

**PROPUESTA PARA LA CLASIFICACIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN
FINAL DE RESIDUOS ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN DE
HIDROCARBUROS EN EL CASANARE, TRATADOS POR TECECOR S.A.S.**

YENI MILENA LEÓN CAMARGO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
MAESTRIA EN INGENIERÍA DE PETRÓLEOS Y GAS
BUCARAMANGA**

2018

**PROPUESTA PARA LA CLASIFICACIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN
FINAL DE RESIDUOS ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN DE
HIDROCARBUROS EN EL CASANARE, TRATADOS POR TECECOR S.A.S.**

YENI MILENA LEÓN CAMARGO

**Trabajo de grado para optar por el título de
Magister en Ingenierías de Petróleos y Gas**

Director

SAULO MORA

Magíster en Gerencia de Ingeniería

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
MAESTRIA EN INGENIERÍA DE PETRÓLEOS Y GAS
BUCARAMANGA**

2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido realizar esta Maestría y poder sintetizar en este trabajo de grado los conocimientos adquiridos.

A mis Padres y Hermanos por su constante apoyo y compañía.

A la Universidad Industrial de Santander, extensión Bogotá por abrirme las puertas para enriquecerme con nuevas experiencias y conocimientos.

A los diferentes docentes por transmitirme sus conocimientos y brindarme su apoyo y orientación para lograr la culminación exitosa de esta Maestría.

Al Gerente General del Grupo Empresarial Galqui-Tececor, William Ariza por brindarme siempre su apoyo y permitirme a través de su experiencia enriquecer mi carrera profesional.

Al Gerente de Ingeniería y Proyectos de Galqui, Ingeniero Javier Fuentes y a mi compañero David Rosero porque su conocimiento y experiencia contrubuyeron al desarrollo de mi trabajo de grado.

A los ingenieros Saulo Mora, Kathy Daza y Claudia Peña por sus aportes y orientación en la realización del presente trabajo de aplicación.

A mi  compañero de vida, Víctor Manuel, quien ha sido incondicionalmente mi apoyo, por sus aportes, su motivación, su criterio y aliento.

A mis compañeros de clase, porque aprendí de sus experiencias laborales y académicas.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	14
1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	15
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo general.	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 JUSTIFICACIÓN	17
1.4 ALCANCE	18
1.5 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.6 HIPÓTESIS	19
2. MARCO DE REFERENCIA.....	20
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	20
2.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	22
2.3 MARCO PRÁCTICO.....	23
2.3.1 Reseña Histórica Tecnología Ecológica del Oriente.....	23
2.3.2 Ubicación geográfica Tecnología Ecológica del Oriente.	24
2.4 MARCO LEGAL.....	26
3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS IMPLEMENTADOS POR TECECOR S.A.S.....	28
3.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	28
3.2.1 Unidad de Tratamiento de aguas (UTA).....	28
3.2.2 Sistema de filtración media.	29
3.2.3 Tanque decantador.	31
3.2.4 Tanque de lodos.....	32
3.3 UNIDAD DE DESORCIÓN TÉRMICA	34
3.4 BIOTRATAMIENTO.....	35
3.5 DILUCIÓN BUREAL	37
4. RESIDUOS ASOCIADOS AL SECTOR HIDROCARBUROS	

RECEPCIONADOS POR TECECOR S.A.S.	39
4.1 CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SEGÚN EL GENERADOR	39
4.2 CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS REALIZADA POR TECECOR S.A.S.....	43
4.3 COMPARACIÓN CUANTITATIVA DE LA CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS.....	46
5. ASPECTOS LEGALES DE APLICACIÓN EN EL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS.....	63
5.1 DISPOSICIONES LICENCIA AMBIENTAL	63
6. PARÁMETROS PARA LA CLASIFICACIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS.	71
6.1. CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN	71
6.2. PARÁMETROS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS	73
6.3. VARIABLES DE PROCESO PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS.....	75
7. PROPUESTA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS.....	76
7.1. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS: RECEPTOR	77
7.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS: GENERADOR	82
8. CONCLUSIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación planta Tececor S.A.S.....	24
Ilustración 2. Planta Tecnologías ecológicas del oriente- Tececor S.A.S.....	25
Ilustración 3. Unidad de Tratamiento de agua UTA.....	29
Ilustración 4. Filtro de lecho Vegetal	30
Ilustración 5. Tanque decantador	32
Ilustración 6. Tanque de Lodos	33
Ilustración 7. Sistema de tratamiento de aguas.....	33
Ilustración 8. Unidad de desorción térmica.....	35
Ilustración 9. Pruebas de tratamiento químico	37
Ilustración 10. Control de humedad, tratamiento biológico.....	37
Ilustración 11. Dilución Bureal	38
Ilustración 12. Clasificación, tratamiento y disposición de Residuos-Diagrama I ..	78
Ilustración 13. Clasificación, tratamiento y disposición de Residuos -Diagrama II	79
Ilustración 14. Clasificación, tratamiento y disposición de Residuos -Diagrama III	80
Ilustración 15. Clasificación, tratamiento y disposición de Residuos -Diagrama IV	81
Ilustración 16. Clasificación de Residuos Líquidos- GENERADOR	82
Ilustración 17. Clasificación de Residuos Sólidos GENERADOR	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Volumen de Residuos Generador	42
Gráfico 2. Volumen de residuos Tececor	44
Gráfico 3. Procedimiento de clasificación, caracterización y tratamiento de residuos.	45
Gráfico 4. Detalle del procedimiento de caracterización de los residuos.	46
Gráfico 5. Cuantificación del residuo clasificado como Agua por el Generador y Tececor.	48
Gráfico 6. Residuos clasificados como agua por el Generador y por Tececor.	54
Gráfico 7. Residuos clasificados como cortes WBM por el Generador y por Tececor.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de residuos según los Generadores.....	39
Tabla 2. Clasificación de residuos según Tececor.	43
Tabla 3. Residuos clasificados por el Generador como algún tipo de agua.	47
Tabla 4. Residuos clasificados por Tececor como Agua Industrial.	48
Tabla 5. Residuo clasificado como Agua por el Generador y Tececor.	48
Tabla 6. Aguas sin análisis fisicoquímicos.	49
Tabla 7. Aguas con análisis de Retorta.	50
Tabla 8. Conductividad Vs. Concentración para soluciones comunes	52
Tabla 9. Análisis fisicoquímico de los residuos líquidos.	52
Tabla 10. Cortes OBM según Generadores.	53
Tabla 11. Cortes OBM según clasificación de Tececor.	53
Tabla 12. Residuo clasificado como cortes OBM	54
Tabla 13. Cortes WBM según clasificación el Generador.	55
Tabla 14. Cortes WBM según clasificación de Tececor.	55
Tabla 15. Cuantificación del residuo clasificado como cortes WBM por el Generador y Tececor.....	55
Tabla 16. Residuos clasificados por Tececor “Otros”	57
Tabla 17. Residuos clasificados por los Generadores “Otros”	57
Tabla 18. Residuos clasificados como “Otros”.	59
Tabla 19. Tecnologías de tratamiento y residuos al cual aplica.	64
Tabla 20. Cumplimiento legal	66
Tabla 21. Parámetros para la caracterización de los residuos.	73
Tabla 22. Límites y Variables de proceso	75

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. EXTRACTO AUDITORÍA INTERNA TECECOR	89
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
SST	Sólidos Suspendidos totales
G&A	Grasas y Aceites
O/W	Oil in Water
OBM	Oil Based Mud
WBM	Water Based Mud
DBO ₅	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
PTARI	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales
PTARD	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas
RO	Reverse Osmosis
UTA	Unidad de Tratamiento de Agua
GLP	Gas Licuado del Petróleo
TPH	Total Petroleum Hydrocarbons
BBL	Barril
BWPD	Barrels of Water per Day
BOPD	Barrels of Oil per Day
ppm	Partes por millón
mg/l	Miligramo por litro
μS/cm	Microsiemens por cm
E&P	Exploración y Producción

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA PARA LA CLASIFICACIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS EN EL CASANARE, TRATADOS POR TECECOR S.A.S.*

AUTOR: YENI MILENA LEÓN CAMARGO**

PALABRAS CLAVE: tratamiento, residuos peligrosos, hidrocarburos, caracterización, análisis, clasificación, disposición final.

DESCRIPCIÓN:

Debido al riesgo permanente y potencial que representan los residuos asociados al sector de los hidrocarburos, su tratamiento y disposición final son un tema de gran importancia tanto para las compañías generadoras como para las corporaciones ambientales y comunidades de las áreas de influencia.

Por otra parte, es importante y necesario estandarizar y mejorar los procesos de los Receptores y Generadores en cuanto al manejo integral de los residuos contaminados, con el fin de mitigar y/o disminuir los impactos ambientales, realizar un manejo eficiente de los recursos y fomentar la viabilidad económica de proyectos comprometidos con la preservación de los recursos naturales, como lo es el desarrollado por la compañía TECECOR S.A.S.

Tececor S.A.S, ubicada en el municipio de Aguazul, Casanare, tiene por objeto el tratamiento de los pasivos ambientales generados durante las actividades de Exploración y producción de hidrocarburos, sin embargo, se ha evidenciado que los múltiples criterios aplicados por Generadores y Receptores para realizar la clasificación, afectan negativamente el manejo integral de los residuos, generando reprocesos y sobrecostos en el tratamiento y disposición final de los mismos.

De acuerdo con la situación expuesta anteriormente, se hace necesario definir los criterios de clasificación e identificación de los residuos peligrosos que permitan a los Generadores y Receptores precisar el tratamiento y garantizar la disposición final de los residuos.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director Saulo Mora.

ABSTRACT

TITLE: PROPOSAL FOR THE CLASSIFICATION, TREATMENT AND FINAL DISPOSITION OF RESIDUES ASSOCIATED TO THE EXPLOITATION OF HYDROCARBONS IN CASANARE, TREATED BY TECECOR S.A.S.*

AUTHOR: YENI MILENA LEÓN CAMARGO **

KEY WORDS: treatment, hazardous waste, hydrocarbons, characterization, analysis, classification, final disposition.

DESCRIPTION:

The risks associated with the hydrocarbon sector, its treatment and final disposal are a matter of great importance for both the generating companies and the environmental corporations and the communities in the areas of influence.

On the other hand, it is important and necessary to standardize and improve the processes of the Receptors and Generators in terms of the integrated management of contaminated waste, in order to mitigate and / or reduce environmental impacts, efficiently manage resources and promote the economic viability of projects committed to the preservation of natural resources, such as the one developed by the TECECOR S.A.S company.

Tececor SAS, located in Aguazul, Casanare, has as its objective the treatment of the environmental liabilities generated during the activities of Exploration and production of hydrocarbons, however, it has been found that the multiple criteria applied by Generators and Recipients to perform the classification, negatively, the integral management of the waste, generating reprocessing and cost overruns in the treatment and final disposal.

In accordance with the situation described above, it is necessary to define the classification criteria and the identification of hazardous waste that allows the Recipients to specify the treatment and guarantee the completion of the waste.

* Master of Science Thesis.

** Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director Saulo Mora.

INTRODUCCIÓN

Ante la difícil situación que atraviesa el sector Hidrocarburos por la caída del precio del petróleo y la imagen negativa de las compañías petroleras a causa del impacto ambiental asociado principalmente a la generación de residuos peligrosos, tanto las compañías operadoras como las empresas de servicios ponen su mayor atención en aquellos procesos que pueden estar generando sobrecostos y exploran estrategias que les permita optimizar recursos en pro de mejorar la rentabilidad de su negocio.

Basado en lo expuesto anteriormente y teniendo en cuenta la problemática actual frente a la clasificación y tratamiento de los residuos generados durante las operaciones de E&P de hidrocarburos, se hace necesario elaborar una propuesta que permita a los Generadores y Receptores identificar, clasificar, tratar y disponer adecuadamente los residuos peligrosos.

En el primer y segundo capítulo del documento se presenta la propuesta de investigación y el marco de referencia.

El tercer capítulo resume los procesos y tecnologías con las que cuenta TECECOR S.A.S para el manejo integral de los residuos peligrosos.

En el cuarto capítulo se identifican los residuos y se definen las caracterizaciones realizadas actualmente por los Generadores y Receptores.

El capítulo cinco está enfocado en el análisis de la normatividad ambiental vigente y aplicable a tener en cuenta en la propuesta.

Finalmente, en los capítulos seis y siete se desarrollan los objetivos tres y cuatro respectivamente, en donde se establecen e identifican los parámetros para la clasificación, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos y además se elaboran los diagramas de proceso y algoritmos tanto para el Generador como para el receptor.

1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El presente capítulo describe la problemática, los objetivos generales, específicos y la justificación del presente trabajo de aplicación.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Debido al riesgo permanente y potencial de los residuos asociados al sector de los hidrocarburos, su tratamiento y disposición final constituyen un tema de gran importancia tanto para las compañías generadoras como para las corporaciones ambientales y comunidades de las áreas de influencia en donde se desarrollan los proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos.

Actualmente la compañía Tececor S.A.S cuenta con una planta licenciada para el manejo y tratamiento de pasivos ambientales en el Departamento de Casanare, sin embargo, debido a la ausencia de un documento que permita dar sustento técnico para realizar una adecuada clasificación de los residuos, con frecuencia se dificulta concertar con las compañías generadoras el tipo de residuo a tratar; factor determinante para su manejo, disposición final y costo asociado.

Así mismo, durante la recepción de los residuos se presentan situaciones que dificultan su manejo, dado que no se ha realizado ningún tipo de caracterización previa, el análisis no corresponde o no es el apropiado para el tipo de residuo descrito en los manifiestos o guías, es una mezcla de diferentes residuos y se desconoce su proporción, no hay claridad respecto a su origen o el propósito se concentra en buscar el menor costo de tratamiento sin tener en cuenta la composición del pasivo ambiental generado.

De continuar con esta situación se pueden presentar dificultades en el tratamiento, además de pérdidas económicas para la compañía, ya que de una u otra manera se incurre en sobrecostos para lograr finalmente realizar de manera responsable, la disposición de los residuos de acuerdo con los lineamientos establecidos en la licencia ambiental y la legislación correspondiente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general. Realizar una propuesta que permita bajo un sustento técnico, la clasificación, tratamiento y disposición final de residuos asociados a la explotación de hidrocarburos en el Casanare, tratados por Tececor S.A.S.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Identificar los residuos asociados a las actividades de perforación y producción de Hidrocarburos en el Departamento del Casanare, de acuerdo con la base de datos de Tececor S.A.S.
- Definir las caracterizaciones de los residuos asociados a las actividades de perforación y producción de Hidrocarburos en el Departamento del Casanare que son tratados por Tececor S.A.S.
- Establecer los parámetros bajo los cuales se puede realizar una clasificación, tratamiento y disposición final de los residuos asociados a las actividades de perforación y producción de Hidrocarburos, recepcionados por Tececor S.A.S.
- Generar un documento que permita bajo un sustento técnico clasificar, tratar y disponer los residuos, además de concertar con las compañías generadoras el costo asociado al manejo de los mismos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El sector minero- energético en Colombia es considerado uno de los principales motores de desarrollo para el país, sin embargo, las operaciones de perforación y producción han contribuido en la generación de impactos ambientales negativos asociados principalmente al manejo y tratamiento inadecuado de los residuos generados.

Teniendo en cuenta ésta problemática y la rigurosidad actual de las normas y regulaciones ambientales del sector Hidrocarburos, se han desarrollado proyectos que buscan mitigar el impacto ambiental a través de nuevas tecnologías para el tratamiento y disposición de los residuos generados durante las actividades propias de la industria petrolera.

El presente estudio tiene por objeto realizar una propuesta para la clasificación de residuos asociados a las actividades de perforación y producción, que permita tanto en la fuente como en planta externa, identificar los residuos de acuerdo con características propias de su composición y/o su origen, logrando aplicar el tratamiento y disposición final apropiado, además de definir claramente los términos de referencia para el manejo de estos pasivos ambientales.

Esta propuesta favorecerá principalmente a la compañía Tececor S.A.S, dedicada al manejo y tratamiento de pasivos ambientales, puesto que permitirá a través de la apropiada clasificación de los residuos, asegurar un eficiente manejo de sus recursos y facilitar la concertación de tarifas con las compañías operadoras.

En consecuencia de lo anteriormente mencionado, la claridad sobre la clasificación y manejo de los residuos, generará un mayor grado de confianza tanto para las compañías dedicadas a la explotación de hidrocarburos, como para las

corporaciones ambientales, que de una u otra manera participan en la búsqueda de soluciones que permitan evitar la afectación del medio ambiente y los ecosistemas a través de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, la contaminación y el cambio del uso de suelos, entre otros.

Con los resultados obtenidos se espera identificar las propiedades características de los residuos aceitosos recepcionados en la planta Tececor S.A.S, ubicada en el Departamento de Casanare, como cortes OBM, cortes WBM, borras, fluidos de perforación y completamiento, aguas de producción, aguas conductivas, entre otros.

1.4 ALCANCE

Hernández, Fernández y Baptista (2014), plantean que un estudio puede tener en términos generales cuatro tipos de alcance, exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo, sin embargo, en el trabajo práctico se pueden incluir elementos de más de uno de estos alcances. “Los estudios exploratorios sirven para preparar el terreno y por lo común anteceden a investigaciones con alcances descriptivos, correlacionales y explicativos. Los estudios descriptivos -por lo general- son la base de las investigaciones correlacionales, las cuales a la vez proporcionan información para llevar a cabo estudios explicativos que generan un sentido de entendimiento y son altamente estructurados.” Es así, como los estudios exploratorios trabajan un tema poco estudiado; los descriptivos buscan especificar propiedades, características y rasgos fundamentales del objeto de estudio analizado y el explicativo asocia variables y pretende establecer causas del evento o fenómenos que se estudian.

El presente trabajo de grado tendrá un alcance de tipo explicativo, ya que se desarrolla una propuesta para realizar la clasificación, tratamiento y disposición final

de los residuos asociados a la perforación y producción de hidrocarburos, mediante el estudio y análisis de información relacionada con su composición y origen.

1.5 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Es posible clasificar, tratar y disponer los residuos asociados a las operaciones de perforación y producción de Hidrocarburos recepcionados por Tececor S.A.S, en el Departamento del Casanare bajo un esquema de aplicación tanto para el Generador como para el Receptor?

1.6 HIPÓTESIS

Los Generadores y Receptores pueden realizar la clasificación, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos producto de las operaciones de perforación y producción de hidrocarburos bajo un esquema de clasificación de acuerdo con la caracterización fisicoquímica de los residuos.

2. MARCO DE REFERENCIA

El presente capítulo presenta los antecedentes investigativos, el marco conceptual, el marco práctico y el marco legal.

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Teniendo en cuenta que pese al desplome de los precios del petróleo durante los últimos dos años en Colombia, para el 2017 según la asociación Colombiana del Petróleo (ACP), las autoridades del sector petrolero le dieron el visto bueno al plan que busca reactivar la alicaída inversión en la exploración de nuevos recursos de crudo y gas¹. Este hecho sumado a la preocupación de las compañías operadoras por la búsqueda de estrategias que permitan el crecimiento y mantenimiento de la producción de petróleo, motivan al desarrollo de iniciativas que favorezcan la optimización de recursos para que al final las compañías logren reducir sus costos operaciones y ejecutar sus proyectos con el mínimo impacto del medio ambiente.

Castelblanco y Niño (2011), publicaron un trabajo de grado titulado Manejo y tratamiento actual de residuos aceitosos en la industria petrolera Colombiana, cuyo objetivo fue estudiar las tecnologías y procedimientos para el tratamiento de los residuos aceitosos durante derrames de crudo y diferentes actividades de la industria petrolera Colombiana.

Una de sus conclusiones fue hacer una evaluación y clasificación efectiva de residuos generados en operaciones E&P es muy importante para generar un

¹EL TIEMPO Diario Nacional. [En línea]. Marzo 5 de 2017. Disponible en <http://www.eltiempo.com/economia/sectores/nuevo-modelo-de-exploracion-y-explotacion-de-petroleo-en-colombia-64462>.

aprovechamiento integral de los residuos, lo cual está directamente relacionado con el propósito del proyecto a desarrollar durante el programa de Maestría.

El trabajo desarrollado por Castelblanco y Niño (2011), contribuye a la presente investigación principalmente en la clasificación de residuos aceitosos realizada en el Proyecto AMIR de Ecopetrol, sin embargo, esta investigación está basada principalmente en el manejo y tratamiento de los residuos aceitosos de acuerdo con las facilidades instaladas en el proyecto AMIR y necesidades de tratamiento y disposición final que demandan las operaciones de Ecopetrol en la Cira Infantas.

Cely y Rodríguez (2012) realizaron una evaluación técnico-económica de los equipos utilizados en campo Rubiales para el tratamiento de las borras de producción. En este trabajo concluyen que no es posible clasificar este residuo como una emulsión directa o Inversa, también mencionan la necesidad de aplicar más de un proceso para lograr llevar a cabo el tratamiento de las borras y finalmente definen la adquisición de equipos y la operación con personal propio como la opción económicamente más viable para llevar a cabo el tratamiento del residuo.

Torres (2014) desarrolló en su trabajo de grado un análisis de los impactos generados por el tratamiento y disposición final de los residuos aceitosos (borras), encontrando como causa principal de la afectación del medio ambiente y la salud, el inadecuado manejo y disposición final que se da usualmente a este tipo de residuo.

2.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Los pasivos ambientales generados por la actividad hidrocarburífera en su etapa de Upstream, se definen según el informe de ACERCAR de la alcaldía mayor de Bogotá, como “toda obligación de origen legal, administrativo, contractual, o judicial de incurrir en un gasto como consecuencia de un daño ambiental, social, una sanción, cumplimiento de obligación contractual o legal, incluidos permisos, licencias, concesiones, autorizaciones o cualquier otro instrumento administrativo requerido para el uso y aprovechamiento de recursos naturales renovables y protección ambiental”.(MAVDT, 2009:18).

A continuación, se presentan las transformaciones relacionadas con la seguridad ambiental asociadas a la explotación de petróleo² :

ACTIVIDAD	TRANSFORMACIÓN
Explotación	Vertimientos de agua contaminada y lodos a esteros y ríos; contaminación fuentes de agua superficial y subterránea por la disposición permanente de vertimientos salinos a los cuerpos de agua; transformación de los drenajes naturales con la apertura de vías y oleoductos; vertimiento de aguas negras de los campamentos a la red hídrica; producción de ruidos intensos; hibridación cultural; cambio en la

² Cusarúa, A. A. (2013). Petróleo, seguridad ambiental y exploración petrolera marina en Colombia. Íconos-Revista de Ciencias Sociales, (21), 11-17.

	escala de valores éticos y morales reflejados en la gobernabilidad, violencia, inseguridad, proliferación de actores sociales al margen de la ley; ruptura del núcleo familiar y por ende del tejido social: prostitución, madres solteras, indigentes; subutilización del recurso petrolero en el ámbito regional: grandes riquezas naturales asociadas con altos índices de pobreza; pérdida del capital ambiental; pérdida de identidad cultural: desarraigo; cambios drásticos en la economía local: sobrepuestos en los productos de consumo más común; aparición de economías no formales.
--	---

Modificada de: Cusarí, A. A. (2013). Petróleo, seguridad ambiental y exploración petrolera marina en Colombia. Íconos-Revista de Ciencias Sociales, (21), 11-17.

2.3 MARCO PRÁCTICO

2.3.1 Reseña Histórica Tecnología Ecológica del Oriente. El 21 de Abril de 2014, Corporinoquia mediante la resolución 500.41-14-0547, otorga a TECECOR S.A.S la licencia ambiental para el desarrollo del proyecto denominado “construcción y operación de una planta de tratamiento de residuos sólidos y líquidos peligrosos del sector Hidrocarburos.

Actualmente TCECECOR S.A.S lleva a cabo en sus instalaciones la recepción, caracterización, almacenamiento temporal, tratamiento, aprovechamiento, recuperación y disposición final de los residuos peligrosos producto de la actividad asociada al sector Hidrocarburos en la zona Oriente del territorio Nacional, mediante el desarrollo de procesos y tecnologías que le han permitido hoy día realizar de manera eficiente y responsable el tratamiento de los residuos comúnmente generados por las compañías operadoras durante la etapa de Upstream, como cortes de perforación, aguas de producción, píldoras, borras, lodos de perforación, tierras y vegetación contaminada con hidrocarburos, aguas de lavado, entre otros.

2.3.2 Ubicación geográfica Tecnología Ecológica del Oriente. Tecnologías ambientales del Oriente está ubicada en la vereda Rincón del Bubuy, del corregimiento San José del Bubuy, Municipio de Aguazul, Departamento del Casanare, sobre el kilómetro K6+ 500 de la derivación vial o “Y”, sobre la vía Aguazul Maní que comunica los centros poblados de San José del Bubuy y Morichal.

Ilustración 1. Ubicación planta Tececor S.A.S



Fuente: Tomado de Tececor S.A.S. Archivo Digital. 2018.

Tececor S.A.S dispone de un área licenciada de 16 Ha para la realización de cada uno de los procesos de tratamiento de los residuos peligrosos, dividido en áreas separadas para cada fin, según se establece la licencia ambiental No.500.411.508.47 y No.500.411.508.45

Ilustración 2. Planta Tecnologías ecológicas del oriente- Tececor S.A.S



Fuente: Tomado de Tececor S.A.S. Archivo Digital. 2018.

Dentro de los procesos y tecnologías con las que cuenta Tececor se encuentran:

- Biorremediación
- Fitorremediación
- Centrifugación
- Desorción térmica
- Flotación
- Filtración media
- Filtración con membranas (osmosis inversa).

Tececor cuenta con una capacidad de recepción de 35.000 BBL de cortes base aceite y 13.000 BBL de agua industrial, en piscinas cerradas.

2.4 MARCO LEGAL

Para realizar la propuesta para la clasificación, tratamiento y disposición de residuos asociados con las actividades de perforación y producción de hidrocarburos es fundamental tener en cuenta el cumplimiento de la licencia ambiental No. 500.411.405.47 y 500.411.508.45, otorgada por Corporinoquia el año 2014, en la cual se establecen los permisos de vertimiento y de emisiones atmosféricas, el manejo de los residuos generados, los procesos para el tratamiento de los residuos y el manejo y control de los recursos: agua, aire, suelo, obras civiles.

Además de la licencia ambiental, se tendrán en cuenta todas las disposiciones legales para el manejo integral de los residuos, entre las cuales se encuentran:

- Resolución 2309 de 1986 del Ministerio de salud, por la cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título III de la parte 4a. del Libro 1o. del Decreto Ley No. 2811 de 1974 y de los Títulos I, II y XI de la Ley 09 de 1979, en cuanto a Residuos Especiales.
- Artículo 74 y 74 del decreto 1594 de 1984, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
- Decreto 3930 de 2010, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

- Artículo 4 resolución 0601 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.
- Artículo 17 resolución 0627 de 2006, por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS IMPLEMENTADOS POR TECECOR S.A.S.

En el presente capítulo se realiza una descripción general de cada uno de los sistemas de tratamiento con que cuenta Tececor S.A.S para el tratamiento de los pasivos ambientales.

3.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

El sistema de tratamiento de aguas de Tececor de capacidad 5.000 BWPD, está conformado por varias unidades de proceso en donde se aplican tecnologías de separación como coagulación, floculación, flotación, filtración media y filtración con membranas (RO).

3.2.1 Unidad de Tratamiento de aguas (UTA). La función principal del tratamiento que se lleva a cabo en la UTA es remover el contenido de G&A y SST presentes en el agua.

El fluido inicialmente es cuantificado por medio de un medidor de flujo electromagnético, con el fin de determinar el caudal que ingresa a la planta instantáneamente y en tiempo real, permitiendo control de los recipientes y equipos de proceso aguas abajo.

El agua es alimentada a la unidad de tratamiento de agua (ilustración 3), la cual está dividida en seis compartimientos, en la entrada cuenta con facilidades para la inyección de productos químicos como coagulantes y floculantes, los cuales generan la desestabilización de coloides y posterior agrupación de los mismos.

Como mecanismo de separación de sólidos, la UTA cuenta con un sistema de aire inducido, el cual es inyectado a través de un sistema de Venturi, generando la flotación de los flóculos formados a lo largo del proceso de clarificación, para luego ser removidos manualmente hacia los compartimientos laterales en donde se almacenan temporalmente antes de ser enviados al tanque de lodos.

En caso de requerirse, cuando el proceso así lo demande, se cuenta con la facilidad para la dosificación de rompedores de emulsión, Biocidas u otros productos químicos que se consideren necesarios teniendo en cuenta las características del Efluente.

Ilustración 3. Unidad de Tratamiento de agua UTA



Fuente: Tomado de Tececor S.A.S. Archivo Digital. 2018.

3.2.2 Sistema de filtración media. El agua procedente de la UTA, es alimentada a las unidades de filtración de operación manual (dos unidades de 2.500 BBL c/u como la presentada en la ilustración 4) mediante las bombas centrífugas de filtración, allí el agua atraviesa el lecho vegetal en flujo vertical descendente, logrando una alta efectividad tanto en la remoción de grasas y aceites como de sólidos suspendidos presentes en ella.

El lecho vegetal está soportado por una malla en acero Inoxidable lo cual impide la pérdida del material durante el paso del fluido, éste empaque filtrante se debe limpiar a con cierta frecuencia, este periodo de tiempo es llamado “tiempo de filtración”, este tiempo es determinado de acuerdo con las curvas de seguimiento que se realizan a través del análisis fisicoquímico del agua tanto a la entrada como a la salida de los filtros.

Ilustración 4. Filtro de lecho Vegetal



Fuente: Tomado de Tececor S.A.S. Archivo Digital. 2018.

La regeneración del empaque filtrante se realiza mediante la operación de “retrolavado” del filtro, la cual puede realizarse por dos criterios: que la presión diferencial sea ≥ 10 Psi o por tiempo de filtración programado de acuerdo con las curvas de operación de los filtros.

El retrolavado consiste en el paso del efluente en flujo vertical ascendente, con el fin de remover los contaminantes adsorbidos por el empaque filtrante y de esta manera lograr la regeneración o limpieza del lecho, esta operación se realiza mediante la apertura y cierre de válvulas de forma manual a criterio del operador y según los resultados y análisis del proceso obtenidos del seguimiento continuo al sistema.

La operación de retrolavado requiere poco tiempo para garantizar la efectiva limpieza del material filtrante, garantizando la eficiencia en la remoción de grasas y aceites como también de los sólidos suspendidos en el agua.

El agua filtrada, efluente de los Filtros de Lecho vegetal es enviada a la piscina de agua tratada para posteriormente realizar su disposición final en el campo de aspersión de acuerdo con las disposiciones de la licencia ambiental.

3.2.3 Tanque decantador. El fluido producto de los retrolavados de los filtros media, con alto contenido de G&A y sólidos suspendidos, es enviado al decantador (ilustración 5).

El decantador es un tanque vertical de fondo cónico en el cual por acción remanente de los productos químicos y tiempo de permanencia se logra la separación mecánica de tres fases: agua clarificada, lodos y natas. Las natas y los lodos se llevan al tanque de lodos y el agua clarificada se retorna al proceso, en la entrada de la celda de flotación-UTA.

Ilustración 5. Tanque decantador



Fuente: Tomado de Tececor S.A.S. Archivo Digital. 2018.

3.2.4 Tanque de lodos. En el tanque de lodos (ilustración 6) se desarrolla un proceso de deshidratación de los flocs evacuados de la UTA y de los lodos recibidos del tanque decantador producto del retrolavado del empaque filtrante. La geometría e inclinación del tanque permite deshidratar su contenido por tiempo de residencia y acción de los productos químicos remanentes.

De forma manual, a criterio del operador, se evacuan los lodos hacia el proceso de Bioremediación, previa caracterización en el laboratorio.

El agua clarificada separada en esta fase del proceso se retorna a la unidad de tratamiento de agua y los lodos se extraen con el camión de vacío y se envían a las piscinas en donde se confinan las borras.

Ilustración 6. Tanque de Lodos



Fuente: Fotografía de Yeni Milena León Camargo. (2018). Tanque de lodos. Tececor S.A.S.

El sistema de tratamiento de aguas (ilustración 7) combina diferentes procesos y tecnologías para realizar el tratamiento de aguas con diferentes características fisicoquímicas, es un sistema robusto, fiable, flexible y modular que permite a la compañía garantizar una calidad de agua óptima para su disposición final.

Ilustración 7. Sistema de tratamiento de aguas



Fuente: Fotografía de Yeni Milena León Camargo. (2018). Sistema de tratamiento de aguas. Tececor S.A.S.

3.3 UNIDAD DE DESORCIÓN TÉRMICA

La Unidad de Desorción térmica (ilustración 8) es una tecnología empleada en Tececor para el tratamiento de cortes de perforación base aceite, borras o suelos contaminados con compuestos orgánicos, combustibles y otros elementos a temperaturas que pueden variar de 90 a 560 ° C con el fin de volatilizar los contaminantes sin realizar una oxidación completa. Esta opción de tratamiento nos permite procesar diariamente un promedio de 250 BBI a 300 BBL con una recuperación de aceite estimada del 70% y la obtención de sólidos tratados con contenidos de hidrocarburos <1%.

El material contaminado es cargado desde la tolva hacia el horno (tambor rotatorio) por medio de un tornillo de alimentación. En este paso existe un control volumétrico de la cantidad de material alimentado a la Unidad.

En los quemadores se da la combustión del combustible de operación (Diesel o GLP), proporcionando la transferencia de calor y el aumento necesario en la temperatura del horno para llevar a cabo la desorción del agua y del aceite. (aprox. a 500 °C).

En el horno se logra la desorción del agua y el aceite separándose así del sólido. Este sólido descontaminado es evacuado de la unidad con ayuda de un tornillo de descarga. La corriente de vapor generada es tratada en unidades de condensación donde el agua y el aceite se recuperan por separado.

Ilustración 8. Unidad de desorción térmica.



Fuente: Tomado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018.

3.4 BIOTRATAMIENTO

Tececor S.A.S combina operaciones de calentamiento, tratamiento químico, centrifugación y biotratamientos para el manejo seguro de borras, emulsiones aceitosas, flóculos y solidos contaminados.

Inicialmente se realiza una prueba de laboratorio, tomando una muestra del residuo y adicionando surfactantes aniónicos, catiónicos, peróxido de Hidrogeno y/o Polímeros, con el fin de desestabilizar las borras, lodos y emulsiones. Normalmente con la adición de estos productos químicos se acelera y se favorece la coalescencia, la aglutinación de los sólidos y se promueve la flotación del aceite libre.

Posterior al tratamiento químico se evalúa la necesidad de emplear procesos de separación mecánica por centrifugación, con el fin de realizar una separación de fases: una líquida conformada por aceite y agua y una de solidos con bajo contenido de TPH.

La fase líquida compuesta por aceite y agua es enviada a un tanque vertical para su decantación en virtud de la diferencia de densidades, en donde se obtiene como resultado un aceite valorizable y agua que posteriormente es conducida al sistema de tratamiento de aguas con el fin de dejarla en condiciones de disposición en el campo de aspersión.

Los fondos sólidos con bajos contenidos de aceite se mezclan con material inerte procesado en la planta, generalmente en proporción 2:1 para lograr concentraciones de TPH < 15%, buscando maximizar el desempeño de las cepas microbianas. Concentraciones mayores resultan tóxicas.

Posteriormente se realiza el traslado y conformación de las biopilas, llevando el material sólido y mezclado bajo una cubierta para recibir el tratamiento biológico que consiste en la aplicación de bacterias, Licor Nutritivo (N,P,K) y acondicionador de pH. (Cal) para garantizar condiciones favorables de crecimiento y biodegradación de TPH.

Durante todo el proceso se realizan monitoreos y control de calidad para verificar pH, Humedad, y población microbiana.

Con una frecuencia aproximada de 10 días se mide la concentración de TPH para evaluar la evolución del proceso. De acuerdo con los resultados se enriquece la flora microbiana con un proceso de bioaumentación.

Cuando la concentración de TPH es menor al 3%, el material es movilizado al área de Fitorremediación para culminar el proceso de tratamiento con dilución bucal y revegetalización del suelo remediado. La disposición final se realiza en diques perimetrales de la planta dando cumplimiento a Louisiana 29B según laboratorios de control externo.

Ilustración 9. Pruebas de tratamiento químico



Fuente: Tomado de Tececor S.A.S. Archivo Digital. 2018.

Ilustración 10. Control de humedad, tratamiento biológico.



Fuente: Tomado de Tececor S.A.S. Archivo Digital. 2018.

3.5 DILUCIÓN BUREAL

Los Cortes base agua (WBM) son recepcionados y almacenados en la piscina de dilución. Allí se someten a un proceso de secado espontaneo por evaporación gracias a las condiciones ambientales de la región, donde pierden un porcentaje considerable de humedad.

Se toma una muestra representativa y se caracteriza en el laboratorio con el fin de conocer el porcentaje de agua del lote a tratar. Así mismo se establece la proporción de mezcla con material de aporte para estabilizar el corte.

El material diluido es llevado a las áreas de fitorremediación donde por acción de plántulas nativas y riego periódico, se logra la remediación del suelo.

Una vez se completa el proceso de revegetalización, este suelo puede ser reutilizado para restauración de zonas verdes al interior de la planta o para disponerlo en diques perimetrales de las áreas de proceso.

Ilustración 11. Dilución Bureal



Fuente: Tomado de Tececor S.A.S. Archivo Digital. 2018.

4. RESIDUOS ASOCIADOS AL SECTOR HIDROCARBUROS RECEPCIONADOS POR TECECOR S.A.S.

Con el fin de identificar los residuos asociados a las operaciones de perforación y producción del sector Hidrocarburos que se generan en el Departamento de Casanare y que son enviados a la planta de Tececor, se realiza una revisión de la base de datos de la compañía y de los formatos que los Generadores elaboran al momento del despacho de los residuos.

El estudio de las caracterizaciones y parámetros fisicoquímicos de los residuos se realiza desde la fecha en que se dio inicio al tratamiento de residuos en la planta, 10 de noviembre de 2014, hasta el 30 de Junio de 2017, fecha en la cual se da inicio al presente estudio.

4.1 CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SEGÚN EL GENERADOR

Al 30 de Junio de 2017 se recibieron en Tececor 394.351 BBL de residuos, que fueron clasificados por las compañías generadoras en 67 categorías como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1. Clasificación de residuos según los Generadores.

N°	Residuo	Número de Viajes	Volumen BBL	% viajes	Porcentaje en Volumen
1	Agua Aceitosa	3	317	0,07%	0,08%
2	Agua Conductiva	1	80	0,02%	0,02%
3	Agua Contaminada	196	33.561	4,28%	8,51%
4	Agua Contaminada Aceitosa	1	60	0,02%	0,02%
5	Agua de Cementación	9	1.370	0,20%	0,35%
6	Agua de Contrapozo	1	80	0,02%	0,02%
7	Agua de Lavado	6	280	0,13%	0,07%

8	Agua de Lavado de Anulares	1	80	0,02%	0,02%
9	Agua de Producción	116	20.983	2,53%	5,32%
10	Agua de Retorno	11	1.953	0,24%	0,50%
11	Agua de Retorno Gelificada	7	1.350	0,15%	0,34%
12	Agua Industrial	58	10.675	1,27%	2,71%
13	Agua Inhibida	5	900	0,11%	0,23%
14	Agua Lodo	23	2.698	0,50%	0,68%
15	Agua Lodo de lavado	1	50	0,02%	0,01%
16	Agua Residual	4	530	0,09%	0,13%
17	Agua Residual de cementación	1	200	0,02%	0,05%
18	Agua Residual Doméstica	8	620	0,17%	0,16%
19	Agua Residual Industrial	2	140	0,04%	0,04%
20	Agua Residual Ósmosis Inversa	13	2.437	0,28%	0,62%
21	Agua Salmuera	202	38.893	4,41%	9,86%
22	Arena Contaminada	25	1.295	0,55%	0,33%
23	Arena y Lodo contaminado	1	53	0,02%	0,01%
24	Borra Aceitosa	20	2.191	0,44%	0,56%
25	Borras	101	17.905	2,20%	4,54%
26	Cascarilla de Nuez contaminada	1	40	0,02%	0,01%
27	Cementación	6	555	0,13%	0,14%
28	Cemento	8	540	0,17%	0,14%
29	Ceniza	57	4.249	1,24%	1,08%
30	Cortes Calados	532	46.808	11,61%	11,87%
31	Cortes OBM	1.678	92.102	36,61%	23,36%
32	Cortes WBM	1.030	72.851	22,47%	18,47%
33	Crudo Borra	1	25	0,02%	0,01%
34	Desechos Aceitosos	2	160	0,04%	0,04%
35	Flocs	177	12.146	3,86%	3,08%
36	Flocs Aceitoso	8	810	0,17%	0,21%
37	Flocs Acuosos	3	480	0,07%	0,12%
38	Flocs Agua Residual Doméstica	1	80	0,02%	0,02%
39	Flocs Agua Residual Industrial	5	400	0,11%	0,10%
40	Flocs Contaminados	51	5.050	1,11%	1,28%
41	Flocs OBM	6	334	0,13%	0,08%
42	Flocs WBM	30	2.427	0,65%	0,62%
43	Fluido Aceitoso	7	1.139	0,15%	0,29%
44	Fluido de Lavado	2	110	0,04%	0,03%
45	Fluido de Retorno	2	120	0,04%	0,03%

46	Fluido de Retorno píldoras de Cementación	3	540	0,07%	0,14%
47	Fluidos Acuósos	2	120	0,04%	0,03%
48	Fuel Oil	1	40	0,02%	0,01%
49	Lodo	1	80	0,02%	0,02%
50	Lodo Aceitoso	6	682	0,13%	0,17%
51	Lodo Base Agua	11	1.200	0,24%	0,30%
52	Lodo Contaminado	8	636	0,17%	0,16%
53	Lodo OBM	7	475	0,15%	0,12%
54	Lodo WBM	6	395	0,13%	0,10%
55	OBM	2	109	0,04%	0,03%
56	Píldora	18	3.070	0,39%	0,78%
57	Píldora Semisólida	1	7	0,02%	0,00%
58	Píldora y agua Salmuera	1	200	0,02%	0,05%
59	Productos químicos Obsoletos	1	0	0,02%	0,00%
60	Residuos Aceitosos	18	2.102	0,39%	0,53%
61	Residuos de Cementación	12	700	0,26%	0,18%
62	Residuos sólidos ordinarios contaminados	4	270	0,09%	0,07%
63	Salmuera	4	680	0,09%	0,17%
64	Sólidos Contaminados	20	1.314	0,44%	0,33%
65	Sólidos de Cementación	1	75	0,02%	0,02%
66	Suelo Contaminado	6	385	0,13%	0,10%
67	Tierra Contaminada	28	2.144	0,61%	0,54%
Total		4.584	394.351	100%	100%

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018.

Es importante tener en cuenta que:

- Las categorías según las cuales el Generador clasificó cada residuo que envió a planta externa son propias de cada compañía.
- Los criterios de clasificación de cada residuo pueden estar basados en calificaciones cuantitativas y/o cualitativas.

- Normalmente los residuos líquidos son transportados en carrotanques con capacidad entre 180 y 200 BBL de fluido, los sólidos en volquetas selladas con capacidad máx. entre 60 y 80 BBL m3.

Según los Generadores, existen a la fecha 67 categorías diferentes de clasificación de los residuos generados por el sector Hidrocarburos, de acuerdo con la base de datos de la compañía Tececor S.A.S como se puede apreciar en el Gráfico 1.

Gráfico 1. Volumen de Residuos Generador



Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

De acuerdo con la clasificación de los Generadores y lo ilustrado en el gráfico1, los cortes OBM, WBM y cortes calados, representan el 54% de los residuos recepcionados y tratados en Tececor.

Respecto a la caracterización de los residuos por parte de los Generadores, se evidencia que la mayoría de los documentos de transporte y custodia de los residuos no reportan información sobre parámetros ni caracterización detallada de los mismos, por tal razón, la base de datos no almacena ésta información. Con seguridad, el Generador suministra información acerca del volumen y la clasificación propia que cada compañía realiza.

La ausencia de la caracterización de los residuos por parte de los generadores se fundamenta principalmente en que no cuentan con los equipos necesarios para medir los parámetros fisicoquímicos de los residuos y optan por realizar una sencilla clasificación cualitativa teniendo en cuenta principalmente su origen y/o estado físico.

4.2 CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS REALIZADA POR TECECOR S.A.S

De acuerdo con la base de datos de la planta Tececor, los 394.351 BBL de residuos recepcionados fueron clasificados en 7 categorías como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2. Clasificación de residuos según Tececor.

Ítem	Residuo	Número de Viajes	Volumen BBL	% viajes	Porcentaje en Volumen
1	Agua Industrial	707	123.107	15,42%	31,22%
2	Biorremediación	1.090	100.548	23,78%	25,50%
3	Ceniza	57	4.249	1,24%	1,08%
4	Cortes OBM	1.677	91.851	36,58%	23,29%
5	Cortes WBM	1.040	73.486	22,69%	18,63%

6	Lodo WBM	9	840	0,20%	0,21%
7	Residuos Sólidos Ordinarios Contaminados	4	270	0,09%	0,07%
Total		4.584	394.351	100,00%	100,00%

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

De acuerdo con la clasificación realizada por Tececor y lo ilustrado en el gráfico 2, el agua residual, Biorremediación cortes OBM y cortes WBM, representan el 98% de los residuos recepcionados y tratados en Tececor.

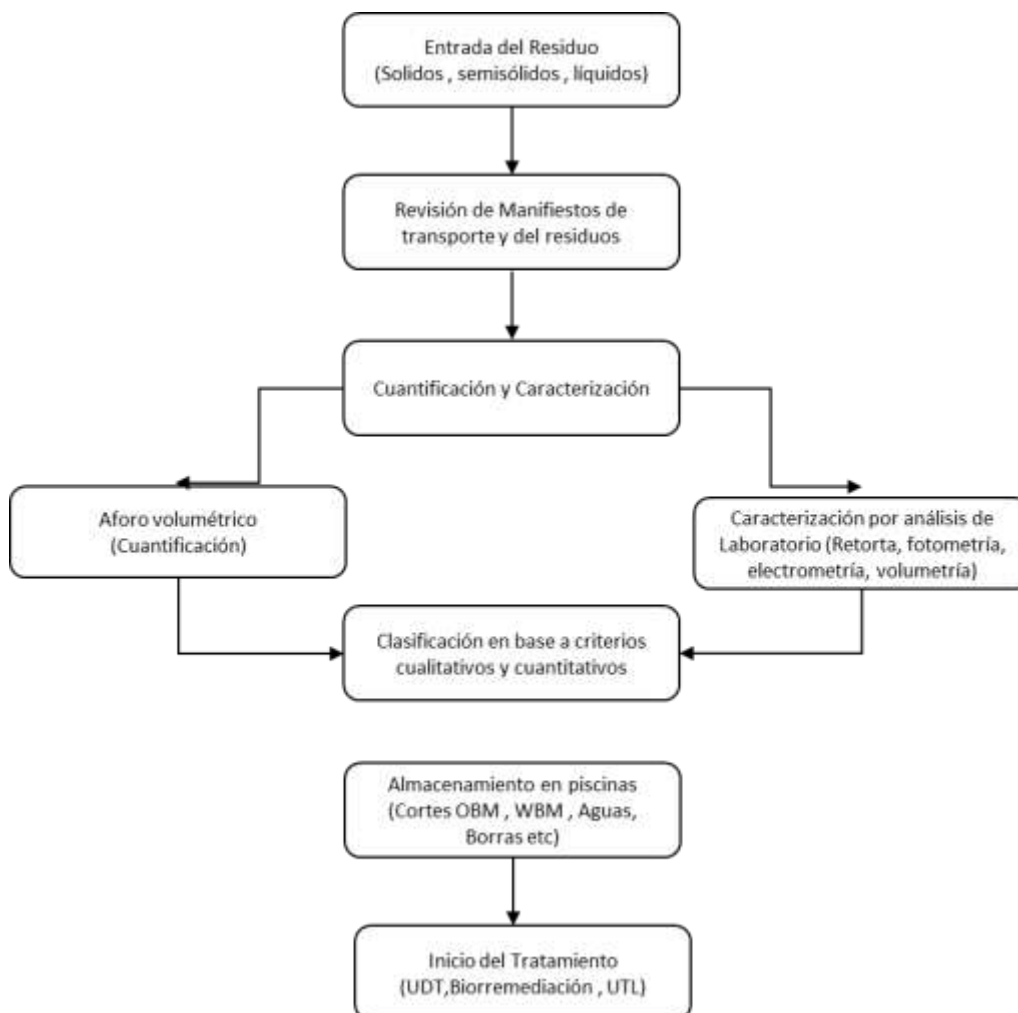
Gráfico 2. Volumen de residuos Tececor



Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Referente a la caracterización de los residuos realizada por Tececor, ésta se basa en criterios tanto cualitativos como cuantitativos como se observa en los gráficos 3 y 4, presentados a continuación:

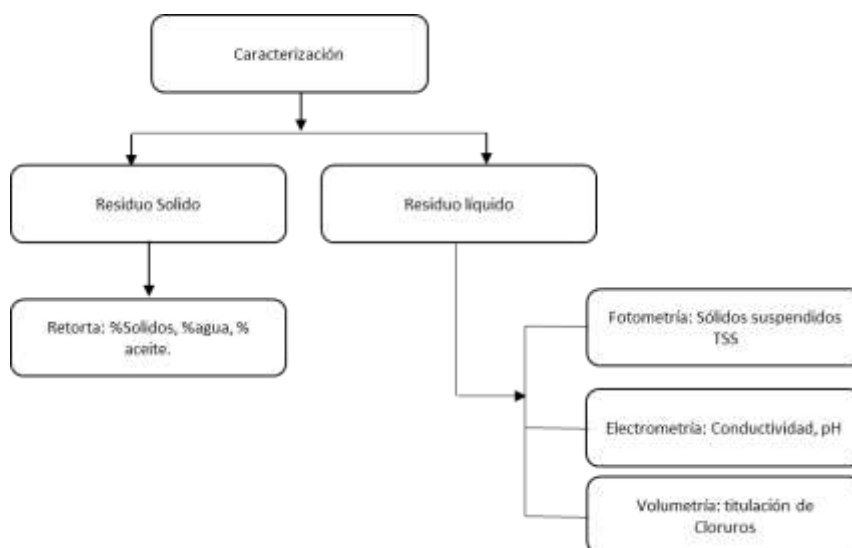
Gráfico 3. Procedimiento de clasificación, caracterización y tratamiento de residuos.



Fuente: Tomado de Tececor S.A.S. Base de datos Archivo Digital. 2018.

De acuerdo con el procedimiento y la base de datos, los residuos sólidos son caracterizados por el método de retorta y los líquidos o fluidos por fotometría, electrometría y volumetría de la siguiente manera:

Gráfico 4. Detalle del procedimiento de caracterización de los residuos.



Fuente: Tomado de Tececor S.A.S. Base de datos Archivo Digital. 2018.

4.3 COMPARACIÓN CUANTITATIVA DE LA CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS.

De acuerdo con la clasificación y caracterización definida tanto por las Compañías externas como por Tececor, se evidencia que no existen criterios comunes entre el Generador y el Receptor bajo los cuales se pueda definir claramente el tipo de residuo y los análisis básicos que deberían realizarse a cada uno de ellos, tanto en la fuente como en planta externa.

A continuación, se presenta un análisis en donde se puede apreciar básicamente qué tan acorde está el procedimiento establecido por Tececor como compañía encargada del tratamiento y disposición de los residuos, respecto a los Generadores en cuanto a la clasificación y caracterización de los residuos; procesos fundamentales para definir el tratamiento de los mismos.

De acuerdo con los registros de la base de datos de Tececor, se puede inferir lo siguiente:

- En la tabla 3 se puede observar que el volumen total recibido de todos los residuos clasificados por los Generadores como algún tipo de agua (y salmuera según clasificación de los Generadores) es de 117.937 BBL (29,91%), sin embargo, comparado con el volumen total recibido de residuos clasificados como Agua Industrial según Tececor, tabla 4, es de 123.107 (31%), es decir que hay 5.170 BBL (1,31%), tabla 5, que según el Generador no era ningún tipo de agua, sin embargo, Tececor lo reconoció como tal y así mismo lo trató.

Tabla 3. Residuos clasificados por el Generador como algún tipo de agua.

Residuo	Número de Viajes	Volumen BBL
Agua Aceitosa	3	317
Agua Conductiva	1	80
Agua Contaminada	196	33.561
Agua Contaminada Aceitosa	1	60
Agua de Cementación	9	1.370
Agua de Contrapozo	1	80
Agua de Lavado	6	280
Agua de Lavado de Anulares	1	80
Agua de Producción	116	20.983
Agua de Retorno	11	1.953
Agua de Retorno Gelificada	7	1.350
Agua Industrial	58	10.675
Agua Inhibida	5	900
Agua Lodo	23	2.698
Agua Lodo de lavado	1	50
Agua Residual	4	530
Agua Residual de cementación	1	200
Agua Residual Doméstica	8	620
Agua Residual Industrial	2	140
Agua Residual Ósmosis Inversa	13	2.437
Agua Salmuera	202	38.893
Salmuera	4	680
Total	673	117.937

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

: Elaboración propia, información de la base de datos de Tececor.

Tabla 4. Residuos clasificados por Tececor como Agua Industrial.

Residuo	Número de Viajes	Volumen BBL
Agua Industrial	707	123.107

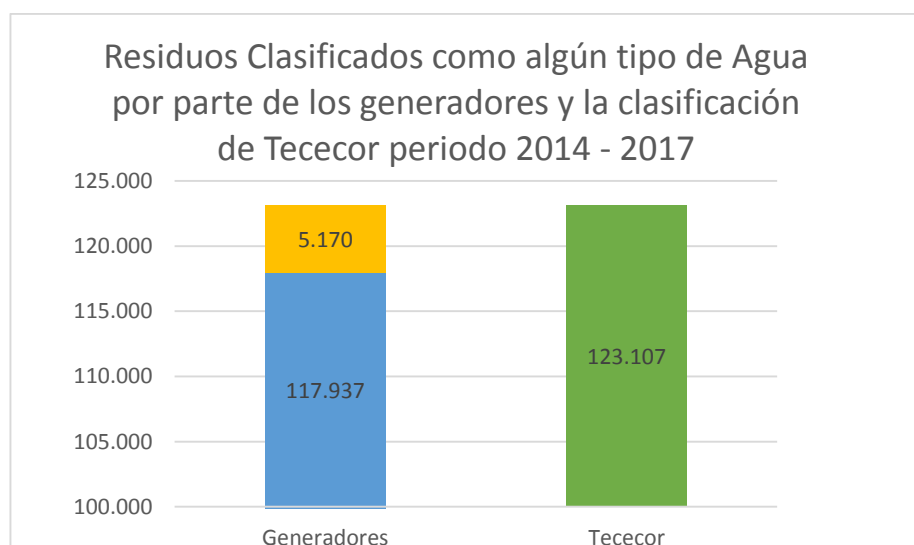
Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Tabla 5. Residuo clasificado como Agua por el Generador y Tececor.

	Volumen BBL	%
Total Residuos en Planta	394.351	100,00%
Tececor	123.107	31,22%
Generadores	117.937	29,91%
Diferencia Tececor – Cliente	5.170	1,31%

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Gráfico 5. Cuantificación del residuo clasificado como Agua por el Generador y Tececor.



Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

- Realizando la revisión de los análisis fisicoquímicos del residuo clasificado como agua en Tececor, se evidencia que 6.960 BBL de agua no presentan ningún tipo de análisis correspondiente al definido por Tececor para residuos

líquidos (pH, conductividad, Cloruros, sólidos suspendidos), como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Aguas sin análisis fisicoquímicos.

Residuo	Sin Análisis		Total		% vol. Sin análisis
	Número de Viajes	Volumen BBL	Número de Viajes	Volumen BBL	
Agua Aceitosa	1	197	3	317	62,15%
Agua Conductiva	0	0	1	80	0,00%
Agua Contaminada	18	3.063	196	33.561	9,13%
Agua Contaminada Aceitosa	0	0	1	60	0,00%
Agua de Cementación	0	0	9	1.370	0,00%
Agua de Contrapozo	0	0	1	80	0,00%
Agua de Lavado	6	280	6	280	100,00%
Agua de Lavado de Anulares	0	0	1	80	0,00%
Agua de Producción	0	0	116	20.983	0,00%
Agua de Retorno	0	0	11	1.953	0,00%
Agua de Retorno Gelificada	0	0	7	1.350	0,00%
Agua Industrial	0	0	58	10.675	0,00%
Agua Inhibida	0	0	5	900	0,00%
Agua Lodo	7	768	23	2.698	28,47%
Agua Lodo de lavado	1	50	1	50	100,00%
Agua Residual	0	0	4	530	0,00%
Agua Residual Cementación	0	0	1	200	0,00%
Agua Residual Domestica	0	0	8	620	0,00%
Agua Residual Industrial	0	0	2	140	0,00%
Agua Residual Ósmosis Inversa	12	2.252	13	2.437	92,41%
Agua Salmuera	1	70	202	38.893	0,18%
Salmuera	0	0	4	680	0,00%
Flocs Acuosos	1	80	3	480	-
Píldora	1	200	18	3.070	-
Total	48	6.960	694	121.487	

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Respecto al agua residual de Osmosis Inversa en la tabla 6, se realizó análisis a 1 de los 13 viajes en total, asumiendo que todos tienen las mismas características, por otra parte, no se reporta porcentaje de análisis dado que no todos los casos fueron reportados como agua industrial por Tececor.

Los residuos denominados Flocs acuosos y las Píldoras en la tabla 6 no reportan porcentaje en volumen debido a que a pesar de que fueron reportados por los Generadores como residuos líquidos, sin embargo, Tececor los clasificó como lodos y les realizó análisis por Retorta.

- También relacionado con los análisis fisicoquímicos realizados a los residuos recibidos clasificados por los Generadores como algún tipo de aguas y por Tececor como agua industrial, se encuentra que 1.130 BBL fueron caracterizados como un residuo sólido, es decir que se realizó un análisis de retorta (%de sólidos, %de agua, %de aceite) como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Aguas con análisis de Retorta.

Residuo	Análisis por Retorta		Total		% vol. Análisis
	Número de Viajes	Volumen BBL	Número de Viajes	Volumen BBL	
Agua Aceitosa	0	0	3	317	0,00%
Agua Conductiva	0	0	1	80	0,00%
Agua Contaminada	2	360	196	33.561	1,07%
Agua Contaminada Aceitosa	0	0	1	60	0,00%
Agua de Cementación	0	0	9	1.370	0,00%
Agua de Contrapozo	0	0	1	80	0,00%
Agua de Lavado	1	60	6	280	21,43%
Agua de Lavado de Anulares	0	0	1	80	0,00%
Agua de Producción	0	0	116	20.983	0,00%
Agua de Retorno	0	0	11	1.953	0,00%

Agua de Retorno Gelificada	0	0	7	1.350	0,00%
Agua Industrial	0	0	58	10.675	0,00%
Agua Lodo	0	0	23	2.698	0,00%
Agua Lodo de lavado	0	0	1	50	0,00%
Agua Residual	0	0	4	530	0,00%
Agua Residual Cementación	0	0	1	200	0,00%
Agua Residual Domestica	0	0	8	620	0,00%
Agua Residual Industrial	0	0	2	140	0,00%
Agua Residual Ósmosis Inversa	0	0	13	2.437	0,00%
Agua Salmuera	2	350	202	38.893	0,90%
Salmuera	0	0	4	680	0,00%
Flocs Acuosos	0	0	3	480	0,00%
Píldora	2	360	18	3.070	11,73%
Total	7	1.130	694	121.487	

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

- Según los análisis fisicoquímicos establecidos por Tececor para los residuos líquidos, se observa que las conductividades de los fluidos corresponden en su mayoría a la mezcla de varias sales en solución diferentes al Cloruro de Sodio, dado que la relación Conductividad/Cloruros es superior a la obtenida al medir la conductividad de las sales de Cloruro de sodio puro, como se muestra en la tabla 8; sin embargo, únicamente se tiene en cuenta la concentración de cloruros para determinar si el fluido requiere ser tratado mediante el proceso desalinización con Ósmosis Inversa.

Tabla 8. Conductividad Vs. Concentración para soluciones comunes ³.

ppm Cloruros	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Relación Cond/cl
1	2,2	2,2
3	6,5	2,2
10	21,4	2,1
30	64	2,1
100	210	2,1
300	617	2,1
1000	1990	2,0
3000	5690	1,9
10000	17600	1,8

Fuente. Tomado de FOXBORO, E. X. W. Massachusetts. Conductivity ordering guide, 1999. p1.

Tabla 9. Análisis fisicoquímico de los residuos líquidos.

Residuo	Total		Análisis			
	Número de Viajes	Volumen BBL	Cloruros	pH	Conductividad	Relación cond/cl
Agua Aceitosa	3	317	30,3	4,7	1020,0	33,63
Agua Conductiva	1	80	0,0	0,0	4500,0	0,00
Agua Contaminada	196	33.561	148,4	7,5	1242,8	8,37
Agua Contaminada Aceitosa	1	60	400,0	5,5	1617,0	4,04
Agua de Cementación	9	1.370	563,6	8,7	2738,7	4,86
Agua de Contrapozo	1	80	310,0	12,0	3010,0	9,71
Agua de Lavado	6	280	0,0	0,0	0,0	0,00
Agua de Lavado de Anulares	1	80	400,0	7,0	5310,0	13,28
Agua de Producción	116	20.983	196,6	7,6	637,0	3,24
Agua de Retorno	11	1.953	300,5	7,5	11849,4	39,44
Agua de Retorno Gelificada	7	1.350	828,6	5,5	2171,4	2,62
Agua Industrial	58	10.675	290,6	7,9	1235,4	4,25
Agua Inhibida	5	900	243,0	7,9	603,0	2,48
Agua Lodo	23	2.698	186,8	5,1	1795,7	9,61

³ FOXBORO, E. X. W. Massachusetts. Conductivity ordering guide, 1999. p1.

Agua Lodo de lavado	1	50	0,0	0,0	0,0	0,00
Agua Residual	4	530	243,3	7,6	7664,3	31,51
Agua Residual Cementación	1	200	0,0	7,6	4700,0	0,00
Agua Residual Domestica	8	620	26,1	7,7	1975,9	75,63
Agua Residual Industrial	2	140	415,0	8,5	8007,5	19,30
Agua Residual Ósmosis Inversa	13	2.437	350,0	0,6	161,5	0,46
Agua Salmuera	202	38.893	7047,1	7,1	22503,5	3,19
Salmuera	4	680	1578,5	8,4	4862,0	3,08
Flocs Acuosos	3	480	0,0	0,0	0,0	0,00
Píldora	18	3.070	174,7	7,2	7631,4	43,69
Total	694	121.487				

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

- Sobre los residuos clasificados como cortes base aceite presentados en la tabla 10, el volumen según los Generadores fue de 92.211 BBL (OBM + cortes OBM 23,3%), según la clasificación de Tececor, tabla 11, fueron 91.851 (23,29%), lo que representa una diferencia de 361 BBL (0,09%), tabla 12, sin embargo, se evidencia que el criterio es similar al momento de identificar los cortes OBM.

Tabla 10. Cortes OBM según Generadores.

Residuo	Número de Viajes	Volumen BBL
Cortes OBM	1.678	92.102
OBM	2	109
Total	1.680	92.211

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Tabla 11. Cortes OBM según clasificación de Tececor.

Residuo	Número de Viajes	Volumen BBL
Cortes OBM	1.677	91.851

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Tabla 12. Residuo clasificado como cortes OBM

	Volumen BBL	%
Total Residuos en Planta	394.351	100,00%
Tececor	91.851	23,29%
Generadores	92.211	23,38%
Diferencia Tececor - Cliente	360	0,09%

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Gráfico 6. Residuos clasificados como Cortes OBM por el Generador y por Tececor.



Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

- Respecto a los cortes base agua (WBM), como se puede observar en la tabla 13, los Generadores reportan 72.851bbl (18,47%), por otra parte, según la tabla 14, Tececor clasificó como cortes WBM 73.486 (22,69%), encontrándose una diferencia de 635 BBL (0,16%), tabla 15, sin embargo se evidencia que el criterio es similar al momento de identificar los cortes WBM.

Tabla 13. Cortes WBM según clasificación el Generador.

Residuo	Número de Viajes	Volumen BBL
Cortes WBM	1.030	72.851
Total	1.030	72.851

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Tabla 14. Cortes WBM según clasificación de Tececor.

Residuo	Número de Viajes	Volumen BBL
Cortes WBM	1.040	73.486

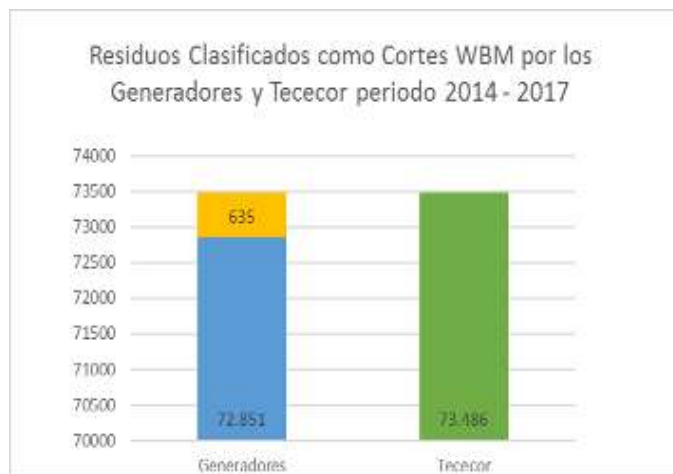
Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Tabla 15. Cuantificación del residuo clasificado como cortes WBM por el Generador y Tececor.

	Volumen BBL	%
Total Residuos en Planta	394.351	100,00%
Tececor	73.486	18,63%
Generadores	72.851	18,47%
Diferencia Tececor - Cliente	635	0,16%

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Gráfico 7. Residuos clasificados como cortes WBM por el Generador y por Tececor.



Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

- Realizando una revisión general de los residuos y las clasificaciones definidas por los Generadores y por Tececor, se tiene una coincidencia de 72% (vol) entre las dos clasificaciones, es decir, que el 28% de los residuos tienen discrepancias en la clasificación, lo cual en volumen equivale a 111.352 BBL, un pasivo ambiental nada despreciable.

De acuerdo con Tececor, se tienen 7 categorías para la clasificación de los residuos, en donde se identificó que coinciden de alguna manera con la realizada por los Generadores en 3 de ellas (72%): cortes WBM, cortes OBM y Agua Industrial, sin embargo, existen otras 4 categorías: biorremediación, cenizas, residuos sólidos y lodos base agua que de una u otra manera no son claramente identificadas por el Generador y los han llevado a

clasificarlos en 42 categorías, éste volumen de residuos corresponde a los 111.352 BBL (28%) mencionados anteriormente.

Con el fin de realizar un análisis de estos residuos, se denominarán “Otros”, entendiendo que son todos aquellos diferentes a cortes OBM, cortes WBM y todos los tipos de residuo que fueron clasificados como algún tipo de agua tanto para el Generador como para Tececor como se presenta en las tablas 16, 17 y 18.

Tabla 16. Residuos clasificados por Tececor “Otros”

OTROS	No.	Residuo	Número de Viajes	Volumen BBL
	1	Biorremediación	1.090	100.548
	2	Ceniza	57	4.249
	3	Lodo WBM	9	840
	4	Residuos Sólidos Ordinarios Contaminados	4	270
Total			1.160	105.907

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Tabla 17. Residuos clasificados por los Generadores “Otros”

OTROS	No.	Residuo	Número de Viajes	Cantidad BBL
	1	Arena Contaminada	25	1.295
	2	Arena y Lodo contaminado	1	53
	3	Borra Aceitosa	20	2.191
	4	Borras	101	17.905
	5	Cascarilla de Nuez Contaminada	1	40
	6	Cementación	6	555
	7	Cemento	8	540
	8	Ceniza	57	4.249
	9	Cortes Calados	532	46.808
	10	Crudo Borra	1	25
	11	Desechos Aceitosos	2	160

	12	Flocs	177	12.146
	13	Flocs Aceitoso	8	810
	14	Flocs Acuosos	3	480
	15	Flocs Agua Residual Doméstica	1	80
	16	Flocs Agua Residual Industrial	5	400
	17	Flocs Contaminados	51	5.050
	18	Flocs OBM	6	334
	19	Flocs WBM	30	2.427
	20	Fluido Aceitoso	7	1.139
	21	Fluido de Lavado	2	110
	22	Fluido de Retorno	2	120
	23	Fluido de Retorno Píldoras de Cementación	3	540
	24	Fluidos Acuosos	2	120
	25	Fuel Oil	1	40
	26	Lodo	1	80
	27	Lodo Aceitoso	6	682
	28	Lodo Base Agua	11	1.200
	29	Lodo Contaminado	8	636
	30	Lodo OBM	7	475
	31	Lodo WBM	6	395
	32	Píldora	18	3.070
	33	Píldora Semisólida	1	7
	34	Píldora y agua Salmuera	1	200
	35	Productos químicos Obsoletos	1	0
	36	Residuos Aceitosos	18	2.102
	37	Residuos de Cementación	12	700
	38	Residuos sólidos ordinarios contaminados	4	270
	39	Sólidos Contaminados	20	1.314
	40	Sólidos de Cementación	1	75
	41	Suelo Contaminado	6	385
	42	Tierra Contaminada	28	2.144
	Total		1.201	111.352

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

Tabla 18. Residuos clasificados como “Otros”.

	Volumen BBL	% Vol
Total Residuos en Planta	394.351	100,00%
Tececor “Otros” (4 categorías)	105.907	26,86%
Generadores “Otros” (62 categorías)	111.352	28,24%
Diferencia Tececor – Cliente	5.445	1,38%

Fuente: Modificado de Tececor S.A.S. Base de datos. Archivo Digital. 2018

4.4 GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS TECECOR S.A.S

Con el fin de complementar el análisis acerca de la clasificación, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos, además de conocer más a fondo los procedimientos del receptor, se lleva a cabo una auditoría ambiental en sitio la cual está enfocada en la evaluación de cuatro aspectos principales: recepción, tratamiento, disposición final y cumplimiento ambiental; el resultado de la auditoría se encuentra en el Anexo A del presente documento.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante la auditoría y el respectivo análisis de cada aspecto evaluado.

- **Recepción:** respecto a la recepción de los residuos se realiza una revisión general de los últimos vehículos que ingresaron con residuos a la planta en donde se evidenció que pese a que todos presentaron el respectivo manifiesto de transporte o guía, no todos especificaron en éste documento el residuo que transportan y sólo en algunos se caracterizó adecuadamente el residuo.

Por otra parte, se realizó una revisión de la base de datos y se verificó que el laboratorio realizó en todos los casos la caracterización de los residuos, sin

embargo, en algunos casos no coincide con la especificada por el Generador. En estos casos, se verificó la retroalimentación realizada por el analista de laboratorio, quien comunica al Receptor la situación, envía los nuevos resultados de la caracterización en sitio y comunica el caso al área comercial de Tececor para proceder con el manejo y negociación de la tarifa según corresponda.

Respecto a los equipos para realizar el análisis fisicoquímico de los residuos, se evidencia que se cuenta con los necesarios para los análisis establecidos, sin embargo, de acuerdo con la propuesta de clasificación y tratamiento desarrollada en el presente trabajo de aplicación, se considera importante aumentar las cantidades de algunos equipos con el fin de agilizar el proceso de caracterización y poder asegurar la identificación de los residuos desde la recepción.

- **Tratamientos:** Se evidencia la existencia de parámetros de control de proceso en las diferentes rutas de tratamiento, sin embargo, no existe una definición detallada de los límites permisibles en cada proceso, falencia que disminuye la eficacia de cada uno de los equipos.

Las unidades de tratamiento instaladas en la planta, cumplen a cabalidad con los diseños propuestos en la licencia ambiental, además las capacidades de tratamiento son acordes a los volúmenes recepcionados.

Cada proceso genera un subproducto, el cual debe ser procesado dentro de alguna de las vías de tratamiento de la planta, sin embargo, no hay claridad acerca de su tratamiento, generando un sobre costo por reproceso.

- **Disposición Final:** La auditoría realizada permite corroborar que los residuos y subproductos son dispuestos según los parámetros licenciados, además de esto, Tececor SAS lleva un registro de las coordenadas y caracterizaciones de cada uno de los residuos recepcionados, permitiendo la correcta identificación y verificación de su disposición final cuando se requiera.

Por otra parte, se observa que algunos de los equipos y facilidades licenciados aún están en proceso de construcción, sin embargo, esto no ha interferido en el tratamiento y disposición de los residuos.

- **Cumplimiento Ambiental:** realizando una revisión al informe de cumplimiento ambiental y la licencia, se evidencia que se realizan los monitoreos ambientales de acuerdo con la periodicidad y especificaciones de la licencia. A la fecha no existe evidencia de ninguna restricción o sanción por parte de la autoridad ambiental competente.

Revisando la base de datos de la compañía, se observa que existen fluidos con especificaciones fuera de los límites de vertimiento después de su tratamiento. De acuerdo con la información recibida en sitio, esto se presenta debido a circunstancias como la mezcla de residuos de diferente origen y composición (ej. Aguas residuales domésticas y fluidos de perforación), inadecuada clasificación y/o omisión de información respecto a la composición del residuo peligroso.

Finalmente, independiente de las fallencias que puedan presentarse durante la recepción y caracterización del residuo, Tececor debe de cualquier manera tratar y disponer adecuadamente los pasivos ambientales que recepciona, aun cuando esto implique un costo adicional, de no ser así, la compañía estaría expuesta a la imposición de sanciones e incluso el cierre definitivo de

la planta como consecuencia del manejo inapropiado de los residuos peligrosos y las afectaciones al medio ambiente.

De acuerdo con los resultados de la auditoría, se evidencia de manera general que existe una oportunidad de mejora principalmente relacionada con la clasificación de los residuos peligrosos, lo cual hace parte de los objetivos del presente trabajo de aplicación.

5. ASPECTOS LEGALES DE APLICACIÓN EN EL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS.

En el presente capítulo se realiza una revisión de la Licencia ambiental de Tececor S.A.S y los aspectos legales relacionados con el tratamiento y disposición final de residuos peligrosos asociados a las operaciones de E&P de Hidrocarburos, con el tenerlos en cuenta para la elaboración de la propuesta de clasificación, tratamiento y disposición final de los residuos.

Se analiza principalmente la Licencia ambiental, dado que dentro de ésta se encuentra la mayor parte de disposiciones de cumplimiento legal (decretos, resoluciones) referentes a emisiones, vertimientos, tratamientos, monitoreos, entre otros.

5.1 DISPOSICIONES LICENCIA AMBIENTAL

De acuerdo con la Licencia ambiental otorgada a Tececor S.A.S el 21 de Abril de 2014 bajo la Resolución No. 500.41-14-0547, los residuos a tratar en la planta son:

- Residuos industriales reciclables
- Residuos industriales contaminados
- Residuos cortes de perforación (lodos base agua, lodos base aceite)
- Borrás
- Suelos contaminados de hidrocarburos
- Vegetación con hidrocarburo
- Residuos líquidos
- Aguas de producción y perforación

- Aguas provenientes del lavado de tanques de almacenamiento de aceites, denominadas aguas residuales industriales (ARI).
- Aguas residuales domésticas (provenientes de la normal operación de la planta y de las distintas empresas que soliciten el servicio).

Las Tecnologías para el desarrollo y ejecución de las actividades, enfocadas al tratamiento de los residuos peligrosos asociados a la Industria petrolera plasmadas en la licencia ambiental son las siguientes:

Tabla 19. Tecnologías de tratamiento y residuos al cual aplica⁴.

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO	RESIDUO PARA EL CUAL APLICA ESTE TRATAMIENTO
Unidad SITDDRA	Suelos contaminados con Hidrocarburo, lodos base aceite, lodos base agua y borras
Unidad de desorción Térmica	Suelos contaminados con Hidrocarburo, lodos base aceite, lodos base agua y borras
Unidad de Centrifugación	Suelos contaminados con Hidrocarburo, lodos base aceite, lodos base agua y borras
Biorremediación natural y estimulada con nutrientes Landfarming Biopilas	Suelos contaminados con Hidrocarburo, lodos base aceite, lodos base agua y borras, material de retrolavado de filtros de sistemas de inyección
Proceso de Fitorremediación	Residuos para proceso final de descontaminación
Sistema modular para tratamiento de aguas	Aguas de producción, perforación, aguas salinas, salmueras, aguas aceitosas e industriales negras y grises.
Proceso de tratamiento de aguas por electrocoagulación, filtración, nanofiltración y/o osmosis Inversa	Aguas de producción, perforación, aguas salinas, salmueras, aguas aceitosas e industriales negras y grises.

⁴ TECNOLOGIA ECOLOGICA DEL ORIENTE S.A.S, Licencia ambiental No. 500.41-14-0547. Yopal, Casanare. Abril, 2014.p.11.

Proceso de Filtración y Ultrafiltración	Aguas de producción, perforación, aguas salinas, salmueras, aguas aceitosas e industriales negras y grises
Unidad de calderas	Aguas salinas, salmueras y aguas de rechazo del sistema de tratamiento de aguas.
Celdas de seguridad	Fase sólida del sistema de evaporación de la unidad de calderas y residuos integrales
Planta de preparación y reacondicionamiento de fluidos salinos	Para preparación de fluidos para inyección de producción y perforación
Lechos de secado	Cortes y lodos base agua

Fuente. Modificado de TECNOLOGIA ECOLOGICA DEL ORIENTE S.A.S, Licencia ambiental No. 500.41-14-0547. Yopal, Casanare. Abril, 2014.p.11.

En cuanto a los límites de vertimiento y disposición permisibles dentro de la licencia de TECECOR S.A.S, se realiza una revisión detallada de los tratamientos y las disposiciones de cumplimiento especificadas en el documento avalado por Corporinoquia.

A continuación, en la tabla 20 se presenta un resumen de los tratamientos, los productos obtenidos en cada proceso, la disposición final de cada uno de ellos y las resoluciones, decretos, normas y/o protocolos de cumplimiento respecto a la disposición final de los mismos:

Tabla 20. Cumplimiento legal

TRATAMIENTO/TECNOLOGÍA	RESIDUO	DISPOSICIÓN FINAL	CUMPLIMIENTO LEGAL
Tratamiento de aguas STARI (electrocoagulación, filtración, ultrafiltración y RO)	Agua	Aspersión	Resolución 1594 de 1984 Decreto 3930 de 2010
	Sólido	Borra: Biorremediación	Louisiana 29-B
		Rechazo: Celdas seguridad	Louisiana 29-B
Desorción Térmica (SITDDRA y/o UDT)	Ceniza	Celdas de seguridad Dilución Bureal	Louisiana 29-B
	Agua	STARI	Resolución 1594 de 1984 Decreto 3930 de 2010
	Aceite	Retorno Generador	N/A
	Gases	Emisión atmosférica	Resolución 909 de 2008
Centrifugación	Agua	STARI	Resolución 1594 de 1984 Decreto 3930 de 2010
	Aceite	Retorno Generador	N/A
	Sólido	A proceso de Biorremediación	Louisiana 29-B
Biorremediación	Sólido	Landfarming Fitorremediación	Louisiana 29-B
Dilución Bureal	Sólido	Landfarming Fitorremediación	Louisiana 29-B

Fuente. Modificado de TECNOLOGIA ECOLOGICA DEL ORIENTE S.A.S, Licencia ambiental No. 500.41-14-0547. Yopal, Casanare. Abril, 2014.p.11.

Teniendo en cuenta que parte de la problemática se concentra en el desconocimiento y falta de responsabilidad por parte de algunos Generadores en

cuanto a la clasificación y caracterización de los residuos peligrosos que generan durante sus operaciones, se realizó un estudio de la normatividad Colombiana en cuanto al alcance y responsabilidad tanto del Generador como del Receptor, encontrando en el Decreto 4945 de 2005, la reglamentación, prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral de los residuos peligrosos.

Dentro del análisis presentado a continuación, se parte de que el Generador ya ha reconocido y declarado que el residuo generado es peligroso por tratarse de “Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua” según la categoría Y9 del Anexo 1 del Decreto 4945 de 2005.

Según el decreto en mención, dentro de lo que refiere a la presente investigación, es deber del generador:

- Identificar las características de peligrosidad de cada uno de los residuos o desechos peligrosos que genere, para lo cual podrá tomar como referencia el procedimiento establecido en el artículo 7o. del decreto, sin perjuicio de lo cual la autoridad ambiental podrá exigir en determinados casos la caracterización físico-química de los residuos o desechos si así lo estima conveniente o necesario.

Según el Artículo 7o del Decreto 4945 de 2005, el Generador puede identificar si su residuo o desecho es peligroso a través del conocimiento técnico sobre los insumos y procesos asociados al residuo, a través de una caracterización fisicoquímica o a través de las listas de los Anexos I y II del decreto.

- Contratar los servicios de almacenamiento, aprovechamiento, recuperación, tratamiento y/o disposición final, con instalaciones que cuenten con las

licencias, permisos, autorizaciones o demás instrumentos de manejo y control ambiental a que haya lugar, de conformidad con la normatividad ambiental vigente.

Es responsabilidad del Generador:

- El generador es responsable de los residuos o desechos peligrosos que él genere. La responsabilidad se extiende a sus afluentes, emisiones, productos y subproductos, por todos los efectos ocasionados a la salud y al ambiente.
- La responsabilidad integral del generador subsiste hasta que el residuo o desecho peligroso sea aprovechado como insumo o dispuesto con carácter definitivo.
- El generador continuará siendo responsable en forma integral por los efectos ocasionados a la salud o al ambiente, de un contenido químico o biológico no declarado al receptor y a la autoridad ambiental.

Es deber del Receptor:

- Brindar un manejo seguro y ambientalmente adecuado de los residuos o desechos recepcionados para realizar una o varias de las etapas de manejo, de acuerdo con la normatividad vigente.
- Expedir al generador una certificación, indicando que ha concluido la actividad de manejo de residuos o desechos peligrosos para la cual ha sido contratado, de conformidad con lo acordado entre las partes.
- Indicar en la publicidad de sus servicios o en las cartas de presentación de la empresa, el tipo de actividad y tipo de residuos o desechos peligrosos que está autorizado manejar.

- Tomar todas las medidas de carácter preventivo o de control previas al cese, cierre, clausura o desmantelamiento de su actividad con el fin de evitar cualquier episodio de contaminación que pueda representar un riesgo a la salud y al ambiente, relacionado con los residuos o desechos peligrosos.

Es responsabilidad del Receptor:

- El receptor del residuo o desecho peligroso asumirá la responsabilidad integral del generador, una vez lo reciba del transportador y haya efectuado o comprobado el aprovechamiento o disposición final del mismo.
- Mientras no se haya efectuado y comprobado el aprovechamiento y/o disposición final del residuo o desecho peligroso, el receptor es solidariamente responsable con el generador.
- La responsabilidad de que trata este artículo incluye el monitoreo, el diagnóstico y remediación del suelo, de las aguas superficiales y subterráneas en caso de que se presente contaminación por estos residuos.
- Aquellas personas que resulten responsables de la contaminación de un sitio por efecto de un manejo o una gestión inadecuada de residuos o desechos peligrosos estarán obligadas entre otros, a diagnosticar, remediar y reparar el daño causado a la salud y el ambiente, conforme a las disposiciones legales vigentes.

Según la normatividad ambiental vigente, se evidencia que el Generador no está obligado a realizar una caracterización fisicoquímica de sus residuos o desechos peligrosos, ya que según el artículo 7º, basta con identificar el residuo peligroso dentro de las categorías especificadas en los Anexos del decreto, en donde para el sector Hidrocarburos aplica de manera general la categoría Y9: mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.

Por otra parte, se verifica que dentro del marco de la legislación ambiental colombiana, no se ha definido una clasificación para los residuos o desechos generados por el sector Hidrocarburos ya sea según su origen, su contenido fisicoquímico o los procesos de tratamiento existentes para el manejo de los mismos.

Para efectos de seguimiento ambiental, existen otras disposiciones mencionadas dentro del marco legal, las cuales también hacen referencia a residuos no peligrosos, como la Resolución 2309 de 1986 en cuanto a residuos especiales, la resolución 0601 de 2006 en cuanto a la calidad del aire o nivel de Inmisión y la resolución 0627 de 2006 en temas de emisiones de ruido y ruido ambiental. Estas fueron estudiadas para el desarrollo de la presente investigación, sin embargo, se concluye que la importancia de estas disposiciones está enfocada al monitoreo y responsabilidad del Receptor frente a el manejo integral que de los residuos o desechos peligrosos que se lleva a cabo en el área licenciada para tal fin.

6. PARÁMETROS PARA LA CLASIFICACIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS.

La selección de los parámetros bajo los cuales se llevan los procesos dentro de la planta es muy importante, dado que son el marco de referencia para la adecuada caracterización, almacenamiento, tratamiento, disposición final y facturación.

6.1. CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN

A continuación, se describen algunos aspectos importantes que se tuvieron en cuenta para realizar la clasificación de los residuos peligrosos:

- Se incluyeron tanto análisis cualitativos como cuantitativos teniendo en cuenta que desde la recepción es importante identificar el estado de agregación de la materia que presenta el residuo, este procedimiento permitirá rápidamente definir la toma de muestra y caracterización del residuo. De cualquier manera, a medida que se avanza en el proceso del manejo del residuo se irá requiriendo mayor certeza de su composición para definir su tratamiento y disposición final.
- Para la selección de los parámetros fisicoquímicos a definir en la caracterización de los residuos, se tendrán en cuenta aquellos que tienen un mayor impacto en el vertimiento y disposición final y que además su cuantificación no requiere la aplicación de métodos analíticos cuyo resultado pueda retrasar la toma de decisiones dentro de la planta.
- Se tendrán en cuenta los parámetros representativos de los equipos para el seguimiento y control de los procesos establecidos en la licencia ambiental.

- La selección de los métodos analíticos se determinó, teniendo en cuenta el tiempo necesario para obtener el resultado y el costo asociado a la aplicación del método analítico, sin descuidar la exactitud requerida para el proceso.
- Teniendo en cuenta los aspectos legales descritos en el capítulo 5 del presente documento, en donde se menciona la flexibilidad con la que cuenta el Generador respecto al deber de realizar la caracterización de los residuos en la fuente, se hace necesario para el Receptor fortalecer el diagrama de procesos a partir de los diferentes parámetros fisicoquímicos, de tal forma que le permita definir desde la recepción, la caracterización y tratamiento adecuado para cada residuo peligroso que ingresa a la planta, independientemente de la información que los Generadores suministren.

Considerando que pese a que sólo en casos específicos solicitados por la autoridad ambiental competente el Generador estará obligado a reportar la composición fisicoquímica de los residuos peligrosos, si es clara su responsabilidad frente al tratamiento y disposición de los mismos, por lo tanto, surge la necesidad de contar con un esquema que le permita identificar el residuo sin necesidad de caracterizarlo y definir en conjunto con el receptor el tratamiento y costo asociado a su manejo desde los primeros acercamientos entre Generador - Receptor en pro de la celebración de un contrato para el manejo de los pasivos ambientales.

En lo que refiere al receptor, dada su responsabilidad legal de dar un manejo adecuado de los residuos, es necesario identificar con mayor grado de detalle los residuos que está recibiendo, aprovechando, tratando y disponiendo.

Finalmente, en vista de las dos perspectivas del manejo integral de los residuos, se hace necesario elaborar un esquema de clasificación diferente para el Generador y para el Receptor.

6.2. PARÁMETROS PARA LA CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS

A continuación, se realiza la selección de los parámetros a tener en cuenta para realizar la caracterización de los residuos peligrosos, su método de análisis, el residuo al que aplica y por último el impacto sobre el proceso, el tratamiento, el costo, la generación de residuos y el cumplimiento legal.

Tabla 21. Parámetros para la caracterización de los residuos.

PARÁMETRO	MÉTODO	RESIDUO AL QUE APLICA	IMPACTO
Determinación del estado de la materia	Cualitativo	Sólidos / Líquidos	- Control de proceso
Sólidos suspendidos Totales	Fotométrico Hach 8006	Líquidos	- Costo de tratamiento - Generación de residuos secundarios - Cumplimiento legal (Dec. 1594/84
pH	Electrométrico SM4500H+	Líquidos	- Impacto ambiental - Costo de tratamiento - Generación de residuos secundarios - Cumplimiento legal (Dec. 1594/84

Aceites en Agua	Fotométrico API RP45	Líquidos	- Costo de tratamiento - Generación de residuos secundarios - Cumplimiento legal (Dec. 1594/84)
Conductividad Eléctrica	Electrométrico SM2510	Líquidos	- Costo de tratamiento - Control de proceso
Cloruros	Volumétrico SM4500Cl	Líquidos	- Costo de tratamiento - Generación de residuos secundarios - Control de proceso - Cumplimiento legal (Dec. 1594/84)
Turbidez	Fotométrico SM2130	Líquidos	- Impacto ambiental
Bario	Gravimétrico Adaptación método SM3500BA	Líquidos	- Cumplimiento legal (Dec. 1594/84)
DQO	Fotométrico SM5220	Líquidos	- Cumplimiento legal (Dec. 1594/84)
DBO ₅	Incubación SM5210	Líquidos	- Cumplimiento legal (Dec. 1594/84)
Centrifugación	API RP45	Mezcla Sólido-Líquido	- Control de proceso
% agua, % sólidos	Retorta	Sólidos	- Control de proceso - Costo tratamiento

% aceite	Retorta	Sólidos	- Control de proceso - Costo tratamiento - Cumplimiento legal (Lousiana 29B)
----------	---------	---------	--

Fuente. Modificado de TECNOLOGIA ECOLOGICA DEL ORIENTE S.A.S, Licencia ambiental No. 500.41-14-0547. Yopal, Casanare. Abril, 2014.p.11.

6.3. VARIABLES DE PROCESO PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS

A continuación, en la tabla 22, se especifican las variables de proceso que definen los límites operativos para el tratamiento de los residuos peligrosos en su mayoría definidos por las especificaciones técnicas propias de cada equipo/tratamiento.

Tabla 22. Límites y Variables de proceso

EQUIPO/PROCESO	VARIABLE	LÍMITE	CRITERIO
Unidad de desorción Térmica	Humedad	<30%	Especificaciones del equipo
Ultrafiltración	Sólidos Suspendidos	<50%	Especificaciones del equipo
Osmosis Inversa	Conductividad	>500 ppm	Especificaciones del equipo
	Cloruros	>250 ppm	Cumplimiento ambiental
	Grasas y aceites	<0.1 ppm	Especificaciones del equipo
	Sólidos Suspendidos	<10 ppm	Especificaciones del equipo

	Temperatura	<40°C	Especificaciones del equipo
	Tamaño de partícula	<45 µm	Especificaciones del equipo
Sistema de tratamiento de aguas. UTA, Electrocoagulación	Grasas y aceites	<2000 ppm	Especificaciones técnicas del equipo
	Sólidos Suspendidos	<2000	Especificaciones técnicas del equipo
	pH	5-9	Especificaciones técnicas del equipo
Filtración media	Grasas y aceites	<50 ppm	Especificaciones técnicas del equipo
	Sólidos Suspendidos	<50 ppm	Especificaciones técnicas del equipo
Biorremediación	Contenido de Hidrocarburos (%aceite)	5-15%	Características de las Bacterias
Fitorremediación	Contenido de Hidrocarburos (%aceite)	<3%	Proceso de Bioacumulación
Centrifugación	Contenido de Líquido	>30%	Especificaciones técnicas del equipo

Fuente. Modificado de TECNOLOGIA ECOLOGICA DEL ORIENTE S.A.S, Licencia ambiental No. 500.41-14-0547. Yopal, Casanare. Abril, 2014.p.11.

7. PROPUESTA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS.

De acuerdo con los procesos licenciados, la legislación ambiental, los criterios de clasificación y parámetros definidos anteriormente, a continuación, se presenta la propuesta para la clasificación, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos asociados a las operaciones de E&P del sector Hidrocarburos.

Los diagramas de flujo desarrollados en el presente capítulo están elaborados de acuerdo con las convenciones para la elaboración de diagramas de flujo/algoritmos⁵

7.1. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS: RECEPTOR

A continuación, en las ilustraciones 12, 13, 14 y 15 se presenta el diagrama de flujo para la clasificación, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos, cuyo alcance, según lo sustentado en el capítulo 6 del presente documento, se limita al Receptor, para éste caso TCECOR S.A.S

⁵ SMARTDRAW. [En línea]. Disponible en <https://www.smartdraw.com/flowchart/simbolos-de-diagramas-de-flujo.htm>

Ilustración 12. Clasificación, tratamiento y disposición de Residuos-Diagrama I

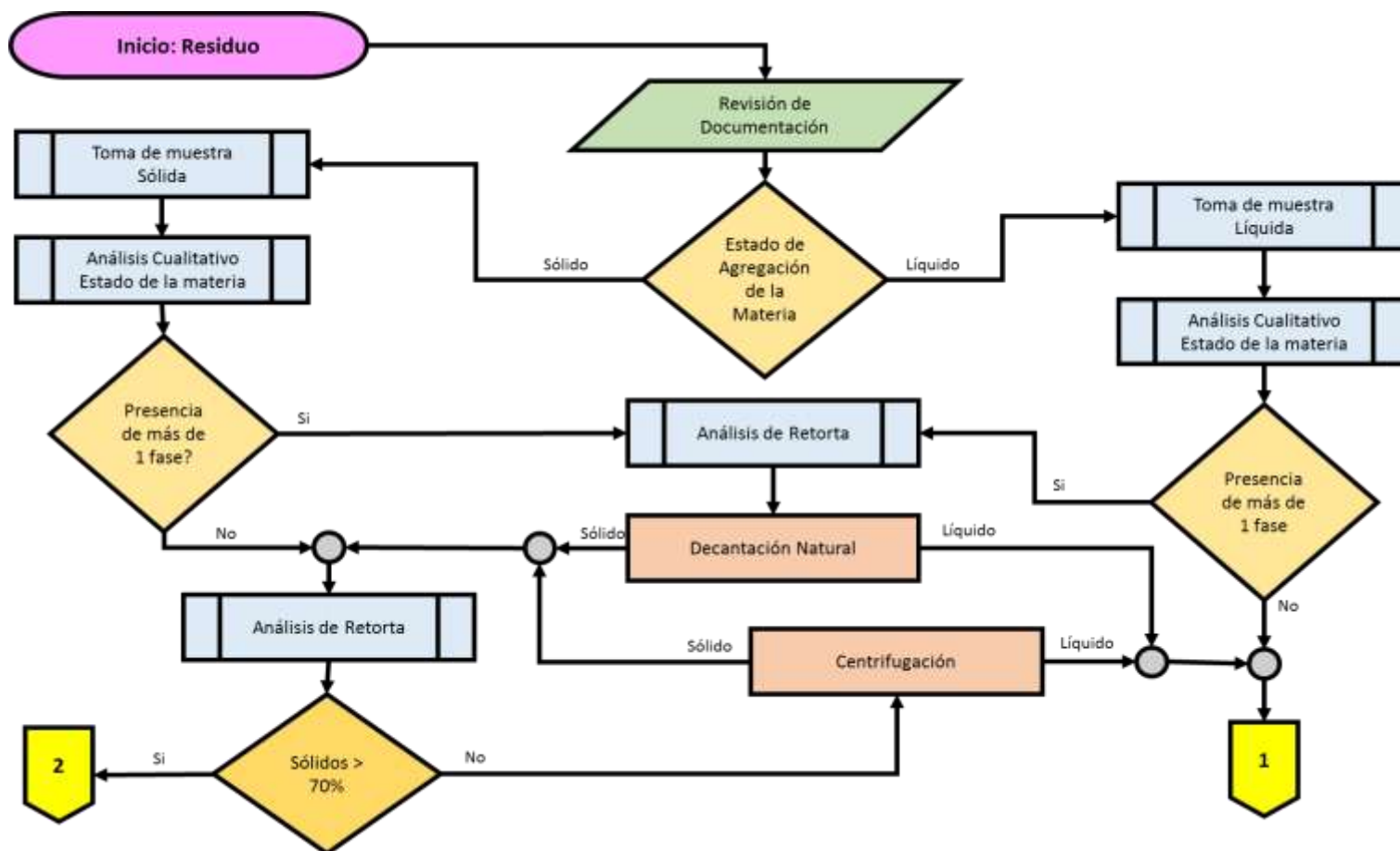


Ilustración 13. Clasificación, tratamiento y disposición de Residuos -Diagrama II

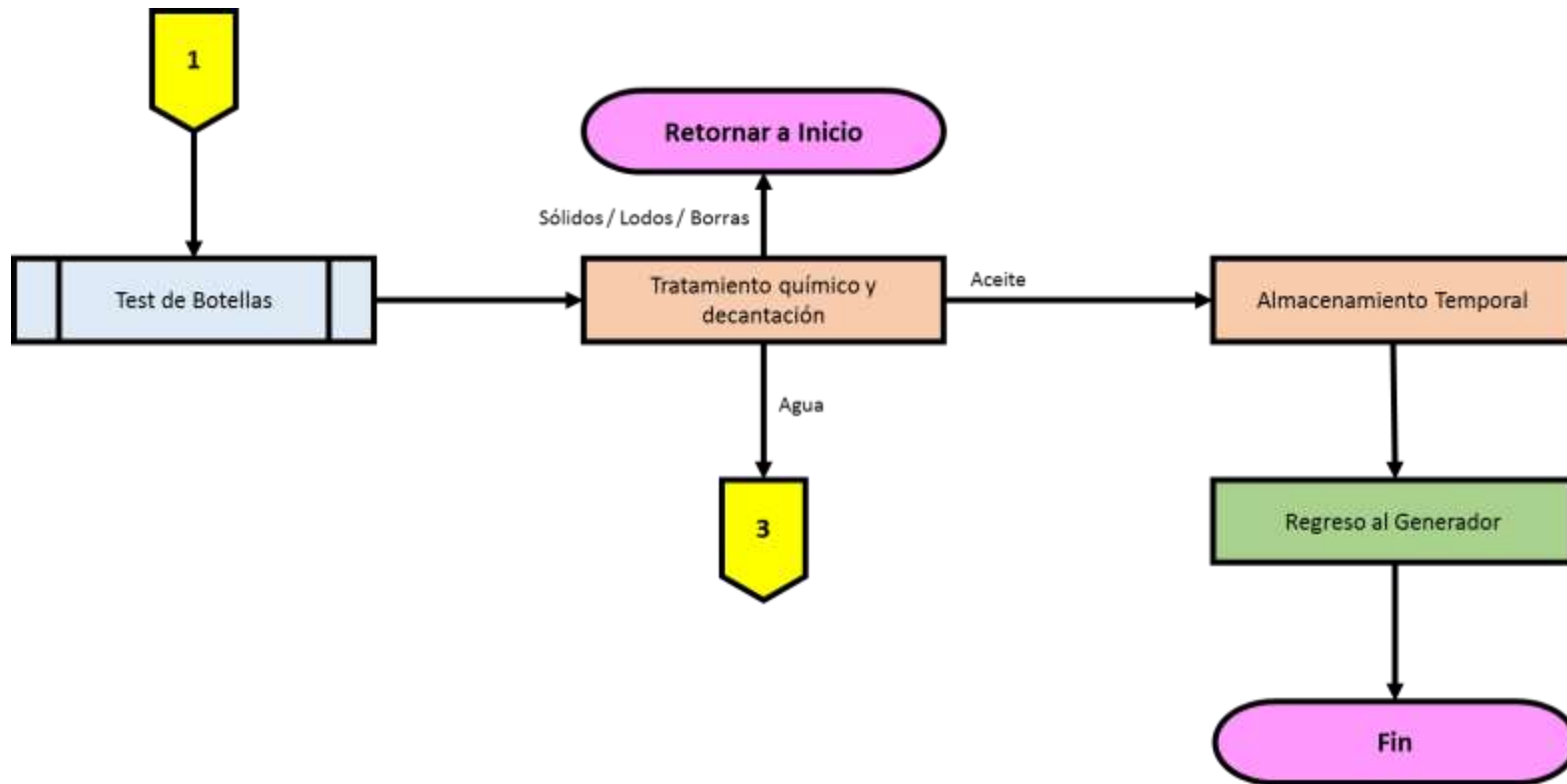


Ilustración 14. Clasificación, tratamiento y disposición de Residuos -Diagrama III

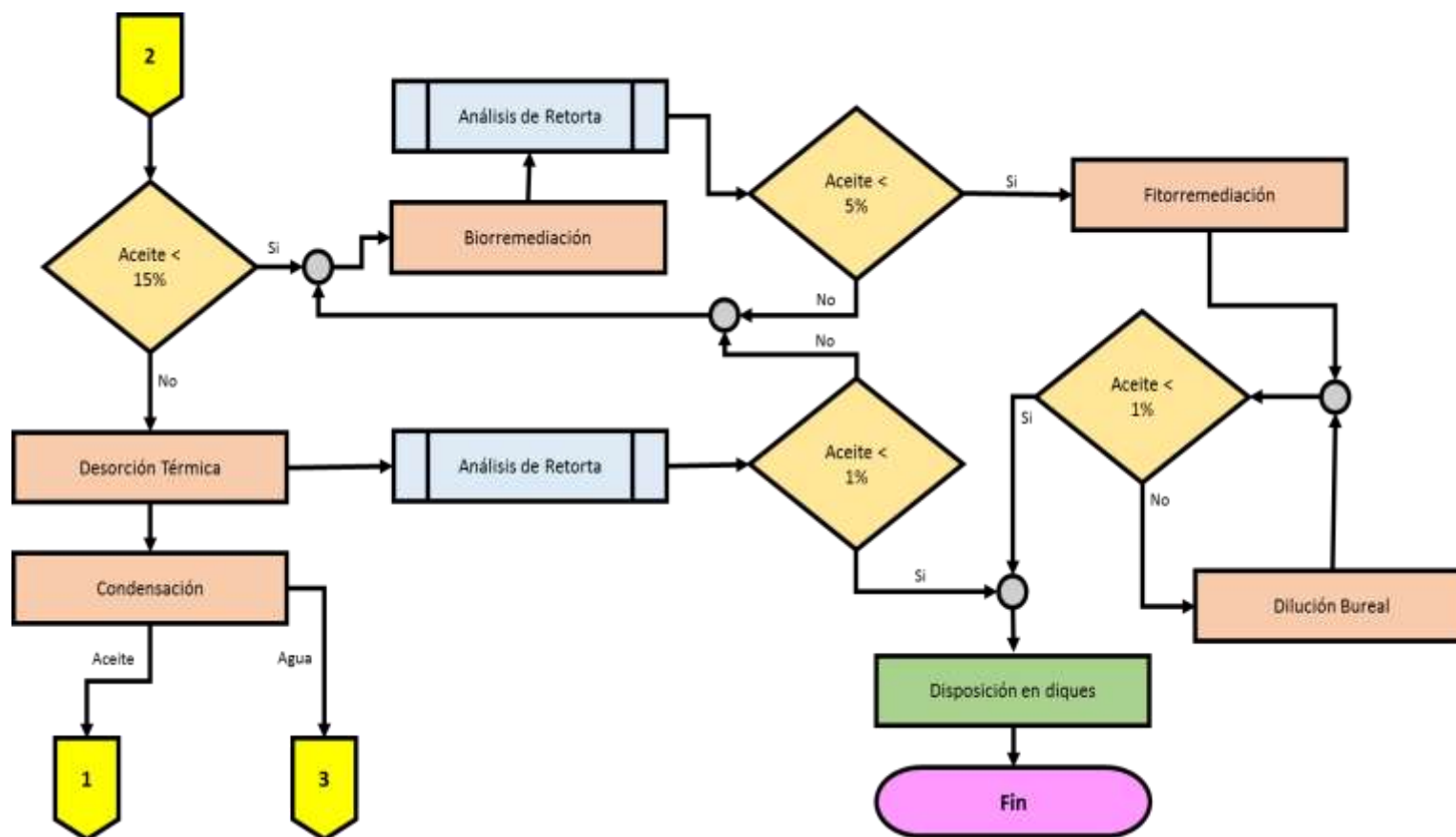
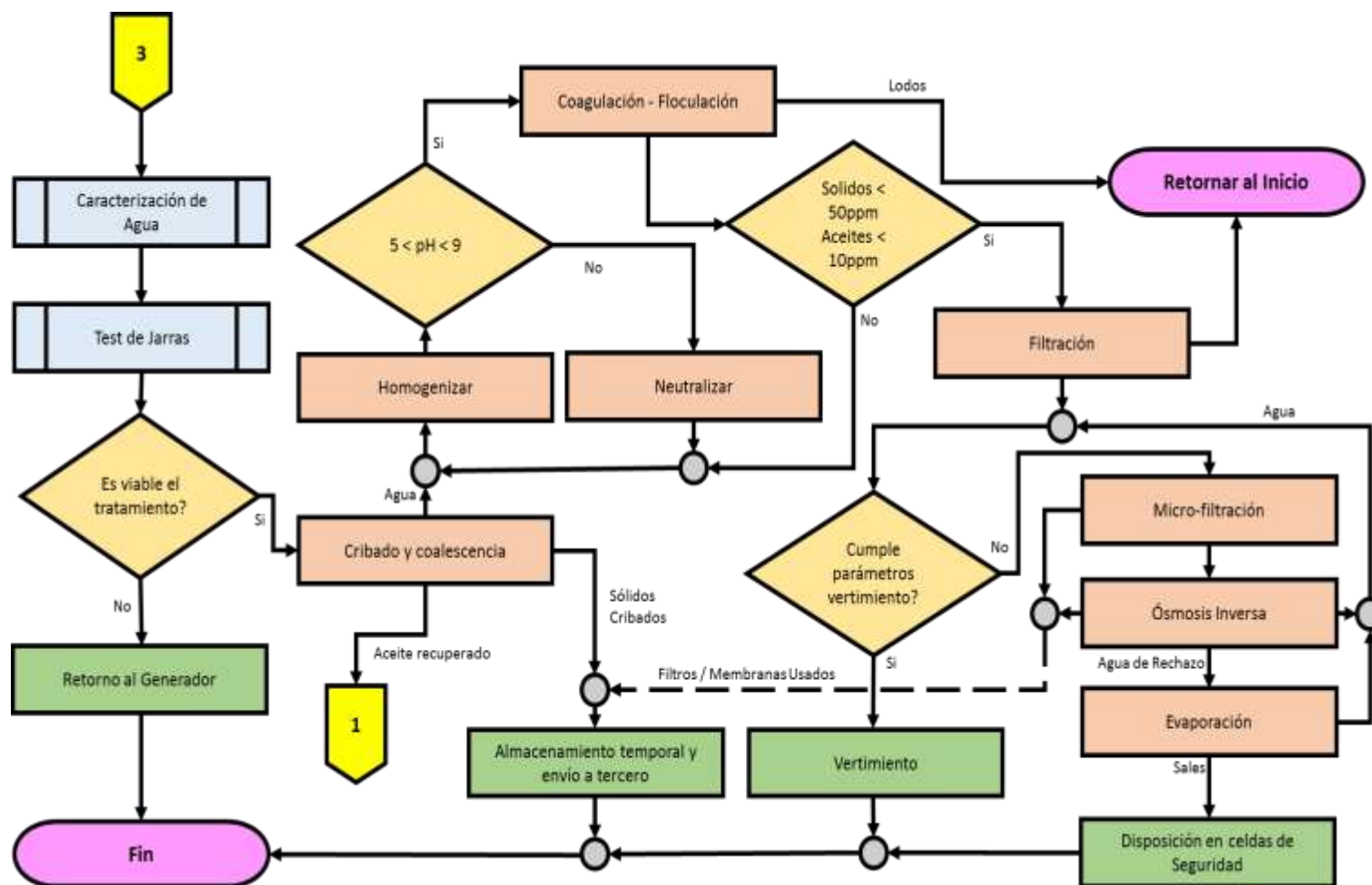


Ilustración 15. Clasificación, tratamiento y disposición de Residuos -Diagrama IV



7.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS: *GENERADOR*

El diagrama de la ilustración 16 presenta la clasificación de residuos peligrosos, cuya aplicabilidad será del alcance únicamente de los Generadores.

Ilustración 16. Clasificación de Residuos Líquidos- GENERADOR

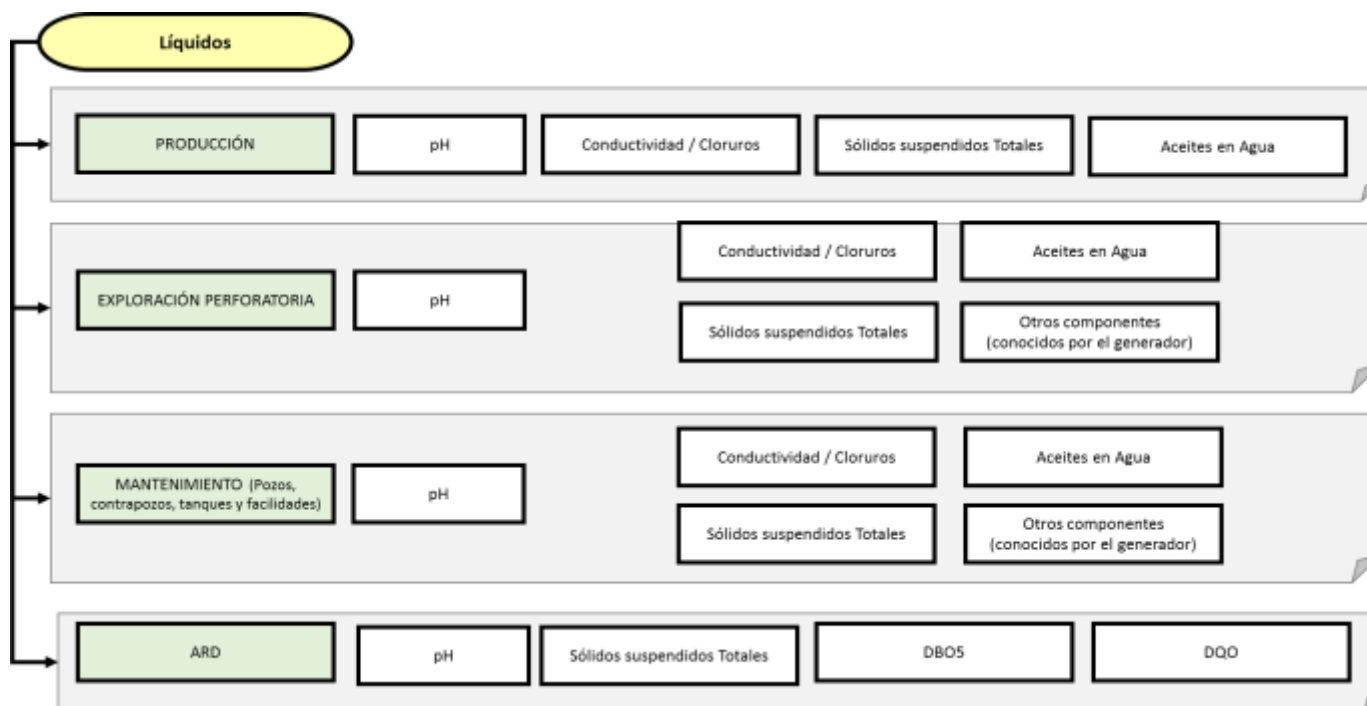
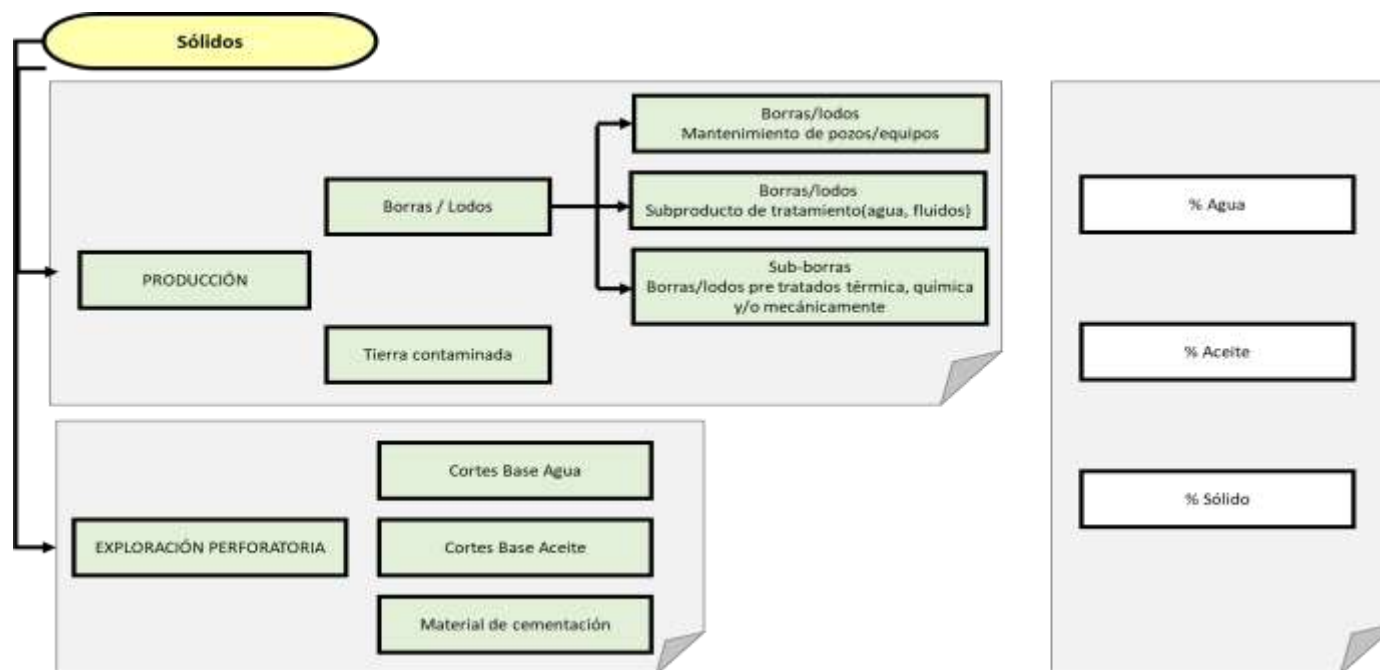


Ilustración 17. Clasificación de Residuos Sólidos GENERADOR



La propuesta presentada anteriormente en las ilustraciones 16 y 17, por una parte permitirá a las compañías realizar una clasificación general de sus pasivos ambientales de acuerdo con información básica del residuo como su origen y por otra, facilitará tanto al Generador como al Receptor la determinación de las tarifas de tratamiento y disposición final, según algunos parámetros físicos y químicos determinantes para seleccionar el tratamiento adecuado según los procesos licenciados en Tececor S.A.S.

CONCLUSIONES

- Actualmente los Generadores identifican y clasifican sus residuos bajo criterios propios en cada una de sus operaciones, en donde predominan aspectos cualitativos y de origen, desconociendo la importancia de la caracterización y su influencia sobre la selección del tratamiento, su disposición final y el impacto sobre el medio ambiente.
- A pesar de que Tececor S.A.S cuenta con una clasificación basada en los tratamientos licenciados, su aplicación deja una brecha lo suficientemente amplia para permitir la recepción de cualquier tipo de residuo peligroso en donde su contenido y costo de tratamiento pasan a ser un tema de discusión y negociación con cada uno de los Generadores.

Al final del proceso, independiente de lo reportado por el Generador, el Receptor debe dar un adecuado manejo a los residuos, pues desde la recepción es solidariamente responsable del tratamiento y disposición final de los mismos.

- Siendo los Generadores responsables de los residuos peligrosos que generan hasta sus efluentes, emisiones, productos, subproductos y efectos sobre el medio ambiente, éstos en su mayoría optan por delegar por completo la responsabilidad del tratamiento y disposición final a los Receptores, su interés se concentra en obtener al final del proceso el certificado de disposición final; compromiso adquirido y plasmado en el plan de manejo ambiental de cada compañía.

- Parte del poco interés de los Generadores por el cómo se realiza el tratamiento y aprovechamiento de sus residuos se genera por desconocimiento de los procesos que el Receptor implementa para realizar el tratamiento de sus residuos y las consecuencias legales, ambientales y económicas que puede llegar a ocasionar el manejo inadecuado de sus pasivos ambientales.
- Teniendo en cuenta las obligaciones legales del generador y Receptor frente al manejo de los residuos peligrosos y los diferentes intereses entre las partes, no es posible generar una clasificación de los residuos cuya aplicación sea general y útil para las dos partes a lo largo de la cadena (generación, transporte, recepción, caracterización, tratamiento, aprovechamiento y disposición final).

RECOMENDACIONES

- De acuerdo con la propuesta para la clasificación, tratamiento y disposición de los residuos peligrosos, Tececor deberá principalmente fortalecer el área de Análisis y laboratorio.

La implementación de la propuesta implica la adquisición de equipos y la creación e implementación de procedimientos.

- Es importante que los Generadores conozcan los diagramas de proceso del Receptor y la propuesta de clasificación desarrollada en el presente trabajo de aplicación, así podrán conocer las consecuencias que puede traer el manejo inadecuado de sus residuos, como también todos los recursos que los Receptores disponen para realizar de manera responsable el tratamiento de los pasivos ambientales, por lo tanto, se recomienda realizar una campaña de concientización y capacitación con los Generadores.
- Con el fin de que el Receptor y Generador puedan conciliar y unificar criterios frente al costo del tratamiento de los residuos, se recomienda determinar los rangos en los diagramas de la propuesta según las ilustraciones 16 y 17, en donde se especifican los parámetros de importancia según los procesos, las regulaciones ambientales, la generación de residuos y los insumos requeridos según el tratamiento.
- Buscar la participación de las corporaciones, ministerio o ente regional para lograr un mayor grado de rigurosidad y exigencia en el Manejo integral de los residuos peligrosos desde la generación, transporte, clasificación, tratamiento y disposición final (ej propuesta del presente trabajo de aplicación).

BIBLIOGRAFÍA

ABDOU, M., CARNEGIE, A., MATHEWS, S. G., MCCARTHY, K., O'KEEFE, M., RAGHURAMAN, B., ... & XIAN, C. G. (2011). Valor del agua de formación. *Oilfield Review*, 23(1), 14.

CASTELBLANCO VCASALLAS, i. f., NIÑO AVENDAÑO, j. a., & ORTIZ CANCINO, o. d. (2011). manejo y tratamiento de residuos aceitosos en la industria petrolera colombiana [recurso electrónico] / Iván Fernando Castelblanco Casallas, Jhon Anderson Niño Avendaño; director Olga Patricia Ortiz Cancino. Bucaramanga: UIS, 2011.

CELY AVILA, J. C., RODRIGUEZ RODRÍGUEZ, S., & BARRAGAN GUTIERREZ, D. (2012). Estudio de factibilidad técnica y económica para la selección de un sistema de tratamiento de residuos aceitosos en campo Rubiales [recurso electrónico] / Juan Carlos Cely Ávila, Servando Rodríguez Rodríguez; director Iván Ernesto Barragán Gutiérrez. Bucaramanga: UIS, 2012.

CUSARÍA, A. (2013). Petróleo, seguridad ambiental y exploración petrolera marina en Colombia. *Íconos-Revista de Ciencias Sociales*, (21), 11-17.

EL TIEMPO Diario Nacional. [En línea]. Marzo 5 de 2017. Disponible en <http://www.eltiempo.com/economia/sectores/nuevo-modelo-de-exploracion-y-explotacion-de-petroleo-en-colombia-64462>.

FOXBORO, E. X. W. Massachusetts. Conductivity ordering guide, 1999. p1.

MUÑOZ TRUJILLO, R. B., & DIAZ CONSUEGRA, H. d. (2015). Evaluación integral de la disposición del agua de producción de los campos de Equion Energía en el área de Casanare [recurso electrónico] / Roger Beylon Muñoz Trujillo; director Harving Diaz Consuegra. Bucaramanga: UIS, 2015.

SMARTDRAW. [En línea]. Disponible en <https://www.smartdraw.com/flowchart/simbolos-de-diagramas-de-flujo.htm>

TORRES CERVERA, K. P. Análisis de los impactos ambientales generados por el tratamiento y disposición final de los residuos aceitosos (borras) generados en los distritos de producción de hidrocarburos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

TAHMASEBI BIRGANI, M., NABI BIDHENDI, G., & RASHEDI, H. (2016). Study of Improvement Oil-based Drill Cuttings Azadegan Project Oil Field in Iran Using Thermal Desorption Method. International Journal Of Advanced Biotechnology And Research, Vol 7, Iss Special Issue. p. 710-716 (2016), (special issue), 710.

TECNOLOGIA ECOLOGICA DEL ORIENTE S.A.S, Licencia ambiental 500.41-14-0547. Yopal, Casanare. Abril, 2014.p.11.

ANEXO A.
EXTRACTO AUDITORÍA INTERNA TECECOR S.A.S

AUDITORÍA TRATAMIENTO INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS			
TECECOR S.A.S			
FECHA:	7/12/2017	GRUPO AUDITOR:	Yeni León C
LUGAR:	Planta Tececor S.A.S	RESPONSABLE:	Grupo Tececor
HORA DE INICIO:	8:40 a. m.	HORA FINAL:	5:45 p. m.
1	RECEPCIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	CUMPLE	NO CUMPLE
1.1	Cuentan con manifiesto de transporte los vehiculos que movilizan los residuos	x	
1.2	Los manifiestos del transportador cuenta con la caracterización de los residuos ?		x
1.3	Es la caracterización del Generador la adecuada para el residuo que se		x
1.4	La caracterización del Generador permite clasificar el residuo?		x
1.5	Es la caracterización del Receptor la adecuada para el residuo que ingresa a la Plan	x	
1.6	Cuenta el laboratorio con los equipos necesarios para caracterizar los residuos?		x
1.7	La caracterización del Receptor permite clasificar el residuo?	x	
1.8	Los parámetros fisicoquímicos definidos por el Receptor, permiten conocer el tipo		x
1.9	Coinciden las caracterizaciones realizadas por el Receptor con las dispuestas en		x
TOTAL RECEPCIÓN DE RESIDUOS		3	6
PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO		33,3%	
2	TRATAMIENTOS		
2.1	Los parámetros y variables de proceso de cada equipo y/o tratamiento están		X
2.2	Los equipos y/o tratamientos implementados están acorde con los especificados	x	
2.3	Los residuos recepcionados y tratados son los contemplados dentro de la licencia	x	
2.4	Los equipos cuentan con la capacidad para tratar los residuos que ingresan?	x	
2.5	Existe un diagrama de proceso que identifique la disposición de los		x
TOTAL TRATAMIENTOS		3	2
PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO		60,0%	
3	DISPOSICIÓN FINAL		
3.1	La disposición final de los residuos tratados es la establecida en la licencia ambie	x	
3.2	Lo subproductos de los tratamientos son dispuestos según la licencia ambiental	x	
3.3	Existe un registro de la ubicación y características de los residuos al terminar su	x	
3.4	Se encuentran visulamente afectadas (con algun tipo de contaminación) las áreas	x	
TOTAL DISPOSICIÓN FINAL		4	0
PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO		100,0%	
4	CUMPLIMIENTO AMBIENTAL		
4.1	Se realiza la toma de muestra y análisis fisicoquímico a los fluidos tratados	x	
4.2	El agua tratada (antes de vertimiento) cumple con los parámetros fisicoquímicos		x
4.3	El agua dispuesta en el campo de aspersión cumple con los parámetros	x	
4.4	Los sub-productos de la UDT y SITDDRA cumplen con los parámetros para realizar	x	
4.5	Los sub-productos de la UDT y SITDDRA se disponenen de acuerdo a lo establecido	x	
4.6	Se realizan los monitoreos en las áreas de biotratamiento (biopilas,	x	
4.7	Se da cumplimiento a los monitoreos externos mensuales, trimestrales,	x	
4.8	Se da cumplimiento a la presentación periódica de los Informes de cumplimeinto A	x	
TOTAL CUMPLIMEINTO AMBIENTAL		7	1
PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO		87,5%	