

**METODOLOGÍA PARA LA UTILIZACIÓN DE RECORTES DE PERFORACIÓN
BASE AGUA Y SU POSIBLE USO INDUSTRIAL EN COLOMBIA. ANÁLISIS DE
CICLO DE VIDA Y FACTIBILIDAD ECONÓMICA**

**ANGIE SUGGEY GÓMEZ VILLARREAL
JESSIKA XIMENA MANTILLA GARCÍA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2018

**METODOLOGÍA PARA LA UTILIZACIÓN DE RECORTES DE PERFORACIÓN
BASE AGUA Y SU POSIBLE USO INDUSTRIAL EN COLOMBIA. ANÁLISIS DE
CICLO DE VIDA Y FACTIBILIDAD ECONÓMICA**

**ANGIE SUGGEY GÓMEZ VILLARREAL
JESSIKA XIMENA MANTILLA GARCÍA**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Petróleos

Directora:

KATHY MARGARITA DAZA BROCHERO

Magister Gestión en la industria de los hidrocarburos

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2018

DEDICATORIA

Dedico este título a Dios y a mis padres.

Gracias madre por guiarme siempre por el mejor camino, porque me haces la vida más fácil con tus cuidados y dedicación, por ser mi amiga y apoyo incondicional, por tus oraciones, por sostenerme las veces que me he intentado derrumbar por algunas circunstancias de la vida y sobretodo, por tan grande amor y paciencia.

A mi hermano por asumir generosamente el rol de padre y enseñarme siempre a salir adelante con su ejemplo y gran corazón, por hacerme reír y por no dejarme sola en este camino.

A mis demás familiares quienes me han acompañado y apoyado de una u otra manera, en especial a mi "chuchi".

A mis amigos, los cuales cuento con los dedos de la mano, con los que he reído, llorado, desahogado, amado, soportado, respetado, disfrutado y sobretodo, apoyado a lo largo de este sueño, gracias por la compañía y por los buenos momentos, especialmente a mi "compañerita" de tesis. Espero sean muchos más.

A las personas que un día me abrieron las puertas de sus casas y al otro día ya me trataban como una más de la familia.

Y finalmente, a los que siempre han creído en mí y me aman tal como soy.

Angie Suggey Gómez Villarreal.

DEDICATORIA

Dedico este logro; mi trabajo de grado:

A Dios primordialmente por haberme dado la fortaleza y la fe; para aún las dificultades presentadas en el camino lograr culminar mi carrera profesional.

A mis padres y hermanas por ser esa semilla de superación y de triunfo en la vida que han sembrado en mí.

Demás familiares por creer en mi perseverancia para alcanzar este logro.

A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes compartieron su conocimiento, pasión y amor...

Jessika Ximena Mantilla García.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios, por habernos dado la sabiduría de llevar a cabo este logro tan importante de nuestra formación profesional.

A nuestros padres y hermanos por el apoyo constante económico, moral, emocional a lo largo de nuestra carrera.

A nuestra directora por su acompañamiento y asesoramiento en el desarrollo de nuestro proyecto de grado.

A los profesores que se tomaron el tiempo de escucharnos y guiarnos.

A la Universidad Industrial de Santander - UIS, por darnos la oportunidad de pertenecer a tan honorable institución académica y formarnos como profesionales.

Finalmente, gracias a todas las personas que nos ayudaron directa e indirectamente en la ejecución de nuestro proyecto de grado.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. DISEÑO DE PERFORACIÓN Y RECORTES DE PERFORACIÓN BASE	
AGUA.....	20
1.1 DISEÑO Y ETAPAS DE LA PERFORACIÓN	20
1.1.1 Diseño de perforación.....	20
1.1.2 Etapas de la perforación	21
1.2 EQUIPOS DE PERFORACIÓN	21
1.2.1 Broca de perforación y sarta de perforación.	22
1.2.2 Sistema de circulación de fluidos.....	23
1.2.3 Sistema de movimiento en la sarta de perforación	24
1.2.3.1 Estructura de soporte.....	24
1.2.3.2 Equipo para el levantamiento de carga.....	27
1.3 RECORTES DE PERFORACIÓN.....	28
1.3.1 Equipos para retirar los recortes de perforación base agua del lodo de perforación.....	29
1.3.1.1 Zaranda.....	29
1.3.1.2 Hidrociclones	29
1.3.1.3 Centrífuga	29
1.3.2 Cantidad de recortes de perforación base agua	30
2. NORMATIVIDAD NACIONAL RELACIONADA CON LOS RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA.....	32
2.1 DECRETO 1895 DE 1973.....	32
2.2 DECRETO 2104 DEL 1983.....	32

2.3 DECRETO 1753 DE 1994.....	33
2.4 GUÍA DE MANEJO AMBIENTAL PARA PROYECTOS DE PERFORACIÓN DE POZOS DE PETRÓLEO Y GAS DE 1999	33
2.5 DECRETO 838 DE 2005.....	35
2.6 DECRETO 1616 DE 2014.....	36
2.7 DECRETO 351 DEL 2014.....	36
2.8 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS EXPLORATORIOS HTER 310.....	36
3. DISPOSICIÓN TRADICIONAL DE LOS RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA	38
3.1 ALMACENAMIENTO TEMPORAL.....	38
3.2 TRATAMIENTO	39
3.2.1 Tratamiento químico de los ripios de perforación	39
3.2.2 Tratamiento biológico de los ripios de perforación.....	39
3.2.3 Tratamiento térmico de los ripios de perforación	42
3.2.4 Tratamientos de ripios de perforación en México	44
3.3 DISPOSICIÓN FINAL	47
4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL AL USO TRADICIONAL DE RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA	48
4.1 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV).....	49
4.2 OBJETIVO Y ALCANCE DEL ACV.....	49
4.3 ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA.....	50
4.3.1 Medio en donde se realiza el estudio de impacto ambiental.....	51
4.3.2 Identificación de impactos.....	57
4.3.2.1 Perforación.....	58
4.3.2.2 Tratamiento de ripios	60
4.3.2.3 Disposición final de ripios.....	61
4.3.3 Índice de impacto ambiental (I.I.A).....	63

4.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	71
4.4.1 Perforación.....	71
4.4.2 Tratamiento de ripios	72
4.4.3 Enterramiento de ripios	73
5. USO ALTERNATIVO A LOS RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA ..	74
5.1 RE-INYECCIÓN A POZOS	74
5.1.1 Parámetros involucrados en la reinyección de ripios de perforación	75
5.1.1.1 Diseño de equipo de superficie	75
5.1.1.2 Concentración de sólidos.....	75
5.1.1.3 Condiciones reológicas de la lechada.....	75
5.1.1.4 Clasificación de las partículas según su tamaño	75
5.1.1.5 Otros aditivos	75
5.1.1.6 Especificaciones de cabeza de pozo	75
5.1.1.7 Evaluación de estallido tubular	76
5.1.1.8 Evaluación del desgaste por erosión	76
5.1.2 Sistema de reinyección por el anular	76
5.1.2.1 Ventajas y desventajas de la reinyección por el anular	78
5.1.3 Sistema de reinyección por el tubular	78
5.1.3.1 Ventajas y desventajas de inyección por el tubular	78
5.1.4 Formaciones permitibles para la reinyección de ripios	79
5.1.5 Características superficiales para el uso de reinyección de ripios de perforación.....	79
5.2 USO DE RIPIOS EN CONSTRUCCIÓN	80
5.2.1 Construcción de ladrillos	80
5.2.1.1 Diseño de ladrillo	80
5.2.1.2 Resistencia de compresión	81
5.2.2 Construcción de bases viales	82
5.3 RIPIOS DE PERFORACIÓN COMO FERTILIZANTE	83
5.4 MATERIAL DE RELLENO	83

6. POSIBLE USO DE LOS RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA EN COLOMBIA	85
6.1 SELECCIÓN DEL METODO A IMPLEMENTAR	85
6.2 USO PARA BASES VIALES	86
6.2.1 Construcción de bases viales	88
6.2.1.1 Equipos utilizados para la construcción de bases viales.....	88
6.2.1.2 Proceso para construcción de bases viales	88
6.2.2 Cotejo con la normatividad local	91
6.3 ANÁLISIS DE DISTINTAS FORMACIONES DE COLOMBIA.....	92
6.3.1 Cuenca Valle del Magdalena Medio	92
6.3.2 Cuenca de los llanos orientales	95
6.3.2.1 Formación Carbonera	97
6.3.3 Cuenca Caguan-Putumayo, sector Putumayo.	98
6.4 ELECCIÓN DE LA FORMACIÓN	99
7. CONCLUSIONES	103
8. RECOMENDACIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....	107

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación general de las brocas de perforación.....	22
Figura 2. Sistema general del fluido de perforación.....	24
Figura 3. Sub-estructura.	25
Figura 4. Piso de perforación.....	26
Figura 5. Torre o mástil de perforación.....	27
Figura 6. Alambre de perforación.....	28
Figura 7. Manejo de residuos de perforación.....	34
Figura 8. Disposición final de los cortes de perforación.....	35
Figura 9. Zona afectada después del tratamiento por biorremediación.	41
Figura 10. Proceso general de desorción térmica.....	43
Figura 11. Impactos en perforación.	71
Figura 12. Tratamiento de ripios.	72
Figura 13. Enterramiento de ripios.....	73
Figura 14. Reinyección de ripios por el anular.....	76
Figura 15. Perforación y reinyección simultánea.	77
Figura 16. Forma del ladrillo.	81
Figura 17. Columna estratigráfica general del Valle del Magdalena Medio.	93
Figura 18. Cuenca de los Llanos Orientales.....	96
Figura 19. Cuenca sector Putumayo.....	98
Figura 20. Carretera Guamal-Mara, cerca a la plaza de Toros.....	99

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Capacidad de separación del Hidrociclón.	29
Tabla 2. Eficiencia en equipos de control de sólidos.	30
Tabla 3. Tecnologías usadas en México para los recortes de perforación.	45
Tabla 4. Relación porcentual de los distintos desechos en un pozo exploratorio. .	48
Tabla 5. Momento.	53
Tabla 6. Persistencia.	53
Tabla 7. Sinergia.	55
Tabla 8. Reversibilidad.	55
Tabla 9. Periodicidad.	56
Tabla 10. Recuperabilidad.	56
Tabla 11. Índice de impacto ambiental (I.I.A.).....	57
Tabla 12. Impactos en perforación.....	58
Tabla 13. Impactos en tratamiento de rípios.	60
Tabla 14. Impactos en depositación final de rípios.	61
Tabla 15. (I.I.A.) En perforación.	64
Tabla 16. (I.I.A.) En tratamiento de rípios.	67
Tabla 17. (I.I.A.) En enterramiento de rípios.	69
Tabla 18. Ventajas y desventajas de la reinyección por el anular.....	78
Tabla 19. Ventajas y desventajas de inyección en un pozo redundante.....	78
TABLA 20. Formaciones aptas para la reinyección de rípios.....	79
Tabla 21. Contaminación y ganancia de las distintas disposiciones finales de los rípios.	85
Tabla 22. Propiedades físico mecánicas de rípios de perforación	87
Tabla 23. Diseño Mezclas para Especímenes Cilíndricos.	89
Tabla 24.. Resistencia a la compresión inconfínada.	90

Tabla 25. Toxicidad ripios de perforación estabilizados con cemento.	90
Tabla 26. Caracterización litológica de los Llanos Orientales.	99
Tabla 27. Caracterización litológica de Valle Magdalena Medio.	100

RESUMEN

TÍTULO: METODOLOGÍA PARA LA UTILIZACIÓN DE RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA Y SU POSIBLE USO INDUSTRIAL EN COLOMBIA. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y FACTIBILIDAD ECONÓMICA.*

AUTORES: ANGIE SUGGEY GOMEZ VILLARREAL
JESSIKA XIMENA MANTILLA GARCIA.**

PALABRAS CLAVE: PERFORACIÓN, RIPIOS, IMPACTO AMBIENTAL, MANEJO DE DESECHOS.

DESCRIPCIÓN:

En la industria petrolera se generan diversos impactos ambientales. Uno de estos impactos es el causado por los desechos de recortes de perforación. Históricamente, en épocas en las que el precio del crudo era alto, los recortes de perforación no se aprovechaban, sino que se pagaba por su disposición final. Actualmente, después de la crisis petrolera mundial de 2014 y de varios desastres ambientales, se tiene una situación global de recortes económicos en la industria de los hidrocarburos y de avances en la concientización ambiental. Por este motivo, es importante que la industria desarrolle procesos que sean más eficientes y que disminuyan los impactos ambientales ocasionados. En el presente trabajo se analizaron diferentes procesos para el aprovechamiento industrial de los recortes de perforación en base agua para así generar un impacto ambiental positivo en la industria petrolera. Se estudiaron diversos procesos de uso de los recortes de perforación a nivel mundial. Entre las alternativas para el uso de estos ripios está el aprovechamiento como material de construcción, relleno, fertilizante o material de reinyección al pozo. Teniendo en cuenta las similitudes de composición entre las formaciones colombianas y los casos de aprovechamiento de los recortes estudiados en otros países, se hizo un análisis económico, ambiental y del ciclo de vida para la posible utilización de los recortes de perforación en Colombia.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Mg. Kathy Margarita Daza Brochero

ABSTRACT

TITLE: METHODOLOGY FOR THE USE OF WATER BASED DRILLINGS AND ITS POSSIBLE INDUSTRIAL USE IN COLOMBIA. LIFE CYCLE ANALYSIS AND ECONOMIC FEASIBILITY *

AUTHORS: ANGIE SUGGEY GOMEZ VILLARREAL
JESSIKA XIMENA MANTILLA GARCIA.**

KEY WORDS: DRILLING, CUTTINGS, ENVIRONMENTAL IMPACT, WASTE MANAGEMENT.

DESCRIPTION:

In the oil industry, diverse environmental impacts are generated. One of these impacts is caused by the waste produced from drill cuttings. Historically, in times when the price of crude oil was high, the drill cuttings were not used but they paid for their final disposal. Currently, after the global oil crisis of 2014 and several environmental disasters, there is a global situation of economic cutbacks in the hydrocarbon industry and advances in environmental awareness. For this reason, it is important that the industry develop processes that are more efficient and that reduce the environmental impacts caused. Presently, different processes were analyzed for the industrial use of water based drill cuttings in order to generate a positive environmental impact in the oil industry. Different processes of the use of the drill cuttings worldwide were studied. Among the alternatives for using, these cuttings are using them as construction material, filler, and fertilizer or reinjection material for a well. Taking into account the similarities of composition among the Colombian formations and the cases of exploitation of the cuttings studied in other countries, an economic, and environmental and life cycle analysis was done for the possible use of the drill cuttings in Colombia.

* Bachelor Degree Project.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Mg. Kathy Margarita Daza Brochero

INTRODUCCIÓN

La industria petrolera desarrolla diversas actividades y operaciones típicas que se consideran implícitas en todos los proyectos, como lo son: la perforación de pozos, la producción, conducción, la sísmica, entre otras. De esta manera se abordó en el análisis de la adecuada metodología de aprovechamiento de los ripios de perforación, que son una de las fuentes distintivas de desperdicios de perforación, y que a la vez sea viable económicamente.

La perforación de un pozo petrolero es la mayor inversión que se ejecuta en la vida útil del proyecto, sin que se genere egresos en la misma actividad.

Sin importar que tan buen manejo de sólidos se encuentre en un pozo, la perforación siempre representa más del 70% de desechos, razón por la cual es de suma importancia entender un método alternativo de uso a estos, pues el enterramiento es poco amigable con el ambiente.

Cualquiera que sea el uso final del ripio de perforación, este siempre está sujeto a procesos para disminuir los contaminantes presentes, entre los que se encuentran tratamiento químico, tratamiento biológico, calentamiento e incineración, siendo estos dos últimos los más costosos y mayormente eficientes al momento de retirar material indeseado.

En el trabajo se buscó distintas alternativas a los ripios, encontrando reinyección a pozo, uso como material de relleno, fertilizante, materia prima en ladrillos y construcción de bases viales, eligiendo esta última como la más idónea, al ser Colombia, en general, un país con poca infraestructura de transporte. El uso de esto ya se estudió en Ecuador, concluyendo con la posibilidad de realizarlo a mayor escala.

Se analiza distintos campos con sus respectivas formaciones, llegando a comprender el porcentaje de arcilla en los ripios, pues esto genera inconvenientes, dado que solo se puede aceptar 10% de terrones de este en el material de recortes al momento de construir bases viales, convirtiéndolo en un factor clave.

Al final, en el estudio realizado anteriormente, se eligen las formaciones con menos porcentaje de arcilla correspondiente a la cuenca del Valle Medio del Magdalena y la cuenca de los Llanos Orientales, de la cual son convenientes los pozos someros ya que entre más profundos mayor es su proporción de arcillolitas, limolitas y lutitas los cuales no son favorables para ejecutar las bases viales.

1. DISEÑO DE PERFORACIÓN Y RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA.

El diseño de la perforación de pozos, tiene como objetivo construir un pozo útil, entendiéndose como ello un conducto desde el yacimiento hasta la superficie del mismo, permitiendo, con esto, la explotación de hidrocarburos de forma segura y a menor costo posible¹, lo que conlleva a realizar dicha actividad de forma planeada.

Respecto a la inversión total², el 30% corresponde a técnicas de geofísica y geología y el 70% restante a la perforación, por lo cual es de suma importancia realizar un diseño de perforación idóneo para lograr el objetivo anteriormente mencionado.

1.1 DISEÑO Y ETAPAS DE LA PERFORACIÓN

El diseño y etapas de perforación es el programa global de esta, por lo cual es importante destacar la forma de realizarlo en la mejor manera, ya que constituye más de la mitad de los gastos totales del pozo.

1.1.1 Diseño de perforación El diseño de pozo es un proceso ordenado y sistemático, con lo cual es importante tener en cuenta todos los aspectos generales, que son:

- Recopilación de la información disponible.
- Predicción de presiones de formación y fractura.
- Determinación de la profundidad de asentamiento de las tuberías.
- Selección de la geometría y trayectoria del pozo.

¹ OILPRODUCTION. Diseño de perforación de pozos. [En línea]. Desconocido., p 7. Disponible en <http://oilproduction.net/files/Diseno%20de%20perforacion.pdf>.

² RECALDE, Marina. Determinantes de la inversión en exploración de hidrocarburos: un análisis del caso argentino. En: ELSEVIER DOYMA. Febrero, 2011. vol. 1, nº 32, p 43.

- Programa de fluidos de perforación.
- Programa de brocas (barrenas).
- Diseño de programa de revestimiento y programa de cementación.
- Programa hidráulico.
- Selección de equipos de perforación.
- Tiempos estimados de perforación.
- Costo de perforación.³

Es claro que el diseño de perforación, en general, se puede usar a cualquier pozo, por lo cual solo variaría la tecnología a implementar en casos específicos.

1.1.2 Etapas de la perforación Las etapas de la perforación, en resumen, son: Perforación, Introducción de la tubería de revestimiento y cementación⁴, siendo la primera de las mencionadas donde se encuentran los recortes.

Es preciso aclarar que tanto el diseño como las etapas de la perforación se mantiene igual para cualquier programa, lo que varía es únicamente las características de cada ítem mencionado (perforación, Introducción de la tubería de revestimiento y cementación)

1.2 EQUIPOS DE PERFORACIÓN

Los equipos de perforación se dividen en 5 grandes componentes, los cuales son:

- Broca de perforación y sarta de perforación.
- Sistema de circulación de fluidos de perforación.
- Sistema de movimiento de sarta de perforación.

³ OILPRODUCTION. Op. cit., p 7.

⁴ MENDEZ CASTRO, Armando. Aspectos de producción. [En línea]. 2013., p 9. Disponible en <http://www.oilproduction.net/files/Aspectos-de-Produccion.pdf>.

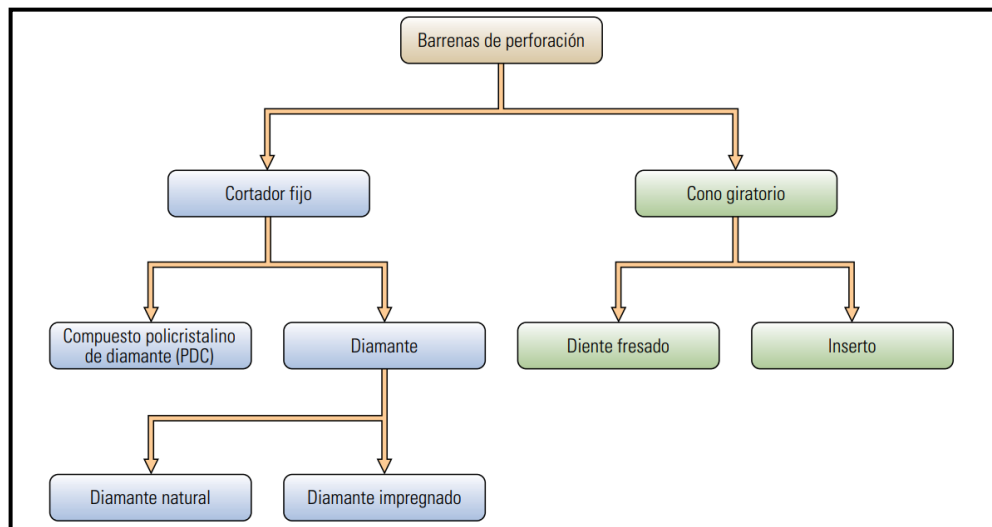
- Sistema de válvulas preventoras (BOP´s)
- Sistema de suministro de energía.⁵

1.2.1 Broca de perforación y sarta de perforación.

a. Broca de perforación

La broca de perforación, son de los menos costosos⁶, es importante la selección de una adecuada que cumpla con las especificaciones del terreno, existen muchos tipos de brocas en la industria, pero su clasificación, en general, es como se presenta en la figura 1:

Figura 1. Clasificación general de las brocas de perforación.



Fuente: CENTALA, Prabhakaran; CHALLA, Vennela; DURAIRAJAN, Bala; PÁEZ, Luis; PARTIN, Uyen; SEGAL, Stivenson y WU, Sean. El diseño de las barrenas: Desde arriba hacia abajo. En: Texas. Febrero, 2011. Vol. 23, nº 2, p 5.

⁵ VOG, Karen y HAWKER, David. Procedimientos y operaciones en pozo. 3 ed. Calgary: Datalog. 2002. p 18.

⁶ CENTALA, Prabhakaran; CHALLA, Vennela; DURAIRAJAN, Bala; PÁEZ, Luis; PARTIN, Uyen; SEGAL, Stivenson y WU, Sean. El diseño de las barrenas: Desde arriba hacia abajo. En: Texas. Febrero, 2011. vol. 23, nº 2, p 1.

b. Sarta de perforación

La sarta de perforación consta básicamente de tubería de trabajo conectada entre sí por un tool joint y drill collar, estos conectan los sistemas de perforación a superficie. Las funciones son:

- Transmitir la rotación (torque) transmitida desde superficie hasta fondo del pozo.
- transmitir la fuerza o peso sobre la broca, para permitir la fractura de la zona taladrada con mayor facilidad.
- Proporcionar el medio para transportar la broca de perforación.
- Permitir el viaje del fluido de perforación.⁷

1.2.2 Sistema de circulación de fluidos El fluido de perforación sigue un ciclo cerrado, aunque aditivo, pues hay pérdidas de lodo en las distintas formaciones del pozo.

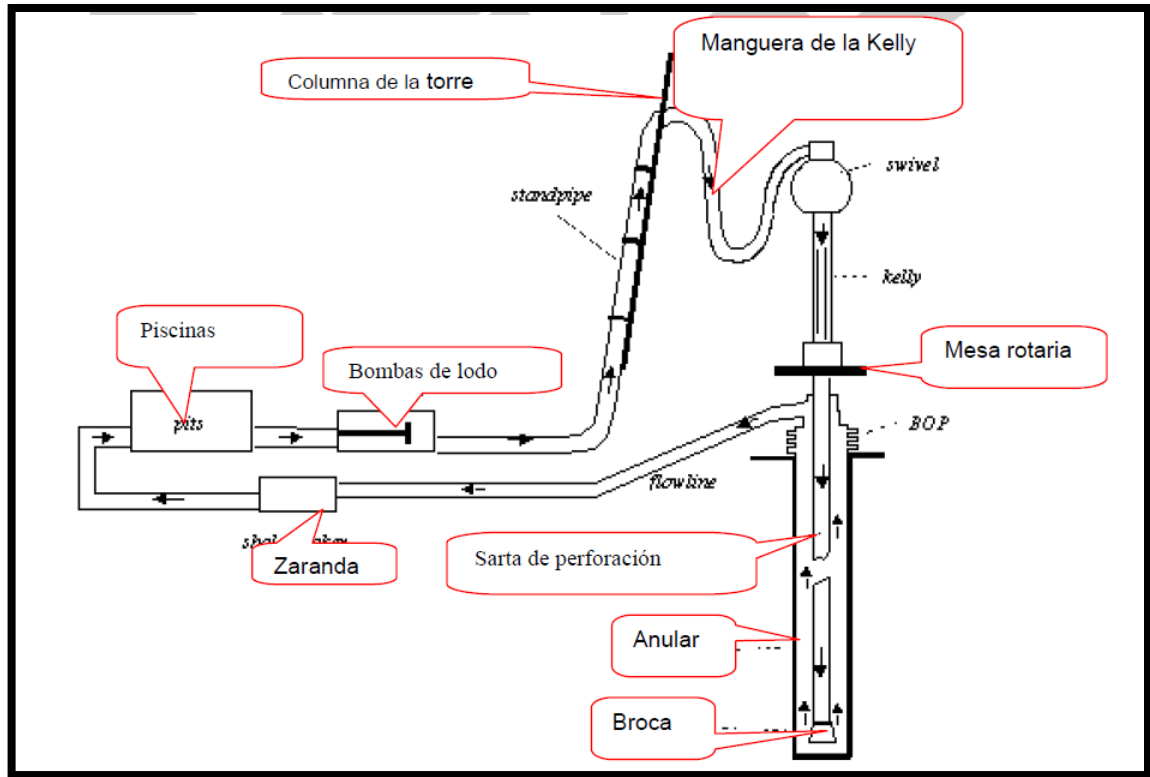
El lodo de perforación es bombeado desde la bomba de succión, a través de un tubo vertical de acero (stand pipe), hasta una manguera de Kelly, esta se encuentra conectada a la mesa rotaria, entra al pozo a una presión y caudal establecido por el previo diseño del programa de perforación, sale de la broca entrando al anular, luego, el lodo sucio (con recortes de perforación) entra al flow line hasta llegar a la Zaranda, la cual es una tela metálica vibratoria que separa los ripios del lodo⁸, la parte líquida extraída pasa a la piscina, que es donde la bomba dispone del fluido de perforación para comenzar el ciclo (viaje al interior de la tubería de perforación)⁹, en la piscina de perforación es en donde se le añade el nuevo líquido y demás elementos químicos requeridos, en la figura 2 se representa claridad de un sistema general de fluido de perforación .

⁷ VOG, Karen y HAWKER, David. Op. cit., p 39.

⁸ SANCHES MARTINEZ, Israel. Perforación en la industria del petróleo. Trabajo de grado profesional en ingeniería química petrolera. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de ingeniería química e industrias extractivas, 2016. p 74.

⁹ VOG, Karen y HAWKER, David. Op. cit., p 27.

Figura 2. Sistema general del fluido de perforación.



Fuente: VOG, Karen y HAWKER, David. Procedimientos y operaciones en pozo. 3 ed. Calgary: Datalog. 2002. p 26.

1.2.3 Sistema de movimiento en la sarta de perforación Este sistema es el encargado de suministrar al equipo y distintas áreas de trabajo, el levantar, bajar o suspender el equipo usado en el sistema rotario.¹⁰

1.2.3.1 Estructura de soporte

- Subestructura: Estructura metálica situada en la parte inferior del mástil que soporta el peso del malacate, tuberías y demás accesorios, también proporcionar la altura requerida para instalar, los cabezales y preventoras principales cuyas funciones principales son la de soportar el piso de perforación,

¹⁰ SANCHES MARTINEZ, Israel. Op. cit., p 53.

facilitar espacio para el equipo y personal laboral y suministrar el espacio en la parte inferior del piso para alojar las preventoras, basado en esto mostramos una sub-estructura en la figura 3.¹¹

Figura 3. Sub-estructura.



Fuente: SANCHES MARTINEZ, Israel. Perforación en la industria del petróleo. Trabajo de grado profesional en ingeniería química petrolera. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de ingeniería química e industrias extractivas, 2016. p 54.

- Piso del equipo de perforación: Es el lugar en donde se realizan todas las maniobras durante la perforación del pozo y se controlan las operaciones del mismo. Se encuentra sobre el marco de la subestructura como se muestra en la figura 4.

¹¹ *Ibíd.*, p 53.

Figura 4. Piso de perforación.



Fuente: SANCHES MARTINEZ, Israel. Perforación en la industria del petróleo. Trabajo de grado profesional en ingeniería química petrolera. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de ingeniería química e industrias extractivas, 2016. p 54.

- Torres o mástil de perforación: Como se muestra en la figura 5, es la estructura de acero con capacidad de soportar toda la carga vertical del pozo. Su función principal es ser el almacén de todo el sistema que conlleva la perforación.¹²

¹² *Ibíd.*, p 55.

Figura 5. Torre o mástil de perforación.



Fuente: SANCHES MARTINEZ, Israel. Perforación en la industria del petróleo. Trabajo de grado profesional en ingeniería química petrolera. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de ingeniería química e industrias extractivas, 2016. p 55.

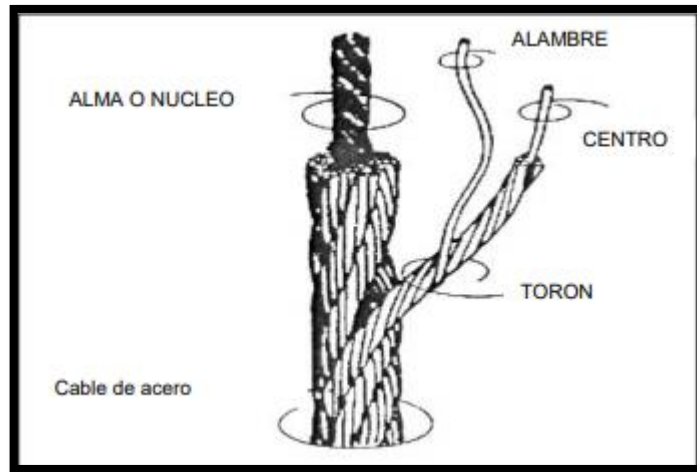
1.2.3.2 Equipo para el levantamiento de carga

- Malacate: Es el equipo de subir o bajar la sarta de perforación con la línea rápida (fast line), dándole la tracción necesaria para lograrlo. Tiene cuatro partes esenciales (Embrague, tambor principal, frenos y cobresante)¹³

¹³ Ibíd., p 58.

- Cable de perforación: Es fabricado a partir de alambres de acero, ordenados entre sí en una manera específica, consta con tres partes principales (alambres, torones y alma) ilustrado en la figura 6.

Figura 6. Cable de perforación.



Fuente: SANCHES MARTINEZ, Israel. Perforación en la industria del petróleo. Trabajo de grado profesional en ingeniería química petrolera. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de ingeniería química e industrias extractivas, 2016. p 58.

1.3 RECORTES DE PERFORACIÓN

Se pueden definir como fragmentos de rocas obtenidos en el proceso de perforación, constituidos por los minerales de las formaciones perforadas, entre otros, arcillas, cuarzos, feldespatos, carbonatos y otros compuestos calcáreos y de silicio que se encuentran impregnado en el fluido de perforación.¹⁴

¹⁴ MENDEZ VILLEGAS, Rene; GOMEZ RIVERA, Petrona; LEDESMA HERRERA, Juan y CENICEROS GONZALEZ, Claudia. Manejo integral de los recortes de perforación de la industria petrolera en Tabasco. En Tabasco. Diciembre, 2013. vol. 2, nº 4, p 2.

1.3.1 Equipos para retirar los recortes de perforación base agua del lodo de perforación Los equipos para el control de sólidos son, en esencia 3, la zaranda, los hidrociclones y las centrífugas.

1.3.1.1 Zaranda Es el primer equipo para el control de sólidos, tiene un funcionamiento en el cual solo se permite separar por diferencia de tamaño, en el cual el tamaño más pequeño es de 74 micrones. Entre los factores que pueden afectar su eficiencia esta la densidad del lodo, velocidad de perforación, velocidad de circulación y movimiento de la malla de perforación. ¹⁵

1.3.1.2 Hidrociclones Es un dispositivo de separación que usa el principio de diferencia de densidad para separar sólidos más pequeños que la zaranda con energía centrífuga, pero usando un cono, según el diámetro del cono este puede separar partículas cada vez más pequeñas.

Dichos separación de equipos y sus capacidades son observadas en la tabla 1.

Tabla 1. Capacidad de separación del Hidrociclón.

<i>Hidrociclón</i>	Diámetro (in)	Punto de corte (micrones)
<i>Desarenador</i>	10-12	45-50
<i>Deslimador</i>	4	25-30
<i>Micro ciclón</i>	2	10-12

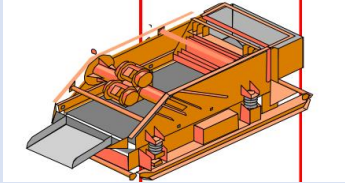
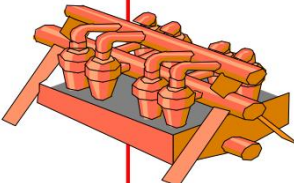
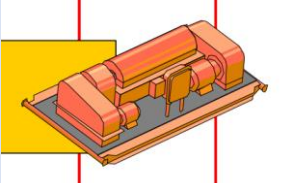
Fuente: BAUTISTA PUENTE, Luis. Manejo de desechos y deshidratación (dewatering) de los fluidos de perforación base agua. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería de petróleo, gas natural y petroquímica, 2010. p 26.

1.3.1.3 Centrífuga Esta usa el principio de asentamiento, con la diferencia que, al realizar giros rápidos, aumenta la fuerza G sobre el fluido, lo que permite aumentar la velocidad de asentamiento de forma considerable.

¹⁵ BAUTISTA PUENTE, Luis. Manejo de desechos y deshidratación (dewatering) de los fluidos de perforación base agua. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería de petróleo, gas natural y petroquímica, 2010. p 17-18.

A continuación, en la tabla 2, se muestra la medida de eficiencia de cada equipo.

Tabla 2. Eficiencia en equipos de control de sólidos.

Equipo	Porcentaje de eficiencia (acumulativa)
 <p data-bbox="483 625 607 659">Zaranda</p>	40 – 44
 <p data-bbox="457 890 633 924">Hidrociclón</p>	26 – 29
 <p data-bbox="464 1138 623 1171">Centrífuga</p>	18 – 20

Fuente: BAUTISTA PUENTE, Luis. Manejo de desechos y deshidratación (dewatering) de los fluidos de perforación base agua. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería de petróleo, gas natural y petroquímica, 2010. p 39. Modificado por autores.

1.3.2 Cantidad de recortes de perforación base agua La cantidad de recortes de perforación nunca será el volumen del hueco del pozo, por destacar, para uno con una profundidad de 12000 pies, puede generar un volumen de 4000 barriles de ripios¹⁶ y es preciso aclarar, que el desecho generado depende de la altura y diámetro de hueco.

¹⁶ MENDEZ VILLEGAS, Rene; GOMEZ RIVERA, Petrona; LEDESMA HERRERA, Juan y CENICEROS GONZALEZ, Claudia. Op. cit., p 5.

Hay dos maneras de calcular el volumen de recortes de perforación y en ambas se debe conocer un porcentaje de washout promedio.

$$Dw = (D^2 * (1 + \%W))^{0.5}$$

$$Dw = (D^2 * (1 + \%W))$$

- Dw = Diámetro de washout [in]
- D = Diámetro de la broca [in]
- %W = Porcentaje de washout

El volumen de sólidos generados se puede calcular con la siguiente ecuación

$$Vs \left(\frac{Bbl}{hr} \right) = \frac{Dw^2 * Vp}{1029}$$

- Vs = Volumen de sólidos
- Vp = Velocidad de penetración¹⁷ [ft/h]

¹⁷ BAUTISTA PUENTE, Luis. Op. cit., p 44.

2. NORMATIVIDAD NACIONAL RELACIONADA CON LOS RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA

2.1 DECRETO 1895 DE 1973

Por el cual se dictan normas sobre exploración y explotación de petróleo y gas.

Derogado por el decreto 3479 del 2009. En el artículo 94, en la sección 6 dice: Los desperdicios sólidos no combustibles deberán ser depositados en tierra.¹⁸

2.2 DECRETO 2104 DEL 1983

Por el cual se reglamenta parcialmente el [Título III de la Parte IV del Libro I del Decreto - Ley 2811 de 1974] y los [Títulos I y XI de la Ley 9 de 1979] en cuanto a residuos sólidos.

Por la cual se define residuo sólido entiéndase por esto como: todo objeto, sustancia o elemento en estado sólido, que se abandona, bota o rechaza, en su capítulo 1, artículo 1.

¹⁸ COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE LA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Decreto 1895 (15, septiembre, 1973). 22. Por el cual se dictan normas sobre exploración y explotación de petróleo y gas. El Departamento. Bogotá. D. C. p 6.

2.3 DECRETO 1753 DE 1994

Por el cual se reglamentan parcialmente los Títulos VIII y XII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.

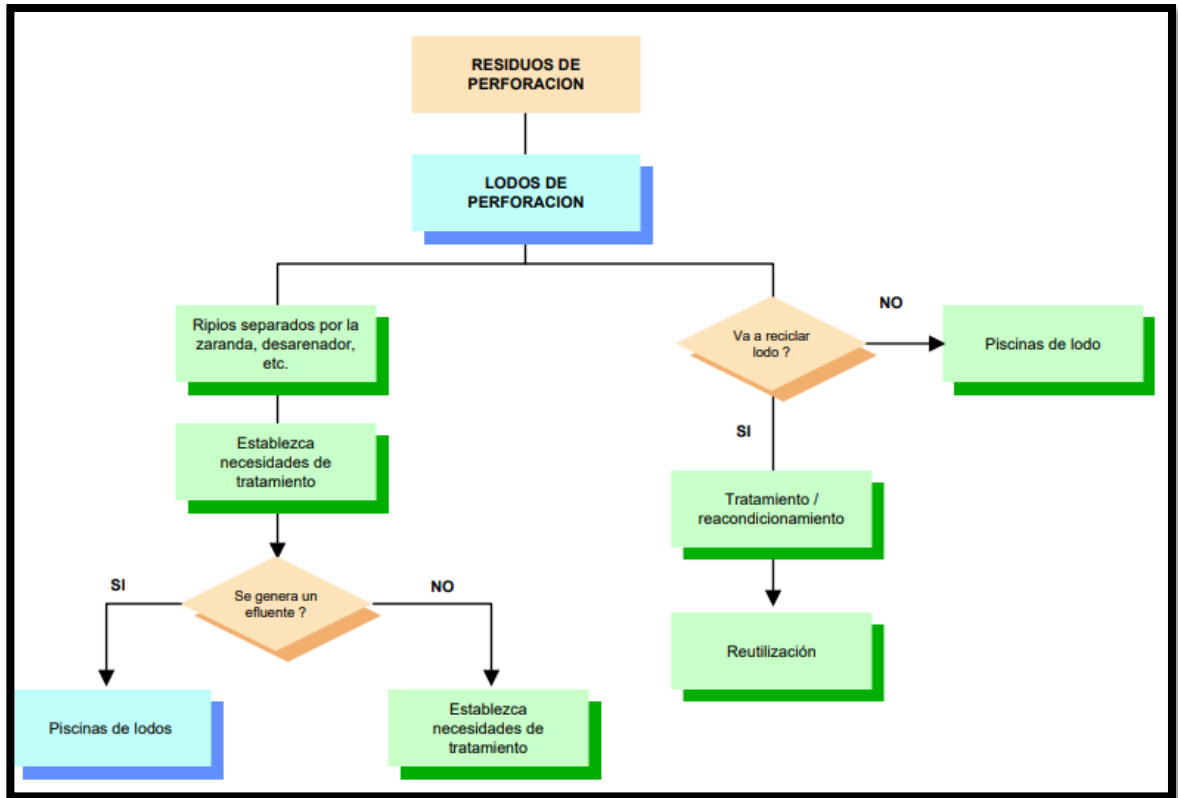
En su capítulo 4, artículo 23 parágra

fo 3, Para la perforación de cada pozo, se requerirá la presentación de un plan de manejo ambiental y sólo se procederá a ejecutar las obras con la aprobación de éste, entendiéndose que los recortes de perforación se basan sobre este artículo.

2.4 GUÍA DE MANEJO AMBIENTAL PARA PROYECTOS DE PERFORACIÓN DE POZOS DE PETRÓLEO Y GAS DE 1999

Esta guía, la base para las buenas prácticas en la perforación de pozos de hidrocarburos, en la sección 6 (manejo ambiental del proyecto) en el apartado 19 (manejo ambiental de residuos de perforación), se encuentran el manejo de estos, presentes en la figura 7.

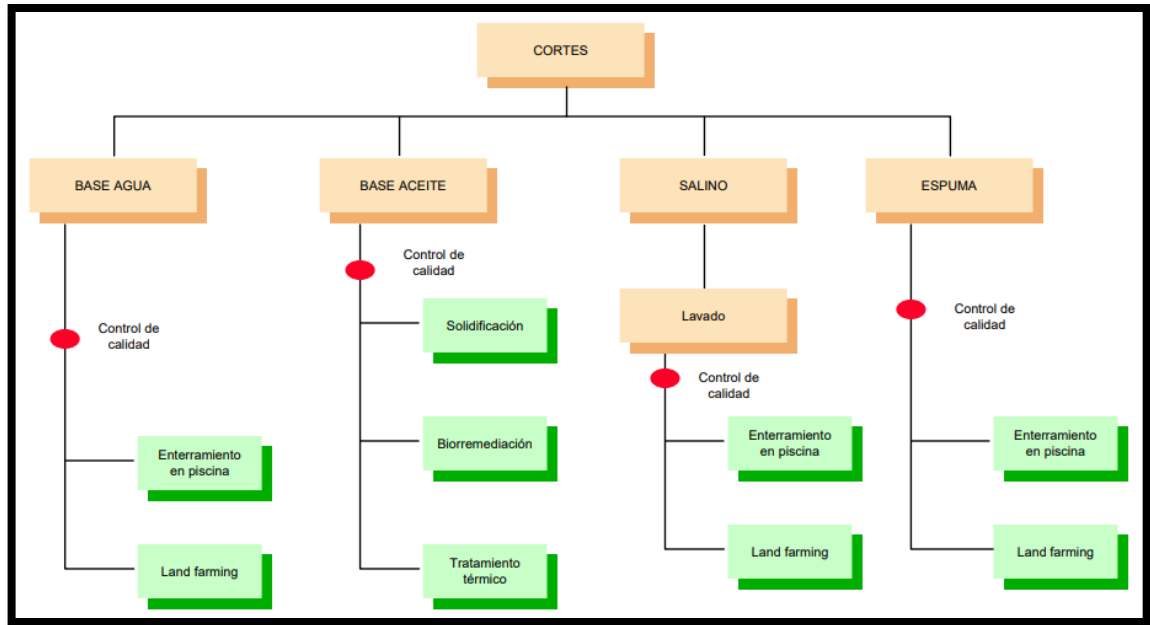
Figura 7. Manejo de residuos de perforación.



Fuente: BUITRAGO, Cesar y CÁRDENAS, Marco. Guía básica ambiental para la perforación de pozos. 1 Ed. Bogotá: Calidad del Aire Cía Ltda. 1999. p 152.

En la parte izquierda de la figura 7, se encuentran los ripios, los cuales se muestra en tal caso que genere efluente (líquido), se le realiza la separación de fases, para disponer del sólido y decidir sobre el de manera correcta.

Figura 8. Disposición final de los cortes de perforación.



Fuente: BUITRAGO, Cesar y CÁRDENAS, Marco. Guía básica ambiental para la perforación de pozos. 1 Ed. Bogotá: Calidad del Aire Cía Ltda. 1999. p 159.

Para el caso que se dispone de los recortes, es de suma importancia que cumpla con la normatividad para enterrarlo y evite contaminación del suelo o aguas subterráneas¹⁹ como lo indica la figura 8 y para nuestro interés los bases agua.

2.5 DECRETO 838 DE 2005

Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

En el título 2, capítulo 1, artículo 4 se especifican las áreas para la disposición final de residuos sólidos

¹⁹ BUITRAGO, Cesar y CÁRDENAS, Marco. Guía básica ambiental para la perforación de pozos. 1 Ed. Bogotá: Calidad del Aire Cía Ltda. 1999. p 151.

2.6 DECRETO 1616 DE 2014

Por el cual se establecen los criterios y procedimientos para la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos convencionales continentales y costa afuera.

Menciona en su primer artículo las pautas para la perforación y explotación de hidrocarburos, según el AGA, API, ASTM, NFPA, NTCICONTEC, RETIE.

2.7 DECRETO 351 DEL 2014

Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades

Residuos no peligrosos. Son aquellos producidos por el generador en desarrollo de su actividad, que no presentan ninguna de las características de peligrosidad establecidas en la normativa vigente. Los residuos o desechos sólidos se clasifican de acuerdo con lo establecido en el Decreto número 1713 de 2002, o la norma que lo modifique o sustituya. Mencionado en su artículo 5 sección 5.1.

2.8 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS EXPLORATORIOS HTER 310

En el capítulo 4 (Manejo ambiental de la perforación de pozos exploratorios) en la sección 4.1.4.2 aparecen residuos de perforación (recortes de perforación), es indispensable que la empresa posea un plan de manejo para estos desechos.

- La entidad territorial en el proceso de formulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, seleccionará y establecerá las áreas potenciales para la disposición final de residuos sólidos.
- La entidad territorial realizará visitas técnicas a cada una de las áreas potenciales definidas en el PGIRS y con base en la información existente de generación de residuos sólidos optará por el normal cumplimiento.

3. DISPOSICIÓN TRADICIONAL DE LOS RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA

La disposición final de los cortes de perforación sigue un proceso, el cual consta de almacenamiento temporal, tratamiento y disposición final²⁰.

3.1 ALMACENAMIENTO TEMPORAL

Una vez se retiran los ripios del sistema mecánico de separación de la zaranda, este entra a un barril de 40 pies de alto (tanque de la zaranda), el cual se dispone de manera temporal para luego ser dispuesto en una piscina de tratamiento, a veces, en los mismos tanques temporales o tanques de recortes, se le agrega algún deshidratador (dewatering), como cal viva.

Para efectos de cementación, el residuo de estos se considera ripios, por lo cual el tratamiento es igual al anterior, teniendo en cuenta que lo mencionado solo es el primer proceso.²¹

²⁰ BALLESTEROS VILLEGAS, Adriana. Evaluación de diferentes sistemas para el tratamiento de residuos de perforación en el Campo Tarapoa operado por la empresa Andes Petroleum S.A. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Guayaquil: Escuela Superior Politécnico del Litoral. Facultad de ingeniería de ciencias de la tierra, 2007. p 54.

²¹ *Ibíd.*, p 56.

3.2 TRATAMIENTO

En este punto, ya se ha dispuesto de los rípos de perforación en piscinas, dado que aún posee lixiviado y según el decreto 1895 de 1973, se puede enterrar desperdicios sólidos no combustibles, siendo indispensable el tratamiento de ello, los cuales son:

- Tratamiento químico.
- Tratamiento biológico.
- Tratamiento térmico.

3.2.1 Tratamiento químico de los rípos de perforación Procesos en donde los constituyentes peligrosos son modificados mediante reacciones químicas. En algunos casos equivale a una neutralización del peligro; en otros casos excepcionales, el residuo podrá seguir siendo peligroso, pero en una forma más apropiada para su posterior manejo.

3.2.2 Tratamiento biológico de los rípos de perforación La biodegradación es la descomposición de una sustancia orgánica, como el petróleo, por acción de organismos vivos, generalmente microorganismos y especialmente bacterias. Algunas sustancias se biodegradan más rápida y completamente que otras, esto es posible tanto en ambientes aeróbicos como anaeróbicos.

Dado que las condiciones propias de los rípos de perforación cuenta con lixiviados de manera no uniforme en todo el desecho sólido y que los agentes biológicos (levaduras, hongos y/o bacterias) requieren un medio acuoso, hace que la concentración de los mismos proliferen en zonas aisladas del recorte de perforación, llevando a ser poco eficiente²², existen técnicas como Landfarming y compostaje.

²² VERACIERTA ALFARO, Luis. Evaluación de las técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el campo hamaca, estado Anzoátegui. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Anzoátegui: Universidad de Oriente Núcleo de Monagas, 2006. p 14

a. Landfarming

Es más común al tratamiento del lodo de perforación. La técnica consiste en inyección de microorganismos presentes en el suelo, que se oxidan, generando CO₂ y agua en un terreno limpio (piscina de tratamiento). Se busca una bacteria aislada de la muestra del terreno, buscando aquellos morfotipos cultivables, como las *Pseudomona* sp. y bacterias lactosas (debido a que es un buen degradante de hidrocarburos), después de seleccionar a las mejores para ello (pool), se hace una producción de estos a mayor escala y en proporción a la estrategia pertinente, luego de esto, se prepara la parcela (piscina de tratamiento), después se mezclan los materiales en la piscina, luego se deja oxigenar el material disponiendo de ello de manera inteligente (airear, puesto es más rápido en condiciones aeróbicas que anaeróbicas), se lleva un control de las propiedades fisicoquímicas, y por último se estimula (agregar catalizadores o activadores). Este proceso tiene una duración de 3 meses aproximadamente²³. Un caso común de afectación de zonas es mostrado en la figura 9.

²³ JARA RIVEROS, Javier y VELASQUEZ SERRANI, Darlyn. Manual de biorremediación de hidrocarburo de la industria del petróleo. Proyecto de grado profesional en técnico laboral en la gestión ambiental. Villavicencio: Corporación Interamericana del Petróleo, 2010. p 33-39.

Figura 9. Zona afectada después del tratamiento por biorremediación.



Fuente: JARA RIVEROS, Javier y VELASQUEZ SERRANI, Darlyn. Manual de biorremediación de hidrocarburo de la industria del petróleo. Proyecto de grado profesional en técnico laboral en la gestión ambiental. Villavicencio: Corporación Interamericana del Petróleo, 2010. p 39.

b. Compostaje

Esta estrategia de biorremediación utiliza termófilos y microorganismos aeróbicos, formando pilas de material que deben ser mezclados y humedecidos periódicamente para promover la actividad microbiana²⁴.

²⁴ *Ibíd.*, p 32.

3.2.3 Tratamiento térmico de los ripsos de perforación

a. Desorción térmica

La desorción térmica es un proceso por el cual el residuo se calienta mediante una fuente directa o indirecta a una temperatura lo suficientemente elevada para volatilizar el agua y los compuestos orgánicos presentes en el lodo y así separarlos del cutting. El sistema incluye la recuperación, tratamiento o eliminación de estos componentes volatilizados²⁵, una temperatura entre 90 °C a 540 °C²⁶.

La desorción térmica puede realizarse de manera directa o indirecta.

- En el método directo, el calor es transferido al residuo (recorte de perforación) por radiación de una llama o por convección de los gases provenientes de la combustión del combustible gaseoso o líquido. Esta transferencia de calor es dispuesta en la secadora rotativa, y llega a una temperatura de 300°C a 400°C²⁷.
- El método indirecto difiere del método directo en el secador rotativo, pues este es de doble carcasa y el recorte de perforación se encuentra en la carcasa interna. Este se basa en el proceso de conducción, razón por la cual se requiere un fluido con alto poder calorífico (agua, aceite sintético, entre otros), los cuales, a su vez, son calentados por otra fuente (llama o fuente de calor)²⁸.

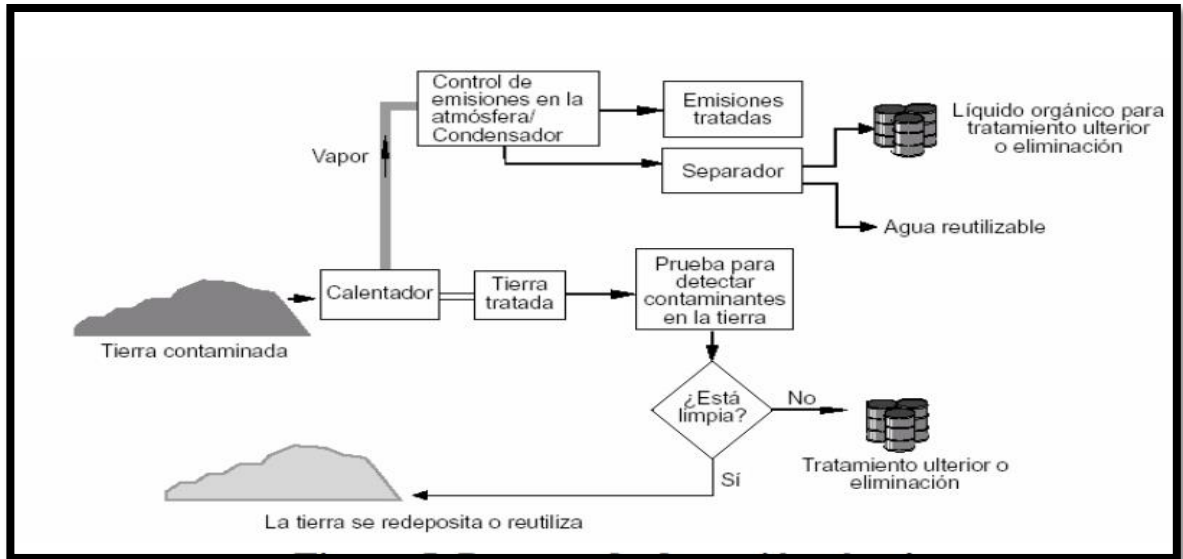
²⁵ ISMIRLIAN, Paula. Evaluación de diferentes métodos de tratamiento para recortes de perforación de pozos petroleros con lodo base hidrocarburo en argentina. Trabajo de grado Magister en gestión ambiental. Buenos Aires: Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 2018. p 35.

²⁶ VERACIERTA ALFARO, Luis. Op. cit., p 18.

²⁷ DHARAM, Pal., STEVE y FANN Scott. Application guide for thermal desorption systems wight. 1 Ed. California: ANSI STD. 1998. p 5.

²⁸ *Ibíd.*, p 8.

Figura 10. Proceso general de desorción térmica.



Fuente: VERACIERTA ALFARO, Luis. Evaluación de las técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el campo hamaca, estado Anzoátegui. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Anzoátegui: Universidad de Oriente Núcleo de Monagas, 2006. p 19.

El proceso general de desorción térmica como lo ilustra la figura 10, comienza con la tierra contaminada (ripios de perforación), los cuales entran a un calentador (como se mencionó anteriormente, un secador rotativo), los vapores generados en este proceso, se le debe practicar en control, manejo y disposición del mismo, el cutting (ahora tratados) se verifica que esté libre de contaminantes para disponer de manera final, de lo contrario, se debe realizar las acciones necesarias para el cumplimiento de lo estipulado para su disposición final.

b. Incineración

El residuo se somete a altas temperaturas, entre 870°C y 1200°C para volatilizar y destruir los compuestos orgánicos. Los productos de la incineración son dióxido de carbono, agua y cenizas (para el cutting no se generan cenizas sino roca molida) y

pueden provocar vapores tóxicos con nitrógeno, azufre, o compuestos halogenados (como las dioxinas y los furanos), según la composición del residuo de origen.

En el horno rotatorio, la cámara de combustión se encuentra revestida por material aislante y refractado de alta calidad, además de tener un lecho profundo, el cual tiene como función suspender las partículas de residuo pertenecientes al sistema.

Una de las grandes ventajas de este proceso es la alta reducción de volumen de residuos. Además, la ceniza suele ser más inerte (mucho más) que el residuo original, también cabe la posibilidad de recuperar parte de la energía perdida por la combustión en los gases desprendido, como lo podría ser instalando moto generadores. Entre sus grandes desventajas es el gasto de energía que se debe suministrar, lo controlado que debe ser el proceso y lo costoso de los materiales especiales resistentes a altas temperaturas.

Debido a los tiempos de puesta en marcha y parada hasta poner el equipo en régimen, el consumo de combustible y el costo de mantenimiento, mano de obra e insumos, el proveedor del equipo recomienda la operación discontinua del módulo de incineración. Tanto la puesta en marcha como la parada del equipo tienen una duración de alrededor de media hora cada una. Y se requiere una parada por mantenimiento de 1 día cada 45 días²⁹.

3.2.4 Tratamientos de rípios de perforación en México Entre los distintos tratamientos de rípios utilizados en México, cabe destacar el uso de proceso térmico, solo si hay uso de rípios con lodo de perforación base aceite, no obstante, el tratamiento químico y biológico tiene gran auge.

²⁹ ISMIRLIAN, Paula. Op. cit., p 41.

Tabla 3. Tecnologías usadas en México para los recortes de perforación.

TECNOLOGÍAS	TIPO DE PROCESO
a) Tratamiento “in situ” u “onsite” de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación impregnados con fluido base agua y base aceite) mediante centrifugación y oxidación química.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico • Proceso químico
b) Tratamiento de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base aceite) por medio de la Tecnología de desestabilización fisicoquímica.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico • Proceso químico
c) Tratamiento de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base agua y base aceite) por medio de la técnica de estabilización química.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico
d) Tratamiento de residuos de manejo fluidos base agua y base aceite) por medio de la técnica de oxidación química.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico
e) Tratamiento de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación impregnados con fluidos base agua y base aceite, tierra y materiales semejantes a suelo contaminados y/o impregnados por lodos y recortes de perforación con fluidos base agua y base aceite) mediante el proceso de degradación de contaminantes mediante las fases física-oxidación, química-degradación bioquímica, aplicada en tres modalidades de tratamiento #Ex Situ”, “On Site” e “In Situ”.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico • Proceso químico • Proceso biológico
f) Tratamiento “in situ” u “onsite” de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación impregnados con fluido base agua y base aceite) mediante la degradación bioquímica	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico • Proceso biológico
g) Tratamiento ex situ de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base agua, base aceite, lodos provenientes del tratamiento de aguas	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico • Proceso biológico

TECNOLOGÍAS	TIPO DE PROCESO
aceitosas y sanitarias) mediante la biorremediación y lavado de suelos.	
h) Tratamiento residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base agua) mediante métodos físico, químico y biológico.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico • Proceso químico • Proceso biológico
i) Tratamiento de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación impregnados con fluido base aceite) por medio del proceso de desorción química (oxidación química y destilación por arrastre de vapor)	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico • Proceso térmico
j) Tratamiento de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base agua) por medio de la técnica de lavado.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico
k) Tratamiento ex situ de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación impregnados con fluido base agua) promedio del proceso de deshidratación.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico
l) Tratamiento ex situ de residuos de manejo especial (recortes de perforación impregnados con fluidos base agua y base aceite, lodos sedimentados resultantes del tratamiento de aguas residuales sanitarias y lodos sedimentados del tratamiento de aguas industriales aceitosas) mediante la tecnología de lavado de suelos y degradación biológica.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso físico • Proceso biológico
m) Tratamiento de residuos de manejo especial in situ y ex situ (lodos y recortes de perforación impregnados con fluidos base agua, base aceite y suelos contaminados con estos residuos) por medio de la técnica de bioestimulación/degradación.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico
n) Tratamiento ex situ e in situ de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación con fluidos base agua y base aceite), suelos contaminados con recortes base agua y base aceite.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico

TECNOLOGÍAS	TIPO DE PROCESO
o) Tratamiento de residuos de manejo especial (lodos y recortes de perforación impregnados con fluido base agua) por medio de las técnicas de oxidación química y desmenuzamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso químico

Fuente: MENDEZ VILLEGAS, Rene; GOMEZ RIVERA, Petrona; LEDESMA HERRERA, Juan y CENICEROS GONZALEZ, Claudia. Manejo integral de los recortes de perforación de la industria petrolera en Tabasco. En Tabasco. Diciembre, 2013. Vol. 2, nº 4, p 10.

3.3 DISPOSICIÓN FINAL

La disposición final de los residuos de perforación es el enterramiento o land farming de los ripios, ya previamente tratado y neutralizado³⁰, la cual se establecerá en el plan de gestión ambiental, los entes regulatorios ambientalmente serán los que, en primera instancia permitirán o seleccionaran el sitio de disposición final.

³⁰ BUITRAGO, Cesar y CÁRDENAS, Marco. Guía básica ambiental para la perforación de pozos. 1 Ed. Bogotá: Calidad del Aire Cía Ltda. 1999. p 159.

4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL AL USO TRADICIONAL DE RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA

Ya entendido el proceso general de los recortes de perforación, se puede denotar, con gran exactitud la importancia del manejo de los mismos, dado que puede representar un 77.5% de desechos en un pozo exploratorio³¹ como lo muestra la tabla 4.

Tabla 4. Relación porcentual de los distintos desechos en un pozo exploratorio.

Tipo de residuo	Cantidad (Kg)	Porcentaje (%)
Lavaza	2155	3
Cartón, plásticos y bolsas.	1345	2
Madera	866	1
Material orgánico	3014	4
Icopor y guantes	300	0.5
(No reciclable / No biodegradable)	1344	2
Lodo de perforación	7270	10
Cortes de perforación	55150	77.5

Fuente: GOMEZ ROMO, Juan y GONZALEZ RIVERA, Jhon. Formulación de plan de gestión integral de residuo sólido para los proyectos de perforación exploratoria, sísmica y explotación de hidrocarburo desarrollados por petróleo del norte S.A. (departamento del Cesar). Trabajo de grado profesional en ingeniero sanitario y ambiental. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2009. p 63.

Razón por la cual es de suma importancia entender los aspectos negativos que estos podrían generar. El estudio de impacto ambiental se va a utilizar mediante el análisis del ciclo de vida (ACV).

³¹ GOMEZ ROMO, Juan y GONZALEZ RIVERA, Jhon. Formulación de plan de gestión integral de residuo sólido para los proyectos de perforación exploratoria, sísmica y explotación de hidrocarburo desarrollados por petróleo del norte S.A. (departamento del Cesar). Trabajo de grado profesional en ingeniero sanitario y ambiental. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2009. p 63.

4.1 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta de gestión medioambiental cuya finalidad es llegar a un análisis de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, del impacto que se origina por un proceso o producto durante el ciclo de vida completo (hasta que finalice la actividad)³² el cual consta de 4 etapas fundamentales:

- Etapa 1. Objetivo y alcance del ACV. Cabe destacar que son las razones por la cual se debe exponer el desarrollo del estudio de impacto ambiental y el alcance es la población a la que se encuentra dirigida.
- Etapa 2. análisis de inventario del ciclo de vida. En esta etapa se identifica y cuantifica las entradas (consumo de recursos) y salida (emisión al aire, suelo, agua y generación de residuos) del sistema del producto o servicio.
- Etapa 3. Evaluación del impacto del ciclo de vida. En esta etapa se cuantifica la sección anterior, por lo cual se genera una escala numérica que permite observar cómo impacta: grave, leve, etc.
- Etapa 4. Interpretación: Es la parte final del Análisis del Ciclo de Vida y también en donde se genera la opinión de manera objetiva sobre los impactos que se generan, permitiendo tomar acciones pertinentes (alcance de los mismos, opiniones, conclusiones, etc.).³³

4.2 OBJETIVO Y ALCANCE DEL ACV

- Objetivo del estudio: Identificar el impacto que generan los recortes de perforación mediante un método cuantitativo con el fin de obtener un criterio para una alternativa de uso.

³² HAYA LEIVA, Esperanza. Análisis del ciclo de vida. 1 Ed. Madrid: Creative Commons. 2016. p 4.

³³ *Ibíd.*, p 18.

- Alcance del estudio: El estudio implica solo enfocarse en la parte de disposición final de los recortes de perforación, por lo cual se debe obviar las demás actividades.

4.3 ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA

En el inventario del ciclo de vida, para la perforación se puede construir siguiendo estas fases o actividades:

1. Movilización de máquinas, equipos e insumos.
2. Vías de acceso.
3. Remoción de la cobertura vegetal.
4. Zona de fuente y botadero.
5. Explanación.
6. Montaje de equipos de perforación.
7. Perforación.
8. Depósito de cortes de perforación.
9. Pruebas de producción.
10. Relaciones con la comunidad.
11. Uso de gran cantidad de aditivos.
12. Químicos contaminantes³⁴.

De las cuales se realizará gran importancia a la fase de perforación, químicos contaminantes (tratamiento de ripios) y depósito de cortes de perforación.

³⁴ CALAO RUIZ, Jorge. Caracterización ambiental de la industria petrolera: tecnología disponible para la prevención y mitigación de impactos ambientales. Trabajo de grado profesional en Ingeniería de petróleo. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2007. p 18-19.

4.3.1 Medio en donde se realiza el estudio de impacto ambiental Un estudio de impacto ambiental se realiza en tres medios: biótico, abiótico y socioeconómico, sus recursos e impactos generados.

Se utilizó la secuencia ACTIVIDAD – EFECTO – IMPACTO, para identificar los impactos ambientales asociados a la actividad de perforación, manejo y disposición de los recortes de perforación, para hallar el índice de importancia ambiental (IIA) se utiliza los siguientes criterios:

1. Carácter (Ca): es la definición del sentido producido por la acción pertinente sobre el medio que se actúa (impacto). El impacto puede ser tanto positivo o negativo, y se denota con un más (+) o menos (-) respectivamente.
2. Efecto (EF): Es la relación causa efecto. Hace referencia a la forma como se genera el impacto, estos pueden ser directa o de forma indirecta (se produce a causa del impacto de forma directa), estos pueden enumerarse de 1 (indirecta) o 4 (de forma directa).
3. Acumulación (Ac): hace referencia a la progresión del impacto, pues, al ser constante, genera un cúmulo que tiende a ser más grave a medida que pasa el tiempo, razón por la cual es más grave a un futuro. Estos pueden ser simple o acumulativo.
 - Simple: Es el caso en el cual el impacto que se genera y la acción que lo propicia no se ven afectada en gran medida al pasar el tiempo, razón por la cual no repercute en un futuro. El valor asignado es 1.
 - Acumulativo: Es la situación en la cual, a medida que se genera el impacto y la acción que lo repercute se agrava a con el tiempo. El valor asignado es de 4.
4. Extensión (Ex): Se refiere a la distribución espacial que se encuentra en el área de influencia del impacto ambiental. De acuerdo a la cobertura, los impactos pueden ser puntuales, locales o regionales.

- Puntual: La calificación puntual con un valor de uno (1) se da siempre y cuando el impacto que se genere se encuentre dentro del área de influencia directa del proyecto; como es la ubicación de la locación y los derechos de vía de línea de Flujo (100 metros de ancho) y vía de acceso (200 metros), área de influencia directa la cual se identificara para cada proyecto. Tiene una valoración de 1.
 - Local: La calificación local con un puntaje de cuatro (4) se da cuando los impactos trascienden las áreas aledañas y territorio específico a la vía de acceso, locación línea de flujo, afectando los factores económicos, físicos y bióticos, sin llegar a abarcar la totalidad del área de influencia indirecta del estudio. Tiene una valoración de 4.
 - Regional: La calificación regional con un valor de ocho (8) puntos se da cuando los impactos generados por el proyecto sobrepasan los límites municipales y departamentales afectando los componentes sociales, físicos y bióticos. Tiene una valoración de 8.
5. Momento (Mo): hace referencia al tiempo en el cual el impacto se hace notar, en otras palabras, el tiempo que transcurre desde la acción que se genera hasta el efecto sobre el medio (impacto). El valor numérico se encuentra en la tabla 5.

Tabla 5. Momento.

Tiempo	Rango	Calificación
Inmediato	0-2 meses	4
Rápido	3-6 meses	3
Mediano	7-12 meses	2
Largo plazo	>1 año	1

Fuente: GONZALEZ, Luis y FLOREZ, Jhon. Problemáticas socio-ambientales debido al impacto que podría generar el uso del fracturamiento hidráulico de lutitas en san Martín, cesar. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017. p 99.

6. Persistencia (Pe): Hace referencia al periodo que dura el impacto y sus consecuencias, sin importar las acciones correctivas o de mitigación, su evaluación numérica se encuentra en la tabla 6.

Tabla 6. Persistencia.

Tiempo	Rango	Calificación
Permanente	>3 años	4
Media	1-3 años	3
Corta	3-12 meses	2
Fugaz	<3 meses	1

Fuente: GONZALEZ, Luis y FLOREZ, Jhon. Problemáticas socio-ambientales debido al impacto que podría generar el uso del fracturamiento hidráulico de lutitas en san Martín, cesar. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017.

7. Intensidad (I): Define el grado de destrucción y su dimensión es el cambio que se ha generado sobre un determinado recurso del ambiente

- **Crítico:** Este criterio de valoración con una calificación de doce (12) puntos se da cuando la importancia del impacto es muy significativa sobre los recursos naturales que son afectados por las intervenciones antrópicas durante el proyecto, provocando grandes daños irreversibles e irreparables como pérdida vegetación nativa, pérdida del patrimonio arqueológico, etc.

- **Muy alta:** Este criterio de valoración con una calificación de ocho (8) puntos se da cuando la importancia del impacto afecta los componentes sociales, físicos, bióticos de una manera relevante en la cual el efecto puede ser permanente generando altas alteraciones a la fauna y flora del área intervenida, donde se tendrán que implementar medidas de manejo de carácter muy estricto para lograr una recuperación a largo plazo.
 - **Alta:** Este criterio de valoración con una calificación de seis (6) puntos se da cuando el impacto generado por el proyecto puede persistir en un tiempo mayor de 1-3 años afectándolos componentes físicos, bióticos y socioeconómicos.
 - **Medio:** Este criterio de valoración con una calificación de cuatro (4) puntos se da cuando la importancia del impacto que afecta a los recursos naturales y sociales se puede recuperar de manera corta entre 3 a 23 meses con la implementación de medidas de manejo
 - **Bajo:** Este es el criterio con menor calificación, con un puntaje de uno (1) la cual se utiliza en los impactos que son poco significativos con los componentes físicos, bióticos y socioeconómicos, donde las medidas de manejo que se implementen provocaran una rápida recuperación sobre el impacto debido al nivel que este presenta.³⁵
8. Sinergia (Si): Este relaciona la generación de impactos sobre el mismo lugar, es decir, hay acumulación de impactos en un sitio determinado, este parámetro podemos verlo en la tabla 7 la cual es se califica de 1 a 4.

³⁵ GONZALEZ, Luis y FLOREZ, Jhon. problemáticas socio-ambientales debido al impacto que podría generar el uso del fracturamiento hidráulico de lutitas en san Martín, cesar. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017. p 100.

Tabla 7. Sinergia.

Rango	Calificación
Muy sinérgico	4
Sinérgico	2
No sinérgico	1

Fuente: GONZALEZ, Luis y FLOREZ, Jhon. Problemáticas socio-ambientales debido al impacto que podría generar el uso del fracturamiento hidráulico de lutitas en san Martín, cesar. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017.

9. Reversibilidad (Ra): Se refiere al tiempo que necesita un medio para recuperarse de uno o varios impactos al medio ambiente sin participación humana o de terceros, razón por la cual es capaz de asimilar lo. Su valor numérico se describe en la tabla 8.

Tabla 8. Reversibilidad.

Tiempo	Rango	Calificación
Irreversible	>5 años	4
Mediano plazo	3-5 años	3
Corto plazo	3-23 meses	2
Inmediato	<3 meses	1

Fuente: GONZALEZ, Luis y FLOREZ, Jhon. Problemáticas socio-ambientales debido al impacto que podría generar el uso del fracturamiento hidráulico de lutitas en san Martín, cesar. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017.

10. Periodicidad (Pr): Se refiere a la reiteración del efecto sobre el medio que se genera (impacto), o sea, es constante, ocasional o de manera nula. En la tabla 9 se observa su valor numérico dependiendo de un rango determinado.

Tabla 9. Periodicidad.

Rango	Calificación
Permanente	4
Frecuente	2
Discontinuo	1

Fuente: GONZALEZ, Luis y FLOREZ, Jhon. Problemáticas socio-ambientales debido al impacto que podría generar el uso del fracturamiento hidráulico de lutitas en san Martín, cesar. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017.

11. Recuperabilidad (Re): A diferencia de la reversibilidad, este hace referencia al tiempo que se genera con la participación humana para que un medio se genere de uno o más impactos realizados, como lo muestra la tabla 10 con su respectivo valor de calificación.

Tabla 10. Recuperabilidad.

Tiempo	Rango	Calificación
Irrecuperable	>11 años	8
Mitigable	4-10 años	4
Medio plazo	1-3 años	2
Recuperable de manera inmediata	<1 años	1

Fuente: GONZALEZ, Luis y FLOREZ, Jhon. Problemáticas socio-ambientales debido al impacto que podría generar el uso del fracturamiento hidráulico de lutitas en san Martín, cesar. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017.

Índice de Importancia Ambiental (I.I.A.): Es el resultado final que se obtiene al integrar las anteriores variables mediante la siguiente ecuación:

$$I.I.A. = Ca(3I + 2EX + EF + Ac + Mo + Pe + Si + Rs + Pr + Re)$$

Con base a ello, hay una gama de puntuación de 13 a 100, tanto positivo como negativo según la tabla 11.³⁶

Tabla 11. Índice de impacto ambiental (I.I.A.).

Rango	Calificación	Color
Carácter negativo		
Crítico	>75	Rojo
Severo	50-75	Naranja
Moderado	25-50	Amarillo
Irrelevante	<25	Verde
Carácter positivo		
Muy importante	>50	Púrpura
Importante	25-50	Gris
Poco importante	<25	Azul

Fuente: GONZALEZ, Luis y FLOREZ, Jhon. Problemáticas socio-ambientales debido al impacto que podría generar el uso del fracturamiento hidráulico de lutitas en san Martín, cesar. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017.

4.3.2 Identificación de impactos Para este caso solo se tiene en cuenta 3 procesos, perforación, tratamiento de ripios y disposición final de ripios.

Según el decreto 2041 del 2014, en el título 33 artículo 16, se debe generar un manual de estudios ambientales de proyectos y en dicho manual, se analizan, aspectos bióticos, aspectos biológicos y aspecto socioeconómico.

Los impactos ambientales identificados se toman a partir de:

- LOUSTAUNAU Mónica. Aspectos e impactos ambientales. [En línea]. 2014., p 6-7. Disponible en <https://www.fing.edu.uy/iq/cursos/proyectoindustrial/A&IA.pdf>.
- ACONCHA ABRIL, Irene. MAURICIO GARZÓN, Henry y ARÉVALO ARIAS, Juan. Formulación del estudio de impacto ambiental para el área de perforación

³⁶ CONESA, Vicente. Guía metódica para la evaluación del impacto ambiental. 4 Ed. México: Mundi prensa. 2003. p 29-41.

exploratoria Yaraguapo, municipio de trinidad, departamento del Casanare. [En línea]. Desconocido., p 13-14. Disponible en http://www.umng.edu.co/documents/10162/745277/V2N1_14.pdf.

- MANUAL de evaluación de estudios ambientales, del ministerio del medio ambiente de Colombia.

4.3.2.1 Perforación

En el proyecto se tiene en cuenta las siguientes sub-etapas.

- Instalación y funcionamiento de taladro.
- Funcionamiento campamento temporal.
- Captación y transporte de agua superficiales.
- Tratamiento y disposición de aguas residuales.
- Tratamiento y disposición de residuos sólidos.

Tabla 12. Impactos en perforación.

Medio	Elemento ambiental	Impacto	A	B	C	D	E
ABIÓTICO	Geológico	Pérdida de la capacidad agrológica del suelo					
		Calidad del suelo y subsuelo					
	Geomorfológico	Estabilidad de terrenos					
		Procesos erosivos					
	Paisaje	Cambio en la percepción visual					
		Intrusión visual contaminante					
	Suelo y uso de tierras	Cambio en las propiedades fisicoquímicas					
		Cambio del uso y aprovechamiento					
	Hidrología	Cambio en las propiedades fisicoquímicas del agua					
		Relevancia en la cantidad de agua captada					
		Contaminación de agua por vertimientos					

Medio	Elemento ambiental	Impacto	A	B	C	D	E
	Hidrogeología	Intrusión y/o modificación de las propiedades fisicoquímica de las aguas subterráneas					
	Geotecnia	Modificación y/o destrucción del subsuelo					
	Atmosfera	Emisión de residuos contaminantes al aire					
		Emisión de sonidos contaminantes					
BIÓTICO	Ecosistema terrestre	Alteración de la fauna					
		Alteración de la flora					
	Ecosistema acuático	Alteración de vida acuática					
SOCIO-ECONÓMICO	Participación y socialización de la comunidad	Informe de los impactos ambientales que genera a la comunidad.					
		Participación de la comunidad en decisiones ambientales importantes					
SOCIO-ECONÓMICO	Componente demográfico	Alteración del flujo de personas a la comunidad					
	Componente espacial	Alteraciones de las vías de acceso					
		Alteración en los servicios públicos					
		Alteración en vivienda					
		Servicio en la salud					
		Alteración en parques e infraestructuras					
	Componente económico y cultural	Alteración en la economía local					
		Alteración y participación de los grupos étnicos					

Medio	Elemento ambiental	Impacto	A	B	C	D	E
		Alteración en las creencias religiosas					
		Alteración de las costumbres autóctonas					
	Componente político y arqueológico	Alteración del plan de desarrollo territorial					
		Deterioro o pérdida del patrimonio arqueológico					

Fuente: GONZALEZ, Luis y FLOREZ, Jhon. Problemáticas socio-ambientales debido al impacto que podría generar el uso del fracturamiento hidráulico de lutitas en san Martín, cesar. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017.

4.3.2.2 Tratamiento de rípios Se asume el uso de químicos para el tratamiento de rípios, consta de las siguientes sub-etapas.

- A. Construcción de la piscina.
- B. Disposición de rípios en la piscina.
- C. Tratamiento químico de rípios.

Tabla 13. Impactos en tratamiento de rípios.

Medio	Elemento ambiental	Impacto	A	B	C
ABIÓTICO	Geológico	Pérdida de la capacidad agrológica del suelo			
		Calidad del suelo y subsuelo			
	Geomorfológico	Estabilidad de terrenos			
		Procesos erosivos			
	Paisaje	Cambio en la percepción visual			
		Intrusión visual contaminante			
	Suelo y uso de tierras	Cambio en las propiedades fisicoquímicas			
		Cambio del uso y aprovechamiento			
	Hidrología	Cambio en las propiedades fisicoquímicas del agua			

Medio	Elemento ambiental	Impacto	A	B	C
		Relevancia en la cantidad de agua captada			
		Contaminación de agua por vertimientos			
	Hidrogeología	Intrusión y/o modificación de las propiedades fisicoquímica de las aguas subterráneas			
	Geotecnia	Modificación y/o destrucción del subsuelo			
	Atmosfera	Emisión de residuos contaminantes al aire			
		Emisión de sonidos contaminantes			
BIÓTICO	Ecosistema terrestre	Alteración de la fauna			
		Alteración de la flora			
	Ecosistema acuático	Alteración de vida acuática			

Fuente: Autoría propia.

Dado las condiciones propias de esta sub-etapa mencionadas y categorizadas en la tabla 13, los aspectos socio-económicos no se encuentran entre los impactos.

4.3.2.3 Disposición final de rípios Se encuentran las siguientes sub-etapas.

- A. Tiempo de espera en los rípios al aire libre.
- B. Enterramiento de rípios.

Tabla 14. Impactos en depositación final de rípios.

Medio	Elemento ambiental	Impacto	A	B
ABIÓTICO	Geológico	Pérdida de la capacidad agrológica del suelo		
		Calidad del suelo y subsuelo		

Medio	Elemento ambiental	Impacto	A	B
	Geomorfológico	Estabilidad de terrenos		
		Procesos erosivos		
	Paisaje	Cambio en la percepción visual		
		Intrusión visual contaminante		
	Suelo y uso de tierras	Cambio en las propiedades fisicoquímicas		
Cambio del uso y aprovechamiento				
ABIÓTICO	Hidrología	Cambio en las propiedades fisicoquímicas del agua		
		Relevancia en la cantidad de agua captada		
		Contaminación de agua por vertimientos		
	Hidrogeología	Intrusión y/o modificación de las propiedades fisicoquímica de las aguas subterráneas		
	Geotecnia	Modificación y/o destrucción del subsuelo		
	Atmosfera	Emisión de residuos contaminantes al aire		
Emisión de sonidos contaminantes				
BIÓTICO	Ecosistema terrestre	Alteración de la fauna		
		Alteración de la flora		
	Ecosistema acuático	Alteración de vida acuática		
SOCIO-ECONÓMICO	Participación y socialización de la comunidad	Informe de los impactos ambientales que genera a la comunidad.		
		Participación de la comunidad en decisiones ambientales importantes		
	Componente democrático	Alteración del flujo de personas a la comunidad		
	Componente espacial	Alteraciones de las vías de acceso		
		Alteración en los servicios públicos		
		Alteración en vivienda		
		servicio en la salud		

Medio	Elemento ambiental	Impacto	A	B
	Componente económico y cultural	Alteración en parques e infraestructuras		
		Alteración en la economía local		
		Alteración y participación de los grupos étnicos		
		Alteración en las creencias religiosas		
	Componente político y arqueológico	Alteración de las costumbres autóctonas		
		Alteración del plan de desarrollo territorial		
		Deterioro o pérdida del patrimonio arqueológico		

Fuente: Autoría propia.

El color rojo en todos los parámetros de la tabla 12,13 y 14 representa los impactos negativos.

4.3.3 Índice de impacto ambiental (I.I.A) El índice de impacto ambiental se define por la siguiente ecuación:

$$I.I.A. = Ca(3I + 2EX + EF + Ac + Mo + Pe + Si + Rs + Pr + Re)$$

Lo que constituye es evaluar los impactos de cada sub-fase en cada proceso pertinente (perforación, tratamiento de ripios y disposición final de ripios).

Tabla 15. (I.I.A.) En perforación.

Etapa	Medio	Elemento ambiental	Impacto	CA	EF	AC	EX	Mo	Pe	I	Si	Rs	Pr	Re	I.I.A.	RANGO	
CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO AGUA SUP.	Abiótico	Geomorfológico	Procesos erosivos	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	Irrelevante	
		Hidrología	Relevancia en la cantidad de agua captada	-1	1	4	4	4	2	4	1	3	2	2	-39	Moderado	
	Biótico	Ecosistema terrestre	Alteración de la fauna	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	Irrelevante	
			Alteración de la flora	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	Irrelevante	
		Ecosistema acuático	Alteración de la vida acuática	-1	1	1	4	4	2	4	1	3	2	2	-36	Moderado	
	Socio-económico	Participación y socialización	Informe de los impactos ambientales que genera a la comunidad.	-1	1	1	4	4	1	1	1	3	2	1	-25	Moderado	
			Participación de la comunidad en decisiones ambientales importantes	-1	1	1	4	4	1	1	1	2	2	1	-24	Irrelevante	
		C. Espacial	Alteración en los servicios públicos	-1	1	4	4	4	2	4	1	2	1	2	-37	Moderado	
	TRAT. AGUAS RESIDUALES	Abiótico	Hidrología	Cambio en las propiedades fisicoquímicas del agua	-1	1	1	1	4	2	6	1	3	2	3	-37	Moderado
				Contaminación de agua por vertimientos	-1	1	4	4	3	3	6	1	4	2	3	-47	Moderado

Etapa	Medio	Elemento ambiental	Impacto	CA	EF	AC	EX	Mo	Pe	I	Si	Rs	Pr	Re	I.I.A.	RANGO
		Atmosfera	Emisión de sonidos contaminantes	-1	1	1	1	4	1	1	1	1	2	1	-17	Irrelevante
	Biótico	Ecosistema terrestre	Alteración de la fauna	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	-14	Irrelevante
			Alteración de la flora	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	-14	Irrelevante
TRAT. AGUAS RESIDUALES	Biótico	Ecosistema acuático	Alteración de vida acuática	-1	4	1	1	3	2	4	1	2	1	2	-30	Moderado
	Socio - económico	Participación y socialización	Informe de los impactos ambientales que genera a la comunidad.	-1	1	1	4	3	1	1	1	2	2	2	-24	Irrelevante
			Participación de la comunidad en decisiones ambientales importantes	-1	1	1	4	4	1	1	1	1	2	2	-24	Irrelevante
INSTALACION Y FUNCIONAMIENTO...	Abiótico	Geomorfológico	estabilidad de terrenos	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	Irrelevante
			Procesos erosivos	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	Irrelevante
		Paisaje	Cambio en la percepción visual	-1	4	1	1	1	2	4	1	1	1	1	-26	Moderado
			Intrusión visual contaminante	-1	1	4	1	4	2	1	1	1	1	1	-20	Irrelevante
		Hidrogeología	Intrusión y/o modificación de las propiedades fisicoquímica de las aguas subterráneas	-1	1	1	2	4	2	1	1	1	1	1	-19	Irrelevante

Etapa	Medio	Elemento ambiental	Impacto	CA	EF	AC	EX	Mo	Pe	I	Si	Rs	Pr	Re	I.I.A.	RANGO
INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO	Abiótico	Geotecnia	Modificación y/o destrucción del subsuelo	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	Irrelevante
		Atmosfera	Emisión de sonidos contaminantes	-1	4	1	2	1	1	4	1	1	1	1	1	-27
	Socio Económico	Económico y cultural	Alteración en la economía local	-1	4	1	2	1	2	4	1	1	2	1	-29	Moderado
CAMPAMENTO TEMPORAL	Abiótico	Paisaje	Cambio en la percepción visual	-1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	-15	Irrelevante
			Intrusión visual contaminante	-1	1	4	1	1	2	1	1	1	1	1	1	-17
	Suelo y uso de tierras	Cambio en las propiedades fisicoquímica	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	Irrelevante
		Cambio del uso y aprovechamiento	-1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	-14	Irrelevante
	Atmosfera	Emisión de residuos contaminantes al aire	-1	4	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	-20	Irrelevante
	Socio Económico	Económico y cultural	Alteración en la economía local	-1	4	1	2	1	2	4	1	1	2	2	-30	Moderado

Etapa	Medio	Elemento ambiental	Impacto	CA	EF	AC	EX	Mo	Pe	I	Si	Rs	Pr	Re	I.I.A.	RANGO
TRAT. Y DISP- DE RECIDUOS	Abiótico	Atmosfera	Emisión de sonidos contaminantes	-1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	-17	Irrelevante
	Socio Económico	Participación y socialización	Informe de los impactos ambientales que genera a la comunidad.	-1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	2	-19	Irrelevante
			Participación de la comunidad en decisiones ambientales importantes	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	-17

Fuente: GONZALEZ, Luis y FLOREZ, Jhon. Problemáticas socio-ambientales debido al impacto que podría generar el uso del fracturamiento hidráulico de lutitas en san Martín, cesar. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017. p. 119, modificado por autores.

Tabla 16. (I.I.A.) En tratamiento de ripsos.

Etapa	Medio	Elemento ambiental	Impacto	CA	EF	AC	EX	Mo	Pe	I	Si	Rs	Pr	Re	I.I.A.	RANGO
A	Abiótico	Geomorfológico	Procesos erosivos	-1	1	4	1	1	1	1	1	1	2	2	-18	Irrelevante
		Paisaje	Cambio en la percepción visual	-1	4	4	8	3	1	4	1	2	2	3	-48	Moderado

Etapa	Medio	Elemento ambiental	Impacto	CA	EF	Ac	EX	Mo	Pe	I	Si	Rs	Pr	Re	I.I.A.	RANGO
B	ABIOTICO	Geológico	Pérdida de la capacidad agrológica del suelo	-1	4	4	8	1	1	8	1	1	2	2	-56	Severo
		Suelo y uso de tierras	Cambio del uso y aprovechamiento	-1	4	4	8	1	2	4	1	1	2	3	-46	Moderado
		Hidrología	Intrusión y/o modificación de las propiedades fisicoquímicas de las aguas subterráneas	-1	4	1	1	3	1	4	1	2	2	1	-29	Moderado
		Geotecnia	Modificación y/o destrucción del subsuelo	-1	4	4	8	3	2	4	4	2	2	3	-52	Severo
C	ABIÓTICO	Geológico	Calidad del suelo	-1	1	4	4	4	2	4	1	2	1	2	-37	Moderado
		Suelo y uso de tierras	Cambio en las propiedades fisicoquímicas	-1	4	4	8	4	2	4	4	3	2	3	-54	Severo
			cambio del uso y aprovechamiento	-1	4	4	8	4	3	4	4	4	2	3	-56	Severo
		Hidrología	Cambio en las propiedades fisicoquímicas del agua	-1	1	4	2	2	2	1	2	2	1	1	-22	Irrelevante
		Hidrogeología	Intrusión y/o modificación de las propiedades	-1	4	4	8	4	2	2	4	2	1	4	-47	Moderado

Etapa	Medio	Elemento ambiental	Impacto	CA	EF	Ac	EX	Mo	Pe	I	Si	Rs	Pr	Re	I.I.A.	RANGO
			fisicoquímica de las aguas subterráneas													
		Geotecnia	Modificación y/o destrucción del subsuelo	-1	4	4	8	4	2	4	2	4	1	4	-53	Severo
		Atmosfera	Emisión de residuos contaminantes al aire	-1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	-17	Irrelevante

Fuente: Autoría propia.

Tabla 17. (I.I.A.) En enterramiento de rípios.

Etapa	Medio	Elemento ambiental	Impacto	CA	EF	Ac	EX	Mo	Pe	I	Si	Rs	Pr	Re	I.I.A.	RANGO	
A	Abiótico	Geológico	Pérdida de la capacidad agrológica del suelo	-1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	4	-22	Irrelevante	
			Calidad del suelo	-1	2	4	2	1	2	2	2	1	2	3	-27	Moderado	
B	Abiótico	Geológico	Pérdida de la capacidad agrológica del suelo	-1	4	4	8	1	1	8	1	1	2	2	-56	Severo	
			Geomorfológico	Cambio del uso y aprovechamiento	-1	4	4	8	1	2	4	2	1	4	3	-49	Moderado
			Paisaje	Cambio en la percepción visual	-1	4	1	2	1	1	4	1	2	2	1	-29	Moderado
			Suelo y uso de tierras	Cambio en las propiedades fisicoquímica	-1	4	4	8	3	3	4	4	1	2	3	-52	Severo

Etapa	Medio	Elemento ambiental	Impacto	CA	EF	AC	EX	Mo	Pe	I	Si	Rs	Pr	Re	I.I.A.	RANGO
			Cambio del uso y aprovechamiento	-1	1	4	4	4	2	4	1	4	1	2	-39	Moderado
		Hidrología	Intrusión y/o modificación de las propiedades fisicoquímicas de las aguas subterráneas	-1	4	4	8	4	2	4	4	3	2	3	-54	Severo
		Geotecnia	Modificación y/o destrucción del subsuelo	-1	4	4	8	4	3	4	4	4	2	3	-56	Severo
		Hidrología	Cambio en las propiedades fisicoquímicas del agua	-1	4	4	2	2	2	1	2	2	1	4	-28	Irrelevante
	Socio-económico	Participación ciudadana	Informe de los impactos ambientales que genera a la comunidad.	-1	4	4	8	2	2	2	4	4	1	4	-47	Moderado
		Componente espacial	Alteración en vivienda	-1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	-18	Severo

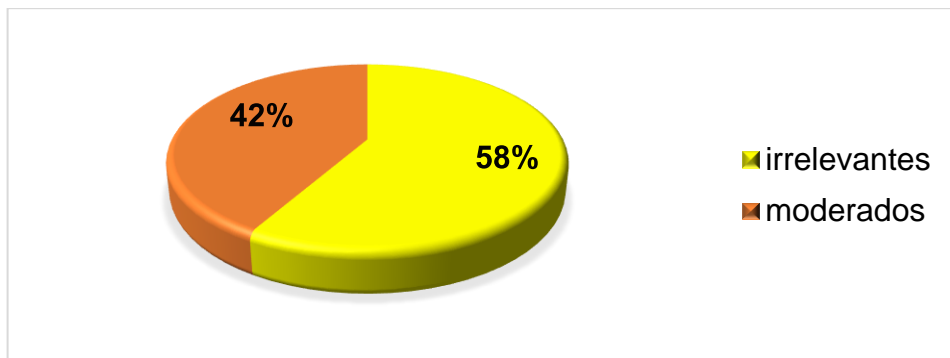
Fuente: Autoría propia.

4.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para esto se tendrán en cuenta los valores cuantificados de los mismos.

4.4.1 Perforación

Figura 11. Impactos en perforación.



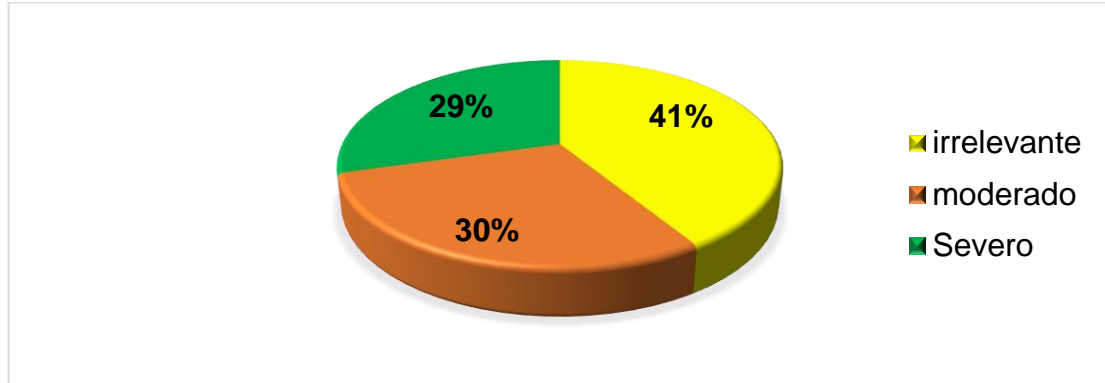
Fuente: Autoría propia

En general podemos decir que lo propuesto en la figura 11, para el proceso de perforación, los impactos generados son pocos, pues es un proceso tan bien detallado y estudiado que se tiene amplio conocimiento en el mismo 42% de los impactos son moderados y el restante 58% son irrelevantes.

Es importante tener cuidado con el volumen de captación de agua, pues es la sección que mayor impacto recibe.

4.4.2 Tratamiento de ripsos

Figura 12. Tratamiento de ripsos

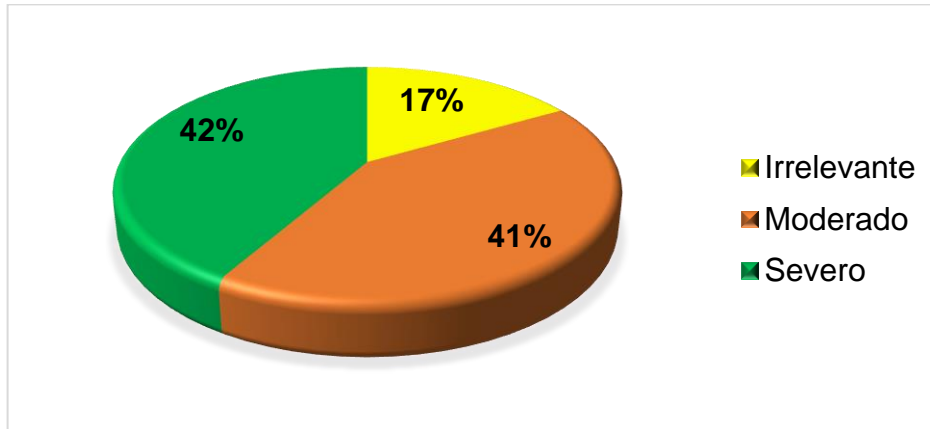


Fuente: Autoría propia

En la figura 12, para el tratamiento de ripsos, los daños severos (29% en total) se le debe tener mucho cuidado, por el uso de componentes químicos para su tratamiento generan reacciones negativas en el suelo, y a pesar de ser una piscina exclusiva para ripsos, no deja de generarse canales de filtración, que puede generar repercusión en el subsuelo, 30% son moderados y 41% irrelevante, siempre teniendo en cuenta el bienestar del suelo, lugar donde se general los impactos más graves.

4.4.3 Enterramiento de ripios

Figura 13. Enterramiento de ripios.



Fuente: Autoría propia

Dado el proceso de los químicos y algunos compuestos tóxicos por el uso del lodo de perforación y crudo que se encuentre en pozo, con el transcurrir del tiempo, se puede generar impactos en el suelo y subsuelo, razón por la cual los impactos severos en esta sección son del 42% como se ilustra en la figura 13.

Una razón para cambiar de disposición final de ripios (a parte del porcentaje en masa que representa, cerca del 75% por pozo) es el hecho que puede generar impactos graves al medio ambiente, defendiendo la postura de un uso alternativo de los mismos.

Dado su gran cantidad de ripios, dificulta su secado, lo que genera impactos graves en el lugar de disposición³⁷.

³⁷ CHIAPPORI, Lucas. FOLLIS, Evelyn, KOCINA, Sergio y LUNA, Rubén. Utilización de recortes de perforación en la construcción de locaciones. [En línea]. 2013., p 1. Disponible en <http://www.petrotecnica.com.ar/diciembre13/Utilizacion.pdf>.

5. USO ALTERNATIVO A LOS RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA

Entre los usos alternativos, está la re-inyección a pozo³⁸, construcción, fertilizante³⁹ y material de relleno⁴⁰

5.1 RE-INYECCIÓN A POZOS

Este proceso consiste en reinyectar el ripio de perforación. El proceso de reinyección consta de varias etapas: separación de los recortes (reducir al máximo su contenido de lodo de perforación), adición de agua y viscosificante (para convertirlo en lechada) y la inyección (tanto por el anular como el tubular) de la lechada.

- Separación de ripios: En esta etapa se busca recolectar los ripios, separándolo del lodo de perforación, por lo cual se logra obtener con muy poco lixiviado.
- Adición de agua y viscosificante: Con esto se busca lograr una lechada y propiedades que permitan el óptimo comportamiento del mismo.
- Inyección de ripios: Se busca fracturar la formación presente, para ello es de suma importancia conocer la formación y presión a la cual se espera realizar la inyección.

³⁸ DESCONOCIDO. Niglintgak Field development. Drill cuttings management, disposal option and selected disposal method. [En línea]. 2003., p 6. Disponible en <https://apps.neb-one.gc.ca/REGDOCS/File/Download/347039>.

³⁹ SMITH, Mike. MANNING, Anne y LANG, Marianne. Research on the re-use drill cuttings onshore. 1 Ed. Aberdeen: Cordah research limited. 1999. p 6.

⁴⁰ CHIAPPORI, Lucas. FOLLIS, Evelyn, KOCINA, Sergio y LUNA, Rubén. Op. cit., p 2.

5.1.1 Parámetros involucrados en la reinyección de rípios de perforación Los parámetros a tener en cuenta para la reinyección de rípios, se deben analizar a profundidad, para disponer de las herramientas básicas en su funcionamiento.

5.1.1.1 Diseño de equipo de superficie Es de importancia el despliegue de equipos en superficie para las operaciones de reinyección, pues esto involucra el manejo de herramientas y la disposición de los mismos.

5.1.1.2 Concentración de sólidos El porcentaje de sólidos no debe ser superior al 20 % (v/v), para evitar la disposición segura e ininterrumpida de la reinyección.

5.1.1.3 Condiciones reológicas de la lechada En esta parte, es muy importante llegar a la viscosidad requerida para su reinyección, pues los sólidos disueltos pueden generar obstrucción del sistema.

5.1.1.4 Clasificación de las partículas según su tamaño El tamaño de partículas juega un papel importante, pues si estas poseen un gran diámetro, podría hacer ineficaz el control de las condiciones reológicas, generando asentamiento de sólidos.

5.1.1.5 Otros aditivos Es importante no solo tener las propiedades reológicas, sino control de corrosión, de organismos (biocidas) y regulación del oxígeno en la mezcla (secuestrante de oxígeno).

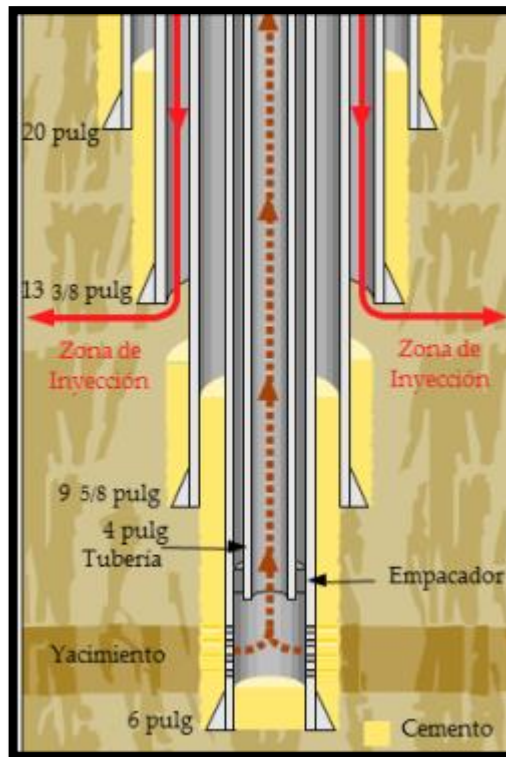
5.1.1.6 Especificaciones de cabeza de pozo Debido a la alta presión con la cual se inyecta la lechada, se debe tener en cuenta si los equipos en superficie pueden soportarlo, de lo contrario, se podría generar un mal uso de los mismos, propiciando problemas asociados.

5.1.1.7 Evaluación de estallido tubular Son los límites máximos para evitar que la tubería estalle.

5.1.1.8 Evaluación del desgaste por erosión Por el flujo de fluido, además de ser multifásico, propicia problemas de oxidación, generando estallido de tubería (en puntos críticos), escape de la lechada, entre otros.

5.1.2 Sistema de reinyección por el anular Este sistema de reinyección consiste en el depósito de ripios de perforación por el anular, siguiendo los parámetros mencionados anteriormente, como lo ilustra la figura 14:

Figura 14. Reinyección de ripios por el anular.



Fuente: LIZARAZO, Sarmiento y LEAL, Christian. Estudio para la implementación de reinyección de cortes durante la perforación de pozos. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011, p 77.

5.1.2.1 Ventajas y desventajas de la reinyección por el anular

Tabla 18. Ventajas y desventajas de la reinyección por el anular.

Ventaja	Desventaja
Realización de operaciones de perforación simultanea	Solo está disponible a parte de la segunda sección
Realización de producción simultanea	Es restringido el uso del casing.
Permite eliminar el desecho de perforación en el mismo pozo	Aumenta el desgaste del casing por fricción.
Es rentable a corta duración	El casing es pequeño, por lo cual restringe su volumen

Fuente: LIZARAZO, Sarmiento y LEAL, Christian. Estudio para la implementación de reinyección de cortes durante la perforación de pozos. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011.

5.1.3 Sistema de reinyección por el tubular En este caso se puede realizar construyendo un pozo para ello, uno dedicado (solo cuando el pozo ha finalizado su vida útil), o uno redundante (se perfora un pozo exclusivo para la inyección de la lechada).

5.1.3.1 Ventajas y desventajas de inyección por el tubular Para esto se tiene en cuenta el pozo redundante o pozo dedicado.

Tabla 19. Ventajas y desventajas de inyección en un pozo redundante.

Ventajas	Desventajas
No hay límite de volumen a disponer	No hay comunicación entre la tubería productora a la formación receptora.
El pozo empleado puede convertirse en un centro de acopio para otros pozos	Problemas de corrosión y asentamiento de partículas en el tope instalado.
Acceso a una formación objetivo específica	Viabile para grandes cantidades de ripios producido
Tiene zonas múltiples de disposición de cortes	Valores elevados en la implementación del método

Ventajas	Desventajas
Fácil limpieza en fondo de pozo	En pozos abandonados, la configuración del completamiento es la que posee el pozo y no la que se quiera realizar

Fuente: LIZARAZO, Sarmiento y LEAL, Christian. Estudio para la implementación de reinyección de cortes durante la perforación de pozos. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p 85

5.1.4 Formaciones permitibles para la reinyección de rípios Las formaciones permitibles en general son las areniscas, arcillas y calizas.

TABLA 20. Formaciones aptas para la reinyección de rípios.

Tipo de roca	Reacciones
Arenisca	Puede considerarse contaminación por parte de la lechada
	Se espera un menor volumen de fractura
	Altos valores de "leak - off"
Arcillas	Admiten pequeños volúmenes de lechada
	Grandes potenciales requeridos para que crezcan fracturas
	Viajes largos de la fractura a través de los valores de "leak-off"
Caliza	Limitación por el alto estrés o esfuerzo sobre el terreno
	Los valores de "leak-off" proporciona el crecimiento de la fractura
	Pueden ser usadas como formaciones de almacenamiento de lechada

Fuente: LIZARAZO, Sarmiento y LEAL, Christian. Estudio para la implementación de reinyección de cortes durante la perforación de pozos. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011.

5.1.5 Características superficiales para el uso de reinyección de rípios de perforación Para la reinyección de rípios de perforación, se debe tener en cuenta un estudio geológico de la zona (lo cual es realizado en campos en etapas de tempranas a medias), un análisis económico (en comparación al sistema tradicional,

siendo el primero más rentable) y, de ser posible, pozos secos o abandonados en la zona⁴¹.

5.2 USO DE RIPIOS EN CONSTRUCCIÓN

En este caso, es muy importante aclarar el hecho que en la construcción de ladrillos con ripios de perforación base agua, es viable si el uso de estos se da en zonas con poca humedad⁴² (muros con baja humedad).

5.2.1 Construcción de ladrillos Las características fisicoquímicas y mecánicas de los ripios de perforación permitieron inferir en el uso de estos en la construcción de ladrillos⁴³, se utilizó los siguientes elementos:

1. Agregando arena de rio, la utilizada normalmente en construcción.
2. Agregar arena negra, proveniente de cualquier cantera.
3. Prensa mecánica para prensar la mezcla con el óptimo porcentaje de humedad (21 a 26.4%).
4. Un horno a alta temperatura, el cual es un sistema cerrado que es capaz de generar una temperatura de 1100 °C.

La construcción de los ladrillos tiene el siguiente procedimiento:

5.2.1.1 Diseño de ladrillo En esta parte se le adiciona o retira humedad hasta llegar al punto óptimo (21 a 26.4%), pues esta propiedad es directamente relacionada con la resistencia a la presión, agregación de arena y tierra (hallados de manera

⁴¹ LIZARAZO, Sarmiento y LEAL, Christian. Estudio para la implementación de reinyección de cortes durante la perforación de pozos. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011, p 210.

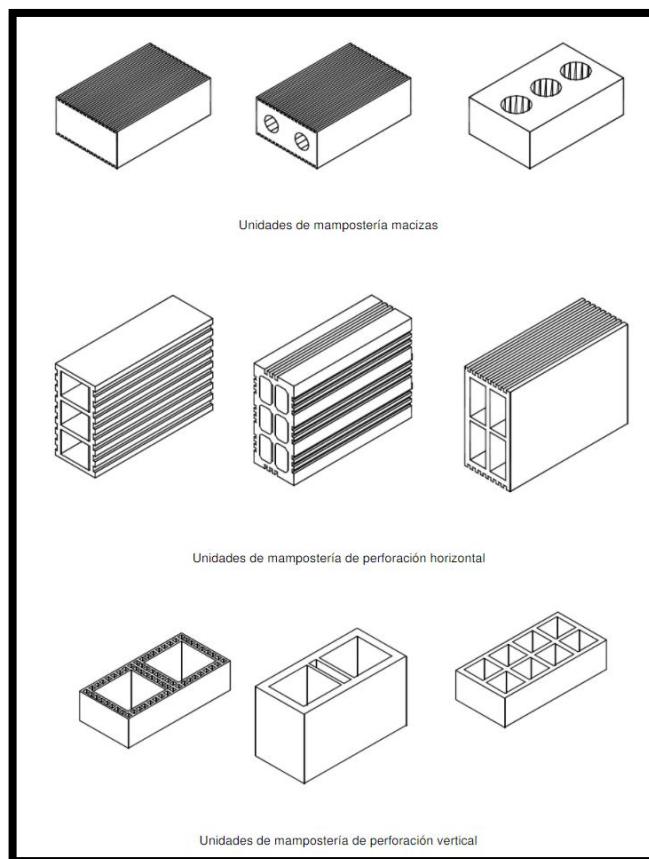
⁴² ROJAS, Sara. ATIAGA, Oliva y CARRERA, David. Reutilización de ripios de perforación base agua como material de construcción. En: Revista ciencia UNEMI. Abril, 2015. vol. 8, n° 13, p 1.

⁴³ *Ibíd.*, p 5.

experimental), compresión en un sistema cerrado (compresora), luego es llevado a un horno y por último se enfría a temperatura ambiente.

5.2.1.2 Resistencia de compresión Según la norma NTC 4205 de 2010, en su página 5, hay un límite mínimo de compresión para que los ladrillos sean aceptados comercialmente, además de otros parámetros, que es de 5 a 20 Kgf/cm²⁴⁴, según sea la forma del ladrillo (mampostería de perforación horizontal, mampostería de perforación vertical y mampostería maciza), una forma común de ladrillos con arcilla se muestra en la figura 16.

Figura 16. Forma del ladrillo.



⁴⁴ICONTEC. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. ladrillos y bloques cerámicos. NTC 4205, 2010. p 5.

Fuente: ICONTEC. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. NTC 4205, 2010. p 3.

Los ladrillos que se generen por ripios de perforación, deben cumplir los criterios de la norma NTC 4205, para el buen desarrollo de un campo comercial.

5.2.2 Construcción de bases viales Para la construcción de esto, se requiere los elementos que se mencionaran a continuación.

1. Ripios de perforación: es la base prima en la construcción de las bases viales.
2. Cemento: este es el material que permite la estabilidad de la materia prima.
3. Agua: Indispensable para la hidratación del cemento.
4. Mezcladora eléctrica: indispensable para la buena distribución de todos compuestos.
5. Molde cilíndrico: Es el que permite generar al material la forma correcta.
6. Tanque de curado rápido: Es el encargado de filtrar el agua en exceso en el cilindro.
7. Máquina de compresión: es la encargada de generar el confinamiento para realizar la forma de corte (cilindro).

La mezcla dispuesta se deposita en el molde cilíndrico, el cual tiene 50 cm de base (diámetro) y 100 cm de alto, se prensa por un día, luego se fragua en el tanque de curado rápido a temperatura aproximada de 26 °C durante 15 días⁴⁵.

Según el artículo científico, hay viabilidad para la construcción de ladrillos y bases viales ⁴⁶

⁴⁵ ROJAS, Sara. ATIAGA, Oliva y CARRERA, David. Op. cit., p 6.

⁴⁶ Ibíd., p 17.

5.3 RIPIOS DE PERFORACIÓN COMO FERTILIZANTE

No hay consecuencia negativa en la germinación de semillas con fluido de perforación base agua y las que se produjeron en aquellas obtenidas en la fertilización química⁴⁷.

Con esto se busca la biorremediación de suelos contaminados con ripios de perforación⁴⁸.

En el uso de ripios como fertilizante, se requiere un tratamiento biológico de los mismos, con el objetivo de lograr las características propias del producto, lo que significa el uso de compostaje, consorcio bacteriano u otros fertilizantes⁴⁹ de las cuales se logra una mejoría en los suelos en todas las técnicas usadas, pero el uso simultaneo de compostaje y fertilización logró una mejora en comparación a la otra técnica⁵⁰.

5.4 MATERIAL DE RELLENO

Este requiere un previo tratamiento de los ripios de perforación, de tal manera que el lixiviado sea el menor posible, una vez este con poco líquido, se busca remplazar cualquier material de relleno por recortes, lo que en sí puede generar un incentivo económico.

⁴⁷ MENDES, J. OTAHOLA, V. RODRIGUEZ, M. SIMONA, J. TELLIS, L y ZABALA, E. Comparación De un Fluido de Perforación con la Fertilización Química en el Cultivo de Maíz (*Zea mays* L.). I. Caracteres de la Germinación y Crecimiento de Plántulas. En Maturín. Septiembre. 2009. vol. 22, nº 1. p 7.

⁴⁸ ARAUJO, Ismael, NANCY, Angulo. CARMEN, Cárdenas, MÉNDEZ, María, MORANTE, Machua y MACHADO Maribel. Biorremediación de suelos con consorcio bacteriano, compostaje y fertilización. [En línea]. 2003, p 3. Disponible en <http://eugeniapina.webs.com/textos/biorr-suelos3.pdf>.

⁴⁹ Ibid., p 2.

⁵⁰ Ibid., p 11.

El material de relleno, con las medidas de lixiviados controlados, puede compactarse, de tal manera que sea poco permeable y poroso, característica que se quiere lograr⁵¹.

El impacto ambiental que se genera es bastante agradable, ya que disminuye considerablemente los problemas generados por la disposición final tradicional, pero el tratamiento necesario para llegar a la poca cantidad de lixiviados se debe tener en cuenta, pues es bastante costoso.

⁵¹ CHIAPPORI, Lucas. FOLLIS, Evelyn, KOCINA, Sergio y LUNA, Rubén. Utilización de recortes de perforación en la construcción de locaciones. [En línea]. 2013., p 1-4. Disponible en <http://www.petrotecnica.com.ar/diciembre13/Utilizacion.pdf>.

6. POSIBLE USO DE LOS RECORTES DE PERFORACIÓN BASE AGUA EN COLOMBIA

6.1 SELECCIÓN DEL METODO A IMPLEMENTAR

Los factores para cambiar el uso tradicional son los impactos ambientales que genera, lo cual es severo y moderado en gran medida, además que las disposiciones de los rípios de perforación no generan ingreso alguno, de esta manera, analizando ambos parámetros, se puede sacar la tabla 21.

Tabla 21. Contaminación y ganancia de las distintas disposiciones finales de los rípios.

Uso de rípio	Contaminación (generada)	Ganancia o VPN positivo
Ladrillo	Poca	Positiva
Reinyección	Poca a moderada	Negativa
Material de relleno	Poca	Positiva
Fertilizante	Poca	Positiva

Fuente: Autoría propia.

Tabla 21, en la cual podemos hacer selección de los posibles usos de recortes de perforación para llegar a el de mayor interés en nuestro finalidad, descartando los procesos de menor ganancia y mayor.

La reinyección, se descarta por proceso de no generar ganancias, además de que genera la posibilidad de impactos ambientales moderados.

Teniendo en cuenta el proceso de biorremedación que se le debe aplicar al fertilizante y la aplicación de un campo desconocido para la industria, se requiere

mucha más investigación para tomar una acción adecuada, pero, por el momento, a falencia de criterios positivos se descarta.

El material de relleno es algo oportuno, pues el uso se relaciona en el yacimiento o zonas cercanas, en donde la ganancia es la cantidad de material que se reemplaza, razón por la cual su uso no se puede considerar como solución a todos los campos, pero se puede dejar como segunda opción.

La construcción de ladrillos y bases viales genera poco impacto (el mismo que generaría una ladrillera corriente) y ganancias (genera empresa), razón por la cual su uso puede ser positivo en ambas opciones, no obstante, se debe realizar una revisión de mercado y normatividad (como la NTC 4205) para lograr un balance positivo.

La recomendación del presente proyecto de grado es el uso en construcción de bases viales, pues ya se ha realizado estudios locales en la construcción de ladrillos.

6.2 USO PARA BASES VIALES

Para comprender el uso de estos en construcción se cuenta con el antecedente del uso que se dio en Ecuador de manera satisfactoria, el cual denota las propiedades mecánicas de distintos ripios de perforación alrededor de la población de Shushufindi, cuyos resultados de los cuales se clasifican por fechas, año de su disposición final tradicional (enterramiento) y la prueba alternativa que de ellos se probó en 2015.

Tabla 22. Propiedades físico mecánicas de ripios de perforación

Propiedades		Resultados de Análisis				
		2009	2010	2011	2012	2012
% Humedad Natural		7	6	8	6	4
Límites ATTERBEG	% Límite líquido	53	51	44	47	42
	% Límite plástico	37	34	31	35	31
	% Índice de plasticidad	16	16	14	13	12
Análisis Granulométrico	% Grava	0	0	1	0	0
	% Arena	9	7	10	10	11
	% Finos	93	93	89	89	89
	% Finos (menor a 0,005mm)	37	33	33	29,5	24
	% Finos (menor a 0,002mm)	24	22	18	16	12
Clasificación de suelos (SUCS)		MH (Limo inorgánico de alta plasticidad)	MH (Limo inorgánico de alta plasticidad)	ML (Limo inorgánico)	ML (Limo inorgánico)	ML (Limo inorgánico)

Fuente: ROJAS, Sara. ATIAGA, Oliva y CARRERA, David. Reutilización de ripios de perforación base agua como material de construcciónF.

En: Revista ciencia UNEMI. Abril, 2015. vol. 8, nº 13, p 69

La tabla 22 muestra que los ripios de perforación se pueden definir como limos inorgánicos de baja y alta plasticidad, con una mezcla variable de arcillas y sólidos muy finos con partículas menores a los 0.002 mm.

6.2.1 Construcción de bases viales

6.2.1.1 Equipos utilizados para la construcción de bases viales.

1. Ripios de Perforación: Fragmentos de roca impregnados con productos químicos de las formaciones geológicas perforadas.
2. Cemento: Se utilizó cemento Portland Tipo I.
3. Agua: Se utilizó agua potable.
4. Proctor estándar: Equipo de compactación de laboratorio, conformado por un molde cilíndrico de acero de 101,2mm de diámetro x 117,1mm de altura, con una capacidad de 942cm³ provisto de una base, collar y un martillo de compactación con caída libre de 305mm y peso de 2,5kg, el cual se desliza dentro de una camisa guía.
5. Mezcladora eléctrica: Equipo a corriente continua con potencia de 1/6 HP diseñado para mezclar.
6. Moldes cilíndricos: Moldes fabricados con cobre amarillo, provistos de tres unidades cilíndricas y un pistón que permite para ejercer una fuerza manual de compactación.
7. Tanque de curado rápido: Equipo utilizado para fraguar con vapor de agua probetas que contienen en su diseño cemento.
8. Máquina de Compresión: Equipo utilizado para medir la resistencia a la compresión inconfiada, el mismo que debe estar calibrado.

6.2.1.2 Proceso para construcción de bases viales Las muestras representativas de los ripios de perforación en base agua fueron mezcladas con los porcentajes de cemento y contenido de agua y cuyos resultados se resumen en la Tabla 23. Los

constituyentes fueron homogenizados mecánicamente y la mezcla obtenida se dispuso en moldes cilíndricos (50x100) mm hasta su llenado, posteriormente se aplicó una fuerza manual de compactación mediante un pistón y fueron desmoldados al día siguiente para su fraguado en tanque de curado rápido a una temperatura de $26\pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $91\%\pm 2\%$ durante 15 días, finalmente se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión inconfiada y pruebas de lixiviación.

En la Tabla 23 se muestra la relación de contenido de agua respecto al contenido de suelo (ripió), la prueba de confinamiento y prueba de lixiviado se muestra en la Tabla 24 y 25 respectivamente.

Tabla 23. Diseño Mezclas para Especímenes Cilíndricos.

Masa Mezcla (gr)	% Suelo	% Cemento	Masa Suelo (gr)	Masa Cemento (gr)	Humedad óptima (%)	Masa Agua (gr)
2000	100	0	2000	0	26,4	528
2000	98	2	1960	40	23,6	472
2000	95	5	1900	100	28	560
2000	90	10	1800	200	26,6	532
2000	85	15	1700	300	23,9	478
2000	80	20	1600	400	24	480
2000	75	25	1500	500	23,2	464
2000	70	30	1400	600	22,4	448
2000	65	35	1300	700	23,5	470
2000	60	40	1200	800	22,3	446
2000	55	45	1100	900	21,8	436
2000	50	50	1000	1000	19,7	394

Fuente: ROJAS, Sara. ATIAGA, Oliva y CARRERA, David. Reutilización de ripios de perforación base agua como material de construcción. En: Revista ciencia UNEMI. Abril, 2015. vol. 8, nº 13, p 66

Tabla 24.. Resistencia a la compresión inconfiada.

% Cemento		Resistencia a la Compresión Inconfiada (kg/cm ²)		
		7 Días	14 Días	28 Días
Resultados experimentales	0%	9,69	21,12	34,66
	2%	3,07	7,28	6,37
	5%	12,07	18,2	19,85
	10%	20,27	41,12	36,19
	15%	22,71	25,1	39,81
	20%	49,15	52,2	57,43
	25%	56,98	66,64	90,65
	30%	55,21	76,03	84,35
	35%	59,31	73,1	91,92
	40%	73,71	90,74	87,21
	45%	91,05	107,97	111,33
	50%	96,41	149,97	175,78

Fuente: ROJAS, Sara. ATIAGA, Oliva y CARRERA, David. Reutilización de rípios de perforación base agua como material de construcción. En: Revista ciencia UNEMI. Abril, 2015. vol. 8, nº 13, p 73.

Tabla 25. Toxicidad rípios de perforación estabilizados con cemento.

Especímenes	Metales Pesados (TCLP) e Hidrocarburos .Totales del petróleo				
	Bario (mg/L)	Cromo (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Níquel (mg/L)	TPH (mg/l)
5% Cemento	0,58	0,0012	<0,0005	0,013	<0.5
10% Cemento	0,67	0,0093	<0,0005	0,015	<0.5
15% Cemento	0,6	0,013	0,0007	0,028	<0.5
20% Cemento	0,58	0,0089	0,0006	0,021	<0.5
25% Cemento	0,45	0,066	<0,0005	0,021	<0.5
30% Cemento	0,39	0,05	<0,0005	0,009	<0.5
35% Cemento	0,57	0,026	0,0009	0,029	<0.5
40% Cemento	0,56	0,026	0,0009	0,017	<0.5
45% Cemento	0,38	0,073	<0,0005	<0,0005	<0.5
50% Cemento	0,43	0,058	<0,0005	0,006	<0.5

Fuente: ROJAS, Sara. ATIAGA, Oliva y CARRERA, David. Reutilización de rípios de perforación base agua como material de construcción. En: Revista ciencia UNEMI. Abril, 2015. vol. 8, nº 13, p 73.

El porcentaje de lixiviados no afecta en ninguna circunstancia el normal funcionamiento de la mezcla, dado que son muy bajos.

6.2.2 Cotejo con la normatividad local Los suelos se clasifican en:

1. Suelo mejorado o modificado con cemento: Resistencia mínima de 40.8 Kg/cm²
2. Suelo-cemento plástico: Resistencia entre 30.5 Kg/cm² a 82 Kg/cm².
3. Base granular tratada con cemento: Resistencia entre 30.5 Kg/cm² a 61.2 Kg/cm².
4. Pavimentos unicapa de alto desempeño: Desempeño entre 60 Kg/cm² y 132.6 Kg/cm².⁵²

En la tabla 24, es claro que, a mayor cemento y tiempo de compresión, es mejor la resistencia del cilindro, no obstante, es poco viable económicamente el porcentaje del 50%, razón por la cual se elige 10% de cemento a un tiempo de secado de 14 días, con una resistencia de confinamiento de 41.12 Kg/cm², permitiendo tener cualquier tipo de suelo (permiten el paso normal de vehículos, pero se restringe para el uso continuo para aquellos de alta carga, como las mulas y camiones grandes) exceptuando pavimentos unicapa de alto desempeño (utilizado para transporte de alto tráfico y peso), y según el Instituto de desarrollo urbano de Bogotá, el contenido de terrones de arcilla debe ser inferior al 10%, razón por la cual se debe elegir la formación con menos contenido de arcilla.⁵³

⁵² SILVA Javier. GENERALIDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO-CEMENTO: ¿QUÉ Y PARA QUÉ? 2018. Disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/generalidades-y-caracteristicas-del-suelo-cemento-que-y-para-que/>.

⁵³ MALDONADO, Raúl. CONTROL DE ARENA EN POZOS PETROLEROS. 2014.

6.3 ANÁLISIS DE DISTINTAS FORMACIONES DE COLOMBIA

6.3.1 Cuenca Valle del Magdalena Medio

Formación Girón: Intercalación de arenisca con conglomerados y arcillolitas de color rojizo.

Formación Tambor: Es una arenisca con estratificación cruzada, arenisca bioperturbada, lodolita, areniscas calcáreas fosilíferas en algunos casos y conglomerados de interclastos.

Formación Rosa blanca: Compuesta en su mayoría por caliza azulosa compacta.

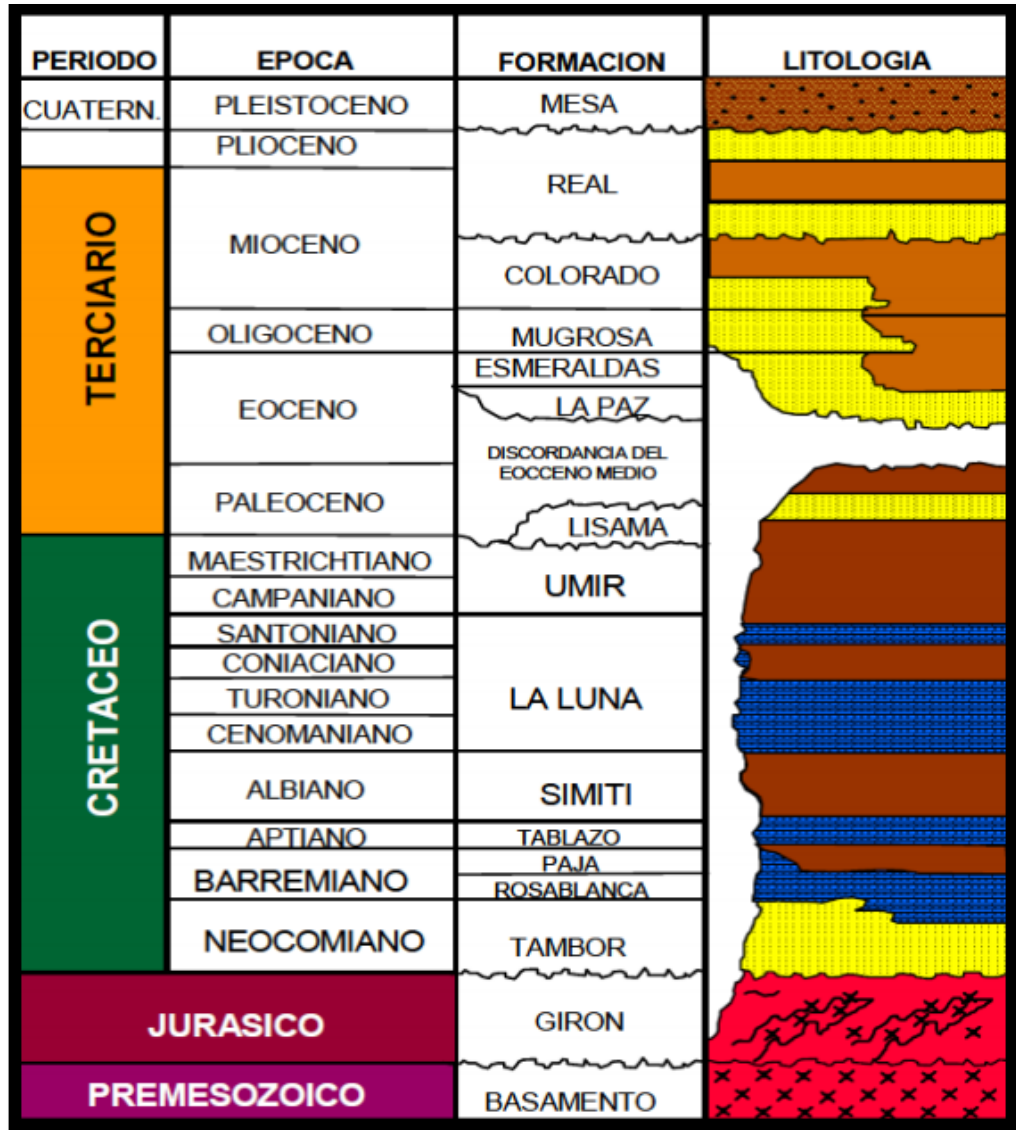
Formación Paja: En su mayor parte por arcillolitas negra y en menor medida por rocas calcáreas.

Formación Tablazo: Dada en su mayor medida por roca marga, calcáreas.

Formación Simití: Compuesto en su mayor medida por Shale blandos, finamente limados y carbonaceos.

Formación Girón: Intercalación de arenisca con conglomerados y arcillolitas de color rojizo.

Figura 17. Columna estratigráfica general del Valle del Magdalena Medio.



Fuente: LIZARAZO, Sarmiento y LEAL, Christian. Estudio para la implementación de reinyección de cortes durante la perforación de pozos. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011, p 192.

En la figura 17, están representadas las formaciones del valle magdalena medio, las cuales podremos describir a continuación:

Formación Tambor: Es una arenisca con estratificación cruzada, arenisca bioperturbada, lodolita, areniscas calcáreas fosilíferas en algunos casos y conglomerados de interclastos.

Formación Rosa blanca: Compuesta en su mayoría por caliza azulosa compacta.

Formación Paja: En su mayor parte por arcillolitas negra y en menor medida por rocas calcáreas.

Formación Tablazo: Dada en su mayor medida por roca marga, calcáreas.

Formación Simití: Compuesto en su mayor medida por Shale blandos, finamente limados y carbonáceos.

Formación la luna: Compuesta en mayor medida por arcillas, como lutitas y margosas.

Formación Umir: Compuesto por shale silicios oscuros, con laminación carbonácea y micácea.

Formación Lizama: Compuesta por poca cantidad de arenisca de grano fino, mantos de carbón en mediana medida y en su mayor cantidad por lutitas abarrajadas

Formación la Paz: Compuesta mayormente por arenisca de grano fino a medio y en menor medida por Shale grises.

Formación Esmeralda: Compuesta en su mayoría por arenisca de grano fino.

Formación Mugrosa: Formada principalmente de arenisca de grano medio

Formación Colorados: Compuesta por arcillas abarrajada ligeramente arenada con intercalación e arenisca de grano fino.

Formación Mesa: Compuesta principalmente por grava con pobre cementación⁵⁴.

Las características fisicoquímicas de la roca se ven afectadas de manera importante por el lodo de perforación. En cuanto a las características mecánicas del ripio, este se ve afectados por la presencia de arcillas en la formación (cuando el porcentaje de arcillas es mayor al 50%). En condiciones de bajo porcentaje de arcillas, se tiene un ripio de comportamiento plástico y con poco contenido de sal, que se considera apto para el uso en bases viales.

Cabe agregar que en caso de que el ripio presente impurezas importantes estas deben removerse hasta concentraciones aceptables.

6.3.2 Cuenca de los llanos orientales Formación UNE: Litológicamente consiste, principalmente, de areniscas cuarzosas con intercalaciones menores de lutitas y de limolitas carbonosas.

Formación Gacheta: Está constituida por una secuencia de lutitas, de color gris a gris oscuro, con desarrollos menores de areniscas, con contenido variable de glauconita; presenta a veces pequeños niveles calcáreos.

Formación Guadalupe: Consiste de una secuencia de areniscas masivas, con pequeñas intercalaciones de lutitas, a veces con pequeñas capas de carbón.

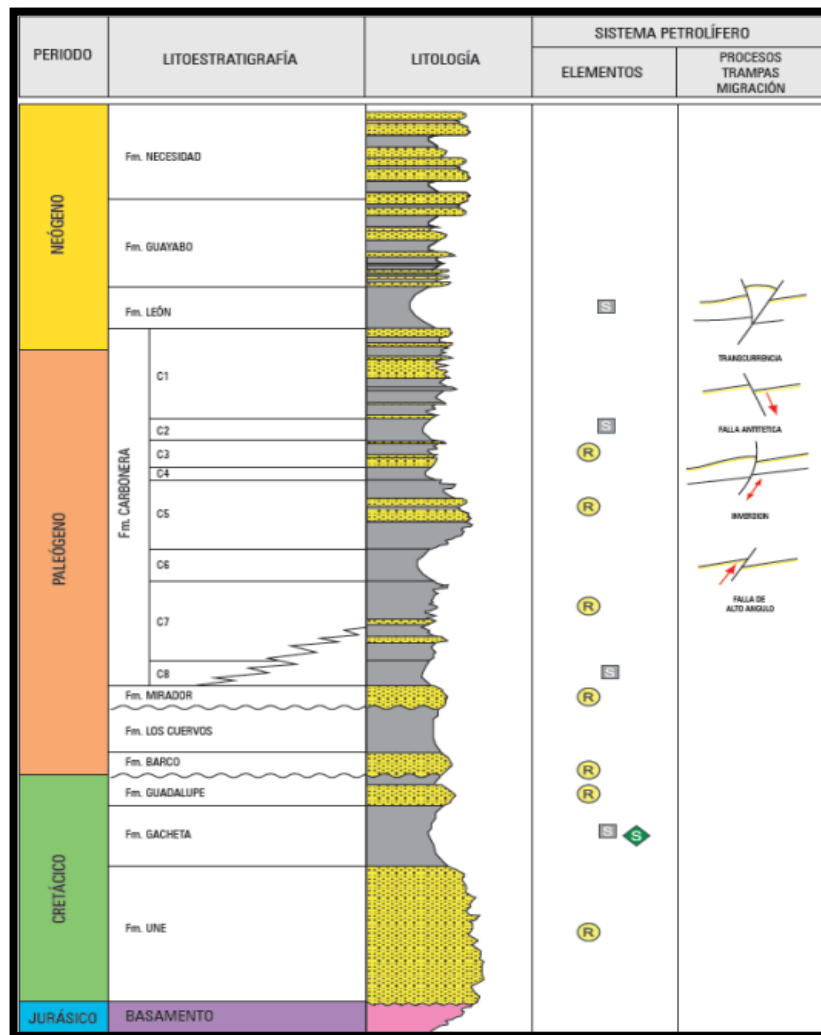
Formación Barcos y los cuervos: tienen areniscas masivas, pobremente clasificadas en la base, para la primera de ellas; suprayacidas por lutitas de color gris y gris

⁵⁴ LIZARAZO, Sarmiento y LEAL, Christian. Op. cit., p 194-197.

verdoso, con intercalaciones locales de algunas capas delgadas de carbón y delgadas intercalaciones de areniscas en la Formación Los Cuervos.

Formación Mirador: Se trata de un conjunto de areniscas masivas con diferentes granulometrías, generalmente granodecrecientes de base a techo, compuestas por cuarzo, algunas veces feldespato, materia orgánica leñosa y glauconita, hacia la parte superior de la secuencia.

Figura 18. Cuenca de los Llanos Orientales



Fuente: ANH. Cuenca Llanos Orientales. 2012. Disponible en <http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/5.%20Informe%20Final%20Llanos.pdf>

6.3.2.1 Formación Carbonera

Unidad C7: Se compone de areniscas depositadas en un ambiente marino somero, deltaico y continental.

Unidad C6: Compuesto principalmente por lutitas.

Unidad C5: Compuesta por alternancia de niveles de arcillolita y de arenisca, poco consolidada, de tamaño de grano, predominante medio, a veces grueso; en ocasiones ligeramente calcáreas, con glauconita.

Unidad C4: Está compuesta por una alternancia rápida de capas de areniscas, limolitas y lutitas.

Unidad C3: Está compuesta por alternancia de niveles de arenisca fina a gruesa, blanca a translúcida y algunos pies de limolitas y arcillolitas.

Unidad C2: Es el sello mejor desarrollado después de la formación León, compuesto casi en su totalidad por arcilla.

Unidad C1: Está compuesta por una alternancia de cuerpos arenosos, separados por niveles delgados de limolitas oscuras y lutitas grises.

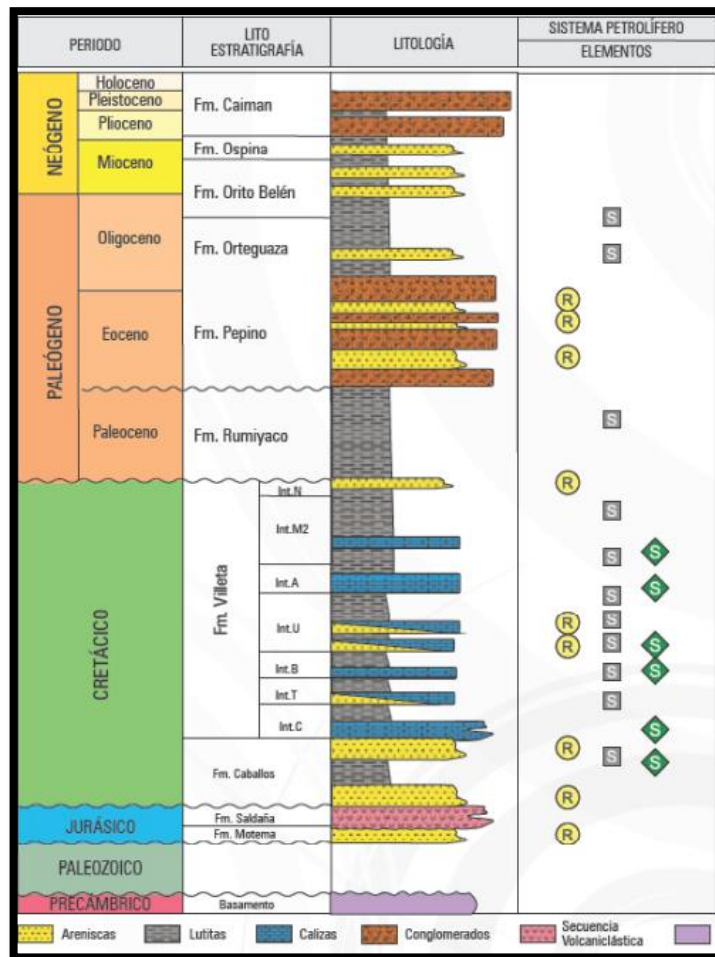
Formación León: Está compuesta por capas gruesas de lutitas grises en gran parte.

Formación Guayabo: Está constituido por una alternancia de arcillolitas de colores grises a pardo rojizos, muy solubles, y areniscas mal seleccionadas, finas a muy gruesas.

El mayor contenido de arcilla se encuentra en la formación carbonera, no obstante, en conjunto suma, un poco más del 45%, dicho porcentaje puede ser analizado en la figura 18.

6.3.3 Cuenca Caguan-Putumayo, sector Putumayo.

Figura 19. Cuenca sector Putumayo



Fuente: ANH. Open Round Colombia. 2010. Disponible en [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cuenca%20Caguan-Putumayo%20Geol.%20Claudia%20Posada%20\(pdf\).pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cuenca%20Caguan-Putumayo%20Geol.%20Claudia%20Posada%20(pdf).pdf)

La formación Viñeta y Formación Rumiayaco es, en su gran parte lutitas, la formación caballo posee, al menos, un 40% de esto también, la formación Ortoquasa, Ospino y Orito Belén tienen un gran porcentaje de lo mismo como se observa en la figura 19.

En conjunto con las demás formaciones, representa más del 70% de contenido de arcilla.

6.4 ELECCIÓN DE LA FORMACIÓN

La cuenca de los llanos, es la que menor contenido de arcilla posee, siendo este el más óptimo para poseer menos de 10% de terrones de arcilla para el proceso que a generar, lo cual nos favorecerá al momento de implementar el uso adquirido, en comparación de los demás.

Esta cuenca cuenta con un contenido de arcilla superior al 40%, en donde la mayor parte pertenece a la formación carbonera.

Tabla 26. Caracterización litológica de los Llanos Orientales.

FORMACIÓN	PERIODO	CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA
NECESIDAD GUAYABO	PLEISTOCENO	Arenisca, arcillolita, limolita, lutita.
LEÓN	NEÓGENO	Lutita interestratificada con arcillolita gris clara. Trazas: arcillolita, pirita.
CARBONERA	PALEÓGENO	Rocas arcillosas, limosas y areniscas con algunos niveles de carbón
MIRADOR	PALEÓGENO	Arenisca, arcillolita

FORMACIÓN	PERIODO	CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA
GUADALUPE	CRETÁCICO	Arcillolita, carbón, limolita, arenisca.
GACHETA	CRETÁCICO	Arenisca, arcillolita, limolita, lutita. Trazas: pirita, nódulos de siderita.
UBAQUE	PALEÓGENO	Arenisca, limolita, arcillolita, carbón.

Fuente: Datos Perforación Pozo Jacana-22. Modificada por autores.

En la tabla 26, se puede identificar, el periodo de formaciones de cuenca de los Llanos Orientales con el fin de observar la diferencia de sus características litológicas en comparación con las demás cuencas como se muestra en la tabla. 27 al momento de elegirla como factible en el proceso de bases viales. Cabe resaltar que dicha cuenca es la principal productora del país.

Tabla 27. Caracterización litológica de Valle Magdalena Medio.

FORMACIONES	PERIODO	CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA
ARCABUCO	CRETÁCICO	Areniscas cuarzosas, glauconita y algunas calizas Trazas: muscovita
ROSABLANCA	CRETÁCICO	Calizas Trazas: pirita
PAJA	CRETÁCICO	Lutitas Trazas: Calizas
SIMITÍ	CRETÁCICO	Lutitas, calcita
LA LUNA: Miembro Salada	NERÍTICO EXTERNO	Calizas intercalaciones lutíticas y calcáreas Trazas: pirita
LA LUNA: Miembro Pujamana	NERÍTICO EXTERNO	Lutitas, posible gilsonita
La LUNA: Miembro Galembo	NERÍTICO EXTERNO	Calizas , areniscas, lutitas calcáreas

FORMACIONES	PERIODO	CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA
MUGROSA	PALEÓGENO	Areniscas intercalaciones parciales de lutitas y limolitas
COLORADO	PALEÓGENO	Areniscas intercalaciones de lutitas y limolitas
GRUPO REAL	NEÓGENO	Lodolitas arenosas abigarradas con intercalaciones de cuarzoarenitas arcillosas de grano fino/medio y litoarenitas arcillosas

Fuente: Cuenca Llanos Orientales, Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos, ANH, diciembre 2012.

En la tabla 27, se puede identificar, el periodo de formaciones con el fin de observar la diferencia de sus características litológicas del Valle Magdalena Medio.

El cotejo de la reglamentación local de suelos, clasificación y contenido de terrones de arcilla se comparan en el ítem 6.2.1, el cual arroja factores positivos para bases viales con un porcentaje de cemento del 10% y un tiempo de secado de 14 días, siendo útil para suelo mejorado o modificado con cemento, suelo-cemento plástico y base granular tratada con cemento, e inviable para pavimentos unicapa de alto desempeño.

En este año, Ecopetrol dio el anuncio de hidrocarburo pesado en el pozo Lorito-1, bloque CPO-9, en el municipio de Guamal, Meta, en donde el crudo es de 8 API, permitiendo un prospecto en perforaciones para este bloque.

Guamal, Meta y municipios aledaños, posee poca infraestructura vial, notoria en barrios alejados, por lo cual, la implementación sería viable. En zonas cercanas a la plaza de toros se visualiza una carretera con pobre calidad, siendo este un gran prospecto. Esta zona es de poco tránsito en vehículos pesados, convirtiéndole en el ideal para la base vial como lo muestra la figura 20.

Figura 20. Carretera Guamal-Meta, cerca de la plaza de Toros.



Fuente: Google Earth.

7. CONCLUSIONES

El posible uso de ripios de perforación para la creación de bases viales se considera viable siempre y cuando el contenido de cemento sea inferior al 10% y el tiempo de secado sea de 14 días. Esto hace que el material producto tenga una resistencia a la compresión de 41.23 Kg/cm², generando resultados positivos en un suelo mejorado o modificado con cemento, suelo-cemento plástico y base granular tratada con cemento. De esta manera, un material con las características de diseño mencionadas cumplirá con las normas de construcción colombianas.

Al considerar campos potenciales para la utilización de ripios como material de construcción, se debe elegir un material en el cual se tenga un bajo contenido de arcilla pues esto evita hinchamientos del material arcilloso al entrar en contacto con el agua.

La cuenca de los llanos orientales es la más apta para realizar el proceso de construcción de carreteras a partir de ripios de perforación porque en esta cueca se encuentran campos con un bajo contenido de arcillas. Además, en la zona de los llanos orientales, en general, las carreteras carecen de pavimentación; esto incrementa el potencial para la utilización de los ripios de perforación.

El análisis del ciclo de vida del proceso para la utilización de recortes de perforación en la industria de la construcción de bases viales, muestra una reducción en el impacto ambiental. Además, con base en lo realizado industrialmente en Ecuador, se concluye que este proceso es viable desde el punto de vista financiero.

Debe mencionarse que el proceso de utilización de ripios de perforación para la producción de bases viales realizado en forma industrial y responsable, tal y como se implementó en otros países, cumple con la normatividad técnica ambiental

colombiana y esto facilita la obtención de licencias ambientales para pasar a la fase de desarrollo industrial del proceso.

A diferencia de otros procedimientos que se han desarrollado en la industria de los hidrocarburos y que generan grandes discusiones por su impacto ambiental; la utilización de rípios de perforación para la producción de bases viales presenta aceptación general en la sociedad y en la industria. Esta es una ventaja importante para implantación de este proceso.

8. RECOMENDACIONES

La mejor manera de solucionar las diferentes problemáticas causadas por la industria petrolera en el país, es acudiendo a las buenas prácticas, nuevas tecnologías, a planes de desarrollo sostenible y de manejo ambiental, para que así los beneficiados seamos todos, el país con una mejor calidad del medio ambiente, la industria petrolera con el ahorro de dinero, y la población con la posibilidad de utilización de los beneficios que el medio les ofrece.

Para la puesta en marcha del proceso de producción de bases viales a partir de rипios de perforación se recomienda utilizar la información litológica detallada que se encuentra en la Litoteca Nacional de Colombia. Esto permitirá contar con información precisa a la hora de diseñar el proceso de producción de bases viales.

Se requieren pruebas piloto a nivel nacional para cada método de disposición final de rипios en pro de optar por un mejor criterio de exclusión, permitiendo expandir el negocio del hidrocarburo a otras empresas (construcción, fertilizantes, etc.).

El uso de esto como material de relleno debe tenerse en cuenta en el manejo de residuos en los proyectos realizados en un campo petrolero, optimizando el manejo de desechos, ya que este representa el 77.5% aproximadamente.

Dado que el método se aplicó en Ecuador y dio aval positivo, es indispensable para un mejor criterio el uso de una prueba piloto, con distintos campos en Colombia. Sin importar que el informe teórico dio aval positivo para la construcción de bases viales, es indispensable realizar una prueba con rипios de perforación local para generar mejores expectativas a un posible uso que genere retribución económica y social.

Si bien es cierto que la producción de bases viales a partir de recortes de perforación es financiera y ambientalmente viable, debería tenerse en cuenta el concepto de refinería, en donde en analogía al concepto de biorefinería, se intenta dar un aprovechamiento máximo a todos los recortes de perforación⁵⁵. De esta manera, recortes de suelos altamente arcillosos que no son recomendables para su uso en bases viales pueden servir para otros usos.

Investigar y analizar diferentes tecnologías que refuercen el tratamiento de ripios para disminuir el contenido de cemento y llegar a implementar las bases viales con un porcentaje menor al 10%.

Revisar detalladamente las normas invías como la (E 123-13, E125-13, E 126-3, E 122-13, E 614-13, E 141-13, E 148-13, E 151-13, E 154-13, E 152-13), para la puesta en marcha de las bases viales.

En necesario implementar este tipo de proyectos con el fin de mitigar el impacto ambiental, abarcar el tratamiento de aguas residuales y los costos que le implica a la industria la extracción del hidrocarburo.

⁵⁵ CHERUBINI, Francesco. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. cit., p 1412-1421.

BIBLIOGRAFÍA

ACONCHA ABRIL, Irene. MAURICIO GARZÓN, Henry y ARÉVALO ARIAS, Juan. Formulación del estudio de impacto ambiental para el área de perforación exploratoria Yaraguapo, municipio de trinidad, departamento del Casanare. [En línea]. Desconocido., p 13-14. Disponible en http://www.umng.edu.co/documents/10162/745277/V2N1_14.pdf.

ALARCON CIERRA, Humberto. Criterios básicos para normar los recortes de perforación generados por la industria petrolera en el estado de Veracruz. Trabajo de grado Especialista en gestión diagnóstico y gestión ambiental. Veracruz: Universidad veracruzana, 2014.

ANH. Cuenca Llanos Orientales. 2012. Disponible en <http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/5.%20Informe%20Final%20Llanos.pdf>

ANH. Open Round Colombia. 2010. Disponible en [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cuenca%20Caguan-Putumayo%20Geol.%20Claudia%20Posada%20\(pdf\).pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cuenca%20Caguan-Putumayo%20Geol.%20Claudia%20Posada%20(pdf).pdf)

ARAUJO, Ismael, NANCY, Angulo. CARMEN, Cárdenas, MÉNDEZ, María, MORANTE, Machua y MACHADO Maribel. Biorremediación de suelos con consorcio bacteriano, compostaje y fertilización. [En línea]. 2003, 14 p. Disponible en <http://eugeniapina.webs.com/textos/biorr-suelos3.pdf>.

BALLESTEROS VILLEGAS, Adriana. Evaluación de diferentes sistemas para el tratamiento de residuos de perforación en el Campo Tarapoa operado por la

empresa Andes Petroleum S.A. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Guayaquil: Escuela Superior Politécnico del Litoral. Facultad de ingeniería de ciencias de la tierra, 2007.

BAUTISTA PUENTE, Luis. Manejo de desechos y deshidratación (dewatering) de los fluidos de perforación base agua. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería de petróleo, gas natural y petroquímica, 2010. 97 p.

BUITRAGO, Cesar y CÁRDENAS, Marco. Guía básica ambiental para la perforación de pozos. 1 Ed. Bogotá: Calidad del Aire Cía Ltda. 1999.

CALAO RUIZ, Jorge. Caracterización ambiental de la industria petrolera: tecnología disponible para la prevención y mitigación de impactos ambientales. Trabajo de grado profesional en Ingeniería de petróleo. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2007.

CENTALA, Prabhakaran; CHALLA, Vennela; DURAIRAJAN, Bala; PÁEZ, Luis; PARTIN, Uyen; SEGAL, Stivenson y WU, Sean. El diseño de las barrenas: Desde arriba hacia abajo. En: Texas. Febrero, 2011. vol. 23, nº 2, 16 p.

CHIAPPORI, Lucas. FOLLIS, Evelyn, KOCINA, Sergio y LUNA, Rubén. Utilización de recortes de perforación en la construcción de locaciones. [En línea]. 2013., 9 p. Disponible en <http://www.petrotecnica.com.ar/diciembre13/Utilizacion.pdf>.

CHERUBINI, Francesco. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. En: Energy Conversion and Management. Julio, 2010. vol 51 nº 7, 9p.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE LA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Decreto 1895 (15, septiembre, 1973). Por el cual se dictan normas sobre exploración y explotación de petróleo y gas. El Departamento. Bogotá. D. C.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE LA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Decreto 2104 (26, julio, 1983). Por el cual se reglamenta parcialmente el [Título III de la Parte IV del Libro I del Decreto - Ley 2811 de 1974] y los [Títulos I y XI de la Ley 9 de 1979] en cuanto a residuos sólidos. El Departamento. Bogotá. D. C.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE LA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Decreto 1753 (3, agosto, 1994). Por el cual se reglamentan parcialmente los Títulos VIII y XII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. El Departamento. Bogotá. D. C.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE LA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Decreto 838 (23, marzo, 2005). Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. El Departamento. Bogotá. D. C.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE LA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Decreto 1616 (28, agosto, 2014). Por el cual se establecen los criterios y procedimientos para la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos convencionales continentales y costa afuera. El Departamento. Bogotá. D. C.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE LA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Decreto 351 (19, febrero, 2014). Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades. El Departamento. Bogotá. D. C.

CONESA, Vicente. Guía metódica para la evaluación del impacto ambiental. 4 Ed. México: Mundi prensa. 2003.

DESCONOCIDO. Niglintgak field development. Drill cuttings management, disposal option and selected disposal method. [En línea]. 2003., 20 p. Disponible en <https://apps.neb-one.gc.ca/REGDOCS/File/Download/347039>.

DHARAM, Pal., STEVE y FANN Scott. Application guide for thermal desorption systems wight. 1 Ed. California: ANSI STD. 1998.

Environmental Protection Agency. Innovative site remediation technology. Volume 5: Thermal desorption. Estados Unidos, Septiembre 1997.

GOMEZ ROMO, Juan y GONZALEZ RIVERA, Jhon. Formulación de plan de gestión integral de residuo sólido para los proyectos de perforación exploratoria, sísmica y explotación de hidrocarburo desarrollados por petróleo del norte S.A. (departamento del Cesar). Trabajo de grado profesional en ingeniero sanitario y ambiental. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2009.

GONZALEZ, Luis y FLOREZ, Jhon. Problemáticas socio-ambientales debido al impacto que podría generar el uso del fracturamiento hidráulico de lutitas en san Martín, cesar. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017.

HAYA LEIVA, Esperanza. Análisis del ciclo de vida. 1 Ed. Madrid: Creative Commons. 2016.

ICONTEC. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. NTC 4205, 2010.

Instituto de desarrollo urbano, Bogotá. Especificaciones Técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá D.C. [En línea]. 2006. Disponible en <https://www.idu.gov.co/web/content/7570/ET-Cap4.pdf>.

ISMIRLIAN, Paula. Evaluación de diferentes métodos de tratamiento para recortes de perforación de pozos petroleros con lodo base hidrocarburo en argentina. Trabajo de grado Magister en gestión ambiental. Buenos Aires: Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 2018.

JARA RIVEROS, Javier y VELASQUEZ SERRANI, Darlyn. Manual de biorremediación de hidrocarburo de la industria del petróleo. Proyecto de grado profesional en técnico laboral en la gestión ambiental. Villavicencio: Corporación Interamericana del Petróleo, 2010.

LIZARAZO, Sarmiento y LEAL, Christian. Estudio para la implementación de reinyección de cortes durante la perforación de pozos. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011.

LOUSTAUNAU Mónica. Aspectos e impactos ambientales. [En línea]. 2014., p 6-7. Disponible en <https://www.fing.edu.uy/iq/cursos/proyectoindustrial/A&IA.pdf>.

MENDES, J. OTAHOLA, V. RODRIGUEZ, M. SIMONA, J. TELLIS, L y ZABALA, E. Comparación De un Fluido de Perforación con la Fertilización Química en el Cultivo de Maíz (Zea Mays L.). I. Caracteres de la Germinación y Crecimiento de Plántulas. En Maturín. Septiembre. 2009. vol. 22, nº 1. 7 p.

MENDEZ CASTRO, Armando. Aspectos de producción. [En línea]. 2013., 38 p. Disponible en <http://www.oilproduction.net/files/Aspectos-de-Produccion.pdf>.

MENDEZ VILLEGAS, Rene; GOMEZ RIVERA, Petrona; LEDESMA HERRERA, Juan y CENICEROS GONZALEZ, Claudia. Manejo integral de los recortes de perforación de la industria petrolera en Tabasco. En Tabasco. Diciembre, 2013. Vol. 2, nº 4, 20 p.

OILPRODUCTION. Diseño de perforación de pozos. [En línea]. Desconocido., 210 p.

RECALDE, Marina. Determinantes de la inversión en exploración de hidrocarburos: un análisis del caso argentino. En: ELSEVIER DOYMA. Febrero, 2011. vol.1, nº 32, 52 p.

ROJAS, Sara. ATIAGA, Oliva y CARRERA, David. Reutilización de ripios de perforación base agua como material de construcción. En: Revista ciencia UNEMI. Abril, 2015. Vol. 8, nº 13, 20 p.

SANCHES MARTINEZ, Israel. Perforación en la industria del petróleo. Trabajo de grado profesional en ingeniería química petrolera. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de ingeniería química e industrias extractivas, 2016. 97 p.

Semana. Acabar con el retraso de 40 años en infraestructura. 2011. Disponible en <https://www.semana.com/nacion/articulo/acabar-retraso-40-anos-infraestructura/240410-3>.

SILVA Javier. GENERALIDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO-CEMENTO: ¿QUÉ Y PARA QUÉ? 2018. Disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/generalidades-y-caracteristicas-del-suelo-cemento-que-y-para-que/>.

SMITH, Mike. MANNING, Anne y LANG, Marianne. Research on the re-use drill cuttings onshore. 1 Ed. Aberdeen: Cordah research limited. 1999.

VERACIERTA ALFARO, Luis. Evaluación de las técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el campo hamaca, estado Anzoátegui. Trabajo de grado profesional en ingeniería de petróleo. Anzoátegui: Universidad de Oriente Núcleo de Monagas, 2006.

VOG, Karen y HAWKER, David. Procedimientos y operaciones en pozo. 3 ed. Calgary: Datalog. 2002.