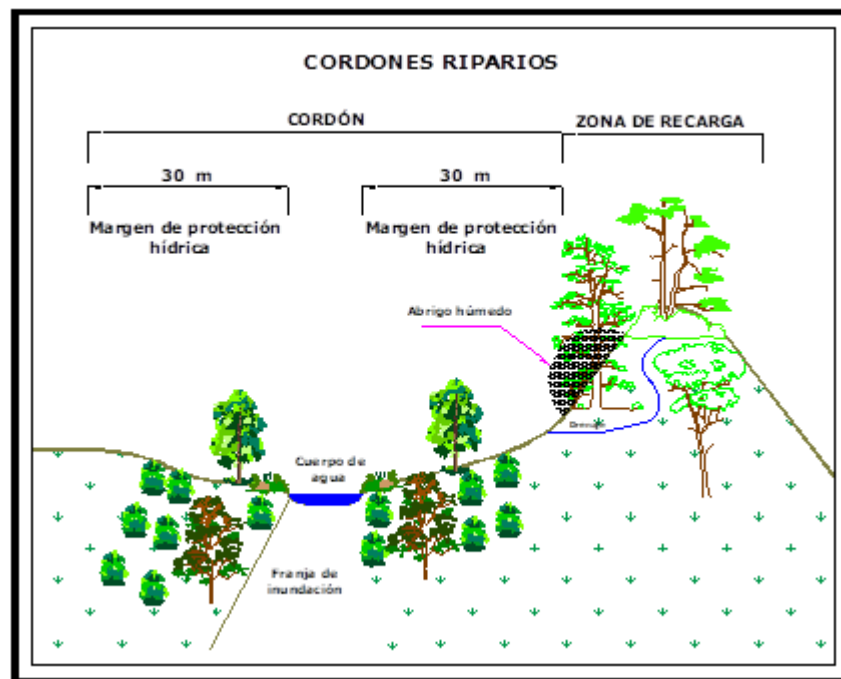
Para evitar la contaminación en la etapa de desmantelamiento, demolición de las estructuras de concreto, reconformación del suelo se deben tener en cuenta las siguientes medidas:

- Iniciar la demolición de forma controlada de tal manera que los residuos que se vayan generando sean separados adecuadamente y dispuestos temporalmente sobre estibas plásticas (camas plásticas) para evitar derrames al suelo.
- Todo material de escombros se debe almacenar temporalmente cubriéndolos con material plástico. En lo posible todos materiales no reutilizables se deben disponer inmediatamente en unas escombreras autorizadas por la corporación. Los materiales reutilizables se presentarán de manera adecuada para ser vendidos a las empresas recicladoras, evitando otra contaminación al suelo por exposición de este material.
- Los suelos que han quedado compactados producto de la operación de las plantas se deben escarificar hasta una profundidad de un metro, se le deben aplicar sales minerales y nutrientes y revolverla con material orgánico para preparar el suelo para la siembra de pasto, gramíneas y árboles.
- Se realizará la siembra de los pastos, la aplicación de cespiones en taludes, la reforestación con cercas vivas que sirvan como barreras contra vientos.

TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

Para llevar a cabo las anteriores medidas, se tendrán en cuenta las siguientes tecnologías:

- Canalización de aguas
- Obras de control de erosión con diques
- Colocación de cercas vivas
- Siembra y reforestación de árboles
- Plateado, abollado y siembra de árboles
- Obras de protección de taludes como gaviones y muros de contención
- Obras de drenaje como canales y obra de disipación
- Obras de biorremediación de suelos



NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE APLICABLE

Para el manejo de los suelos se tiene presente la siguiente normatividad ambiental vigente:

- Código de los Recursos Naturales (Decreto - Ley 2811 de 1974)
- Decreto 1791 de 1996 (Régimen de aprovechamiento forestal)
- Decreto-Ley 154 de 1976 en cuanto a protección del paisaje.
- Decreto 2820 de 2010, por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales
- Resolución 1503 de 2010, por medio de la cual se adopta la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones.
- Resolución 541 de 1994 por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.

Lugar de aplicación	Tratamiento lodos	X	Tratamiento aguas	X	Piscinas recepción	X
Responsable	FERMAR	X	Contratista		Interventoría	X

PERSONAL REQUERIDO

Un (1) Ingeniero Agrícola, Agrónomo o Forestal que se encargará de la revegetalización, empradización y reforestación.

Un (1) Ingeniero ambiental que se encargará de garantizar la correcta separación, disposición y almacenamiento de residuos, el manejo de los diques, el cubrimiento con plástico de las áreas estériles. De igual forma, inspeccionar permanentemente las tuberías, bombas y motores para evitar las fugas y si las detecta, ordenar la corrección inmediata. Así mismo, debe manejar todo el proceso de biorremediación

Un Interventor ambiental (preferiblemente ingeniero Forestal o Ambiental) con experiencia en este tipo de labores, el cual velará por el cumplimiento a cabalidad de la normatividad ambiental y para la realización revisión de los pozos de sondeos para verificar que no haya contaminación al suelo por percolación directa.

SEGUIMIENTO Y MONITOREO		
Se debe llevar un registro de control del material pétreo que ingresa a la obra Se debe llevar un registro y control de las horas máquina de los buldóceres, retroexcavadora y demás maquinaria pesada. Se debe llevar un control topográfico con estacas de movimiento de tierras con estacas de corte y relleno Se debe controlar los niveles de compactación de las zonas duras mediante control de calidad exigidos por el Invías, con esto se determina la cantidad de suelo de las zonas de préstamo requeridas para conformación de las plataformas. Llevar un control mensual de las áreas a restaurar y reforestar Llevar un registro fotográfico de las actividades a realizar Llevar un registro de las obras de mitigación para el control de erosión		
INDICADORES		
Descripción Indicador	Pertinencia Indicador	Unidad de medida
Cobertura	Permite evidenciar el avance de las medidas formuladas para el manejo de los suelos en las diferentes etapas, obras y actividades del proyecto.	Porcentaje (%)
Fórmula		
MS: manejo de Suelos $MS = \frac{m^3 \text{ de corte reutilizado}}{m^3 \text{ de corte totales}} \times 100$ $MS = \frac{m^3 \text{ de corte a disponer en escombrera}}{m^3 \text{ de corte totales}} \times 100$ $MS = \frac{m^2 \text{ de geomembrana para control de contaminación de suelo instalada}}{m^2 \text{ de geomembrana requerida}} \times 100$ $MS = \frac{m^2 \text{ de suelo a restaurar}}{m^2 \text{ de área total de suelos a restaurar}} \times 100$ $MS = \frac{m^2 \text{ de reforestación realizada}}{m^2 \text{ de reforestación total}} \times 100$		
Frecuencia	Lugar de aplicación	Limitante del indicador
Se debe realizar un informe mensual en la etapa de construcción y abandono.	Los frentes de trabajo	No permite medir la eficiencia de las técnicas utilizadas de las medidas de prevención, control y mitigación del proyecto.
Un informe semestral en la fase de operación	Área de influencia directa	

ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN				
Actividades	Construcción	Operación	Abandono	
Conformación de plataforma	X			
Adecuación de accesos	X			
Construcción de equipamientos	X			
Desmantelamiento de estructuras			X	
Restauración y abandono			X	
Reforestación	X	X	X	
Contingencia por contaminación por fugas		X		
COSTOS				
Descripción	Und.	Cantidad	Valor Und.	Valor total
Gaviones	unidad	12	\$ 150.000,00	\$ 1.800.000,00
Rajón	m ³	24	\$ 100.000,00	\$ 2.400.000,00
Excavaciones (3*2*3)	m ³	18	\$ 24.000,00	\$ 432.000,00
Zarpas (1.80*3)*0.30	m ³	1,62	\$ 360.000,00	\$ 583.200,00
Muro elevación (0.60*2.70*3)	m ³	4,8	\$ 600.000,00	\$ 2.880.000,00
Excavación (1.80*3*3)	m ³	16,2	\$ 25.000,00	\$ 405.000,00
Reforestación	Ha	2,7	\$6.000.000,00	\$16.200.000,00
TOTAL				\$ 24.700.200,00

Ficha No. FMA 01 - 6 Manejo de material particulado y gases

FICHA DE MANEJO AMBIENTAL																						
MANEJO DE MATERIAL PARTICULADO Y GASES															Versión 1.0							
															Fecha 10/05/2018							
															Código FMA 01- 06							
Objetivo Prevenir, mitigar y reducir los impactos ambientales causados por la emisión de gases y material particulado a la atmósfera, en las actividades de construcción, operación y abandono de la planta de lodos petroleros.																						
ACTIVIDADES QUE GENERAN IMPACTOS																						
X	X	X			X				X	X	X		X		X	X	X					
X	X	X			X				X	X	X		X		X	X	X					
IMPACTOS GENERADOS																						
IMPACTOS									ELEMENTOS													
Alteración en la calidad del aire por concentración de gases									Aire													
Cambios en la calidad del aire por el aumento de material particulado																						
Afectación en la salud de los trabajadores									Social													
Afectación en la fotosíntesis									Fauna y Flora													
Tipo de medida	Prevención	X	Mitigación						X	Correctiva							Compensación					
Fase de aplicación					Construcción					Operación					Clausura							

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

El material particulado y gases producidos en las actividades de construcción, operación y abandono de la planta de lodos, genera afectaciones al aire por efectos de movimientos de suelos, descapote, tránsito vehicular, gases de efecto invernadero provenientes de las lagunas de recepción, flotación y aireación, además de las producidas por las corrientes de aire.

Las siguientes son las propuestas para minimizar los impactos generados:

- La ubicación de patios de acopio de suelo para el biotratamiento de los lodos, escombros, movimientos de suelo, deben ser estratégicamente ubicados teniendo en cuenta la dirección de los vientos, esta actividad puede reforzarse mediante la demarcación y cubrimiento de dichos materiales. Todo material expuesto a cielo abierto que no se esté usando, debe permanecer demarcado, cubierto y señalizado.
- Para el tránsito de vehículos, camiones, volquetas, carotanes, maquinaria pesada y equipos de servicio, se implementarán medidas de control de velocidad mediante la señalización, instrucciones y reductores de velocidad.
- Las vías que tengan la capa de rodadura en tierra se deberán aplicar aspersiones permanentes para evitar la resuspensión de material particulado. Para la operacionalización de este método es necesario implantar un programa de riego, el cual deberá considerar como mínimo los siguientes aspectos: área a regar, requerimiento de agua, fuentes de captación (almacenamiento de aguas lluvias), equipos necesarios, ruteo y frecuencia de aplicación.
- Los proveedores de material pétreo, arena y triturado transportarán los materiales en vehículos que no deben ser llenados por encima de su capacidad (a ras con el borde superior más bajo del platón, la carga debe ir cubierta).
- El material de construcción deberá ser humectado durante su transporte en medida que el material lo permita.
- *Se ha establecido como estrategia a ser desarrolladas para el control del ruido las siguientes:*

Mitigación del ruido en la fuente generadora: Consiste en la insonorización de motores, bombas, electrobombas y generadores eléctricos, mediante la implementación de cabinas de tal forma que el impacto se reduzca considerablemente.

Todos los trabajadores expuestos a altos niveles de ruido deberán utilizar protección auditiva como: tapa oídos, orejeras o su combinación en función de los niveles registrados en la utilización de estos.

Los vehículos de carga deberán contar con un exosto en buenas condiciones para la atenuación de ruido.

Es necesario realizar monitoreo de los niveles de ruido por lo menos una vez al mes.

- *Manejo de equipos y vehículos*

Los vehículos de carga deben contar con un exosto cuya altura de descarga mínima debe ser de 2.2m.

Los equipos y vehículos que se requiera utilizar deberán estar debidamente sincronizados y mantenidos de tal forma que se minimicen las emisiones de estos

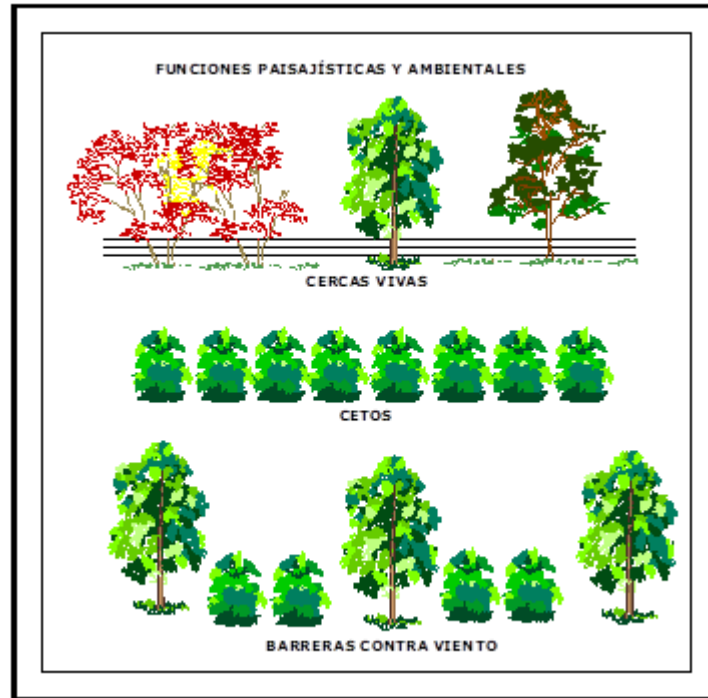
Los equipos deberán contar con certificados de mantenimiento y sincronización expedido por un centro de servicio autorizado

Los vehículos de transporte de personas, materiales y equipos deberán estar debidamente mantenidos y contar con el certificado de revisión técnico-mecánica y de gases vigentes expedida por un centro de servicio certificado.

La velocidad de volquetas y maquinaria no deben superar los 20km/h dentro de la obra con el fin de disminuir las emisiones fugitivas y los accidentes en el área de influencia directa

- Para efectuar las demoliciones de la infraestructura se debe cubrir la totalidad del área con mallas que controlen las emisiones fugitivas. Se deberán tener en cuenta todas las exigencias que para tal efecto se dan en la resolución 2413 de 1979 del ministerio de trabajo y seguridad social.

- Se prohíben quemas a cielo abierto en los lugares donde se adelanten las obras.
- Los contratistas u operadores de cortadoras, pulidoras y compresores deben realizar encerramiento con malla fina sintética con el fin de mitigar el ruido y la generación de material particulado
- Se deben instalar barreras contra vientos a lo largo del perímetro del área de encerramiento del proyecto para evitar y controlar corrientes indeseables de viento en el área de patio de maniobra. Paralelamente, se debe ampliar el área de cobertura de reforestación con especies que absorban el CO₂, minimicen el ruido y capten los olores ofensivos emitidos por las lagunas.



TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

Para el manejo de las medidas anteriormente presentadas se presentan las siguientes tecnologías:

- Monitoreo de ruido, establecimiento de puntos para la medición de ruido
- Mantenimiento preventivo de quipos, motores s y maquinaria pesada
- Barreras contra vientos
- Humectación de áreas que emitan material particulado
- Control de la velocidad vehicular y señalización en las zonas no pavimentadas.
- Humectación permanente de zonas no pavimentadas
- Dotación de personal expuesto con equipos de seguridad
- Instalar encerramientos acústicos para minimizar la generación de ruido

NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE APLICABLE						
La siguiente es la normatividad ambiental vigente aplicable para el material particulado y los gases:						
- Decreto 02 de 1982 "Por el cual se reglamentan parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas" - Resolución 2154 de 2010 "Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones". - Resolución 651 de 2010 "Por la cual se crea el subsistema de información sobre calidad del aire - SISAIRE". - Resolución 650 de 2010 "Por la cual se adopta el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire". - Resolución 610 de 2010 "Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006", "Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. - Resolución 2153 de 2010 "Por la cual se ajusta el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones"						
Lugar de aplicación	Tratamiento lodos	X	Tratamiento aguas	X	Piscinas recepción	X
Responsable	FERMAR	X	Contratista		Interventoría	
PERSONAL REQUERIDO						
Un (1) ingeniero ambiental encargado de hacer el monitoreo de fuentes móviles Un (1) técnico para realizar la revisión de las medidas de control de ruido, de material particulado y humectación de áreas Un (1) inspector de HSEQ						
SEGUIMIENTO Y MONITOREO						
- Es muy importante realizar monitoreo de ruido antes del inicio de las obras y actividades del proyecto - Medición periódica de control de ruido ambiental y ocupacional - Verificación de medidas, acciones y tecnologías planteados para el manejo de material particulado y control de ruido - Realizar exámenes médicos periódicos al personal de la obra y operarios y contratistas, ésta va encaminada a controlar la efectividad de los programas de riesgos ocupacionales - Control del mantenimiento de maquinaria, equipos y vehículos vinculados a la operación del proyecto - Seguimiento y control a la velocidad de los vehículos						
INDICADORES						
<i>Descripción Indicador</i>	<i>Pertinencia Indicador</i>		<i>Unidad de medida</i>			
Cobertura	Permite medir el porcentaje de cobertura de las actividades propuestas para el manejo de gases y material particulado del proyecto		Porcentaje (%)			

Fórmula				
Manejo de Material Particulado y Gases (MMPG)				
$MMPG = \frac{\text{metros lineales de aislamiento con barreras vivas implementados}}{\text{metros lineales totales perimetrales}} \times 100$				
$MMPG = \frac{\text{número de encerramientos acústicos implementados}}{\text{número de encerramientos acústicos a implementar}} \times 100$				
$MMPG = \frac{\text{número de vehículos con certificado de gases}}{\text{número de vehículos utilizados en la obra}} \times 100$				
$MMPG = \frac{\text{metro lineal de vía humectada}}{\text{metro lineal de vía destapada}} \times 100$				
Frecuencia	Lugar de aplicación	Limitante del indicador		
Se debe realizar un informe mensual en la fase de construcción y abandono y uno semestral en la fase de operación	Los frentes de trabajo	No permite medir la eficiencia del plan de monitoreo de calidad de aire		
ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN				
Actividades	Construcción	Operación	Clausura	
Manejo de ruido y material particulado	X	X	X	
COSTOS				
Descripción	Und.	Cantidad	Valor Und.	Valor total
Control de material particulado por humectación de vías				
Control de material particulado por cubrimiento de material	m	50	\$50.000,00	\$ 2.500.000
Monitoreo de ruido				\$3.000.000
Implementación de barreras contra viento				\$4.000.000
Encerramiento acústico de motores				\$6.000.000
TOTAL				\$15.500.000

Ficha No. FMA 01 - 7 Manejo de Flora y Fauna

FICHA DE MANEJO AMBIENTAL																				
MANEJO DE FLORA Y FAUNA															Versión 1.0					
															Fecha 10/05/2018					
															Código FMA 01- 07					
Objetivo: Minimizar el impacto a la fauna y flora en el área de influencia del proyecto																				
ACTIVIDADES QUE GENERAN IMPACTOS																				
Movimiento y nivelación de tierras	Excavaciones profundas	Excavación para conformación de piscinas	Elaboración de mezclas	Uso de unidades sanitarias	Remoción de cobertura vegetal	Separación de aguas aceitosas de lodos	Bombeo del fluido de aguas aceitosas	Extracción de lodos de las unidades de tratamiento	Vapores de agua por altas temperaturas	Biorremediación de las biopilas	Demolición de estructuras	Limpieza y lavado de las unidades de tratamiento	Irrigación de agua para control de material particulado	Cargue y descargue de lodos	Tráfico vehicular de equipos y maquinaria pesada	Operación de lagunas anaeróbicas	Operación piscinas de recepción	Acordonamiento, extendido de biopilas y volteo para aireación	Demolición y retiro de escombros	Reconformación de la cobertura vegetal
X		X			X				X	X		X	X				X	X	X	
IMPACTOS GENERADOS																				
IMPACTOS										ELEMENTOS										
Desplazamiento de las poblaciones faunísticas										Fauna y flora										
Remoción y pérdida de cobertura vegetal																				
Alteración del sistema natural actual por cambio de uso del suelo																				
Tipo de medida	Prevención	X	Mitigación							X	Correctiva			Compensación						
Fase de aplicación					Construcción					X	Operación					Clausura				

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA
El área en el cual se encuentra el proyecto es un área considerada tipo industrial. El área de influencia directa se encuentra en medio de 17 pozos petroleros con un alto tráfico industrial. Actualmente, en la zona de influencia directa del proyecto existe un proceso de intervención tanto de explotación como de restauración. Hace dos años el área del proyecto estaba siendo utilizada para manejo de vertimientos de residuos sólidos aceitosos y actualmente cuenta con una cobertura vegetal escasa (pastos mejorados); por esta razón la zona en donde se va a implementar el proyecto ha sido afectada el componente biótico y abiótico por más de 10 años y el impacto que se generará será mínimo. Las medidas que se van a utilizar para minimizar el impacto serán: • Para la protección y prevención de los impactos sobre los recursos de fauna y flora en el desarrollo de las actividades de construcción, operación y abandono del proyecto, el primer paso es hacer la delimitación de las áreas de manejo ambiental. Esta medida permite aislar el área de intervención e impedir el paso de animales que puedan resultar afectados. • El impacto ambiental sobre la cobertura vegetal en el área de la construcción del proyecto es total, teniendo en cuenta que hay una remoción de la cobertura vegetal por más de 15 años como vida útil del proyecto. Por esta razón se deben formular medidas compensatorias y se establece un área de reforestación equivalente al área afectada. De tal manera que se pueda proporcionar una cobertura vegetal al suelo, elevar el valor escénico del paisaje y crear hábitats especiales de refugio de aves y fauna silvestre • En la etapa de desmantelamiento para las áreas de trabajo intervenidas en el proyecto, se propone la revegetalización y recuperación de la vegetación original o de cobertura vegetal pionera que proteja el suelo y facilite la regeneración de vegetación propia de la zona y de su fauna asociada. • La arborización y revegetalización debe cumplir los siguientes criterios: análisis nutricional del suelo, ahoyado, fertilización, plantación, riego, mantenimiento, protección y selección de las especies más recomendadas. • Se recomienda realizar visitas nocturnas al área de trabajo con el fin de encontrar indicios de tránsito de fauna, poder escuchar ruidos de movimientos, observar rutas de desplazamiento, sitios de nidificación, madrigueras u otros elementos que sirvan para confirmar la presencia y la necesidad de rescatar y relocalizar las especies presentes • Prohibir cualquier tipo de caza y compra de cualquier especie de fauna silvestre en caso de que se detecte especies en el área de influencia directa e indirecta.
TECNOLOGÍAS UTILIZADAS
Para la aplicación de las anteriores medidas se utilizarán las siguientes tecnologías: • Zonificación ambiental • Reforestación y restauración de cobertura vegetal • Restauración paisajística • Rehabilitación de áreas intervenidas una vez abandonadas • Proteger la fauna existente del área de influencia del proyecto

NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE APLICABLE						
A continuación, se presenta la normatividad ambiental vigente para el manejo de flora y fauna:						
• Código de los Recursos Naturales (Decreto - Ley 2811 de 1974) • Decreto-Ley 154 de 1976 en cuanto a protección del paisaje • Decreto 1791 de 1996 (Régimen de aprovechamiento forestal). • Decreto 2820 del 4 de agosto de 2010, por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales • Resolución 1503 del 4 de agosto de 2010, por medio de la cual se adopta la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones • Ley 17 de 1981 - Por la cual se aprueba la "Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres", suscrita en Washington, D.C. el 3 de marzo de 1973. • Ley 165 de 1994 - Por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992. • Ley 357 de 1997 - Por medio de la cual se aprueba la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves						
Lugar de aplicación	Tratamiento lodos	X	Tratamiento aguas	X	Piscinas recepción	X
Responsable	FERMAR	X	Contratista		Interventoría	X
PERSONAL REQUERIDO						
Un (1) ingeniero ambiental que se encargará de implementar las medidas previstas en la presente guía.						
Interventoría Ambiental						
Una cuadrilla para la siembra de árboles, colocación de cespedones en taludes, sembrar pastos.						
SEGUIMIENTO Y MONITOREO						
• Actas de actividades realizadas • Cartografía de zonificación • Seguimiento al área de compensación • Registro fotográfico						
INDICADORES						
Descripción Indicador	Pertinencia Indicador			Unidad de medida		
Cobertura	Permite cuantificar los avances de las actividades implementadas para la protección de la fauna y flora en el área de influencia del proyecto			Porcentaje (%)		
Fórmula						
MFF= Manejo de Flora y Fauna						
$MFF = \frac{\text{número de actividades implementadas para protección de fauna y flora}}{\text{número total de actividades a implementar para protección de fauna y flora}} \times 100$						

<i>Frecuencia</i>	<i>Lugar de aplicación</i>	<i>Limitante del indicador</i>		
Se debe realizar un informe mensual en la etapa de construcción y demolición del proyecto. Un informe cada seis meses en la etapa de operación	Área de influencia directa e indirecta del proyecto	No permite medir la eficiencia de revegetalización y reforestación.		
<i>ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN</i>				
<i>Actividades</i>	<i>Construcción</i>	<i>Operación</i>	<i>Abandono</i>	
<i>Reforestación y restauración de áreas afectadas</i>	X	X	X	
<i>COSTOS</i>				
<i>Descripción</i>	<i>Und.</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor Und.</i>	<i>Valor total</i>
<i>Reforestación y revegetalización</i>	<i>Ha</i>	<i>3</i>	<i>\$6.000.000,00</i>	<i>\$18.000.000,00</i>
<i>TOTAL</i>				<i>\$18.000.000,00</i>

Ficha No. FMA 01 - 8 Capacitaciones

FICHA DE MANEJO AMBIENTAL																	
MANEJO DE CAPACITACIONES															Versión 1.0		
															Fecha 10/05/2018		
															Código FMA 01- 08		
Objetivo: Realizar jornadas y brigadas de capacitación a obreros, funcionarios, planta administrativa y contratistas, en tema de riesgos ambientales, ocupacionales, manejo de desastres y contingencias																	
ACTIVIDADES QUE GENERAN IMPACTOS																	
X	X	X			X	X				X	X	X			X	X	X
X	X	X			X	X				X	X	X			X	X	X
IMPACTOS GENERADOS																	
IMPACTOS									ELEMENTOS								
Manejo y ahorro eficiente del agua																	
Manejo integral de los residuos sólidos																	
Manejo de los residuos RESPEL																	
Manejo y control de emisiones																	
Tipo de medida	Prevención	X	Mitigación			Correctiva		Compensación									
Fase de aplicación				Construcción		X	Operación		X	Clausura		X					

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA						
A continuación, se presentan las medidas a tomar para el manejo de las capacitaciones al personal: • Educación y capacitación a todo el personal de la obra y contratistas sobre medidas de prevención y control de material particulado. • Capacitación relacionada con las medidas de prevención contra inhalaciones de gases nocivos y polvos • Capacitación del personal en manejo de combustibles, almacenamiento, detección de fugas, atención de derrames. • Capacitación, sensibilización y educación del personal que labora en cualquiera de las fases del proyecto sobre la importancia del manejo adecuado de los residuos sólidos y peligrosos generados incluyendo aspectos de clasificación, almacenamiento y disposición de los residuos. • Capacitación y entrenamiento de brigadas contra incendios y los procedimientos establecidos por el plan de contingencia para el derrame de hidrocarburos que se tengan. • Capacitación en ahorro y uso eficiente del agua en temas como: aprovechamiento de aguas lluvias, micro medición, detección de fugas. • Capacitación en prevención, control y manejo de fugas o derrames de materiales en procesos como: aguas aceitosas, lodos aceitosos. • Capacitación en prevención y control de emisiones de ruido. • Capacitación en procedimientos para la toma de conciencia y responsabilidad ambiental • Capacitación en procedimiento para el seguimiento en medición de variables ambientales en agua, aire y suelo • Capacitación en normatividad aspectos y riesgos ambientales.						
TECNOLOGÍAS UTILIZADAS						
• Implementar medidas educativas y de capacitación al personal del proyecto y contratista • Generar y evaluar competencias laborales sobre riesgos profesionales, ambientales y de seguridad de salud ocupacional						
NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE APLICABLE						
Para el manejo de las capacitaciones se tendrá en cuenta la siguiente normatividad ambiental vigente: • Resolución 2400 de 1979. Estatuto de Seguridad Industrial • Código de los Recursos Naturales (Decreto - Ley 2811 de 1974) • Resolución 1021 de 2000. Plan de reforestación y manejo de regeneración vegetal • Decreto 4299 de 2005. Certificación como grandes consumidores de combustibles. • Resolución 1362 de 2007. Generadores de residuos o desechos peligrosos. • Decreto 2115 de 2007. características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano						
Lugar de aplicación	Tratamiento lodos	X	Tratamiento aguas	X	Piscinas recepción	X
Responsable	FERMAR	X	Contratista		Interventoría	

PERSONAL REQUERIDO				
Un (1) ingeniero ambiental experto en manejo de evaluación de impacto.				
Un (1) técnico en seguridad y salud ocupacional.				
SEGUIMIENTO Y MONITOREO				
- Registro fotográfico - Acta de charlas de capacitaciones - Registro de asistencias				
INDICADORES				
Descripción Indicador	Pertinencia Indicador	Unidad de medida		
cobertura	Permite medir efectivamente el personal que ha sido capacitado	Porcentaje /(%)		
Fórmula				
PC: plan de capacitaciones				
$PC = \frac{\text{número de registro de personal capacitado}}{\text{número total de personal que labora en obra}} \times 100$				
Frecuencia	Lugar de aplicación	Limitante del indicador		
En la fase de construcción y desmantelamiento se harán capacitaciones diarias.	Frentes de obra y operación	No mide la eficiencia de la capacitación en el manejo de las competencias sobre los riesgos		
En la fase de operación las capacitaciones serán semanales.				
ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN				
Actividades	Construcción	Operación	Clausura	
Capacitación sobre el manejo de los impactos en cada una de las actividades del proyecto	X	X	X	
COSTOS				
Descripción	Und.	Cantidad	Valor Und.	Valor total
Capacitación	horas	30	\$60.000,00	\$1.800.000,00
TOTAL				\$1.800.000,00