

Recuperación de aceite de lodos residuales

Autor(es): D.M. Ibañez, TWM; J.Villegas, TWM; A.Alfonso, TWM.

Categoría: Marque con una "X"

- Artículo Técnico
- Tesis Pregrado
- Tesis Posgrado

Derechos de Autor 2022, ACIPET

Este artículo técnico fue preparado para presentación en el XIX Congreso Regional Colombiano de Petróleo, Gas y Energía organizado por ACIPET en Cartagena, Colombia.
Este artículo fue seleccionado para presentación por el comité técnico de ACIPET, basado en información contenida en un resumen enviado por el autor(es).

Resumen

Se realiza un análisis comparativo entre alternativas de tratamiento de borras aceitosas teniendo como criterio la jerarquía de preferencia de acciones de gestión de residuos. Adicionalmente, se realiza un análisis de ventajas y desventajas de cada gestión, principalmente de variables como es el consumo de energía, pasivo ambiental y tiempo de ejecución. Para este ejercicio, se expone un caso de estudio sobre el tratamiento de borras en el que se logró la recuperación de 5560 barriles de aceite residual en el año 2021 a partir de un tren de proceso que incluyó la evaporación y centrifugación del residuo en una planta de tratamiento licenciada. Este se compara con la alternativa de tratar el residuo por medio de biorremediación tipo landfarming, el cual es un tratamiento común en el sector en Colombia. Los resultados ofrecen una oportunidad para el sector de hidrocarburos de aplicación de análisis de ciclo de vida y herramientas de evaluación de sostenibilidad para la toma de decisiones sobre el manejo de los residuos y disminución de los posibles impactos negativos de su operación.

Introducción

Los residuos generados en la producción de petróleo, en su mayoría, son catalogados como residuos peligrosos, una gran parte clasificados dentro de la corriente Y9 "Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua" en la legislación colombiana. La gestión de los residuos peligrosos no hace parte del alcance del servicio público de aseo y pueden ser manejados por las soluciones entregadas por empresas privadas bajo un marco legal ambiental determinado por el gobierno como lo es el Decreto único 1076 de 2016 del sector ambiente y desarrollo sostenibles. Por este motivo, es responsabilidad del sector privado prestar un servicio de calidad, asequible, legal y en línea con los principios de sostenibilidad y de gestión de residuos.

Basados en lo anterior y debido a que el manejo que se le da a un residuo depende de variables como el tipo de material, ubicación del lugar donde se genera, recursos financieros y acceso a tecnologías existentes, es importante que se realicen análisis basados en la experiencia en el contexto colombiano para direccionar los esfuerzos hacia las mejores alternativas en el camino a una economía circular y operaciones cada día más sostenibles.

En nuestro caso de estudio, se evalúa un residuo que tiene un BSW del 70% y con un porcentaje de sólidos del 30%. y grados API entre 22,3 y 35,1. Dentro de esta caracterización se pueden identificar residuos de borras de fondos de tanques, fondos de piscinas, skimmers y cortes base aceite. Un residuo con un contenido de aceite del 30% o más tiene un volumen de producto que puede ser susceptible de volver a la línea de producción del crudo empleando una técnica de separación física y térmica que permita obtener un porcentaje de crudo que se encuentra en algunos casos emulsionado en el volumen de fluido que se recibe. Si esto no se hace, se estaría perdiendo un volumen que se hace más significativo en la actualidad con valores del petróleo BRENT por encima de USD\$100 el barril¹.

¹ Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). Precio BRENT junio 13 de 2022 = 128,44USD/barril. Página web consultada el 21 de junio 2022:
<https://www1.upme.gov.co/Paginas/default.aspx>

Este tipo de residuo tiene la opción de ser tratado en el sitio de generación (in situ) o llevándolo a una planta de tratamiento licenciada cercana (ex-situ). Las alternativas de tratamiento que se pueden encontrar y que evaluamos en este estudio, son:

Tratamiento mecánico y térmico: consiste en una separación inicial de fases por medio de un juego de centrifugas y la evaporación de la humedad con la aplicación de calor. Posteriormente se utilizan tanque de almacenamiento para tener un periodo de decantación de las fases líquidas con contenido de humedad y una fase sólida.

Biorremediación tipo landfarming: consiste en utilizar bacterias nativas, surfactante y nutrientes para el acondicionamiento del residuo, mezclado para su homogenización y volteo como sistema de aireación. Por medio de estas actividades, se permite crear un ambiente propicio para que las bacterias rompan la molécula del hidrocarburo, disminuyendo de esta manera su concentración en el residuo.

Estos dos tipos de tratamiento se desarrollan en la planta de tratamiento El Dindal de TWM. Gracias a una estandarización en el programa de tratamientos en el año 2021 logramos realizar una serie de corridas constantes que nos han permitido contar con información real para realizar el análisis de este estudio. Los criterios de comparación utilizados son: tiempo de tratamiento, consumo de combustible y electricidad, valorización del residuo, costo, barriles tratados, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y estado en la jerarquía de residuos. Este último criterio consiste en una herramienta para evaluar las alternativas de manejo de los residuos con el objetivo de generar el menor impacto ambiental al tiempo que se optimiza el aprovechamiento de los recursos.

Desde 1975, algunos estados de la actual Unión Europea establecieron los objetivos de un correcto manejo de residuos, pero fue solo hasta el 2008 que la Unión Europea definió en una directiva los cinco estados en forma de pirámide que hoy conocemos como la Jerarquía de los Residuos, siendo el estado de mayor preferencia “Prevenir la generación del residuo” seguido por el “Reúso del residuo”. (Diagrama 1).



Diagrama 1. Jerarquía de los residuos según la Unión Europea. Adaptado de la Comisión Europea [1].

Por ejemplo, el tratamiento mecánico-térmico se podría clasificar entre los estados de mayor preferencia, y el de landfarming como de Disposición final.

El análisis concluye con la propuesta de mejoras en los procesos de tratamiento para que estos disminuyan su huella de carbono y en alternativas a ser evaluadas para direccionar las mejoras hacia el cumplimiento de los objetivos de la jerarquía de los residuos a medida que las condiciones vayan dándose en el futuro.

Metodología y datos

Los datos analizados son los resultados del inventario y corridas de tratamientos de landfarming y de la Unidad de Tratamiento de Lodos (UTL), nombre del proceso mecánico-térmico que desarrollamos en la planta El Dindal de TWM. Los datos corresponden a lo ejecutado en el año 2021.

Los procesos de tratamiento inician con los mismos primeros pasos, con el fin de preparar y clasificar los residuos. Los pasos iniciales son:

1. Caracterización y determinación de BSW en el laboratorio interno.
2. Almacenamiento del residuo en tanques o piscinas y de acuerdo con su caracterización. En este almacenamiento se permite la separación y decantación por densidad de las fases del residuo. Las fases que se logran separar como la acuosa se envía al tratamiento de aguas residuales con hidrocarburos. El material que presenta un BSW entre el 20% y el 70% debe ser retirado con ayuda de bombas que permitan extraer las fases aceitosas de la piscina o tanque permitiendo un ingreso de material optimo al proceso El resto del material, por tener un BSW mayor al 70% debe ir al tratamiento de UTL.

Tratamiento UTL. El proceso que continua dentro del tratamiento de la UTL, luego de los pasos anteriores, cumple con las siguientes etapas:

1. De acuerdo con la densidad del residuo, puede tener un calentamiento inicial para mejorar su fluidez.
2. Separación inicial de fases por medio de una centrifuga para retiro de sólidos, alimentadas con electricidad. Los sólidos separados se pasan al proceso de Landfarming, la fase acuosa se envía al tratamiento de aguas y la fase aceitosa se envía al evaporador.
3. Evaporación de la humedad hasta lograr un BSW menor al 5%. El quemador del evaporador utiliza GLP como combustible.
4. Transferencia del fluido del evaporador hasta tanques de bombeo que permitan la decantación de fases solidas y liquidas resultantes del proceso de evaporación.
5. Almacenamiento en tanques de separación para su posterior análisis de cumplimiento en porcentajes de BSW por debajo del 5%.
6. Mezcla de crudos obtenidos del proceso con crudos de pozo en menor proporción para obtener combustibles con mayor desempeño en procesos industriales.

En el año 2021, la planta realizó un tratamiento de lodos cada mes, donde procesó 7.159 barriles, de los cuales recuperó 5.605, lo que equivale a un rendimiento del 78% en promedio. Los días de tratamiento y consumo de combustible varían de acuerdo con la caracterización de cada bache procesado. En la tabla 1 se presentan los datos recolectados durante el año en el proceso del tratamiento de la UTL en la planta El Dindal.

Información	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Recibido	Barriles	620	670	780	910	490	650	670	694	740	790	780	790
Procesado	Barriles	550	490	670	820	430	550	550	569	630	645	575	680
Recuperado	Barriles	420	350	510	600	360	440	430	495	470	490	440	600
Días operación UTL	Días	7	5	8	10	5	7	8	8	6	7	8	10
Consumo GLP	m ³	200	180	255	310	135	225	215	225	240	243	210	245
Electricidad consumida	kWh	420	300	480	600	300	420	480	480	360	420	480	600

Tabla 1. Datos del proceso de UTL ejecutados durante el año 2021 en la planta El Dindal de TWM. (Recopilado por los autores).

El tratamiento de los lodos por medio del proceso descrito de la UTL tiene un costo entre COP\$38.000 y COP\$47.000 por barril, dependiendo de la caracterización del residuo recibido en porcentaje de contenido de sólido, agua y aceite

Una vez recuperado el aceite, este es devuelto al cliente, en caso de que este haya sido el acuerdo, o es vendido a empresas que cuentan con la licencia ambiental para procesar combustibles para uso industrial.

Tratamiento de Landfarming. El proceso para realizar el tratamiento de landfarming, después de la caracterización, almacenamiento y clasificación de los residuos, consta de las siguientes etapas:

1. Homogenización de todo el material que se tratará en el mismo bache. Este paso requiere del uso de retroexcavadora de oruga para su mezclado y puede durar aproximadamente 30 días mientras se termina el bache que este en tratamiento.
2. Análisis de nutrientes para definir las dosificaciones de los acondicionadores del suelo.
3. Aplicación de nutrientes y caldo bacteriano con sepas nativas por medio de un sistema de riego adherido a un tractor.
4. Mezclado del material, por medio de retroexcavadora, para mantener la disponibilidad de oxígeno para las bacterias y asegurar una homogenización de lo que se aplica. Si es necesario, se hace riesgo de agua para mantener la humedad.
5. Toma de muestra semanal para el seguimiento al TPH del bache hasta que se alcance un valor menor al 1%, lo cual se logra en aproximadamente 90 días.

Durante el año 2021, se realizaron tres baches de landfarming en las pistas de biorremediación de la planta El Dindal. Si el residuo en estudio se tuviera que tratar por medio de este proceso, el residuo se hubiera mezclado con el resto de material, almacenado y

homogenizado. Sin embargo, es posible que el tratamiento tarde más de los 90 días estándar que tenemos, dado que, entre mayor cantidad de hidrocarburo, más tiempo pueden tomar las bacterias en su descomposición. Para este estudio y poder realizar la comparación, tomamos los datos de los baches realizados en el año 2021.

En el año 2021 se trataron 57.600 barriles de sólidos contaminados, en los cuales se necesitaron 11.451 galones de Diesel para la operación de la retroexcavadora y el tractor. El costo del landfarming al cliente tiene también una variación de acuerdo con la caracterización del residuo, la tarifa fluctúa entre los COP\$30.000 y COP\$36.000 por barril.

Después de que el tratamiento de landfarming termina, el material con un TPH menor al 1% y con análisis de lixiviados, es trasladado al área de disposición final dentro de la planta, asignado por la licencia ambiental. Este material solo puede ser utilizado como material para el relleno de cárcavas, de acuerdo con lo dispuesto en la licencia ambiental. Adicionalmente, es importante agregar que este material ya tratado y recuperado de contaminación, no ha sido posible darle un aprovechamiento económico.

Datos para la evaluación de otros criterios. Para realizar el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los procesos, se tomaron como factores de emisión los publicados por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y los diferentes entes encargados. El factor de emisión de la matriz energética en Colombia para el año 2021 tiene un valor preliminar según XM de 0.126378 tCO₂e/MWh [4]. Para Diesel el factor de emisión de la calculadora de la UPME es 10,28 kgCO₂e/gal [3]. Por último, para el cálculo de las emisiones por el uso de combustible GLP, el factor de emisión, también tomado de la calculadora de la UPME, fue de 3,1 kgCO₂e/kg [3].

Resultados y discusión

Un cuadro comparativo de los criterios de evaluación se presenta en la tabla 2 resumiendo los datos recolectados de los tratamientos de TWM y los cálculos ejecutados.

Criterios	UTL	Landfarming
Costo por barril	COP\$38.000 a COP\$47.000	COP\$30.000 a COP\$36.000
Tiempo de tratamiento	Entre 5 y 10 días	Entre 60 y 120 días
Distancia a planta de tratamiento	Igual	Igual
Kg CO ₂ e por barril	2,56	2,04
Jerarquía Residuos	Tratamiento para reúso	Disposición final
Riesgo del pasivo ambiental	Bajo	Medio
Valorización subproducto	Incorporación del aceite recuperado a la producción de petróleo: COP\$200.000	La tierra tratada no tiene valor. Por licencia puede usarse como material de relleno en obras y no debe usarse en cultivos.

Tabla 2. Comparación de criterios de evaluación de tratamientos de lodos (Elaborada por los autores).

Las emisiones GEI por barril en la etapa de producción de petróleo puede estar en el rango entre los 15 kgCO₂e/BOE y 30kgCO₂e/BOE, de acuerdo con reportes consultados como el informe de sostenibilidad de Ecopetrol 2021 [5] o el Carnegie Endowment for International Peace [6]. Si lo comparamos con las emisiones directas del tratamiento de lodos con hidrocarburo por medio de la UTL por el consumo de GLP y electricidad, hay una ventaja en preferir realizar este tratamiento para el residuo y esperar recuperar aceite que pueda reintroducir a la producción. La diferencia en emisiones GEI entre la UTL y el landfarming no la consideramos material.

La variable costo para el generador es muy importante y es claro que la biorremediación siempre será más económica. El beneficio económico, especialmente con precios altos de petróleo, puede hacer que la recuperación del crudo sea una ventaja en términos financieros. Por ejemplo, el recuperar 5.600 barriles al año de aceite a partir de un material considerado residuo se podría comparar con un pozo productor de 15 BPD.

La variable tiempo es otra que tiene una diferencia amplia entre ambos tratamientos y está muy relacionada con el criterio del riesgo del pasivo ambiental. Entre menor sea la cantidad de residuo que se genere y menor su tiempo de tratamiento, menor puede ser su

² 29,6 kg CO₂e/BOE en producción. [5]

impacto ambiental, mientras se encuentren los procesos de tratamiento dentro de los estándares de diseño. En este caso los días de tratamiento de la UTL corresponden solo a la fracción que se trata por medio del evaporador, es decir que se logró que al menos un 78% del volumen procesado tuviera un tratamiento ejecutado entre 5 y 10 días, versus los 60 a 120 días que podría tomar en otras zonas donde solo se tenga la alternativa de la biorremediación para el tratamiento de lodos con hidrocarburos. Adicionalmente, el aplicar un tratamiento de biorremediación a un residuo con contenido de 30% de aceite se vuelve un procedimiento que pone en riesgo los límites ambientales de una planta o campo, requeriría de material de aporte y no cumpliría con los conceptos técnicos de gestión de residuos. Este último punto conecta con el estado de la jerarquía de los residuos dado que la biorremediación es un tratamiento que acondiciona el material para que pueda ser dispuesto en la naturaleza con baja contaminación, siendo el resultado una disposición final dado que la tierra tratada solo puede tener dos destinos: área de disposición final o uso en cárcavas.

Por último se deben analizar variables que no se presentan en el cuadro comparativo dado que no dependen del tratamiento realizado dentro de la planta El Dindal de TWM. La ubicación del lugar de generación, disponibilidad de plantas de tratamiento licenciadas, la tecnología existente en las plantas y los volúmenes de generación de lodos con hidrocarburos son variables importantes para considerar tener un sistema de tratamiento en el lugar de generación (in situ), lo cual también ayuda a que se disminuya el costo y las emisiones que se podrían generar del transporte a las plantas de tratamiento externas. Si aplicáramos otro concepto de economía circular, deberíamos pensar en opciones de simbiosis industrial [7] entre los campos petroleros, plantas de tratamiento de residuos con hidrocarburos y otras industrias. Este sería un campo de mayor investigación dentro de un sector tan importante para Colombia y su sostenibilidad a corto plazo.

Cabe mencionar que el proceso de la UTL permite la recuperación de un aceite con BSW de 1% por medio de la adición en el proceso de un tren de centrifugas verticales que permite retirar un porcentaje de sólidos de pequeñas dimensiones y un porcentaje adicional de humedad, obteniendo un aceite de mejores características de calidad para los procesos industriales que se requieren como fuente de energía.

Dentro del análisis cabe destacar las alternativas de mejoras para que los tratamientos en plantas externas sean cada día de menor impacto ambiental. Durante el estudio identificamos las siguientes mejoras:

- Menor cantidad de agua dentro de los residuos que se generan ayuda a reducir el tiempo de evaporación y uso de GLP.
- Mayor descripción de la composición de los fluidos que se reciben para proceso de recuperación.
- Utilización de los vapores de salida para procesos de calentamiento y dar fluidez al material.
- Redistribución de los equipos en planta para disminuir posibles pérdidas de combustible GLP.
- Homogeneización de material que ingresa al proceso de evaporación para permitir un proceso estable en condiciones de temperatura.
- Aseguramiento e implementación de sistemas efectivos de aislamiento en los equipos de evaporación que me permita mantener las condiciones de temperatura del proceso y mayor rendimiento en tiempos de producción de crudos recuperados.
- Implementar técnicas de análisis de crudo recuperados que permitan identificar contenidos de algunos componentes que exigen los clientes para parámetro de cumplimiento en la fuente de calor para sus procesos industriales.

Conclusiones

Cada vez encontramos un mayor interés de parte de las empresas en emplear soluciones que las alinee con una economía circular y les permita disminuir el impacto de sus operaciones, esto lo evidencia el liderazgo que ha tenido Ecopetrol en el tema en Colombia. La comparación de los tratamientos de los residuos del sector petrolero por medio de datos recogidos de primera mano y su análisis, permite entregar información válida para las operadoras y autoridades ambientales para escoger la mejor forma ambiental de gestionar los lodos con hidrocarburos generados de la producción del sector petrolero, pero también para poder tener bases que les ayude a definir cuál es la alternativa más sostenible económicamente.

Basados en el análisis realizado con base en los datos del año 2021 de tratamientos ejecutados en la planta el Dindal de TWM, el tratamiento de UTL o tratamiento mecánico-térmico, es un proceso que si entrega ventajas ambientales sobre la biorremediación tipo landfarming para el tratamiento de borras aceitosas. Aunque las emisiones de GEI son un 25% más altas por medio de la UTL, los demás criterios demuestran que este tratamiento ayuda a manejar los riesgos ambientales de la gestión del residuo. Adicionalmente, es un proceso, que le permite al sector petrolero poner en práctica conceptos para la evaluación de alternativas de gestión de residuos y de economía circular a sus operaciones.

Referencias

1. European Comission. Waste prevention and management. Página web consultada el 17 de junio 2022. https://ec.europa.eu/environment/green-growth/waste-prevention-and-management/index_en.htm#:~:text=The%20Directive%20defines%20a%20hierarchy,be%20the%20very%20last%20resort
2. Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). Precio BRENT junio 13 de 2022. Página web consultada el 21 de junio 2022: <https://www1.upme.gov.co/Paginas/default.aspx>
3. Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). Calculadora FECOC 2016, revisión GLP, versión Excel. Página web consultada el 21 de junio 2022: http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/ayuda.html.

4. XM. Factor de emisión matriz energética 2021. Página web consultada el 21 junio 2022: <https://www.xm.com.co/noticias/4591-factor-emision-matriz-energetica-2021>.
5. Ecopetrol. Reporte integrado de gestión sostenible 2021. Página 187. Página web consultada el 16 de junio 2021: <https://files.ecopetrol.com.co/web/esp/cargas/ecopetrol-rigs-2021-esp.pdf>
6. Carnegie Endowment for International Peace. Página web consultada el 16 de junio 2021: <https://carnegieendowment.org/2016/02/09/breaking-down-barrel-tracing-ghg-emissions-through-oil-supply-chain-pub-62722>
7. Comisión Europea. Medio Ambiente. Plan de acción sobre ecoinnovación. Simbiosis industrial: aprovechar la economía circular. Página web consultada el 21 junio 2022: https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/experts-interviews/20140127_industrial-symbiosis-realising-the-circular-economy_es.

Nomenclatura

UTL= Unidad de tratamiento de lodos.

CO₂e = El dióxido de carbono equivalente es una medida universal utilizada para indicar en términos de CO₂, el equivalente de cada uno de los gases de efecto invernadero con respecto a su potencial de calentamiento global.

TPH = Sigla en inglés que significa “Total Petroleum Hydrocarbons” o Hidrocarburos totales de petróleo.

BSW = Sigla en inglés que significa “basic sediment and wáter” o Sedimento básico y agua.

GLP = Gas licuado de petróleo.

TWM= Nombre de la empresa colombiana prestadora de servicios ambientales para el sector de hidrocarburos e industrial en general, y a la cual pertenecen los autores del artículo. Para más información la página web es www.twm.com.co.