

ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE
YACIMIENTOS DE ROCA GENERADORA EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE
LOS ANDES

CARLOS EDUARDO DOMÍNGUEZ GUEVARA
JUAN CARLOS MARTÍNEZ SUÁREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA
2019

ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE
YACIMIENTOS DE ROCA GENERADORA EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE
LOS ANDES

CARLOS EDUARDO DOMÍNGUEZ GUEVARA
JUAN CARLOS MARTÍNEZ SUÁREZ

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero de Petróleos

Directora
Kathy Margarita Daza Brochero
M Sc. En Ciencias

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

A Juanito, como le decía su abuelo. Al pequeño niño que al oír hablar de un ingeniero lo hacía con admiración, respeto, ambicionando saber las cosas que ellos saben, el mismo que los veía anhelando ser uno de ellos.

Hoy en día eres un ingeniero (lamentablemente de los “peores”, Ingeniero de Petróleos).

Lograste esa gran meta a la cual fuiste encaminado; sin embargo, ser ingeniero no es importante, lo primordial es seguir teniendo esa curiosidad y asombro por el funcionamiento del mundo, ser una persona sencilla y humilde como tu mamá lo insistía (actualmente ya no la tienes a tu lado así que aprecia cada momento que pasas con ella).

Si pudiste llegar hasta aquí seguro podrás hacer cosas más grandes si te lo propones (Aprovecha más el tiempo con las personas que te rodean).

Juan Carlos M. S.

DEDICATORIA

Unos años atrás mientras me montaba a un bus para emprender una nueva experiencia en mi vida, abría un par de cartas y un par de lágrimas rodaban por mis mejillas mientras leía “porque te amo tanto solo puedo dejarte volar bien alto”, “Confío en Dios que serás un hombre de bien y lucharas por tus sueños” frases que me llenaban el corazón de mucha nostalgia, pero a la vez me lo saciaban de fuerza, esperanza, coraje y demasiada motivación.

Eso es lo que han sido para mí durante todo este largo trayecto, fuerza porque cuando el camino se puso difícil y tortuoso, cuando el miedo y la tristeza me atacaron, ustedes fueron esa ancla fuerte con la que encontraba esas ganas de seguir luchando, de seguir avanzando. Fueron esperanza durante todo el camino porque siempre contestaron mis llamadas y con esos sabios concejos y palabras de amor, entendía que no existía ningún problema eterno sin solución.

Me enseñaron a luchar por lo que deseo y tener el coraje de ir por ello. Me acompañaron a darme cuenta de que la vida no es fácil, pero es bella, son lo acumulación de múltiples experiencias que, si las pones en una balanza se ladean a favor de las más bellas, me motivaron a entender que siempre llega la calma y el tiempo de Dios es perfecto.

A ustedes dos que son la mayor muestra que Dios me ama, quiero consagrarles esta gran meta en mi vida que estoy por culminar, una etapa que me llena de orgullo alcanzar y solo espero que, a ustedes de igual forma, que me haya formado y alcanzado lo que deseaban para mí cuando me monte a ese bus en busca de mis sueños y de ser un Ingeniero de Petróleos.

AGRADECIMIENTOS

*A quien fue una gran mujer, esposa, **MADRE** y amiga.
A ese hombre curioso, comprensivo, inteligente y extremadamente hábil, que da lo
mejor de si para ser una gran persona y aún mejor PADRE.
A todas aquellas personas que conocí mientras transitaba este camino;
Y a los que ya no están con nosotros.*

¡GRACIAS!

Juan Carlos M. S.

*A Dios gracias por todo lo que me ha regalado, por tantas bendiciones y por cada
nueva oportunidad que me ha dado para encontrar mi felicidad.
A los dos excelentes maestros que la vida me dio, Mis padres.
A la hermosa joven que me alegra la vida con su única manera de ser, con sus
peculiares ocurrencias y con muchos sueños por cumplir, hermana mía.
A toda mi familia que creyó en mí, cuando les dije que sería ingeniero.
Y finalmente a los que me mostraron el valor de la amistad y me acompañaron en
esta etapa durante todas las situaciones, Dios nos siga bendiciendo y nos permita
encontrarnos una y mil veces más.*

Carlos Domínguez.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	18
1.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. MARCO REFERENCIAL	21
3.1. MARCO TEÓRICO:	21
3.1.3.1. Metano ligado a bancos de carbón (Coal bed methane):	22
3.1.3.2. Gas de centro de cuenca (Basin-centered gas)	22
3.1.3.3. Hidratos de gas (Gas hydrate):	22
3.1.3.4. Petróleo o gas de esquisto (Shale-Oil y Shale-Gas):	23
3.1.4. Riesgos ambientales:	23
3.1.5. Aspectos ambientales	23
3.1.5.1. Componente Suelo:	24
3.1.5.2. Componente Agua.	24
3.1.6. Matriz de riesgos:	26
3.1.6.1. Grados de riesgo:	26
3.2. MARCO LEGAL.	26
3.3. ANTECEDENTES	34
4. METODOLOGÍA	41
4.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:	41
4.1.1. Análisis estratigráfico de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos: .	41
4.1.2. Caracterización de las técnicas de explotación de yacimientos de roca generadora en zona montañosa:	41
4.1.3. Reconocimiento de normatividad ambiental relacionada con los hidrocarburos en Colombia:	42
4.1.4. Análisis de tres casos en los cuales se pueda evidenciar el impacto ambiental de cada uno de ellos.	42
4.2. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS AMBIENTAL:	43

5. IMPACTO AMBIENTAL DE LA EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS DE ROCA GENERADORA EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES	47
5.1. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	47
5.2. ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES COLOMBIANOS	50
5.3. TÉCNICAS DE EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS DE ROCA GENERADORA EN ZONA MONTAÑOSA:	63
5.4. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCTO DE LA EXPLORACIÓN/EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS DE ROCA GENERADORA	69
5.4.1. Caso número uno (Caso Optimista):	70
5.4.2. Caso número dos (Caso desfavorable):	84
5.4.3. Caso número tres (Zona de superficie llana):	97
5.4.4. Análisis de los tres casos planteados	111
5.4.5. Medidas de control:	118
6. CONCLUSIONES	119
7. RECOMENDACIONES	121
BIBLIOGRAFÍA	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Medición Cualitativa de la posibilidad, duración, posible magnitud, área de influencia, recuperabilidad y la importancia del impacto.....	44
Tabla 2: Valoración de la medida de los impactos.....	45
Tabla 3: Descripción de la litología presente en la cordillera Oriental de los Andes (Ilustración 2).....	51
Tabla 4: Procedimiento para realizar el fracturamiento hidráulico en un yacimiento de roca generadora.....	66
Tabla 5: Descripción cartográfica de las aristas que conforman el polígono de estudio del análisis ambiental en zona de montaña.....	71
Tabla 6: Matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales, Caso uno.....	73
Tabla 7: Análisis de los impactos producto de la explotación de yacimientos de roca generadora en la cordillera oriental de los andes, caso uno.....	82
Tabla 8: Matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales, Caso dos.....	86
Tabla 9: Análisis de los impactos de producto de la explotación de yacimientos de roca generadora en la cordillera oriental de los andes, caso dos.....	95
Tabla 10: Descripción cartográfica de las aristas que conforman la región de estudio del análisis ambiental en una zona cartográficamente plana.....	97
Tabla 11: Matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales, Caso tres.....	100
Tabla 12: Análisis de los impactos producto de la explotación de yacimientos de roca generadora en la cordillera oriental de los andes, caso tres.....	109

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Delimitación de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos. ..	48
Ilustración 2: Mapa geológico de la cordillera Oriental de los Andes.....	51
Ilustración 3: Formaciones que podrían ser prospecto de Hidrocarburos no Convencionales en la sección norte de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos.....	57
Ilustración 4: Formaciones que podrían ser prospecto de Hidrocarburos no Convencionales en la sección centro de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos.....	59
Ilustración 5: Formaciones que podrían ser prospecto de Hidrocarburos no Convencionales en la sección sur de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos.....	60
Ilustración 6: Arriba, Corte geológico de la cuenca de la Cordillera Oriental. Abajo, Corte geológico de la cuenca del Catatumbo.....	61
Ilustración 7: Principales prospectos de hidrocarburos de roca generadora sobre la Cordillera Oriental del los Andes.....	62
Ilustración 8: Técnica de perforación para pozo no convencional.....	64
Ilustración 9: Torre de perforación.....	66
Ilustración 10: Perforación del pozo hasta la zona de interés.....	67
Ilustración 11: Revestimiento del pozo.....	67
Ilustración 12: Cañoneo del pozo.....	67
Ilustración 13: Bombeo del fluido fracturante al pozo.....	68
Ilustración 14: Producción de un pozo fracturado hidráulicamente.....	68
Ilustración 15: Área de análisis del impacto ambiental en zona de montaña para el caso optimista.....	72

Ilustración 16: Foto de la zona de estudio para el caso uno.....	72
Ilustración 17: Área de análisis del impacto ambiental en zona cartográficamente plana.....	98
<i>Ilustración 18:</i> Foto de la zona de estudio para el caso tres (zona de superficie llana) cuenca del Catatumbo.....	99
Ilustración 19: Efecto adverso sobre el componente tierra, uso masivo del suelo.....	110
Ilustración 20: Impacto ambiental del fracturamiento hidráulico de los tres casos analizados y estudiados.	111
Ilustración 21: Efecto adverso sobre el componente agua, reducción de caudales en las fuentes de captación de del recurso.....	113
Ilustración 22: Efecto adverso sobre el componente agua, migración de hidrocarburos a fuentes hídricas.....	113
Ilustración 23: Efecto adverso sobre el componente aire, emisión de gases de efecto invernadero atrapados en las formaciones productoras de hidrocarburos.	114
Ilustración 24: Efecto adverso sobre el componente tierra, extracción de grandes cantidades de arena necesaria para el sistema de producción.....	115
Ilustración 25: Efecto adverso sobre el componente tierra, rezumaderos de hidrocarburos.....	116
Ilustración 26: Efecto adverso sobre el componente tierra, emanaciones de hidrocarburos por sobre presión en yacimientos.....	116

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS DE ROCA GENERADORA EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES*.

AUTORES: JUAN CARLOS MARTÍNEZ SUAREZ – CARLOS EDUARDO DOMÍNGUEZ G.**

PALABRAS CLAVE: ANÁLISIS AMBIENTAL, HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES, FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO, CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES COLOMBIANOS, ZONA DE MONTAÑA.

DESCRIPCIÓN:

En el desarrollo de este proyecto se plantea una serie de etapas en las cuales se hace una compilación de la normatividad ambiental relacionada con los hidrocarburos en Colombia, de antecedentes en el desarrollo de los yacimientos de roca generadora en diversos lugares del mundo; así como de las técnicas de explotación de yacimientos de roca generadora; posteriormente, se presenta un análisis de la geología estructural de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos el cual contribuye a delimitar una posible área de existencia de yacimientos de roca generadora en la franja.

Una vez establecida la posible área de exploración, se ejecuta el análisis de tres casos hipotéticos, dos de ellos en zona de montaña (uno optimista, otro desfavorable) y el tercer caso en una zona de superficie llana en los cuales se puede evidenciar el impacto ambiental que tendría la explotación de yacimientos de roca generadora en la región.

Para abordar el análisis de cada uno de los escenarios se usa una matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales, en seguida se identifican los principales y más graves efectos de las operaciones sobre los componentes agua, aire, tierra y socioeconómico en cada escenario; para concluir se hace una comparación de los impactos causados en los tres escenarios con el propósito de dimensionar los problemas que se podrían ocasionar en zona de montaña debido al desarrollo de la industria de los hidrocarburos atendiendo con la normatividad legal vigente de Colombia.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Directora: DAZA BROCHERO, Kathy.

SUMMARY

TITLE: ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT PRODUCT OF THE EXPLOITATION OF DEPOSITS OF GENERATING ROCK IN THE EASTERN MOUNTAIN RANGE OF THE ANDES *.

AUTHOR: JUAN CARLOS MARTÍNEZ SUAREZ – CARLOS EDUARDO DOMÍNGUEZ G.**

KEYWORDS: ENVIRONMENTAL ANALYSIS, UNCONVENTIONAL HYDROCARBONS, FRACKING, EASTERN MOUNTAIN RANGE OF THE COLOMBIAN ANDES, MOUNTAIN AREA.

DESCRIPTION:

In the development of this project, a series of stages is proposed in which a compilation of the environmental regulations related to hydrocarbons in Colombia is made, with antecedents in the development of the deposits of generating rock in various parts of the world; as well as the techniques of exploration of deposits of generating rock; Later, an analysis of the structural geology of the eastern mountain range of the Colombian Andes is presented, which helps to delimit a possible area of existence of deposits of generating rock in the strip.

Once the possible exploration area is established, the analysis of three hypothetical cases is carried out, two of them in the mountain area (one optimistic, the other unfavorable) and the third case in flat area in which the impact can be evidenced environmental that would have the exploration of deposits of generating rock in the region.

To address the analysis of each of the scenarios, a matrix for the identification of aspects and assessment of environmental impacts is used, right away the main and most serious effects of operations on the water, air, land and socioeconomic components in each scenario are identified. To conclude a comparison of the impacts caused in the three scenarios is made with the purpose of sizing the problems that could be caused in the mountain area due to the development of the hydrocarbon industry, in compliance with the legal regulations in for Colombia.

* Bachelor Thesis

** Facultad de ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: DAZA BROCHERO, Kathy.

INTRODUCCIÓN

Ante el deseo de duplicar las reservas de hidrocarburos en Colombia producto de la explotación de los yacimientos de roca generadora localizados en la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos junto con la importancia de los recursos naturales existentes en la misma área, es de vital importancia estudiar los posibles efectos ambientales que pueden ocurrir debido a la explotación de los hidrocarburos de esta zona, con el propósito de prever los daños que se podrían causar.

De esta manera en el desarrollo de este documento se presenta inicialmente una serie de conceptos que permitirán tener claro los términos técnicos de la clasificación de hidrocarburos no convencionales, así como los términos necesarios para realizar un análisis ambiental y las normas legales que rigen en cuestiones ambientales en Colombia; asimismo, se presentan antecedentes de la explotación de yacimientos de roca generadora en otros países.

Se efectúa una caracterización ambiental de la zona en la que se identifican los páramos, serranías y parques nacionales naturales existentes en la Cordillera Oriental; además, debido a la gran diversidad existente en la cordillera e importancia para el país, se mencionan los recursos en peligro en flora y fauna de la zona.

Para llevar a cabo el estudio de impacto ambiental primero se reduce el área de estudio, debido a que esta zona montañosa es muy extensa y presenta el afloramiento de diversas formaciones en ella; por lo tanto, de acuerdo con las características que tiene una formación para ser un buen prospecto se seleccionan las formaciones idóneas de generar hidrocarburos que afloran en la cordillera oriental y se rastrea su continuidad en el subsuelo, de esta manera así poder concentrar la atención únicamente en estas áreas.

En el siguiente apartado se exhiben las diferencias en las técnicas existentes para producir hidrocarburos de un yacimiento de roca generadora y un yacimiento convencional; así como el procedimiento utilizado para realizar explotación de los hidrocarburos en el área.

Una vez establecida el área de estudio y las técnicas a ejecutar en la explotación de yacimientos de roca generadora se efectúa análisis de tres casos, dos de ellos en zona de montaña (uno optimista, otro desfavorable) y un tercer caso en una zona de superficie llana; estos casos permitirán evidenciar el impacto de la explotación de yacimientos de roca generadora en la región de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos a corto y mediano plazo. Para dicho estudio se emplea una matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales en la cual se describe la serie de actividades necesarias para el desarrollo de la exploración, evaluación, desarrollo y la producción (Upstream) de hidrocarburos de roca generadora junto con los posibles impactos sobre los componentes agua, aire, tierra y socioeconómico que se podrían ocasionar.

Finalmente se muestra una comparación de los efectos adversos que se podrían presentar en los tres casos establecidos, para este paralelo se identifica los mayores impactos que podrían ocurrir por cada uno de los componentes, los cuales deben recibir una mayor atención a la hora de ejercer las medidas de control a imprimir para reducir los impactos del fracturamiento hidráulico.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el posible impacto ambiental producto de la explotación de yacimientos de roca generadora en la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y delimitar las formaciones geológicas capaces de generar hidrocarburos en la cordillera Oriental de los Andes Colombianos.
- Reconocer las técnicas de extracción de hidrocarburos no convencionales que puedan ser aplicadas en la cordillera Oriental de los Andes, analizando las implicaciones ambientales que podría conllevar cada una de estas.
- Plantear una serie de escenarios en función de leyes colombianas relacionadas con la explotación de hidrocarburos, en los cuales se logre dimensionar el impacto ambiental producto de la explotación de yacimientos de roca generadora en la cordillera Oriental Andina.

2. JUSTIFICACIÓN

La explotación de yacimientos de roca generadora representa uno de los proyectos más grandes de la historia para Colombia puesto que significaría un gran aumento de sus reservas; sin embargo, los retos que tendrá que enfrentar el país para acceder a estos recursos son de tipo ambiental y social debido a los mecanismos que hay que usar para poder explotar estos yacimientos junto con las zonas donde se encuentran los prospectos.

Según un informe realizado en el 2017 por Juan Carlos Echeverry, en ese entonces presidente de Ecopetrol S.A, en el cual se presenta el panorama económico para la compañía a 2030; Echeverry afirma que “los yacimientos no convencionales son quizá la oportunidad más grande para mejorar la trayectoria de Colombia, puesto que estos podrían ayudar no solo a mejorar la competitividad del país, sino también a crear ventajas geopolíticas¹”.

No obstante, esta noción ya se había planteado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) años antes: Desde el veintiuno de febrero de 2012, cuando ésta entidad hizo el lanzamiento oficial de la Ronda Colombia 2012, mecanismo previsto para ofrecer áreas para la exploración y explotación de petróleo y gas, en el país se comenzó a oír con mayor frecuencia el término hidrocarburos no convencionales; este mismo día, ante representantes de varias empresas del sector, se presentó un estudio contratado por esa entidad con la Universidad Nacional de Colombia, según el cual el país tiene un potencial petrolero de 66 mil millones de barriles en yacimientos de roca generadora².

¹ ECOPETROL.S. A. Ecopetrol 2020 – 2030. Presentación foro UNAL. ECHEVERRY Juan Carlos.

² IMPACTO ECONÓMICO. Colombia le apuesta a los hidrocarburos no convencionales. Septiembre-noviembre de 2012. pág. 7.

A pesar de esta favorable idea, el primero de agosto de 2018 se radica en el Congreso de la República el proyecto de ley 071 de 2018³ que busca la prohibición de la exploración y explotación de los yacimientos no convencionales en Colombia, como medida de protección del medio ambiente, la salud y para prevenir conflictos socioambientales asociados a estas actividades. Una de las exigencias de este proyecto de ley; Artículo 6, es la de: “realizar un informe de los impactos socioambientales y de salud pública, y de los pasivos ambientales que han ocasionado las actividades de exploración y explotación de yacimientos convencionales que se han adelantado en el país.”

De acuerdo con el estudio realizado por la ANH, en las cuencas sedimentarias que hay mayor oportunidad de yacimientos de roca generadora son: el Valle Medio y Superior del Magdalena, el Catatumbo y en la Cordillera Oriental de los Andes. Cabe resaltar que el más grande prospecto está ubicado en una región montañosa como lo es la Cordillera de los Andes; por tal razón, es de vital importancia estudiar los posibles efectos ambientales que pueden ocurrir debido a la explotación de los hidrocarburos de esta zona, con el propósito de prever los daños que se podrían causar junto con las medidas necesarias para minimizar este impacto en dicho prospecto.

³ CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. Proyectos de Ley Radicados 2018 – 2019. Proyecto de Ley 071 de 2018

3. MARCO REFERENCIAL

Para desarrollar el presente proyecto se presentan los siguientes apartados, los cuales permitirán tener claro conceptos que van desde términos técnicos hasta normas legales que rigen en cuestiones ambientales y en la aplicación de métodos de extracción de yacimientos de roca generadora; asimismo, se presentan consecuencias de la explotación de yacimientos de roca generadora en zonas de montaña en otros países.

3.1. MARCO TEÓRICO:

3.1.1. Prospecto: Un prospecto es una zona de exploración, un intervalo estratigráfico que aún no ha sido probado con la perforación (cuando se prueba y los resultados son positivos, se denomina yacimiento)

3.1.2. Hidrocarburos no convencionales: “El término hidrocarburo no convencional es un vocablo amplio para el petróleo y el gas natural producido por medios que no cumplen los requisitos para extracción habitual. Lo que se ha calificado como `no convencional´, es una función de las características de los recursos, las tecnologías disponibles de exploración y producción; el entorno económico; la escala, la frecuencia y la duración de la producción del recurso⁴.”

A medida que la percepción de estos factores cambia con el tiempo, el término `no convencional´ también lo hace; en la actualidad, esta expresión se utiliza haciendo referencia a recursos de petróleo y gas cuya porosidad, permeabilidad, mecanismo

⁴ SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary. No convencionales. 2018. Disponible en: <https://goo.gl/dWGRVs>

de trampas de fluido u otras características difieren de las areniscas comunes y de los yacimientos de carbonato.

3.1.3. Tipos de hidrocarburos no convencionales. Existen distintos tipos de hidrocarburos no convencionales los cuales se diferencian de acuerdo con su complejidad de la trampa que los contiene y el tipo de materia orgánica que se almaceno en dicha trampa, así como de la calidad de este. Los principales tipos de no convencionales son:

3.1.3.1. Metano ligado a bancos de carbón (Coal bed methane). Se trata de gas adherido a las superficies de la materia orgánica macerada en bancos masivos de carbón en profundidad.

3.1.3.2. Gas de centro de cuenca (Basin-centered gas). Son acumulaciones de gas ubicadas en profundidades mayores a 11.000 ft y a presiones extremas. Este gas se puede producir mediante procesos convencionales adecuándolos a grandes presiones.

3.1.3.3. Hidratos de gas (Gas hydrate). Material similar al hielo, compuesto por moléculas de agua en estado sólido, cuya estructura cristalina atrapa una molécula de gas metano producto de la descomposición microbiana de materia orgánica. Se cree que las reservas de gas en forma de hidratos congelados son enormes, incluso que duplican a todas las reservas conocidas de gas y petróleo del mundo. Este tipo de hidrocarburo se encuentran en los fondos oceánicos y en menor medida en suelos congelados en zonas árticas.

3.1.3.4. Petróleo o gas de esquisto (Shale-Oil y Shale-Gas). Llamados “**Yacimientos de roca generadora**”, puesto que son los reservorios en los que la roca productora, es rica en materia orgánica que sufrió los procesos físico-químicos para convertirse en hidrocarburos, más no llegó a darse ningún tipo de migración. El hidrocarburo, petróleo o gas, sigue atrapado en forma de gotas microscópicas dentro de la roca madre.

Hay una variación de este tipo de yacimientos denominada Tight Gas (gas apretado) en los que el gas queda atrapado en un tipo de roca que no se puede considerar reservorio al no tener permeabilidad y que, al igual que el Shale, sólo puede ser explotado mediante la Fracturación Hidráulica⁵.

La explotación de estas reservas trae consigo grandes desafíos medioambientales, puesto que las formas de extracción de crudo y gas son muy agresivas y pueden causar serios deterioros ecológicos que perjudicarían la salud de animales y personas.

3.1.4. Riesgos ambientales. “Un riesgo ambiental se define como la posibilidad de que se produzca un daño o catástrofe al medio ambiente debido a un fenómeno natural o una acción humana⁶.”

3.1.5. Aspectos ambientales. Un aspecto ambiental es una consecuencia producto de una actividad empresarial que tiene contacto o puede interactuar con el medio ambiente, para analizar los aspectos ambientales se evalúan tres componentes básicos:

⁵ ENERGÍA YPF. ¿Qué son los yacimientos No Convencionales?. GALLEGOS, Ernesto. Independencia Energética. 24.02.2014. Disponible en: <https://goo.gl/3rswxt>

⁶ ICONTEC. Guía Técnica Colombiana 104. Gestión del riesgo ambiental. Principios y proceso. 2009-08-19. Pág. 3.

3.1.5.1. Componente Suelo. La actividad petrolera en sus diferentes etapas ocasiona contaminación y cambios en el uso del suelo, remoción de material para construcción de vías, instalaciones y/o pozos; a continuación, se enumeran algunos de los riesgos ambientales propios del suelo e identificados en la explotación de yacimientos de roca generadora:

Ocupación del terreno: La producción de hidrocarburos requiere la perforación de gran número de pozos debido a que el área de drenaje de un yacimiento de roca generadora es relativamente pequeña, por lo cual la demanda de superficie es mayor. “En promedio se necesitan de 2 a 3 hectáreas para el montaje de cada una de las plataformas de perforación, adicionalmente según el tipo de perforación esta área podría aumentar⁷.”

Contaminación: El suelo puede ser contaminado con productos químicos durante el transporte, almacenamiento o disposición de estos, además de la contaminación que se da por las filtraciones de fluido durante la perforación y el bombeo a subsuelo de la mezcla, cabe resaltar que los químicos llegan a locación en su estado puro, por lo cual un derrame de producto sin diluir generaría un gran impacto, a pesar de que puede considerarse como bajo el riesgo de dicho accidente.

3.1.5.2. Componente Agua. El recurso hídrico es utilizado durante todas las actividades de fracturamiento, por eso es importante el manejo que se le da antes, durante y después de la operación. A continuación, se enumeran los riesgos ambientales identificados en cada una de estas etapas:

⁷ L.M. Romero, Halliburton, J. Romero, ACIPET. Análisis de los riesgos ambientales asociados a la explotación de yacimientos no convencionales, contexto internacional y aplicación en Colombia. 2017. Pág. 6.

Captación y uso: “En cuanto al uso del recurso hídrico se estima que para el proceso de aumento de la permeabilidad de los yacimientos de roca generadora se requiera un estimado de 7,5 a 15 millones de litros (2 a 4 millones de galones) por pozo⁸”.

Disposición de residuos líquidos: Las aguas residuales de las operaciones de fracturamiento constituyen el mayor volumen de todos los residuos generados durante la operación en un pozo de un yacimiento de roca generadora⁹. Adicionalmente hay que tener en cuenta que esta agua residual tiene considerables concentraciones de sustancias disueltas de la formación, como sales, metales y materiales reactivos naturales, que pueden llegar a ser nocivas si no se tratan.

3.1.5.3. Componente Aire. Muchos de los químicos utilizados durante la perforación y el fracturamiento son compuestos volátiles que durante el proceso son liberados a la atmosfera, al igual, que una parte del gas que es producido mientras es acondicionado en superficie. Esto ocasiona:

Emisión de contaminantes: En áreas con amplia presencia de perforaciones y fracking se presenta una notable disminución de la calidad del aire y en muchos casos, incrementos en los índices de problemas de salud vinculados a la contaminación atmosférica. “En muestreos de aire se encontraron concentraciones excesivas de compuestos orgánicos volátiles, en especial de las sustancias cancerígenas como benceno y formaldehído, tanto en el cabezal del pozo, como en un trayecto que superó la distancia mínima legal entre el cabezal del pozo y las viviendas¹⁰.”

⁸ ARNEDO, A. E. & YUNES, K.M. FRACKING. Extracción de gas y petróleo no convencional y su impacto ambiental. Ingenierías. 2015. pag. 3-26

⁹ FRACTURA HIDRAULICA NO. Compendio de hallazgos científicos, médicos y de medios de comunicación que demuestran los riesgos y daños del Fracking (extracción no convencional de gas y petróleo). Tercera edición. octubre 2015. pág. 29. Disponible en: <https://goo.gl/UffojB>.

¹⁰ FRACTURA HIDRAULICA NO. Compendio de hallazgos científicos, médicos y de medios de comunicación que demuestran los riesgos y danos del Fracking (extracción no convencional de gas y petróleo). Tercera edición. Octubre 2015. pág. 16. Disponible en: <https://goo.gl/UffojB>.

3.1.6. Matriz de riesgos. La Matriz de Riesgos es una herramienta de gestión que permite determinar objetivamente cuáles son los riesgos relevantes para la seguridad y salud de los trabajadores que enfrenta ante un proyecto. Su llenado es simple y requiere del análisis de las tareas que se planean desarrollar.

3.1.6.1. Grados de riesgo. Los métodos para determinar los grados del riesgo, generalmente se clasifican en análisis de tipo cualitativo, semicuantitativo y cuantitativo; usualmente los estudios sobre riesgos ambientales son de carácter cualitativo. Este análisis se utiliza cuando no se hace posible realizar un análisis cuantitativo completo y es útil para priorizar los riesgos con el fin de gestionarlos de la manera más conveniente y rentable. El análisis cualitativo usa una escala de palabras o descripciones para evaluar los impactos originados de cada evento y su posibilidad de ocurrencia¹¹.

3.2. MARCO LEGAL.

3.2.1. Contexto Nacional:

3.2.1.1. Propiedad del subsuelo y de los recursos naturales.

C.N - ART.102: El territorio, con los bienes públicos que de él forman parte, pertenecen a la nación.

C.N - ART.332: El estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, sin perjuicio de los derechos adquiridos y perfeccionados con arreglo a las leyes preexistentes.

¹¹ L.M. Romero; Halliburton; J. Romero, ACIPET. Análisis de los riesgos ambientales asociados a la explotación de yacimientos no convencionales: contexto internacional y aplicación en Colombia. 2017. Pág. 3

L. 685/2001 - ART. 1: El presente Código tiene como objetivos de interés público fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; estimular estas actividades en orden a satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país.

C.N. - ART. 63: Los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos, las tierras de resguardo, el patrimonio arqueológico de la Nación y los demás bienes que determine la ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables.

C.N. - ART. 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Asimismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

3.2.1.2. Libertad de la actividad exploratoria.

D. 1056/53 - ART. 19: La exploración superficial será libre en todo el territorio de la Republica, cuando se haga en busca del petróleo de propiedad nacional; más cuando haya de hacerse en superficies de propiedad particular, se hará necesario dar aviso al dueño, quien no podrá oponerse en ningún caso, pero sí hacerse pagar del explorador el valor de los perjuicios que se le ocasionen.

3.2.1.3. Régimen socio ambiental aplicado a las actividades de exploración y producción de hidrocarburos:

L. 23/73 - ART. 2: El medio ambiente es un patrimonio común; por lo tanto, su mejoramiento y conservación son actividades de utilidad pública, en las que deberían participar el Estado y los particulares. Para efectos de la presente Ley, se entenderá que el medio ambiente está constituido por la atmosfera y los recursos naturales renovables.

R. 181495/2009 - ART.4: En las operaciones reglamentadas en esta resolución se deben aplicar los estándares y normas técnicas nacionales e internacionales y especialmente las recomendadas por el AGA, API, ASTM, NFPA, NTC-Icontec, Retie o cualquiera otra que las modifique, utilizadas en la industria petrolera.

En donde se desarrollen estas actividades, los manuales y normas técnicas requeridos deben estar a disposición permanente de las autoridades administrativas o de cualquier otra entidad o persona debidamente autorizada o delegada por el Ministerio de Minas y Energía.

R. 631/2015: En esta resolución se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales (Contenido de sustancias químicas, temperatura de vertimientos ...) y se dictan otras disposiciones.

R. 631/2015 - ARTÍ. 11: Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas (ARND) a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con hidrocarburos (petróleo crudo, gas natural y derivados).

R. 631/2015 - ARTÍ. 11: PARÁGRAFO 2o. Para la actividad de exploración y producción de Yacimientos no Convencionales de Hidrocarburos (YNCH), no se admite el vertimiento de las aguas de producción y de los fluidos de retorno a los cuerpos de aguas superficiales y al alcantarillado público, hasta tanto este Ministerio cuente con la información técnica que le permita establecer los parámetros y sus valores límites máximos permisibles.

R.1207/2014: Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.

R.180005/2010: Por la cual se adopta el Reglamento para la gestión de los desechos radiactivos en Colombia.

3.2.1.4. Criterios y procedimientos para la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales:

R. 90341/2014 - ART. 12: La estimulación hidráulica para la exploración y explotación de yacimientos no convencionales se adelantará siguiendo los siguientes procedimientos y condiciones:

1. Previo a las actividades de estimulación hidráulica el operador debe realizar pruebas de presión a todos los revestimientos expuestos al tratamiento de estimulación hidráulica en el pozo.
2. El operador debe monitorear la presión del espacio anular de todos los revestimientos de manera permanente durante las actividades de estimulación hidráulica. En el evento en que haya un aumento en la presión anular de doscientos (200) psi, las operaciones de estimulación hidráulica deberán ser suspendidas de manera inmediata y notificar por escrito en el menor tiempo

posible al Ministerio de Minas y Energía o quien haga sus veces en materia de fiscalización de las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos.

3. En caso que las presiones indiquen que hay comunicación entre el fluido de estimulación hidráulica y el anular del revestimiento el operador deberá:

- a) Suspender las actividades de estimulación hidráulica.
- b) Notificar de manera inmediata por escrito al Ministerio de Minas y Energía o a quien haga sus veces en materia de fiscalización de las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos.
- c) Realizar las acciones correctivas.
- d) Notificar y enviar evidencia del éxito de la implementación de las acciones correctivas.
- e) Una vez ejecutadas las acciones correctivas se podrán reanudar las actividades de estimulación hidráulica.

4. En ningún caso, la distancia entre una estimulación hidráulica y un acuífero aprovechable para consumo humano, podrá ser menor a cinco (5) veces el radio de estimulación hidráulica, calculado con base en el modelo geomecánico que tenga en cuenta los esfuerzos horizontales y verticales del área a ser estimulada.

- a) Para el caso específico de exploración y explotación de gas metano asociado a mantos de carbón, esta distancia no podrá ser inferior a dos (2) veces el valor del radio de estimulación hidráulica calculado. En ningún caso esta distancia podrá ser inferior a diez (10) veces el espesor vertical del intervalo estimulado.

5. No se podrán realizar operaciones de estimulación hidráulica en pozos que se encuentren a menos de doscientos (200) metros de distancia en superficie de un

pozo de agua construido con fines de consumo, irrigación, uso agropecuario u otras actividades de subsistencia.

PARÁGRAFO. No se permitirá realizar estimulación hidráulica a menos de un (1) km de una falla activa mayor identificada, potencialmente peligrosa, especialmente que esté en el basamento y que tenga buzamiento hacia el interior del campo.

R. 90341/2014 – ART. 16: El operador deberá suspender las actividades de operación de inyección en los siguientes casos:

1. Cuando se presenten fallas durante las pruebas de integridad se debe realizar un cierre inmediato del pozo, suspender las de operaciones de inyección en dicho pozo hasta tanto se implementen las acciones correctivas correspondientes y notificar dentro de las siguientes veinticuatro (24) horas al Ministerio de Minas y Energía o a quien haga sus veces en materia de fiscalización de las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos. Una vez las acciones correctivas hayan sido implementadas se podrán reanudar las operaciones de inyección en el pozo.
2. En pozos inyectoros, si las presiones del anular igualan el 20% del promedio de la presión de inyección el operador debe suspender las operaciones de inyección y notificar dentro de las siguientes veinticuatro (24) horas al Ministerio de Minas y Energía o a quien haga sus veces en materia de fiscalización de las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos.
3. Si se presenta un evento sísmico de magnitud mayor o igual a cuatro (4) en la escala de Richter, cuyo epicentro esté ubicado dentro del área cuyo radio en torno al pozo de inyección sea de dos (2) veces la profundidad del pozo y a una profundidad hipocentral menor de dieciséis (16) km de acuerdo con la información oficial del Servicio Geológico Colombiano

3.2.1.5. Criterios para la solicitud de licencias ambientales:

D. 1076/2015 - ART 2.2.2.3.1.4: *Licencia ambiental global*. Para el desarrollo de obras y actividades relacionadas con los proyectos de explotación minera y de hidrocarburos, la autoridad ambiental competente otorgará una licencia ambiental global, que abarque toda el área de explotación que se solicite.

En este caso, para el desarrollo de cada una de las actividades y obras definidas en la etapa de hidrocarburos será necesario presentar un plan de manejo ambiental, conforme a los términos, condiciones y obligaciones establecidas en la licencia ambiental global.

Dicho plan de manejo ambiental no estará sujeto a evaluación previa por parte de la autoridad ambiental competente; por lo que una vez presentado, el interesado podrá iniciar la ejecución de las obras y actividades, que serán objeto de control y seguimiento ambiental.

D. 1076/2015 - ART 2.2.2.3.2.2: *Competencia de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)*. La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA- otorgará o negará de manera privativa la licencia ambiental para los siguientes proyectos, obras o actividades:

1. En el sector hidrocarburos:

a) Las actividades de exploración sísmica que requieran la construcción de vías para el tránsito vehicular y las actividades de exploración sísmica en las áreas marinas del territorio nacional cuando se realicen en profundidades inferiores a 200 metros;

b) Los proyectos de perforación exploratoria por fuera de campos de producción de hidrocarburos existentes, de acuerdo con el área de interés que declare el peticionario;

e) La explotación de hidrocarburos que incluye, la perforación de los pozos de cualquier tipo, la construcción de instalaciones propias de la actividad, las obras complementarias incluidas el transporte interno de fluidos del campo por ductos, el almacenamiento interno, vías internas y demás infraestructuras asociada y conexa.

D. 1076/2015 - ART 2.2.2.3.7.1. *Modificación de la licencia ambiental*. La licencia ambiental deberá ser modificada en los siguientes casos:

9. Para el caso de proyectos existentes de exploración y/o explotación de hidrocarburos en yacimientos convencionales que pretendan también desarrollar actividades de exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales siempre y cuando se pretenda realizar el proyecto obra o actividad en la misma área ya licenciada y el titular sea el mismo, de lo contrario requerirá adelantar el proceso de licenciamiento ambiental de que trata el presente decreto.

3.2.2. Contexto internacional: Dentro de los tratados y acuerdos internacionales aplicables a yacimientos de roca generadora, se encuentran: la Declaración de Estocolmo sobre Medio Ambiente Humano (Estocolmo, 1972), Convención de Viena para la protección sobre la Capa de Ozono (Viena,1985), Protocolo de Montreal Relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono (Montreal,1987), Convención sobre los Humedales de importancia internacional (Ramsar,Iran,1971), Acuerdo sobre el Medio Ambiente del MERCOSUR (2001) donde uno de sus temáticas es la Gestión Sustentable de los Recursos Naturales; Protocolo de San Salvador (San Salvador, 1988).

Todas estas normas rigen bajo la Declaración de Río del 92, la cual en el art. 15 establece que cuando haya peligro de daño grave o irreversible al medio ambiente, la falta de certeza científica no será razón para no tomar medidas eficaces que impidan la degradación del medio ambiente.

3.3. ANTECEDENTES.

“El fracturamiento hidráulico es una técnica relativamente nueva, la cual fue desarrollada por primera vez en Estados Unidos, al centro norte de Texas. Esta técnica se desarrolló de manera comercial desde mediados de 1940 extrayendo gas de esquisto del yacimiento Barnett Shale.” Su crecimiento ha sido inminente, tal que para 2013 existieron más de 40000 pozos productores de gas de esquisto repartidos en 20 estados; de esta manera se da paso a los demás países de replicar esta técnica y así poder aumentar sus reservas energéticas¹².

A medida que ha aumentado la producción de yacimientos de roca generadora a nivel mundial, se ha ido estudiando los diversos efectos ambientales y sociales generados por las técnicas de extracción de gas natural y petróleo, fracturamiento hidráulico o fracking; por lo que, de acuerdo con los antecedentes más relevantes de los últimos años, se encuentran los siguientes:

- Haynesville:

Ubicada al Noroeste de Louisiana en el Este de Texas, Estados Unidos. Es una formación donde la técnica utilizada es la fracturación hidráulica para la explotación del gas de esquisto. La producción aproximada de este campo es de 6.5 MMPCD, Haynesville es una fuente principal de gas natural, está bien posicionada para

¹² AMEDO. Ana y YUNES. Karla. Fracking. Extracción de gas y petróleo no convencional y su impacto ambiental. Cartagena. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño. 2015. Pag. 3.

satisfacer la demanda energética generando menos emisiones que el uso del carbón por los próximos años¹³.

El impacto ambiental generado por este campo va directamente relacionado al recurso hídrico, según un estudio realizado por la Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL), son necesarios 14 millones de litros de agua por pozo para el proceso de perforación y de fracturación, un aproximado del agua utilizada para un pozo de fracking es la misma cantidad que consumen 11000 familias americanas conformadas por 4 personas en un día¹⁴. El mayor riesgo en este campo, es que el fluido inyectado en el pozo y en la roca fracturada se pueda filtrar ascendentemente desde la fractura hacia las capas de aguas subterráneas.

En los desechos químicos producto del proceso de fractura se ha encontrado contenido tóxico y agentes cancerígenos, además se encontró presencia de metano en el agua, lo que la deja no apta para el consumo humano¹⁵.

- Barnett shale:

Ubicado en el arco doblado de la cuenca de Fort Worth, en el Norte de Texas y el suroeste de Oklahoma, es considerado el “Granddaddy” de los gases de esquisto en Estados Unidos, con más de 8.000 km², esta cuenca de lutitas a unos 7.000 ft de profundidad es una de las más importantes productoras de gas natural a nivel nacional con 5,74 MMPCD. El fracturamiento hidráulico es la técnica utilizada para la explotación de Barnett, cabe resaltar que con más de 10.000 pozos de producción

¹³ NGI'S. Information on the Haynesville shale. 10 de noviembre 2018. Disponible en: goo.gl/J5MJSk

¹⁴ Naciones Unidas. Desarrollo del gas de lutita (shale gas) y su impacto en el mercado energético de México. Reflexiones para Centroamérica: Naciones Unidas, México D.F. 2013.

¹⁵ AMEDO. Ana y YUNES. Karla. Fracking. Extracción de gas y petróleo no convencional y su impacto ambiental. Cartagena. Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño. 2015. Pag. 14.

hoy en día está en evaluación la posibilidad de refrackear los pozos más antiguos para aumentar su potencial de producción¹⁶.

Con una producción diaria de 2.242 barriles de crudo a 2015, los impactos que están siendo generados se encuentran en diferentes aspectos ambientales: Recurso hídrico, además de los más de 10 millones de litros de agua por pozo, se tiene repercusión en los efluentes industriales del agua de retorno que son generados en el proceso de extracción, la cantidad del metano emitido durante el día en el reflujo es de 41 mil metros cúbicos por día, mucho más de lo que podría disolverse, dando paso a niveles de toxicidad¹⁷; en el recurso aire, presenta una elevada emisión del metano, el cual por ser un gas invernadero es un gran responsable del calentamiento global, según un estudio realizado por la escuela de ingeniería ambiental de la Cornell University, el promedio de un pozo de shale gas emite metano a la atmosfera cerca del 3.6% al 7.9% de la producción total del pozo, mientras que en un pozo convencional solo son emitidos del 1.7% al 6% (los gases de esquisto liberan este gas con efecto invernadero hasta dos veces más que los yacimientos convencionales¹⁸); finalmente causa un impacto en el suelo, la región de Barnett fue el primer lugar en los Estados Unidos en el que se prohibió temporalmente el fracking debido a repetitivos pequeños terremotos y sismos de bajo grado; los habitantes de Denton votaron a favor para la prohibición total de esta técnica en su zona¹⁹.

- Marcellus Shale:

Es un yacimiento de producción de gas natural ubicado en los montes Apalaches de los Estados de New York, Pennsylvania, Ohio, Maryland y West Virginia en

¹⁶ NGI'S. Information on the Barnett shale. 10 de noviembre 2018. Disponible en: goo.gl/SLVsXw

¹⁷ HOWARTH. Robert. SANTORO, Renee y INGRAFEEA, Anthony. Methane and the greenhouse-gas footprint if natural gas from shale formations. Climatic Change. 2011.

¹⁸ HOWARTH. .OP.ciT., p. 08

¹⁹ FISHER. Joe. Denton, TX, Votes Fracking Out, Lawuits in. Natural Gas Intel. 5 de noviembre 2014. Disponible en internet: <https://bit.ly/2Bi2zYf>

Estados Unidos, el rápido crecimiento de este campo lo ha llevado a ser uno de los reservorios más importantes a nivel mundial mediante la técnica de fracturamiento hidráulico, solo en el 2014 fue el responsable de producir 4 TPC de gas natural; Incluso ha logrado reducir las importaciones de gas natural de EE.UU. en más de un 60%²⁰.

En cuanto al impacto generado por el fracking, está relacionado directamente al consumo de elevadas cantidades de agua; el consumo de una explotación en Marcellus supera los 25 millones de metros cúbicos por año, a pesar de que esta cifra no resulta de gran alarma para el país, el crecimiento desmedido de pozos puede causar un gran impacto en el recurso hídrico²¹, según un artículo relacionado por la revista Science cerca de 100 pozos y dos acuíferos (Catskill y Lock Haven) localizados en Pennsylvania han sido contaminados por los fluidos de fracturamiento provenientes de la explotación de Marcellus a través de vías naturales²²; de igual manera se han mencionado los inconvenientes por la acumulación de gas encontrados en pozos de agua dulce originado por el fracking.

Otro efecto importante que cabe mencionar es el impacto que genera en el suelo y aire, cerca de 80000 hectáreas de bosques fueron taladas para la construcción e instalación de pozos en Marcellus Shale, la producción y explotación de gas de lutitas ha afectado los bosques y sus patrones de uso del suelo en gran medida²³.

²⁰ COCKLIN, Jamison. Pennsylvania produces record-setting 4 Tcf of Unconventional NatGas in 2014. Natural Gas Intel. 17 de febrero 2015. Disponible en internet: goo.gl/mQg6Lt

²¹ CHARRY. Sharel y PEREZ, Anibal. Efectos de la estimulación hidráulica en el recurso hídrico: Implicaciones en el contexto Colombiano. Colombia. Universidad Antonio Nariño. 2017.

²² VIDIC, R.D. BRANTLEY, S. L. VANDENBOSSCHE, J. Impact of Shale Gas Development on Regional Water Quality. Science. vol. 340. 2013. Pag. 6.

²³ CHARRY. OP.cit. pag. 10

- Pavillion:

Ubicado en el condado de Fremont en el estado de Wyoming, Estados Unidos. Es un lugar impactado ambientalmente por la explotación de yacimiento no convencional mediante la técnica de fracturamiento hidráulico.

Desde 2010 la comunidad ha presentado fuertes reclamos ante la nación por la contaminación presentada en las aguas públicas, impidiéndoles su consumo debido a la presencia de químicos y materiales contaminantes concurrentes como el benceno y el metano²⁴. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) afirmó, luego de un estudio realizado con 39 muestras de la población, que el agua potable y subterránea de Pavillion estaba contaminada debido a los derrames y vertimientos ocasionado por el fracking cerca de la zona, y como medida de precaución prohibió a los residentes beber o consumir agua directamente del grifo²⁵.

- Preese Hall:

Es un pozo ubicado en weeton, en Blackpool al Norte del Reino Unido. En el año 2010 se comenzó las operaciones de fracturamiento hidráulico sobre la roca lutita de este yacimiento de gas natural, en abril del siguiente año se produjo un sismo de 2,3 en la escala de Richter y mediante estudios realizados por la Universidad de keele y el Servicio Geológico Británico (BGS) se llevó a afirmar que este hecho producido en la cuenca de Bowland fue debido a las operaciones de fracturamiento hidráulico realizadas en este pozo puesto que el epicentro había ocurrido en las

²⁴ STICKLEY, Dennis C. Expanding Best Practice: The Conundrum of Hydraulic Fracturing. 12 Wyo. L. Rev. 321. 2012.

²⁵ VALDÉS, Claudia. El Fracking: Impactos ambientales y socioeconómicos. Madrid. Universidad Complutense de Madrid. Pag. 4

cercanías del lugar de perforación²⁶. En menos de dos meses, el 27 de mayo ocurre nuevamente un sismo en la zona esta vez con una magnitud de 1,5 en la escala de Richter, nuevamente fue retribuido a las acciones de esta técnica no convencional por la BGS en un informe realizado en octubre del mismo año y Cuadrilla Resources encargada de todos los procesos en este reservorio, tuvo que parar cualquier tipo de operación de fracking, realizar un taponamiento del pozo con cemento y abandonar el pozo²⁷.

- Vaca Muerta:

Con una extensión de 30.000 km² y a más de 8.000 ft de profundidad vaca muerta es la principal formación de Shale en Argentina, es el segundo reservorio mundial de gas, Ubicada al sudoeste del país en la Cuenca Neuquina. Con una alta cantidad de Carbón Orgánico Total (TOC), una buena permeabilidad y un gran espesor la convierte en una de las más llamativas del mundo²⁸.

El impacto ambiental que está teniendo la explotación de este recurso no convencional en la provincia de Neuquén en cuanto al recurso hídrico es bastante notorio, puesto que a Julio de 2018 se han perforado mas de 900 pozos en Vaca Muerta y según los datos recolectados por el Centro de Derechos Humanos y Medio Ambiente (CEDHA), indica que por 1000 pozos de fracking, se podría producir 11,000 millones de litros de agua contaminada²⁹, una aproximación rápida equivalente a la cantidad contaminada sería similar a el agua que consume toda la

²⁶ AMEDO. Ana y YUNES, Karla. Fracking; Extracción de gas y petróleo no convencional y su impacto ambiental. Cartagena; Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño. 2015. Pág. 21.

²⁷ CUADRILLA. Weeton Seismicity info. Cuadrilla resources. 19 de noviembre de 2018. Disponible en: goo.gl/KAGHkb

²⁸ YPF. Vaca muerta. 2013. 19 de noviembre 2018. Disponible en: <https://goo.gl/F5Huu6>

²⁹ TAILLANT. Jorge, Valls. Mariana et al. Fracking en Argentina. Córdoba, Argentina. Centro de derechos humanos y ambiente & ECOJURE. 2013.

población de Argentina en seis meses, deduciendo que son consumidos dos litros de agua por habitante en el día³⁰.

Además, el impacto social que está generando este yacimiento de hidrocarburos va muy ligado a las repercusiones sobre este líquido vital, los vecinos de la localidad de Añelo, lugar de explotación de Vaca Muerta, han denunciado no solo la falta y escasez de agua sino el estado en el que llega el cual es no apta para el consumo humano. “Al abrir la llave, salió agua lodosa y con una película aceitosa en la superficie” exclamó una vecina de la zona por el diario La Izquierda de Argentina³¹.

³⁰ AMEDO, Ana y YUNES, Karla. Fracking. Extracción de gas y petróleo no convencional y su impacto ambiental. Cartagena. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño. 2015. Pág.3.

³¹ RODRIGUEZ. Cristian. Neuquén. Detectan agua con materiales aceitosos en Añelo. La Izquierda Diario. 13 de noviembre. Disponible en: goo.gl/XAKjU9

4. METODOLOGÍA

4.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

En el desarrollo de este proyecto se plantean cuatro etapas: análisis estructural de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos, caracterización de técnicas de explotación de yacimientos de roca generadora en zona montañosa, reconocimiento de normatividad ambiental relacionada con los hidrocarburos en Colombia y finalmente un análisis de tres casos en los cuales se pueda evidenciar el impacto ambiental de cada uno de ellos; de esta manera, para dar cumplimiento a cada una de las etapas se procede así:

4.1.1. Análisis estratigráfico de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos. Esta etapa permite lograr el primero objetivo planteado mediante las siguientes actividades:

1. Recolectar información de los mapas geológicos de la cordillera Oriental de los Andes.
2. Reconocer las particularidades geológicas propias de una zona montañosa.
3. Establecer las características que tiene una formación para ser un buen prospecto.
4. Confrontar cada una de las características de las formaciones de la cordillera oriental con las propiedades de un buen prospecto.
5. Delimitar las posibles formaciones de interés.

4.1.2. Caracterización de las técnicas de explotación de yacimientos de roca generadora en zona montañosa. Una vez ejecutada la etapa anterior se procede con la segunda fase la cual permite cumplir con el segundo objetivo planteado, realizando las siguientes actividades:

6. Identificar las técnicas para la extracción de hidrocarburos no convencionales.
7. Explicar detalladamente el funcionamiento de cada una de las técnicas de explotación de hidrocarburos de roca generadora.
8. Presentar las diferencias en las técnicas existentes para producir hidrocarburos de un yacimiento de roca generadora y un yacimiento convencional.

4.1.3. Reconocimiento de normatividad ambiental relacionada con los hidrocarburos en Colombia. Esta etapa sirve como contextualización de los casos a analizar:

9. Identificar las leyes colombianas relacionadas con los hidrocarburos que rijan para las zonas de montaña.
10. Reconocer las leyes aplicables a la explotación de yacimientos de roca generadora, identificando las características propias para su aplicación.

4.1.4. Análisis de tres casos en los cuales se pueda evidenciar el impacto ambiental de cada uno de ellos. Para lograr el último objetivo planteado se usa el compendio de información adquirida hasta el momento, en cada caso de estudio se delimita las posibles zonas de interés de acuerdo con la normatividad colombiana de hidrocarburos y la estructura del prospecto; de acuerdo con esto, se elige una región en la cual se podría explotar el hidrocarburo junto con las técnicas para hacerlo. En cuanto el análisis ambiental, se realiza un estudio de los riesgos a partir de la medición cualitativa de las posibilidades y las consecuencias de los respectivos escenarios planteados en los siguientes ítems:

11. Estudiar los efectos ambientales que podrían ocurrir en la zona de estudio si se ejecutan a cabalidad todas las normas colombianas relacionadas con la explotación de yacimientos de roca generadora (Caso Favorable).

12. Identificar los aspectos directamente afectados en el anterior escenario.
13. Plantear un segundo caso de estudio en el cual se analicen los ítems que más podrían fallar y analizar el impacto ambiental cumpliendo con las normas establecidas para la explotación de yacimientos de roca generadora en la zona de cordillera (Caso Desfavorable).
14. Identificar los aspectos directamente afectados en el anterior escenario.
15. Analizar un tercer escenario en una zona geológica distinta a la región montañosa que permita evidenciar los efectos ambientales de la explotación de hidrocarburos de roca generadora.
16. Analizar los tres escenarios planteados comparando los efectos ambientales y los aspectos afectados.

4.2. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS AMBIENTAL.

Para realizar el análisis ambiental de cada uno de los tres casos propuestos, se procede de la siguiente manera:

1. Descripción del caso, hipótesis y objetivo que se van a desarrollar.
2. Descripción de las técnicas de exploración y explotación de hidrocarburos que se va a realizar en el área previamente delimitada como posible prospecto, como no se tiene certeza de la localización del mejor prospecto para realizar la explotación del hidrocarburo, se supone que el área de explotación del recurso es la misma área de exploración.
3. Cualificación de los efectos directos de las actividades en los aspectos ambientales agua, aire, suelo y socioeconómico; mediante el uso de una matriz de riesgos. Para esto se hace el análisis de los riesgos a partir de la medición cualitativa de las posibilidades, duración, posible magnitud, área de influencia, recuperabilidad y la importancia del impacto. En la tabla 1 se

presenta la escala de medida con la cual se va a valorar los distintos ítems a analizar:

Tabla 1: Medición Cualitativa de la posibilidad, duración, posible magnitud, área de influencia, recuperabilidad y la importancia del impacto.

PROBABILIDAD			
Descriptor	Baja	Media	Alta
Descripción	Muy baja posibilidad a limitada posibilidad de ocurrencia del impacto	La probabilidad es media cuando el impacto del aspecto ocurre frecuentemente.	La probabilidad es alta cuando en condiciones normales y dadas las características de la actividad y/o proceso, el impacto se presenta con toda seguridad.
Valor	1	5	10

DURACIÓN			
Descriptor	Breve	Temporal	Permanente
Descripción	Cuando el impacto dura un lapso (No permanece en el tiempo) muy pequeño y no existe ningún potencial de riesgo sobre el ambiente.	Cuando el impacto dura un lapso moderado y tiene un potencial de riesgo medio, produciendo cambios limitados sobre el ambiente.	La duración es permanente cuando el impacto causa alteraciones indefinidas en el tiempo e importantes sobre el ambiente. Las partes interesadas manifiestan objeciones y exigencias.
Valor	1	5	10

MAGNITUD			
Descriptor	Baja	Media	Alta
Descripción	La magnitud es baja cuando el impacto causa una alteración mínima al ambiente	La magnitud es media cuando el impacto causa una alteración moderada sobre el ambiente.	Cuando el impacto se asocia a destrucción del ambiente o sus características, trayendo consecuencias futuras importantes.
Valor	1	5	10

ÁREA DE INFLUENCIA			
Descriptor	Puntual	Local	Regional

Descripción	El área de influencia es puntual cuando el impacto se manifiesta únicamente en el área donde se realizan las actividades del proceso	Cuando el impacto se manifiesta en el ambiente local (afecta un curso superficial o subterráneo de agua, la atmósfera, el suelo, genera un residuo especial, etc.	El área de influencia es regional cuando el impacto tiene consecuencias a nivel regional.
Valor	1	5	10

RECUPERABILIDAD			
Descriptor	Mitigable	Recuperable	Irrecuperable
Descripción	La recuperabilidad es mitigable cuando el impacto se puede eliminar mediante actividades que permitan recuperar los recursos afectados.	Es recuperable cuando el impacto se puede disminuir implementando medidas de control en las actividades (recuperación, reutilización en el proceso) hasta un estándar determinado.	Es irrecuperable cuando los recursos naturales afectados no se pueden retornar a las condiciones originales.
Valor	1	5	10

IMPORTANCIA			
Descriptor	Baja	Media	Alta
Descripción	Cuando es posible manejar el aspecto ambiental implementando controles operacionales en las actividades.	La importancia es media cuando es posible adaptar medidas para cumplir y manejar el aspecto ambiental.	La importancia es alta cuando para manejar el aspecto ambiental se requieren altas inversiones de capital.
Valor	1	5	10

En esta tabla se detalla la descripción y un valor asignado a la gravedad del ítem a analizar. Al valorar cada uno de los componentes de las actividades a ejecutar se obtiene un valor que permite calificar el impacto, en la tabla 2 se presenta la descripción de cada uno de los posibles impactos:

Tabla 2: Valoración de la medida de los impactos.

Impacto	Rango	Descripción	
MUY BAJO	6 – 16,99	La contaminación es insignificativa, salud y vida de las personas no ven se afectadas. EL impacto causa una alteración mínima al ambiente, es posible manejar el aspecto ambiental implementando controles operacionales en las actividades.	

BAJO	17 – 27,99	No hay contaminación significativa, salud y vida de las personas se afectan levemente, el impacto causa una alteración moderada sobre el ambiente. Es posible manejar el aspecto ambiental implementando controles operacionales en las actividades. Interrupción operativa momentánea.	
MEDIO	28 – 38,99	Contaminación de áreas puntuales, salud y vida de las personas con afectaciones importante, el impacto causa una alteración moderada sobre el ambiente, es posible adaptar medidas para cumplir y manejar el aspecto ambiental. Interrupción operativa prolongada.	
ALTO	39 – 49,99	Contaminación de áreas locales, salud y vida de las personas con afectaciones graves, impacto se asocia a destrucción del ambiente. es posible adaptar medidas para cumplir y manejar el aspecto ambiental. Interrupción operativa definitiva.	
MUY ALTO	50 - 60	Contaminación de áreas locales que afecta a toda la comunidad, el impacto causa alteraciones indefinidas en el tiempo e importantes sobre el ambiente, se asocia a destrucción del ambiente o sus características. Los recursos naturales afectados no se pueden retornar a las condiciones originales. Cierre abrupto de las operaciones.	

Esta tabla es una modificación de las calificaciones dadas en la GTC 104 de 2009.

4. Proponer medidas de control a implementar.

5. IMPACTO AMBIENTAL DE LA EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS DE ROCA GENERADORA EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES

Es de vital importancia conocer los impactos ambientales que podrían ocurrir al realizar la exploración, explotación o cualquier otra etapa u operación de la industria petrolera en cuanto a los yacimientos de roca generadora en la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos, para la realización de este proyecto nos enfocaremos principalmente en las formaciones de roca generadora, las zonas de interés para ser producidas mediante sus técnicas respectivas.

Para llevar esto acabo es importante delimitar el área de estudio, debido a que esta zona montañosa es tan extensa y presenta diversas formaciones en ella; por lo tanto, es necesario definir ciertos “targets” con la ayuda de un análisis estratigráfico completo de la zona, que permita concentrar la atención únicamente en estas áreas.

5.1. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La Cordillera Oriental es una de las tres grandes bifurcaciones en las que se divide la Cordillera de los Andes en Colombia, se extiende en dirección Noroeste desde el Macizo Colombiano en el departamento del Cauca hasta la Serranía del Perijá, límites con Venezuela (Ilustración 1). Esta zona hace parte de la geografía de los departamentos de La Guajira, Cesar, Norte de Santander, Santander, Boyacá, Arauca, Cundinamarca, Tolima, Huila y Cauca³²; adicionalmente, entre su relieve se destacan importantes reservas naturales tales como:

³² INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). Geografía de Colombia. Primera edición, 2011. Colombia. Imprenta Nacional de Colombia.

Ilustración 2: Delimitación de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos. Para efectos de un mejor análisis es pertinente dividir dicha cordillera en tres secciones así: Norte, conformada por los departamentos de La Guajira, Cesar, Santander y Norte de Santander; Centro, Boyacá y Cundinamarca; finalmente, la sección Sur constituida por los departamentos de Tolima, Meta, Caquetá y Huila.

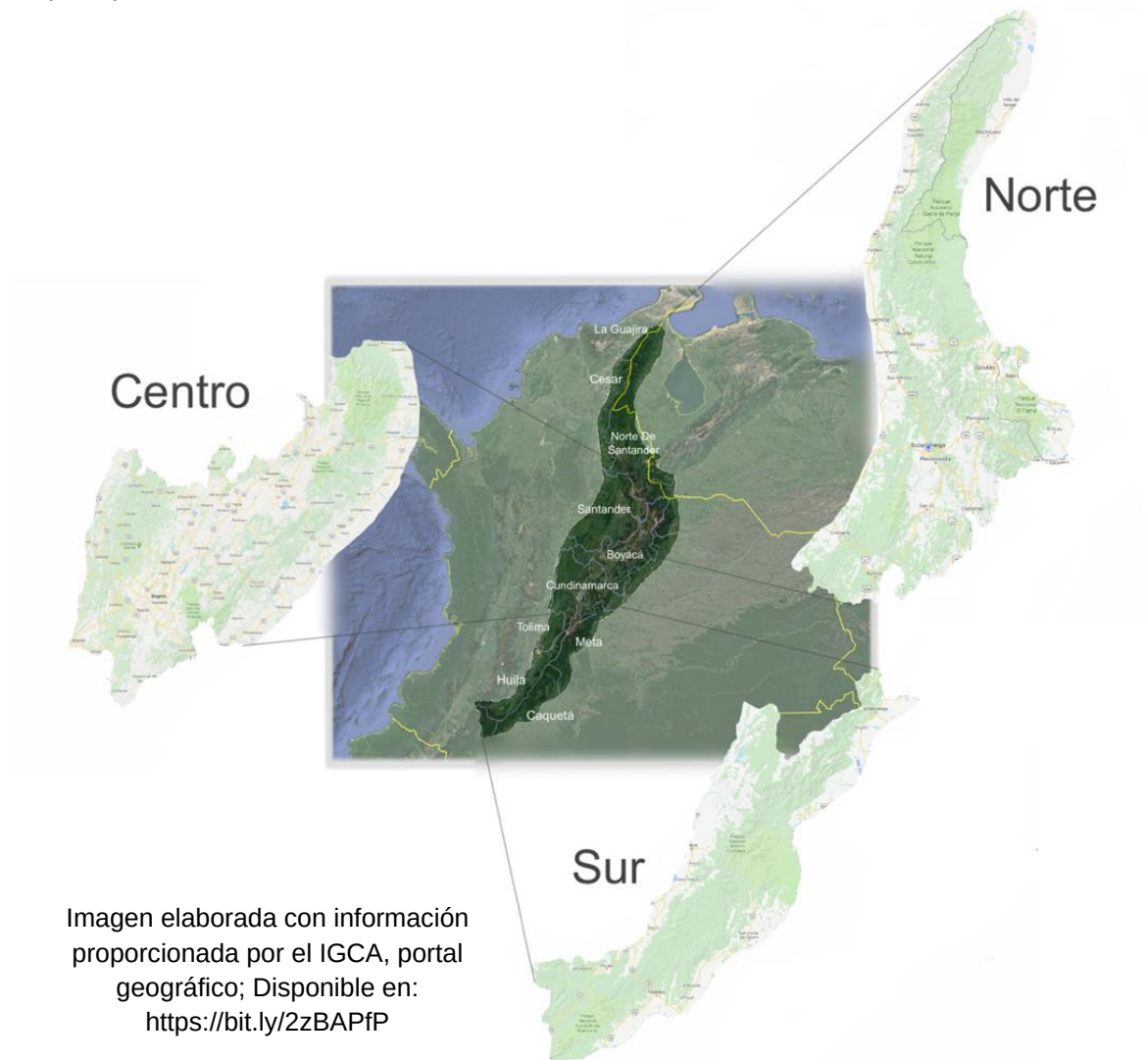


Imagen elaborada con información proporcionada por el IGCA, portal geográfico; Disponible en: <https://bit.ly/2zBAPfP>

- Serranía del Perijá.
- Parque nacional natural Catatumbo Barí.
- Los estoraques.
- Parque nacional natural Tamá.
- Parque nacional natural Serranía de los Yariguíes.
- Cordillera de los Cobardes.

- Parque nacional del Chicamocha.
- Parque nacional natural Sumapaz.
- Parque nacional natural Sierra Nevada del Cocuy.
- Parque nacional natural Pisba.
- Paramo de Iguaque.
- Parque nacional natural Chingaza.
- Parque nacional natural Cordillera de los Picachos.
- Parque nacional natural Cueva de los Guácharos³³.

De igual manera, debido a su gran diversidad e importancia para el país, es vital mencionar los recursos en flora y fauna de la Cordillera Oriental.

5.1.1 Flora. Cerca del 50% de la cordillera oriental está cubierta por bosques. Según el instituto SINCHI en su libro *Libro Rojo De Plantas De Colombia. Especies Maderables Amenazadas* (2007), los productos que podrían extraerse legal y responsablemente de estos ecosistemas podrían convertir al país en un ejemplo de competitividad y autonomía para el mundo; sin embargo, se estima que 42% de la producción total de madera en el país es ilegal, lo cual amenaza la existencia de árboles como la palma de cera, el roble y el cedro andino.

Una de las razones por las que se presenta la deforestación de los bosques nativos en el país, son las actividades económicas diferentes al aprovechamiento responsable del bosque como la exploración y la explotación de hidrocarburos.

5.1.2. Fauna. En esta zona existen múltiples especies endémicas, es decir, animales que viven exclusivamente en los páramos de la Cordillera Oriental. Entre estas especies se encuentran mamíferos como: la musaraña, el ratón runcho y el

³³ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Parques Naturales De Colombia. Parques Naturales. 2010. Disponible en: <https://goo.gl/7MS7XU>

curí; aves: el rascón o tingua de Bogotá, periquito aliamarillo, y el cucarachero de Apolinar; reptiles tales como: la lagartija, la serpiente tierrera y el lagarto collarejo.

Asimismo, hay numerosos anfibios como las ranas saltonas, el sapito arlequín, la rana arborícola, la rana fortachona, la rana de cristal y las ranas de lluvia; animales severamente amenazados por la destrucción de su hábitat.

Según el WWF (World Wildlife Fund) entre las especies nombradas, muchas se encuentran amenazadas o en peligro de extinción. Algunas de ellas son: el ratón runcho, lobo colorado, oso de anteojos, tigrillo, puma, danta de páramo, soche, guagua loba y tinajo o borugo; entre las aves que están en peligro: el pato rufo, el cóndor de Los Andes, el águila crestada, becasina paramuna o caica y la cotorra montañera³⁴.

5.2. ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO DE LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES COLOMBIANOS.

La cordillera Oriental de los Andes presenta una gran variedad de formaciones geológicas en superficie, las cuales fueron aflorando a medida que se iba dando el fenómeno de la orogénesis en esta zona.

En la actualidad, según datos del Servicio Geológico Colombiano se pueden observar cerca de 68 formaciones diferentes en superficie³⁵, Cada una de las formaciones de esta franja presenta una composición geológica diferente, más es importante reconocer las formaciones que podrían ser yacimientos de roca

³⁴ WWF (World Wildlife Fund) – Colombia. Estas Son Las Diez Especies De Animales Más Amenazadas En Colombia. 19-05-2018. Disponible en: <https://goo.gl/XRpjwK>

³⁵ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Atlas Geológico de Colombia 2015. Disponible en: <https://goo.gl/mcDBv5>

generadora; es decir, aquellas formaciones compuestas por rocas sedimentarias de grano muy fino tales como shales, limolitas, lodolitas; formaciones que tienen un origen en un ambiente de deposición de muy baja energía.

En la Ilustración 2 se puede observar la distribución de las formaciones geológicas en la superficie de la Cordillera Oriental junto con la respectiva descripción de la litología de cada una en la Tabla 3.

Ilustración 2: Mapa geológico de la cordillera Oriental de los Andes.

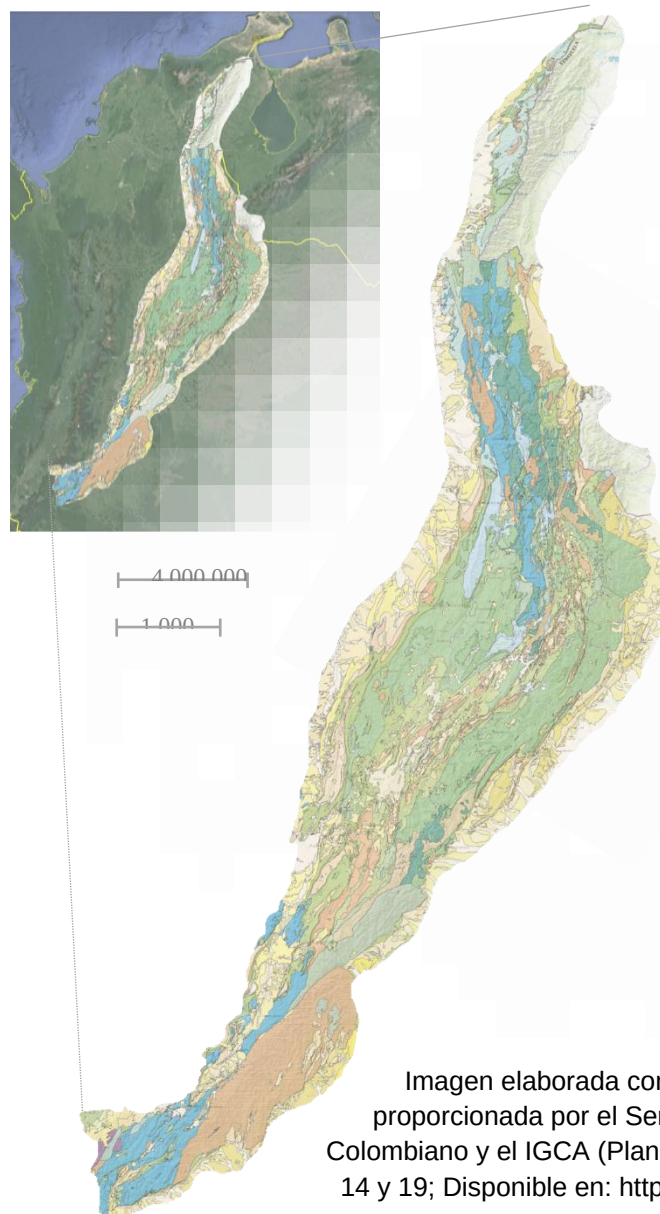


Tabla 3: Descripción de la litología presente en la cordillera Oriental de los Andes (Ilustración 2).

Ítem		Edad				Descripción	¿Geológicamente, podría ser roca generadora?
		Era	Periodo	Edad	M.A		
1		Mesoproterozoico	Esténico	Esténico-Tónico	1600,0	Gneises cuarzofeldespáticos, migmatitas, granulitas, anfibolitas, ortogneises, cuarcitas y mármoles.	-
2		Paleozoico	Ordovícico	Ordovícico	485,4	Lodolitas, shales, limolitas silíceas, metalimolitas, metarenitas feldespáticas y metarenitas lodosas con lentes de mármoles.	-
3				Ordovícico Inferior	470,0	Cuarzomonzonitas con variaciones a granitos y granodioritas	-
4				Ordovícico-Llandovery	455,7	Filitas, esquistos, cuarcitas, pizarras, metaconglomerados, metalimolitas y mármoles.	-
5						Ortogneises graníticos a tonalíticos y paragneises de composición anfibolítica y textura migmatítica	-
6						Granitos con moscovita	-
7			Silúrico	Prídoli-Devónico Inferior	432,0	Metalodolitas, metarenitas, metaconglomerados y mármoles.	-
8			Devónico	Devónico Medio-Devónico Superior	407,6	Conglomerados; arenitas de grano fino a medio con intercalaciones de limolitas, y arcillolitas rojizas.	-
9				Devónico-Carbonífero	374,9	Cuarzoarenitas, arcillolitas, lodolitas grises y, ocasionalmente, calizas y conglomerados.	-
10			Paleozoico		366,9	Pizarras, filitas y limolitas micáceas intercaladas con cuarzoarenitas	-
11			Carbonífero	Carbonífero	358,9	Conglomerados y lodolitas grises intercalados con calizas y arenitas	-

Continuacion (2/6) Tabla 3.

Ítem		Edad				Descripción	¿Geológicamente, podría ser roca generadora?
		Era	Periodo	Edad	M.A		
12		Paleozoico	Carbonífero	Pensilvánico-Pérmico	309,0	Limolitas con intercalaciones de arenitas, arcillolitas y calizas arenosas.	-
13			Pérmico		298,9	Granitos de anatexia, gneises cuazofeldespáticos, gneises migmatíticos, anfibolitas y granulitas.	-
14						Conglomerados basales, arenitas rojas y calizas.	-
15		Mesozoico	Jurásico	Jurásico	201,3	Pórfidos dacíticos y andesíticos	-
16						Granodioritas que varían de sienogranitos a tonalitas y de cuarzomonzonitas a cuarzomonzodioritas	-
17						Tobas, aglomerados y lavas; ocasionalmente, intercalaciones de capas rojas de arenitas líticas y limolitas.	-
18						Riolitas	-
19				Jurásico Inferior-Jurásico Medio	170,3	Arenitas, limolitas y calizas intercaladas con tobas, brechas, aglomerados y lavas riolíticas a andesíticas.	-
20				Jurásico Superior	157,3	Capas rojas constituidas por arenitas, conglomerados y limolitas.	-
21			Cretácico (Inferior)	Berriasiano	145,8	Cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas con intercalaciones de lodolitas y conglomerados	-
22						Conglomerados y brechas; arenitas de grano fino a conglomeráticas y calizas estromatolíticas, e intercalaciones de lodolitas negras.	-
23				Berriasiano-Valanginiano	145,0	Cuarzoarenitas; arenitas feldespáticas o líticas, gradadas, finas a conglomeráticas, e intercalaciones rítmicas de shales y calizas al tope.	-

Continuacion (3/6) Tabla 3.

Ítem		Edad				Descripción	¿Geológicamente, podría ser roca generadora?
		Era	Periodo	Edad	M.A		
24		Mesozoico	Cretácico (Inferior)	Berriasiano-Barremiano	144,8	Cuarzoarenitas y arenitas feldespáticas de grano medio a conglomeráticas, y conglomerados.	-
25				Berriasiano-Aptiano	142,5	Shales y cuarzoarenitas de grano fino a grueso	-
26				Berriasiano-Cenomaniano	140,3	Arcillolitas y limolitas negras con intercalaciones menores de arenitas y calizas. Segmentos de cuarzoarenitas de grano fino a grueso y conglomerados.	-
27				Valanginiano-Aptiano	139,4	Cuarzoarenitas de grano fino a grueso; conglomerados y arenitas feldespáticas y líticas, e intercalaciones de lodolitas oscuras.	-
28				Valanginiano-Albiano	136,6	Shales con yeso, cherts, calizas y arenitas.	si 
29						Shales calcáreos o silíceos; cherts; cuarzoarenitas y arenitas líticas; conglomerados gradados, y calizas arrecifales.	si 
30				Valanginiano-Cenomaniano	135,8	Shales con yeso y chert intercalados con calizas y arenitas	-
31				Valanginiano-Campaniano	133,8	Gabros bandeados isotrópicos	-
32				Barremiano-Albiano	127,6	Arenitas feldespáticas con intercalaciones de calizas, shales, margas y arenitas glauconíticas.	si 
33				Barremiano-Cenomaniano	126,3	Calizas, lodolitas negras y margas. Cuarzoarenitas de grano fino y lodolitas arenosas.	si 
34				Aptiano-Albiano	119,0	Calizas intercaladas con margas y lodolitas calcáreas y arenosas	si 

Continuacion (4/6) Tabla 3.

Ítem		Edad				Descripción	¿Geológicamente, podría ser roca generadora?
		Era	Periodo	Edad	M.A		
35		Mesozoico	Cretácico (Inferior)	Aptiano-Albiano	119,0	Conglomerados rojizos; arenitas feldespáticas y arcillolitas abigarradas; cuarzoarenitas; calizas y shales, y en el tope, cuarzoarenitas glauconíticas y ferruginosas.	si 
36				Aptiano-Cenomaniano	115,6	Calizas, lodolitas oscuras y cuarzoarenitas.	si
37				Aptiano-Maastrichtiano	112,6	Calizas, lodolitas calcáreas y shales. También fosforitas, cherts, bentonitas y arenitas glauconíticas.	-
38				Albiano-Cenomaniano	109,5	Tres conjuntos de cuarzoarenitas de grano fino a medio separadas por dos segmentos con intercalaciones de arenitas de grano fino y lodolitas negras	-
39						Cuarzoarenitas de grano grueso a conglomeráticas con niveles de lodolitas grises y lentes de carbón	-
40				Albiano-Campaniano	106,3	Lodolitas oscuras y margas intercaladas con calizas, cuarzoarenitas y limolitas silíceas.	si 
41				Albiano-Maastrichtiano	102,8	Shales, calizas, arenitas, cherts y fosforitas	si 
42			Cretácico (superior)	Cenomaniano-Santoniano	95,8	Lodolitas grises con intercalaciones medianas de calizas, cuarzoarenitas y lentes delgados de carbón.	si 
43				Cenomaniano-Maastrichtiano	94,3	Shales, calizas, fosforitas, cherts y cuarzoarenitas. Predominio de facies finas al norte del Cocuy y facies más arenosas al sur.	si 
44				Campaniano-Paleoceno	76,7	Cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas intercaladas con lodolitas, limolitas silíceas arcillosas y lentes de calizas.	-

Continuacion (5/6) Tabla 3.

Ítem		Edad				Descripción	¿Geológicamente, podría ser roca generadora?
		Era	Periodo	Edad	M.A		
45		Mesozoico	Cretácico (superior)	Maastrichtiano	72,1	Arcillolitas grises y negras y arcillolitas abigarradas con intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino a grueso. Frecuentes mantos de carbón.	-
46				Maastrichtiano-Paleoceno	70,8	Shales y arenitas glauconíticas a la base; limolitas y arcillolitas intermedias, y calizas y shales calcáreos al tope.	-
47		Cenozoico	Paleógeno	Paleoceno	66,0	Conglomerados intercalados con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas carbonosas	-
48						Arenitas de grano fino a medio intercaladas con lodolitas y mantos de carbón. En ocasiones, calizas y arenitas calcáreas.	-
49				Bartoniano-Rupeliano	38,6	Arenitas, limolitas y lodolitas con mantos delgados de carbón.	-
50				Bartoniano-Chatiano	35,6	Intercalaciones de capas rojas de conglomerados, arenitas líticas conglomeráticas y arcillolitas.	-
51						Arenitas de grano fino a conglomeráticas interestratificadas con arcillolitas y limolitas. Ocasionalmente, lentes de hierro oolítico y carbón.	-
52				Rupeliano-Langhiano	27,7	Arcillolitas abigarradas y cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas	-
53				Oligoceno-Mioceno	26,2	Lodolitas, arenitas líticas e intercalaciones de conglomerados ferruginosos. Presenta costras de yeso y capas de carbón.	-
54						Intercalaciones de arenitas localmente conglomeráticas, lodolitas y arcillolitas. Ocasionalmente, delgadas capas de carbón.	-

Continuacion (6/6) Tabla 3.

Ítem		Edad				Descripción	¿Geológicamente, podría ser roca generadora?
		Era	Periodo	Edad	M.A		
55		Cenozoico	Neógeno	Mioceno	23,0	Conglomerados y arenitas poco consolidados con matriz ferruginosa y arcillosa. También arcillolitas con intercalaciones de limolitas, lodolitas arenosas y arenitas.	-
56				Serravaliano-Mesiniano	10,8	Arenitas líticas con intercalaciones de arcillolitas de color gris verdoso y conglomerados	-
57				Plioceno	5,3	Tobas intercaladas con aglomerados, brechas, conglomerados, lodolitas y arenitas.	-
58						Lavas e ignimbritas de composición andesítica	-
59			Plioceno-Pleistoceno		3,2	Conglomerados de bloques a guijos con intercalaciones de arcillas y arenitas de grano fino a grueso	-
60						Arenitas feldespáticas y líticas; arcillolitas, y conglomerados con abundantes líticos de andesitas y dacitas.	-
61			Cuaternario		2,6	Depósitos aluviales y de llanuras aluviales	-
62						Abanicos aluviales y depósitos coluviales	-
63						Depósitos glaciares	-
64						Terrazas aluviales	-
65					1,8	Abanicos aluviales y depósitos coluviales	-
66			Pleistoceno			Arcillas, turbas, y arcillas arenosas con niveles delgados de gravas. Localmente, capas de depósitos de diatomeas.	-
67						Depósitos paludales	-
68			Holoceno		0,0117	Flujos volcanoclásticos constituidos por piroclastos y epiclastos de composición andesítica y dacítica	-

La presente Tabla está elaborada con datos litológicos proporcionados por el Servicio Geológico Colombiano, los cuales fueron organizados de manera cronológica usando la Edad de la formación; posteriormente fueron situados en su periodo y respectiva era.

Atendiendo a parámetros únicamente geológicos, en la Tabla 4 se plantea la pregunta: “¿Geológicamente, podría ser roca generadora?”; para responder a esta pregunta, es necesario comparar las características propias de una roca generadora

Ilustración 3: Formaciones que podrían ser prospecto de Hidrocarburos no Convencionales en la sección norte de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos.

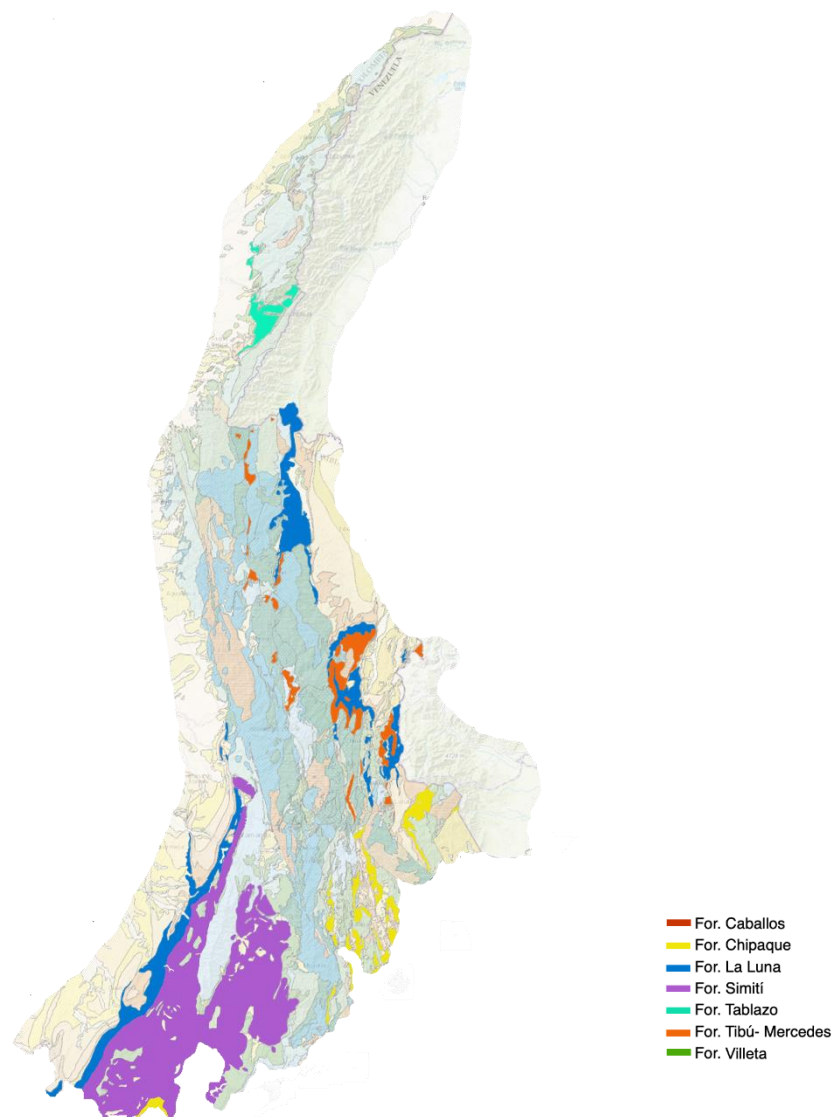


Imagen elaborada con información proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano y el IGCA (Plancha 1, 2, 4, 6 y 9; disponible en: <https://bit.ly/2E1Ke2n>)

con cada una de las formaciones existentes en la Cordillera Oriental. Se evidencia que las formaciones que podrían ser Yacimientos de Roca Generadora son formaciones propias del cretácico; adicionalmente, se puede delimitar la zona de generación de hidrocarburos identificando la afloración de la formación de interés y la continuidad de esta a través de la cordillera. (Ilustración 3 - 4 - 5).

Ilustración 4: Formaciones que podrían ser prospecto de Hidrocarburos no Convencionales en la sección centro de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos.

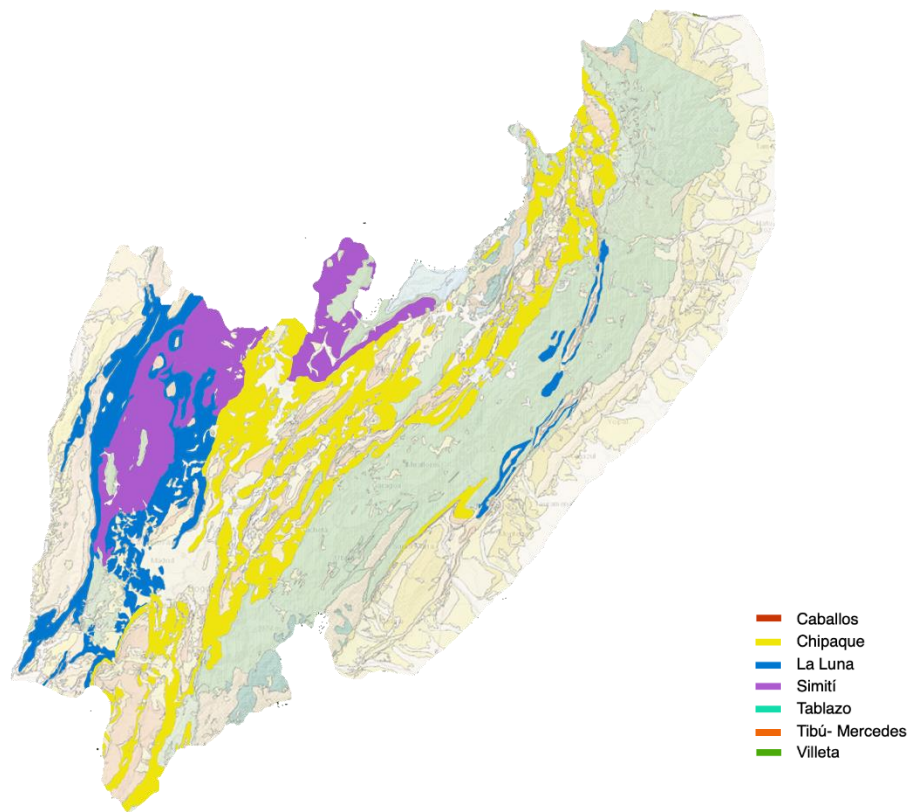


Imagen elaborada con información proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano y el IGCA (Plancha 9, 10 y 14; disponible en: <https://bit.ly/2E1Ke2n>)

Para seguir la continuidad de las formaciones de interés es importante tener en cuenta el principio de horizontalidad el cual indica que los estratos geológicos en el momento de su depósito lo hacen de forma horizontal y paralela a la superficie de depósito, así como también es importante conocer los procesos geodinámicos que dieron origen a la Cordillera Oriental de los Andes.

En el cretácico inferior empieza a darse el proceso de subducción de la placa de Nazca debajo de la Placa Suramericana, las fuerzas tectónicas que se generaron por esta colisión desencadenaron erupciones volcánicas y terremotos, causando el fracturamiento y la elevación de los Andes; a su vez un acelerado el proceso de erosión de las formaciones geológicas localizadas en esta zona.

Ilustración 5: Formaciones que podrían ser prospecto de Hidrocarburos no Convencionales en la sección sur de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos.

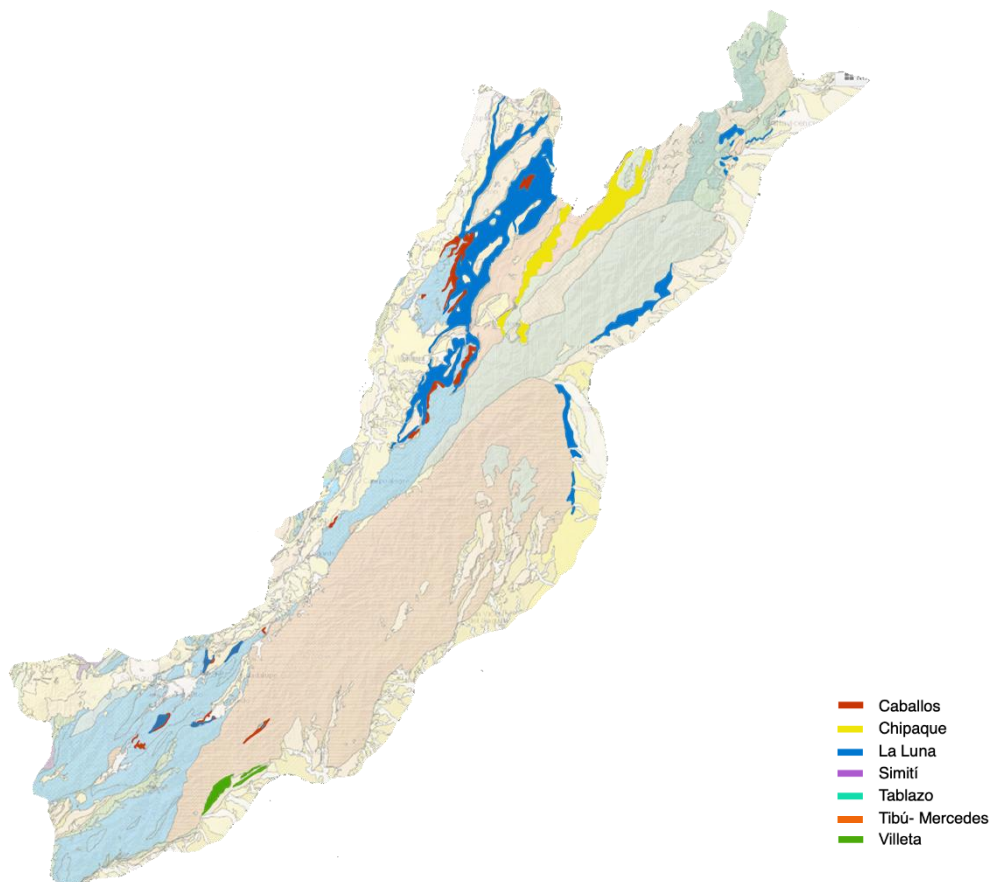
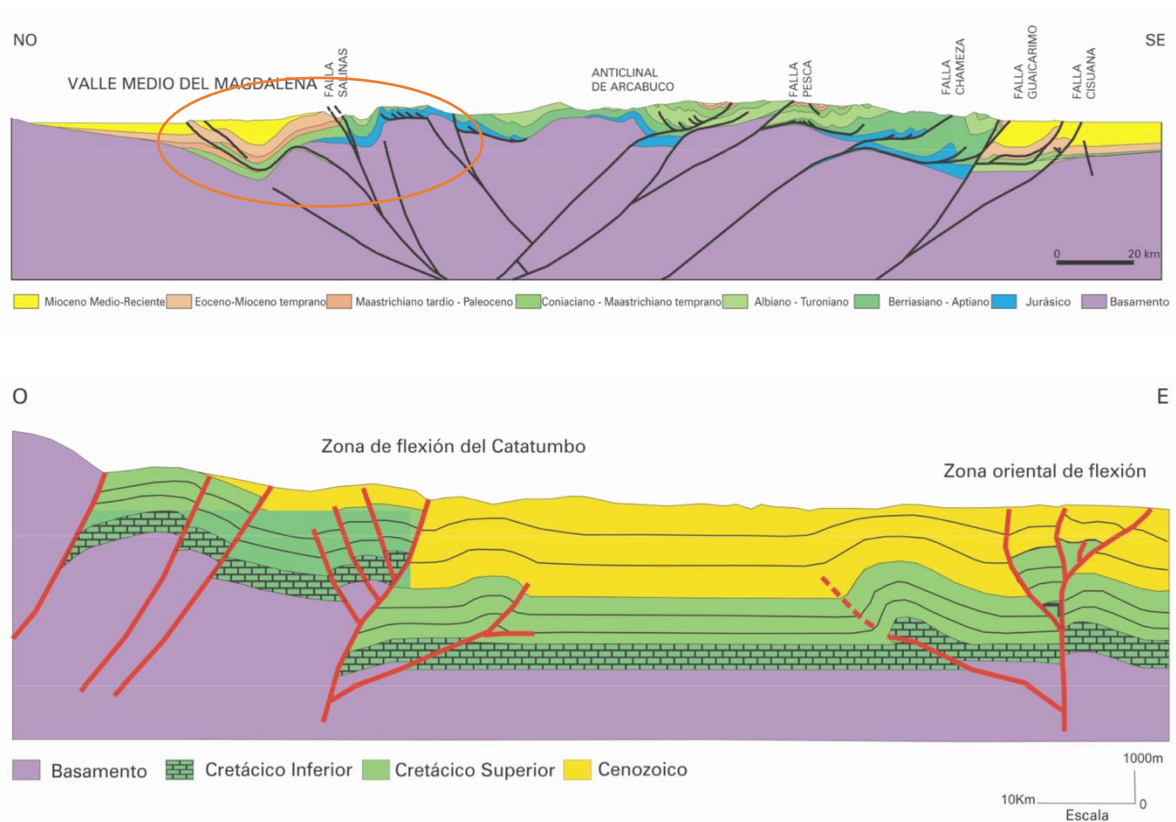


Imagen elaborada con información proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano y el IGCA (Plancha 14 y 19; disponible en: <https://bit.ly/2E1Ke2n>)

Es así como se puede inferir que la propagación de las formaciones de interés en la sección centro y sur de la cordillera oriental se da hacia el valle occidental de la misma y en dirección a la cresta; sin embargo, por ser una zona altamente

fracturada y elevada por formaciones ígneas, estas regiones no se extienden considerablemente hacia el centro de la cordillera (Ilustración 6, arriba). La probabilidad de encontrar hidrocarburos de roca generadora en las formaciones afloradas en la cordillera es casi nula debido a que el hidrocarburo que una vez pudo haberse almacenado en esta zona ya migró producto de las bajas presiones; no obstante, algunos de estos afloramientos podrían ser partida de una perforación direccional de tal forma que se atravesase la formación de interés en su totalidad.

Ilustración 6: Arriba, Corte geológico de la cuenca de la Cordillera Oriental. Abajo, Corte geológico de la cuenca del Catatumbo.



Fuente: ANH; Colombian Sedimentary Basins; Darío Barrero, Andrés Pardo, Carlos A. Vargas, Juan F. Martínez; Pág.: 39 – 33; Disponible en: <https://goo.gl/oZ8yC7>

La zona en la cual podría existir mayor probabilidad de yacimientos de roca generadora se encuentra ubicada en la parte oriental de Norte de Santander

(Cuenca del Catatumbo, Ilustración 6 abajo), el occidente de los departamentos de Santander, Cundinamarca y Boyacá (cerca de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena)³⁶. En los demás departamentos ubicados sobre la cordillera (centro de la Cuenca de la Cordillera Oriental) existe muy baja posibilidad de tener yacimientos de este tipo (Ilustración 7).

Ilustración 7: Principales prospectos de hidrocarburos de roca generadora sobre la Cordillera Oriental del los Andes.

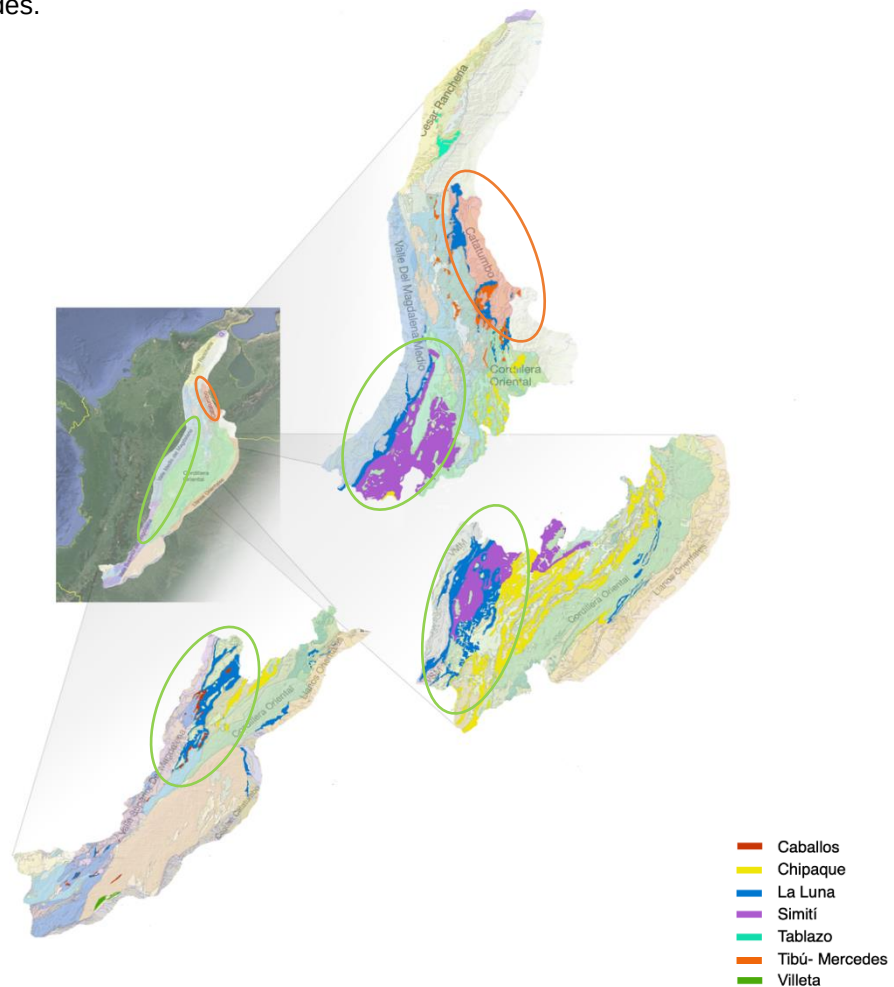


Imagen elaborada con información proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano y el IGCA;
Disponible en: <https://bit.ly/2J4rPVC>

³⁶ ANH – UIS. Evaluación del potencial hidrocarburífero de las cuencas colombianas. García G. Mario, Mier U. Ricardo, Cruz G. Luis, Vásquez Mauricio. Abril 2009. Disponible en: <https://goo.gl/8xhwAt>

5.3. TÉCNICAS DE EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS DE ROCA GENERADORA EN ZONA MONTAÑOSA.

Desde hace muchos años se ha debatido acerca de la explotación de hidrocarburos no convencionales debido a la gran importancia y repercusiones que esto implica. Decidir llevar a cabo esta práctica aumentaría en gran medida la producción nacional de petróleo y gas de cada país y con ellos sus reservas, con el fin de lograr el abastecimiento de la demanda energética. Por el otro lado el número de contraindicaciones que se podrían generar una vez se implemente esta técnica de producción, sigue siendo un gran objetivo de estudio y análisis para todos³⁷.

La principal diferencia entre los yacimientos no convencionales de los convencionales radica en la manera que se encuentran almacenados. Dicho de otra forma, todos los hidrocarburos que no se encuentren almacenados de una manera convencional, acumulados en una roca permeable y atrapados por una roca sello, son considerados “no convencionales” y es propiamente característicos de ellos poseer una muy baja permeabilidad³⁸. Para permitir el flujo de fluidos por sus poros no interconectados entre sí, debido a su permeabilidad tan baja que impiden el flujo naturalmente, es necesario realizar cierta estimulación para lograr fisuras artificiales que permitan moverse por estas fracturas hacia el pozo.

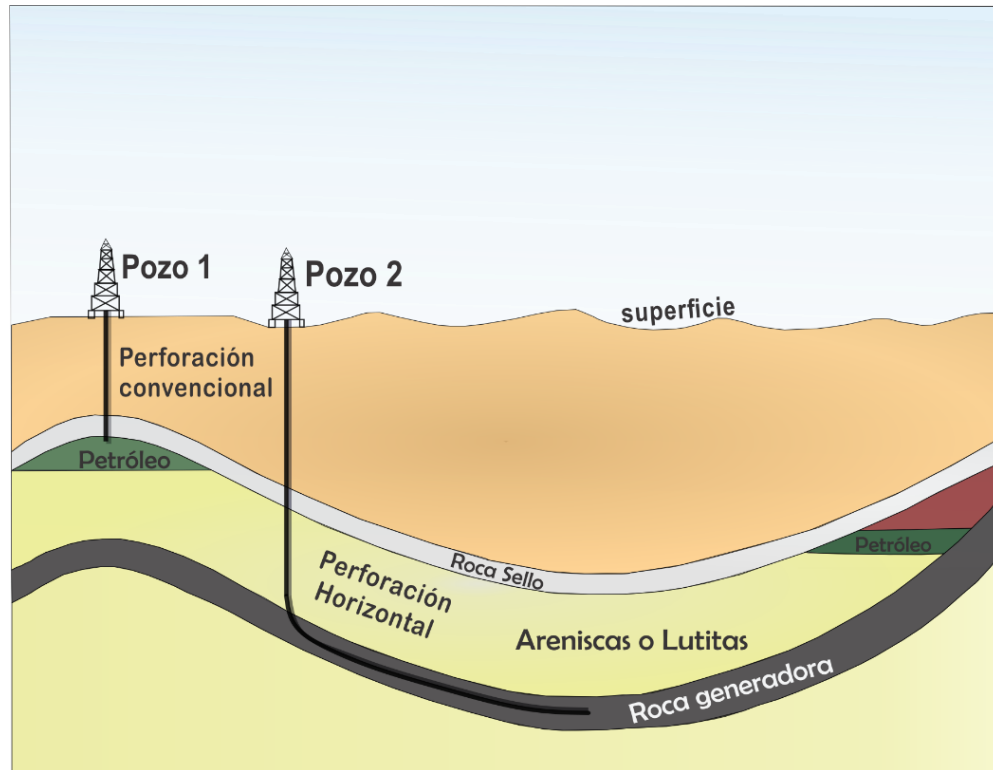
En ilustración 8, se puede observar la técnica de perforación para un pozo convencional y uno no convencional. Para el Pozo 1, es decir el convencional, es posible apreciar el estado en donde se encuentra almacenado el hidrocarburo, en lutitas o areniscas con una alta permeabilidad y tapado por una roca sello, y así

³⁷ ROMERO FUENTES, Laura Margarita. Análisis de los riesgos ambientales asociados a la explotación de yacimientos no convencionales desde un contexto internacional y su aplicación en Colombia. Tesis de especialización en gestión ambiental. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América. 2016. p.17.

³⁸ MARTÍN SÁNCHEZ, Santiago A. Serebrinsky. *et al.* Desarrollo y validación de un simulador de fracturamiento hidráulico orientado al petróleo y gas. Córdoba- Argentina. Asociación Argentina de mecánica computacional. 2016. P.1029

evitar que el petróleo o gas puedan migrar. En el Pozo 2 es necesario realizar una perforación horizontal a través de la formación de roca generadora abarcando así una mayor área de contacto y poder lograr una producción óptima después de realizar las fracturas hidráulicas.

Ilustración 8: Técnica de perforación para pozo no convencional.



Fuente: Energy Information Administration (EIA)

La técnica utilizada para lograr la obtención del gas y petróleo atrapado en la roca madre y la explotación de este tipo de yacimientos es conocida como fracturamiento hidráulico o fracking³⁹. Tiene sus inicios en 1930 con Dow Chemical Company, pero solo hasta 1947 en el campo de gas Hugoton, Kansas EE. UU. fue donde se realizó el primer tratamiento experimental⁴⁰.

³⁹ VALDÉS AGUIRRE, Claudia Lucia. El fracking: impactos ambientales y socioeconómicos. Doctorado en medio ambiente dimensiones humanas y socioeconómicas. Madrid. Universidad Complutense: Ciencias ambientales. 8p

⁴⁰ MARTÍN SÁNCHEZ., Op. Cit. p.1028

Reservorios de este tipo como Vaca Muerta y Marcellus han llegado a ser explotados mediante el fracturamiento hidráulico, siendo hasta el día de hoy la única técnica utilizada en la industria para llegar a la explotación de estas formaciones de Shales⁴¹. A pesar que la inyección de agua a altas presiones, para lograr fracturas y permitir el flujo de los recursos a superficies, es practicada también para pozos convencionales, es la única forma rentable de producir los yacimientos no convencionales como lo mencionan Urresti y Marcellesi⁴².

Consiste básicamente, en un tiempo de operación entre 1 a 2 días, inyectar por la tubería de producción una mezcla formada por agua (95%), arena (4,5 %) y una serie de aditivos (0,5%)⁴³ a alta presión para generar una fractura que contacte un volumen del reservorio lo más grande posible y facilite el flujo del hidrocarburo hacia el pozo⁴⁴.

El fracking no se aplica de manera aislada, sino que requiere de una forma de perforación concreta para ser más efectiva. Incluso desde hace algunos años las empresas de la industria comenzaron a combinar la perforación horizontal con la fracturación hidráulica⁴⁵. Una forma más explicada es como lo expresa Urresti y Marcellesi “En los yacimientos no convencionales, se empieza con una perforación en vertical convencional, pero al alcanzar la capa que contiene la roca que le dio origen a los hidrocarburos, se desvía para penetrar a lo largo de la formación toda la longitud posible”⁴⁶, habitualmente esta capa se encuentra a 6 mil pies aproximadamente de profundidad.

⁴¹ ROMERO FUENTES, Op.cit. p,23.

⁴² URRESTI, Aitor y MARCELLESI, Florent. Fracking: una fractura que pasará factura. En: Ecología política, España. 2012. vol. 15, p. 23-28

⁴³ YPF. Nuestra energía. Extracción no convencional [en línea]2013 (recuperado en septiembre de 2018). Disponible en: <https://bit.ly/2DxU2kw>.

⁴⁴ MARTÍN SÁNCHEZ, Op. cit., p,1030.

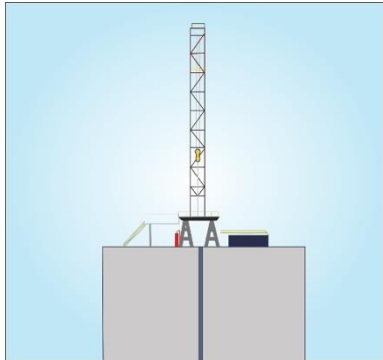
⁴⁵ BOUDET, H., et al., “Fracking” controversy and communication: Using national survey data to understand public perceptions of hydraulic fracturing. Energy Policy (2013), citado por VALDÉS AGUIRRE, Claudia Lucía. “El fracking: impactos ambientales y socioeconómicos”. Madrid, España: pag. 1-9

⁴⁶ URRESTI, Aitor y MARCELLESI, Florent. Fracking: una fractura que pasará factura. En: Ecología política, España. 2012. vol. 15, pág. 23 - 28

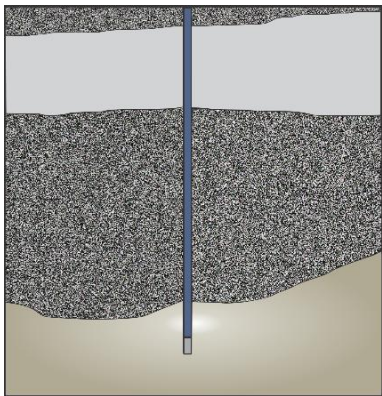
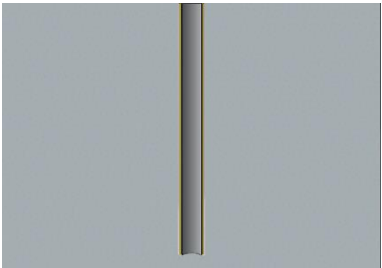
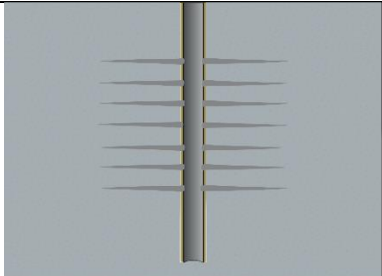
Una vez haya finalizado la perforación y el pozo quede completado y cementado debidamente, comienza el proceso de fracking. Para esto, se usan cargas explosivas para perforar el casing de revestimiento, y dar paso a la inyección del agua a alta presión mezclada con una serie de más de 260 aditivos, de los cuales muchos de ellos son sustancias tóxicas, cancerígenas y mutagénicas según el Informe del 2011 realizado por la Comisión del Medio Ambiente.⁴⁷ (Estas sustancias siguen siendo información confidencial por las industrias y empresas, que se reservan este derecho, debido a que la clave y éxito de esta técnica está en gran parte en estos aditivos, puesto que no permiten la unión nuevamente de las fracturas producidas por el agua sino por el contrario las mantiene separadas permitiendo el paso del gas y del petróleo).

Para poder entender de manera más globalizada y general todos los procesos de esta técnica no convencional de extracción de hidrocarburos, en la siguiente tabla se puede apreciar el paso a paso, desde el momento de exploración hasta la extracción de ellos.

Tabla 4: Procedimiento para realizar el fracturamiento hidráulico en un yacimiento de roca generadora.

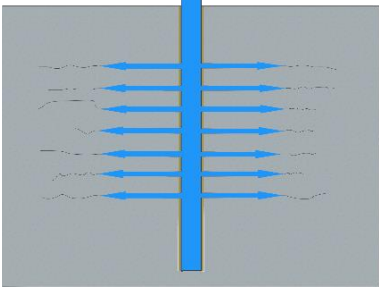
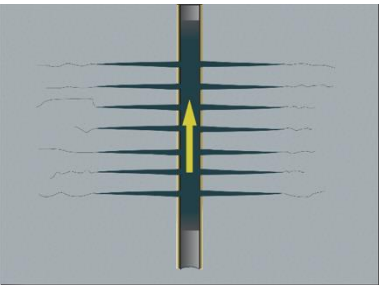
	Ilustración 9 Una vez se hayan realizados todos los estudios y procesos debidos al yacimiento y se tenga claro el tipo de pozo que se va a realizar. Se instala la torre y todos los equipos de perforación necesarios para llevar a cabo esta operación, incluidas las herramientas direccionales. El proceso de perforación para esta técnica inicia de la misma manera que para un convencional, con un tipo de broca y sarta de perforación de mayor diámetro se va perforando, se retira la sarta, se corre el casing y se cementa, para posterior bajar la broca y sarta nuevamente, pero de menor diámetro hasta llegar a nuestra zona de interés
---	--

⁴⁷ VALDÉS AGUIRRE, Op. Cit. p.9

	Ilustración 10 Una vez se alcance la zona de interés o la roca madre de hidrocarburo (shale) para nuestro caso entre unos 8000-10000 ft, se corre la tubería de completamiento y se deja el pozo listo para cañonear. Es importante que aclarar que mientras se hacia la perforación, a la altura de acuíferos (1000-1500 ft) el pozo queda totalmente cubierto y protegido por el encamisado de casing y cemento⁴⁸.
	Ilustración 11 El pozo se protege por este casing y el cemento, cuando se encuentra listo para cañonear hay que tener en cuenta que la tubería debe abarcar la mayor cantidad de volumen en la formación y por eso la perforación horizontal juega el papel más importante aquí.⁴⁹
	Ilustración 12 Se prosigue a realizar el cañoneo del pozo en nuestra zona productora o generadora. Mediante un punzón electrónico se abren huecos en la tubería de completamiento y el cemento del pozo.

⁴⁸ YPF. Nuestra energía. Extracción no convencional [en línea]2013 (recuperado en septiembre de 2018). Disponible en: <https://bit.ly/2DxU2kw>

⁴⁹ Ibid., p. 2

	Ilustración 13 Se bombea la mezcla del fluido desde la superficie a altas presiones, una vez alcanzada la presión adecuada comienzan a generarse las rupturas y fracturas inducidas en la roca de micrones de espesor, de esta manera se producen vías que funcionan como canales para unir los poros separados con muy baja permeabilidad.
	Ilustración 14 Cuando se hayan generado estos canales hidráulicos, la arena y los aditivos utilizados para esta mezcla permitirán mantener abiertas estas fisuras y que no vuelvan a cerrarse. Una vez los poros logren interconectarse, estas rocas aumentarán su permeabilidad, lo que producirá que los hidrocarburos fluyan a la tubería de producción y comience todo el proceso de extracción de hidrocarburos a partir de rocas generadoras y el pozo quedará en producción por los siguientes años

Para llevar a cabo esta fracturación hidráulica, se requieren de por lo menos 200,000 m³ de agua, más de un millón de barriles, además se necesitan 1000 toneladas de los productos químicos que forman solo el 0,5% de la mezcla utilizada para esta técnica⁵⁰. “Según datos del estudio realizado por el Centro Tyndall, solo se devuelve a la superficie entre un 15% y un 80% de la mezcla, lo cual pone de manifiesto que por lo menos un 20%, siendo optimistas se desvía de alguna forma⁵¹”, esto quiere decir que no todo el fluido inyectado retorna a superficies y que gran parte de él puede migrar hacia acuíferos o superficie ocasionando una contaminación considerable.

⁵⁰ URRESTI, Aitor y MARCELLESI, Florent. Fracking: una fractura que pasará factura. En: Ecología política, España. 2012. vol. 15, p. 23-28

⁵¹ VALDÉS AGUIRRE, Claudia Lucia. El fracking: impactos ambientales y socioeconómicos. Doctorado en medio ambiente dimensiones humanas y socioeconómicas. Madrid. Universidad Complutense: Ciencias ambientales. 28p

En la última fase del proceso de fracking, en donde se extrae y se comprime el gas o petróleo para su posterior distribución, hay otro factor para tener en cuenta, estos recursos contienen entre otros componentes metano, dióxido de carbono e hidrocarburos pesados. Las emisiones fugitivas de estos gases tienen grandes repercusiones en el efecto de invernadero y que tienen mayor concentración las emisiones procedentes de los hidrocarburos no convencionales, como lo argumenta la Comisión Europea⁵².

Esta técnica de fracturamiento hidráulico ha tenido un éxito notorio en muchos países, entre ellos se encuentra Estados Unidos, las ganancias que han logrado generar han sido evidentes, la producción diaria de gas y petróleo aumentaron en los últimos años y por ende ha podido abastecerse energéticamente, importando menos barriles de crudo e incluso ha afectado el precio del crudo en el mercado mundial.

5.4. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCTO DE LA EXPLORACIÓN/EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS DE ROCA GENERADORA.

En el desarrollo de este apartado se procede con el estudio de tres casos, dos de ellos en zona de montaña (uno optimista, otro desfavorable) y un tercer caso en una zona de superficie llana; estos casos permitirán evidenciar el impacto de la explotación de yacimientos de roca generadora en la región de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos a corto y mediano plazo. Para dicho análisis se empleará una matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales en la cual se describe la serie de actividades necesarias para el desarrollo de la exploración, evaluación, desarrollo y la producción (Upstream) de hidrocarburos de

⁵² Ibid., p.9

roca generadora, estas actividades están descritas en la cadena del sector de hidrocarburos⁵³.

Con el fin de obtener un análisis mucho más completo y profundo, de acuerdo con el componente (Agua, Aire, Tierra y Socioeconómico) se asigna una descripción de los aspectos e impactos que podrían ocasionar cada una de las actividades descritas; es importante aclarar que no todas las actividades de la industria se encuentran detalladas en la matriz, debido a que el impacto ambiental que generan algunas de estas no son relevantes; adicionalmente, que la distinción de un impacto como positivo o negativo en la matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales se hace teniendo en cuenta que dichos efectos se dan en la comunidad y/o el ambiente y no al desarrollo de las operaciones de la industria; de igual forma, que el análisis de cada uno de los aspectos se realiza en base al control de las operaciones técnicas preexistentes en el desarrollo de la industria de los hidrocarburos.

5.4.1. Caso número uno (Caso Optimista). Conforme a la litología del terreno el área de estudio para la elaboración del análisis del impacto ambiental está comprendida por un bloque de 8 vértices descritos en la tabla 4 y un área de aproximadamente 3.637.290 hectáreas; dicho bloque está ubicado sobre el centro del departamento de Santander, la zona noroeste del departamento de Boyacá, el oeste de Cundinamarca, el sureste del Tolima y la zona noreste del departamento del Huila, tal como se observa en la ilustración 15; dentro de la delimitación de esta area se tiene una zona bastante montañosa, así como también se cuenta con la presencia de parte del altiplano Cundiboyacense (ilustración 16).

⁵³ANH; Programa de regionalización de sector hidrocarburos, la cadena del sector de hidrocarburos; disponible en: <https://bit.ly/22pIX99>

Tabla 5: Descripción cartográfica de las aristas que conforman el polígono de estudio del análisis ambiental en zona de montaña.

Vértice	Latitud	Longitud	Departamento	Poblado Más Cercano
A	7°34'17.39"N	73°14'15.69"O	Santander	Betania
B	6°19'58.61"N	72°51'0.30"O	Santander	Tinavita
C	5°26'51.87"N	73°42'49.49"O	Cundinamarca	Capellanía
D	2°48'8.13"N	74°55'51.64"O	Caquetá	La Lampa
E	2°49'12.56"N	75°10'41.72"O	Huila	Ulloa
F	4°47'39.38"N	74°39'32.98"O	Cundinamarca	Honduras
G	5°42'40.51"N	74°33'19.36"O	Cundinamarca	Puerto Libre
H	6°13'46.84"N	73°59'19.90"O	Santander	Cimitarra

información cartográfica fue tomada del mapa político de Colombia, archivo digital del IGAG

El análisis del caso número uno (caso optimista), permitirá mostrar los mínimos impactos que se podrían presentar cumpliendo a cabalidad con las normas legales vigentes, esto teniendo en cuenta la media de los comportamientos y efectos de cada una de las actividades técnicas necesarias para realizar la explotación de yacimientos no convencionales observados en los antecedentes registrados.

En la exploración de la zona se considerará las mismas técnicas utilizadas para los hidrocarburos convencionales, teniendo en cuenta que para los hidrocarburos de roca generadora se necesita un mayor grado de potencia en la sísmica la cual brinde un área de penetración más grande en el subsuelo; asimismo, se analizará la perforación de los pozos en base a parámetros de pozos convencionales, considerando que los yacimientos de roca generadora necesitan una mayor área perforada y en algunos casos una perforación direccional. En cuanto a la producción se estudiará la implementación del fracturamiento hidráulico como técnica de desarrollo de los pozos en esta zona.

Ilustración 15: Área de análisis del impacto ambiental en zona de montaña para el caso optimista.

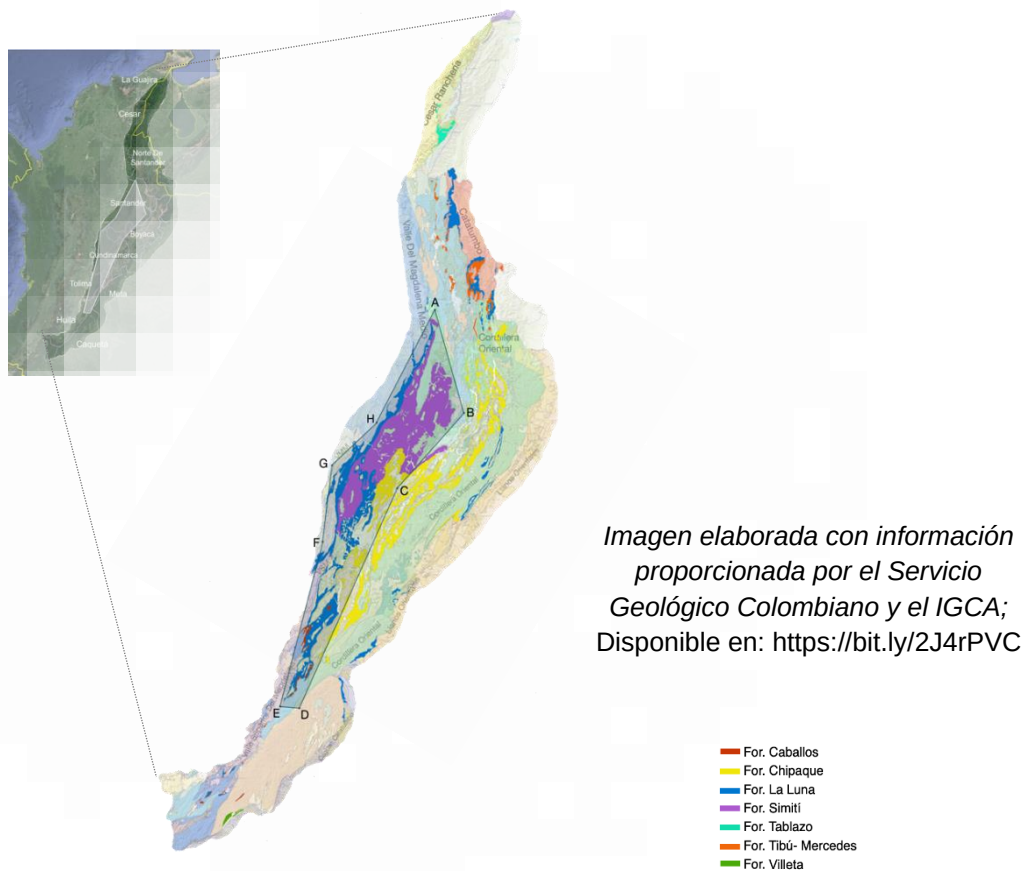


Ilustración 16: Foto de la zona de estudio para el caso uno.



Fuente: CAUT, Altiplano Cundiboyacense, disponible en: <https://bit.ly/2Hm88b0>.

Tabla 6: Matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales, Caso uno.

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES															
Escenario Número 1				Cordillera Oriental de los Andes Colombianos					ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS DE ROCA GENERADORA EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES						
PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EXPLORACIÓN	Topografía, Gravimetría, Magnetometría y Geoquímica	AGUA	Toma de de datos necesarios de la zona de estudio.	-			-	-	-	-	-	-	0	-	Las actividades a realizar no presentan mayor riesgo o amenaza al ambiente. Para efectuar estos estudios se requiere personal de la región.
		AIRE		-			-	-	-	-	-	-	0	-	
		TIERRA		-			-	-	-	-	-	-	0	-	
		SOCIOECONÓMICO		Contratación de personal experto en cada una de estas ciencias.	+	1	1	1	5	N.A	10	18	BAJO		
	Sísmica	AGUA	Generación de ondas sísmicas.	Migración de aguas.	-		1	10	5	5	5	10	36	MEDIO	La sísmica causa una alteración moderada sobre el ambiente, no hay contaminación significativa, la salud y vida de las personas se afectan levemente. Los impactos más desfavorables de esta actividad es la migración de aguas y el reactivamiento de fallas, debido a que la duración de estos efectos es permanente y tienen una difícil recuperabilidad en el ambiente; sin embargo, la probabilidad de ocurrencia es baja. Para reducir los efectos hostiles de la sísmica es necesario evitar el uso de fuertes explosivos en la cercanía de cuerpos de agua y grandes fracturas naturales; asimismo, la implementación de medidas compensatorias.
		AIRE		Emisión de contaminantes por parte de los explosivos u operación de camiones vibradores.	-		5	1	1	1	1	1	10	MUY BAJO	
				Generación de ruido.	-		10	1	1	1	1	1	15	MUY BAJO	
				Alteración de la superficie terrestre por intrusión de explosivos.	-		1	5	1	1	1	5	14	MUY BAJO	
		TIERRA		Reactivamiento de fallas.	-		1	10	5	5	5	10	36	MEDIO	
			Creación de vías, cortes y excavaciones.	Deforestación de zonas. Remoción de tierra y material de cantera.	-		5	10	5	1	5	5	31	MEDIO	
			Captación de ondas	-			-	-	-	-	-	-	0	-	
		SOCIOECONÓMICO	Realización de la sísmica.	Reducción de caudales en recursos hídricos que proveen a la población más cercana.	-		1	10	5	1	5	10	32	MEDIO	
	Procesamiento de Datos	AGUA	Análisis de datos geológicos.	-			-	-	-	-	-	-	0	-	Las actividades realizadas en el análisis de datos geológicos no presentan mayor riesgo o amenaza al ambiente.
		AIRE		-			-	-	-	-	-	-	0	-	

Continuación (2/9) tabla 6, caso uno.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EXPLORACIÓN		TIERRA	Análisis de datos geológicos.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	Para efectuar el análisis de datos no es necesario personal de la región.	
		SOCIOECONÓMICO		Requerimiento de personal capacitado.	+	1	1	1	5	N.A	10	18	BAJO		
	Perforación Estratigráfica y Corazonamiento	AGUA	Perforación exploratoria.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-	5	1	1	1	5	1	14	MUY BAJO	En la perforación estratigráfica no hay contaminación significativa, la salud y vida de las personas se afectan levemente, el impacto causa una alteración baja sobre el ambiente; la probabilidad de ocurrencia de efectos adversos se puede reducir con una modificación en las propiedades reológicas del lodo. En esta actividad la generación de empleo causa un impacto positivo; sin embargo, la duración de estos empleos es breve.	
				Filtración de los lodos hacia fuentes hídricas.	-	1	1	5	1	5	5	18	BAJO		
		AIRE		Emisión de gases atrapados en las formaciones geológicas a la atmosfera (HC, CO2...)	-	5	5	1	1	1	5	18	BAJO		
		TIERRA		Generación de escombros	-	10	1	5	1	5	5	27	BAJO		
		SOCIOECONÓMICO		Disposición de ripios.	Enfermedades por la disposición de ripios radiactivos	-	1	5	5	1	5	10	27		BAJO
				Selección de personal obrero.	Generación de empleos a personal no capacitado	+	10	1	5	10	N.A	10	36		MEDIO
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Socialización de Proyectos	AGUA	Información de proyecto a la comunidad.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	En esta actividad se da a conocer las acciones a desarrollar por parte de la industria de hidrocarburos a toda la comunidad; como consecuencia a esto, se presenta un impacto positivo, la reactivación económica de la zona. Esta actividad va ligada a programas de capacitación en el desarrollo del fracturamiento hidráulico.	
		AIRE		-		-	-	-	-	-	-	0	-		
		TIERRA		-		-	-	-	-	-	0	-			
		SOCIOECONÓMICO		Discernimiento de las actividades a desarrollar.	+	10	1	5	1	N.A	5	22	BAJO		
				Desplazamiento de comunidades	+	5	5	5	1	10	1	27	BAJO		
	Estudios Ambientales	AGUA	Pruebas previas a fuentes hídricas para captacion o compra.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	El desarrollo de los estudios ambientales no presenta impactos negativos en los componentes agua, aire y tierra, debido a que las acciones a desarrollar son de tipo exploratorio e identificación de la calidad de los aspectos de la región.	
		AIRE	Análisis de futuros impactos al aire.	-		-	-	-	-	-	-	0	-		
		TIERRA	Pruebas de arqueología para identificación de culturas antiguas.	-		-	-	-	-	-	-	0	-		
			Estudios de posibles efectos al terreno (Localización final de lixiviados)	-		-	-	-	-	-	-	0	-		

Continuación (3/9) tabla 6, caso uno.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Estudios Ambientales	TIERRA	Estudio de las condiciones aptas para contrucción de la plataforma del proyecto.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	En esta actividad se requiere muy poca contratación de personal de la zona.	
		SOCIOECONÓMICO	Identificar la ubicación de predio.	Requerimiento de personal capacitado.	+	1	1	1	5	N.A	10	18	BAJO		
	Transporte de Equipos	AGUA	Movilización de maquinaria.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	En la movilización de maquinaria no hay contaminación significativa, el impacto causa una alteración baja a la zona de tránsito producto de la deforestación de zonas y el propio desplazamiento de maquinaria. En esta actividad se requiere gran cantidad de personal de la zona.	
		AIRE		Emisión de gases de combustión	-	10	1	1	1	5	5	23	BAJO		
		TIERRA		Deforestación de zonas.	-	5	10	1	1	5	5	27	BAJO		
				Erocción de suelos.	-	10	10	1	1	1	1	24	BAJO		
		SOCIOECONÓMICO		Requerimiento de Vías	+	5	10	1	1	N.A	1	18	BAJO		
				Daño de vías y obras civiles.	-	1	5	5	1	5	10	27	BAJO		
	Obras Civiles	AGUA	Captación de aguas para uso en obras civiles y consumo humano.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-	5	5	1	1	5	1	18	BAJO	El impacto de esta actividad causa una alteración moderada sobre el ambiente. No hay contaminación significativa, la salud y vida de las personas se afectan levemente. Para reducir el impacto producto de la construcción de obras civiles, es necesario ajustar los diseños de ubicación e instalación de facilidades de superficie; adicionalmente, es necesario implementar medidas compensatorias en otra zona.	
		AIRE	Adecuación del terreno, contrucción y adecuación de vías de acceso.	Emisión de contaminantes. Arrastre de material por aguas lluvias.	-	5	1	1	1	1	1	10	MUY BAJO		
				Generación de ruido.	-	10	1	1	1	1	1	15	MUY BAJO		
		TIERRA		Cortes y excavación.	-	10	1	5	1	1	1	19	BAJO		
				Deforestación de zonas.	-	5	10	5	1	10	5	36	MEDIO		
				Erocción de suelos.	-	10	10	1	1	1	1	24	BAJO		
				Instalación de facilidades.	Sobrecargas en la columna geológica.	-	10	5	1	1	5	1	23		BAJO
		SOCIOECONÓMICO	Requerimiento de personal	Generación de empleos.	+	10	1	5	10	N.A	10	36	MEDIO		
				Falta de mano de obra en actividades ajenas a la industria.	-	5	1	5	5	5	10	31	MEDIO		
			Requerimiento de suministros alimenticios y de aseo para el personal.	Reactivación económica en localidades cercanas.	+	10	5	1	5	N.A	10	31	MEDIO		
				Aumento de precios en los suministros en las localidades cercanas.	-	10	5	1	5	5	10	36	MEDIO		

Continuación (4/9) tabla 6, caso uno.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Pruebas de Pozos	AGUA	Pruebas de presión, de interferencia, de pulso, de inyección, Fall-off...	-		-	-	-	-	-	-	0	-	La contaminación producto de la realización de pruebas a pozos es insignificativa, la salud y vida de las personas no ven se afectadas. EL impacto causa una alteración mínima al ambiente. Para el desarrollo de las actividades se requiere poca contratación de personal de la región.	
		AIRE		-	-	-	-	-	-	0	-				
		TIERRA		-	-	-	-	-	0	-					
		SOCIOECONÓMICO	Selección de personal capacitado en las diferentes pruebas.	Requerimiento de personal capacitado.	+	1	1	1	5	N.A	10	18	BAJO		
	Servicios de Perforación Vertical y/o Direccional	AGUA	Captación de aguas para usar en lodos de perforación.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-	5	5	10	5	5	5	35	MEDIO	Los servicios de perforación vertical y/o direccional ocasionan una contaminación de áreas puntuales, la salud de las personas presenta afectaciones importantes, el impacto causa una alteración moderada sobre el ambiente. El mayor riesgo de esta actividad es la extracción de arcillas radioactivas y su posterior disposición. Para reducir los impactos de esta actividad es necesario implementar medidas de control de desechos mucho más rigurosas.	
			Uso de lodos	Filtración de los lodos hacia fuentes hídricas.	-	1	10	5	1	10	5	32	MEDIO		
		AIRE	Perforación del pozo.	Emisión de gases atrapados en las formaciones geológicas a la atmosfera (HC, CO2...)	-	5	5	5	1	10	5	31	MEDIO		
		TIERRA		Radioactividad en gran produccion de rípios, en perforacion horizontal	-	5	5	10	1	10	10	41	ALTO		
				Inadecuada disposición de rípios o recortes	-	10	5	5	1	5	10	36	MEDIO		
		SOCIOECONÓMICO	Selección de personal obrero.	Generación de empleos a personal no capacitado	+	10	1	5	10	N.A	10	36	MEDIO		
	Herramientas Perforación y Completamiento	AGUA	Operación de maquinaria.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	En la movilización de herramientas perforación y completamiento no hay contaminación significativa al ambiente. Para reducir el impacto producto de la movilización de maquinaria, es necesario implementar una buena planeación de las rutas de movilización de los mismos.	
		AIRE		Emisión de gases de combustión	-	10	1	1	1	5	5	23	BAJO		
		TIERRA	Desplazamiento de maquinaria.	Daño en vías publicas por el paso de maquinaria pesada.	-	1	5	5	1	5	10	27	BAJO		
				Erosión del suelo en la locación.	-	10	10	5	1	1	1	28	MEDIO		
		SOCIOECONÓMICO	Operación de maquinaria.	Generación de empleos como operador de maquinaria.	+	5	1	5	10	N.A	10	31	MEDIO		
	Registros hueco abierto (Eléctricos, Gamma Ray, SP,	AGUA	Corrido de registros	-		-	-	-	-	-	-	0	-	La contaminación producto del corrido de registros hueco abierto es insignificativa puesto que las actividades	
		AIRE		-	-	-	-	-	-	0	-				
		TIERRA		-	-	-	-	-	-	0	-				

Continuación (5/9) tabla 6, caso uno.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Density, Neutrón, Laterolog...)	SOCIOECONÓMICO	Selección de personal capacitado en toma de registros.	Requerimiento de personal capacitado.	+		10	1	5	10	N.A	10	36	MEDIO	no son intrusivas y se realizan en una zona puntual.
	Sartas de Revestimiento y Producción.	AGUA	Extracción del lodo de perforación del pozo.	Derrames de lodo en el proceso de extracción.	-		1	1	5	1	5	5	18	BAJO	En el proceso de instalación de sartas de Revestimiento y producción no hay contaminación significativa, salud y vida de las personas se afectan levemente. Los impactos ocurridos en la tierra son producto del almacenamiento de los tubos. Los mayores riesgos que se corren en esta operación son los que corren los operarios en el momento de la introducción de las sartas. Para reducir este impacto es necesario una cuidadosa dirección y control de la operación.
			Uso de aguas en la salmuera de estabilización de pozo.	Filtración de salmueras a recursos hídricos cercanos.	-		5	5	5	1	10	5	31	MEDIO	
		AIRE	-	-			—	—	—	—	—	—	0	-	
		TIERRA	Al maceramiento de sartas.	Erosión del subsuelo.	-		10	10	5	1	1	1	28	MEDIO	
		SOCIOECONÓMICO	Selección de personal obrero.	Generación de empleos a personal no capacitado	+		10	1	5	10	N.A	10	36	MEDIO	
	Cementación	AGUA	Fabricación del cemento.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-		5	1	1	1	5	1	14	MUY BAJO	El impacto producto de la cementación causa una alteración moderada sobre el ambiente. Uno de los mayores impactos es el derrame de los fluidos de control de pozo en el momento de extracción de estos. La contaminación producto del cemento se da en un área local.
			Extracción de la salmuera de estabilización.	Derrames de salmuera en el proceso de extracción.	-		1	1	10	10	5	5	32	MEDIO	
		AIRE	Inyección del cemento.	Volatilización de componentes del cemento en el momento de fragüe del mismo	-		1	5	5	1	10	1	23	BAJO	
				Intrusión componentes del cemento en el subsuelo.	-		5	5	1	1	10	1	23	BAJO	
		TIERRA													
		SOCIOECONÓMICO	-	-			—	—	—	—	—	—	0	-	
	Cañoneo de pozo	AGUA	Aseguramiento de salmueras	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-		5	1	1	1	5	1	14	MUY BAJO	Al realizar el cañoneo de pozos la contaminación es insignificativa, la salud y vida de las personas no ven se afectadas. Los mayores impactos que podrían ocurrir es la migración de aguas debido a un mal cañoneo; sin embargo, la probabilidad de que ocurra esto es muy baja debido a los controles operacionales que tiene esta actividad.
		AIRE		-			—	—	—	—	—	—	0	-	
		TIERRA	Bajar herramientas de cañoneo y cañonear	-			—	—	—	—	—	—	0	-	
		SOCIOECONÓMICO		-			—	—	—	—	—	—	0	-	
	Fluidos de Perforación. Tratamiento y Disposición	AGUA	Disposición de aguas usadas en la perforación y completamiento de los pozos.	Filtración de fluidos contaminados en los tanques.	-		1	10	5	1	10	5	32	MEDIO	El control de fluidos de perforación, tratamiento y disposición de estos causa una contaminación local, la salud y vida de las personas, así como de la flora y fauna son afectadas de forma importante,
				Contaminación en los vertederos inadecuada disposición de fluidos producidos.	-		5	5	10	5	10	5	40	ALTO	

Continuación (6/9) tabla 6, caso uno.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Fluidos de Perforación. Tratamiento y Disposición	AIRE	Tratamiento de aguas y lodos.	Evaporación de componentes asociados a los fluidos residuales.	-		1	5	5	1	10	1	23	BAJO	el impacto causa una alteración moderada sobre el ambiente. Para reducir los impactos de esta actividad es necesario implementar medidas de control de desechos mucho más rigurosas.
		TIERRA		Absorción de componentes de las aguas por parte del suelo.	-		5	5	1	1	10	1	23	BAJO	
		SOCIOECONÓMICO	-	-			—	—	—	—	—	—	0	-	
PRODUCCIÓN	Construcción de Campamentos y diseño de Facilidades de superficie	AGUA	Construcción de acueductos.	Reducción de caudales en la fuente.	-		5	5	5	1	5	1	22	BAJO	El impacto de esta actividad causa una alteración moderada sobre el ambiente. No hay contaminación significativa, la salud y vida de las personas se afectan levemente. Para reducir el impacto producto de la construcción de campamentos y diseño de facilidades de superficie, es necesario ajustar los diseños de ubicación e instalación de facilidades e identificar las vías de acceso a la locación; adicionalmente, es necesario implementar medidas compensatorias en otra zona.
				Vertimiento de aguas grises y negras.	-		5	5	5	1	10	1	27	BAJO	
			Construcción de piscinas, campos de infiltración y pozos septicos	Generacion de reciduos peligrosos	-		5	5	5	1	5	1	22	BAJO	
		AIRE	Adecuación de la locación para instalar el campamento y las facilidades.	-		—	—	—	—	—	—	0	-		
		TIERRA		Compactación del subsuelo a causa del campamento.	-		10	10	5	1	1	1	28	MEDIO	
				Erosión del terreno por excesivo paso del personal.	-		10	10	5	1	5	1	32	MEDIO	
				Construcción de piscinas, campos de infiltración y pozos septicos	Generacion de reciduos peligrosos	-		5	5	5	1	1	1	18	
		SOCIOECONÓMICO	Requerimiento de suministros alimenticios y de aseo para el personal.	Reactivación económica en localidades cercanas.	+		10	5	1	5	N.A	10	31	MEDIO	
				Aumento de precios en los suministros en las localidades cercanas.	-		10	5	1	5	5	10	36	MEDIO	
	Fracturamiento Hidráulico	AGUA	Captación de agua para el fracturamiento hidráulico.	Reducción de caudales en la fuente.	-		10	5	5	1	5	5	31	MEDIO	Se observa que el impacto ambiental en el agua es medio debido a que la recuperabilidad de los efectos es de carácter irrecuperable, así mismo la flora y fauna son afectadas de forma importante; sin embargo, el área de influencia es puntual.
			Preparacion de fluidos de fractura.	Contaminación de acuiferos por aditivos quimicos	-		1	1	5	1	10	5	23	BAJO	
			Prueba de inyección e inyección de agua a la formación (estimulación de pozo).	Filtración del agua usada para el fracturamiento a fuentes hídricas superficiales (Pozos de agua dulce).	-		5	5	5	1	10	10	36	MEDIO	
				Filtración del agua a acuíferos subterráneos.	-		5	5	5	1	10	10	36	MEDIO	

Continuación (7/9) tabla 6, caso uno.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
PRODUCCIÓN	Fracturamiento Hidráulico	AGUA	Vertimiento de aguas residuales.	Contaminación en vertederos por mal tratamiento de aguas.	-		1	5	5	1	10	5	27	BAJO	Una forma de reducir este impacto es tener un buen control del fluido fracturante y estudiar muy bien la geología estructural del yacimiento.
			Fracturamiento de rocas.	Migración de hidrocarburos a fuentes hídricas.	-		5	10	5	5	10	5	40	ALTO	
		AIRE		Evaporación de componentes usados en el agua de fracturamiento.	-		1	5	1	1	10	1	19	BAJO	Los efectos del fracturamiento hidráulico sobre el aire causan una alteración moderada sobre el ambiente. La emisión de gases de efecto invernadero es el efecto mayor responsable de este impacto debido a que este se filtra al ambiente al romper la roca madre. Para reducir esta emisión es necesario implementar un mejor sello en cabeza de pozo, el cual permita recoger la mayor cantidad de gas que es emitido.
				Emisión de CO2 a la atmosfera (Gases con efecto invernadero)	-		5	5	5	1	10	5	31	MEDIO	
				Ventilación de Hidrocarburos a la atmosfera. (Gases con efecto invernadero)	-		5	5	5	1	10	5	31	MEDIO	
				TIERRA	Migración de hidrocarburos.	-		5	10	5	5	10	5	40	
		Interconexión de fracturas.			-		5	10	5	5	10	5	40	ALTO	
		Contaminación del subsuelo por aditivos del agua de fractura.			-		5	5	5	1	5	5	26	BAJO	
		Generación de microsismos y/o sismos.			-		1	1	1	5	10	1	19	BAJO	
		Recargas en yacimientos convencionales causando sobre presión en pozos.			-		5	5	5	5	10	10	40	ALTO	
		Deslizamientos de tierra.			-		1	1	5	1	10	5	23	BAJO	
		Captación de arenas para mantener abiertas las fracturas.			Extracción de grandes cantidades de arena.	-		10	5	5	5	10	5	40	ALTO

Continuación (8/9) tabla 6, caso uno.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
PRODUCCIÓN	Fracturamiento Hidráulico	SOCIOECONÓMICO	Fracturamiento de rocas.	Contaminación y escasez de agua potable	-		1	5	10	5	5	10	36	MEDIO	La salud y vida de las personas son afectadas de forma importante, a causa de la contaminación y escasez de agua potable. La salud de los operarios presenta una mayor probabilidad de ser afectada, debido a que estos se encuentran en contacto directo con los químicos usados para el fractura miento.
				Potencial de desarrollo de enfermedades endémicas.	-		1	10	5	1	5	5	27	BAJO	
			Preparacion de fluidos de fractura.	Intoxicación a personal operario.	-		5	5	5	1	5	10	31	MEDIO	
	Producción del pozo	AGUA	Altas tasas de producción de agua de fracturamiento.	Contaminacion por escape de fluidos degradados	-		1	5	5	1	10	10	32	MEDIO	En el proceso de producción de pozo no hay contaminación significativa al ambiente, la salud y vida de las personas se afectan levemente. Uno de los impactos mas importantes es la contaminación a vertederos por escapes de fluidos producidos, seguido por la emisión de hidrocarburos al ambiente; sin embargo, la probabilidad de ocurrencia de estos impactos es baja. Para reducir esta emisión es necesario implementar un mejor control y sello en cabeza de pozo, el cual permita recoger la mayor cantidad de gas que es emitido.
				Derrame de hidrocarburos, mal empaquetamiento, mala cementación, daño de tuberías...	-		1	5	5	1	5	10	27	BAJO	
		AIRE	Producción	Ventilación de Hidrocarburos a la atmosfera. (Gases con efecto invernadero)	-		1	5	5	1	10	5	27	BAJO	
				Derrame de hidrocarburos, mal empaquetamiento, mala cementación, daño de tuberías...	-		1	5	10	1	5	1	23	BAJO	
		TIERRA		Subducción del terreno.	-		1	10	1	1	10	1	24	BAJO	
				SOCIOECONÓMICO	-		-	-	-	-	-	-	0	-	
	Operación de facilidades de superficie	AGUA	Tratamiento de agua de producción.	Contaminación de vertederos.	-		5	5	5	1	10	5	31	MEDIO	En la realización de esta actividad no hay contaminación significativa al ambiente, la salud y vida de las personas se afectan levemente. El impacto más importante es la contaminación a vertederos por derrame de hidrocarburos, el cual la probabilidad de ocurrencia es baja; seguido por el desecho de aguas tratadas. Para reducir los impactos es necesario implementar estándares de calidad de agua tratada mucho más rigurosos.
		AIRE	Tratamiento de Hidrocarburos.	Ventilación de Hidrocarburos a la atmosfera. (Gases con efecto invernadero)	-		1	1	5	1	10	1	19	BAJO	
				Derrame de hidrocarburos	-		1	5	5	1	5	5	22	BAJO	
		TIERRA	Tratamiento de solidos.	Mala disposición de sólidos.	-		5	5	5	1	5	5	26	BAJO	
			SOCIOECONÓMICO	Implementación de personal capacitado	Generación de empleos.	-		5	1	5	10	N.A	10	31	
	Workover y Well service.	AGUA	Actividades de incremento de producción (Recañoneo, Coiled tubing...)	-			-	-	-	-	-	-	0	-	Al realizar las actividades de Workover y Well service no se presenta mayor impacto al ambiente debido a que son
		AIRE		-			-	-	-	-	-	-	0	-	

Continuación (9/9) tabla 6, caso uno.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
PRODUCCIÓN	Workover y Well service.	TIERRA	y actividades que mantengan la integridad del pozo.	-			-	-	-	-	-	-	0	-	actividades de corta operación. No se requiere contratación de personal adicional de la región.
		SOCIOECONÓMICO		-			-	-	-	-	-	-	0	-	
	Mant. de Facilidades	AGUA	Mantenimiento y reparación de Facilidades	Filtración de fluidos contaminados en los tanques.	-		1	1	5	1	5	5	18	BAJO	En el mantenimiento y reparación de facilidades no hay contaminación significativa, puesto que son actividades de corta operación. No se requiere contratación de personal adicional de la región.
		AIRE		Escape de hidrocarburos a la atmosfera.	-		1	1	5	1	10	5	23	BAJO	
		TIERRA		Derrame de hidrocarburos	-		1	5	5	1	5	5	22	BAJO	
		SOCIOECONÓMICO		-			-	-	-	-	-	-	0	-	

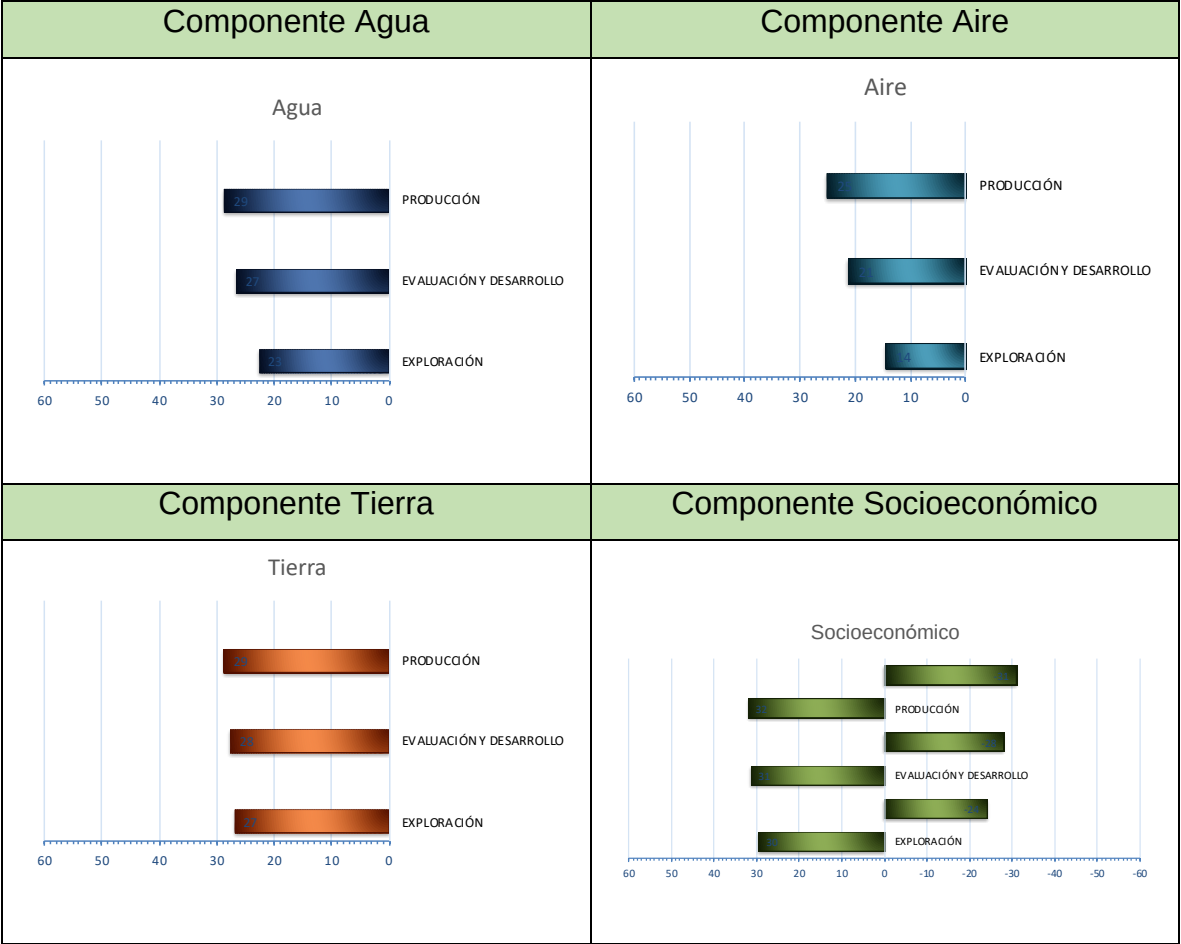
La tabla 5 es completada atendiendo a consideraciones de seguridad preexistentes en la ejecución de la exploración, evaluación, desarrollo y producción de hidrocarburos de roca generadora; asimismo, atendiendo a las características propias de la zona de montaña, descritas en el presente caso (Caso uno “Optimista”).

Convenciones usadas por proceso:

- Mayor impacto negativo sobre el componente Agua.
- Mayor impacto negativo sobre el componente Aire.
- Mayor impacto negativo sobre el componente Tierra.
- Mayor impacto negativo sobre el componente Socioeconómico.
- Mayor impacto positivo sobre el componente Socioeconómico.

Analizando la “matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales” (Tabla 5) junto con los resultados de esta condensados en la tabla 6 es posible identificar los potenciales efectos directos sobre cada uno de los componentes estudiados.

Tabla 7: Análisis de los impactos producto de la explotación de yacimientos de roca generadora en la cordillera oriental de los andes, caso uno.



De esta forma, se observa que la explotación de yacimientos de roca generadora como se plantea en el caso uno ejerce un bajo impacto sobre el componente agua; sin embargo, los más graves efectos en cada uno de los procesos analizados son:

- i) La migración de aguas debido a la generación de ondas en la ejecución de la sísmica;
- ii) La contaminación a vertederos producto de la disposición de aguas usadas en la perforación y completamiento de los pozos; y
- iii) la migración de

hidrocarburos a fuentes hídricas debido al fracturamiento de las rocas generadoras. Efectos que tienen una probabilidad de ocurrencia media y una duración y magnitud muy alta; no obstante, no ejercen contaminación catastrófica al ambiente.

Asimismo, se evidencia que los efectos directos sobre el componente aire debido a las actividades y consideraciones establecidas en el caso unos ejercen un bajo impacto que causa una alteración mínima al ambiente. Teniendo como más grave impacto la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (HC, CO₂...), estas emisiones son producto de la perforación de los pozos y del fracturamiento de las rocas.

En cuanto a los efectos ejercidos sobre el componente tierra se evidencia un impacto de tipo bajo tendiendo a medio, una contaminación de áreas puntuales que causa una alteración moderada sobre el ambiente. En este componente se confirman múltiples impactos graves: i) Una gran producción de desechos radiactivos producto de la perforación de rocas generadoras de forma horizontal; ii) extracción de grandes cantidades de arena para adicionar al fluido fracturante; iii) interconexión de fracturas producto del fracturamiento hidráulico, este último impacto propicia la migración de hidrocarburos los cuales pueden recargar los yacimientos convencionales causando sobre presión en los pozos.

Finalmente, los efectos sobre el componente socioeconómico presentan dos tipos de impactos, uno positivo bajo y otro negativo medio. Algunos de los más graves impactos negativos son consecuencia de los impactos a los componentes agua, aire y tierra; como lo es la contaminación y escases de agua potable junto con la inestabilidad de los terrenos. Mientras que los impactos positivos son la creación de empleos en las diferentes etapas de desarrollo de la industria; sin embargo, este aparente reactivamiento de la economía trae consigo un alza de precios en los suministros en las localidades cercanas.

5.4.2. Caso número dos (Caso desfavorable). El análisis del caso número dos (caso desfavorable) permitirá mostrar los efectos ambientales de las actividades del desarrollo de la industria de hidrocarburos no convencionales desde un punto de vista mucho más agresivo al entorno. Para el desarrollo de este caso se tendrá en cuenta los sucesos ocurridos con mayor impacto ambiental de acuerdo con los antecedentes mostrados y una zona de estudio igual a la señalada en el primer caso en la ilustración 15 y delimitada en la tabla 5.

En la exploración de la zona se considerará las mismas técnicas utilizadas para los hidrocarburos convencionales y los mismos parámetros manejados para el caso anterior; debido a que, en la etapa de exploración y adecuación del terreno para el desarrollo del pozo, no tendrá un cambio significativo dado que el enfoque del análisis ambiental es el proceso de fracturamiento Hidráulico.

Para el sector de la perforación uno de los hechos que difiere del caso uno es la posible existencia de formaciones sobre presionadas y los problemas podrían conllevar estos diferenciales de presión; para llevar a cabo esta actividad se supondrá que fue necesaria una gran deforestación de zonas usadas para la instalación de equipos y el acceso a la región, además de un masivo tránsito de maquinaria pesada, tal como ocurrió en el campo Marcellus (Pennsylvania, EE. UU).

Lo que respecta a la producción se tendrá en cuenta las consecuencias de dicha actividad, se analizará la perforación de los pozos en base a parámetros de pozos convencionales, considerando que los yacimientos de roca generadora necesitan una mayor área perforada, es necesario hacer uso de perforación direccional y múltiples brazos horizontales para abarcar una mayor zona de la roca, por lo tanto, la producción de recortes y ripios aumentará significativamente y el impacto ambiental se verá reflejado.

En la producción se estudiará la implementación del fracturamiento hidráulico como técnica de desarrollo de los pozos en esta zona, los mayores hechos registrados a nivel mundial se presentan en este sector; al momento de la producción, el gran consumo de agua es inminente “son necesarios 14 millones de litros de agua por pozo” según lo relatado por CEPAL en Haynesville, Louisiana Texas, EE. UU. O incluso en Marcellus en los montes Apalaches son necesarios más de 25 millones de metros cúbicos. El aspecto del aire también ha recibido un fuerte impacto, en la historia debido que el campo Barnett, ubicado en los estados de Texas y Oklahoma emite más de 40 mil metros cúbicos de metano por día.

Analizando la “matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales” para este caso (Tabla 8) junto con los resultados de ésta, condensados en la tabla 8 se determinan los posibles efectos directos sobre cada uno de los componentes estudiados; de esta manera, se puede apreciar los diferentes impactos ocasionados por los tres principales sectores de la industria para el área de estudio planteada, en cada uno de los componentes analizados (Agua, aire, tierra y socioeconómico).

Tabla 8: Matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales, Caso dos.

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES															
Escenario Número 2				Cordillera Oriental de los Andes Colombianos					ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS DE ROCA GENERADORA EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES						
PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EXPLORACIÓN	Topografía, Gravimetría, Magnetometría y Geoquímica	AGUA	Toma de de datos necesarios de la zona de estudio.	-			-	-	-	-	-	-	0	-	Las activisades a realizar no presentan mayor riezgo o amenaza al ambiente. Para efectuar estos estudios se requiere personal de la región.
		AIRE		-			-	-	-	-	-	-	0	-	
		TIERRA		-			-	-	-	-	-	-	0	-	
		SOCIOECONÓMICO		Contratación de personal experto en cada una de estas ciencias.	+		1	1	1	5	N.A	10	18	BAJO	
	Sísmica	AGUA	Generación de ondas sísmicas.	Migración de aguas.	-		5	10	5	5	5	10	40	ALTO	La sísmica causa una alteración moderada sobre el ambiente, no hay contaminación significativa, la salud y vida de las personas se afectan levemente. La migracion de aguas y el reactivamiento de fallas son los mayorer impactos que se presentan con un alto porcentaje, esto es debido a la permanente duracion de estos efectos y a la difícil recuperabilidad en el hambiente. Incluso se puede notar que el valor de impacto auemnta significativamente en comparación con el caso optimista, ya que presenta una mayor probabilidad de ocurrencia. Una de las medidas a implememntar para disminuir dichos efectos sería evitar el uso de fuertes explosivos en la cercania de aguas naturales, y el estudio compeltto del mapa de fallas de la zona
		AIRE		Emisión de contaminantes por parte de los explosivos u operación de camiones vibradores.	-		5	1	1	1	1	1	10	MUY BAJO	
				Generación de ruido.	-		10	1	1	1	1	1	15	MUY BAJO	
				Alteración de la superficie terrestre por intrusión de explosivos.	-		1	5	1	1	1	5	14	MUY BAJO	
		TIERRA		Reactivamiento de fallas.	-		5	10	10	5	10	1	41	ALTO	
			Creación de vías, cortes y excavaciones.	Deforestación de zonas. Remoción de tierra y material de cantera.	-		5	10	5	5	5	5	35	MEDIO	
			Captación de ondas	-			-	-	-	-	-	-	0	-	
		SOCIOECONÓMICO	Realización de la sísmica.	Reducción de caudales en recursos hídricos que proveen a la población más cercana.	-		5	10	5	1	5	10	36	MEDIO	
	Procesamiento de Datos	AGUA	Análisis de datos geológicos.	-			-	-	-	-	-	-	0	-	Las activisades realizadas en el analisis de datos geológicos no presentan mayor riezgo o amenaza al ambiente.
		AIRE		-			-	-	-	-	-	-	0	-	

Continuación (2/9) tabla 8, caso dos.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EXPLORACIÓN	Procesamiento de Datos	TIERRA		-		—	—	—	—	—	—	0	-	Para efectuar el análisis de datos no es necesario personal de la región. Se mantiene exactamente igual al caso optimista	
		SOCIOECONÓMICO		Requerimiento de personal capacitado.	+	1	1	1	5	N.A	10	18	BAJO		
	Perforación Estratigráfica y Corazonamiento	AGUA	Perforación exploratoria.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-	5	1	1	1	5	1	14	MUY BAJO	En la perforación estratigráfica no hay contaminación significativa, la salud y vida de las personas se afectan levemente, el impacto causa una alteración baja sobre el ambiente, la disposición de rípios es el mayor impacto negativo en esta actividad con una maginitud alta debido aque puede provocar destrucción en el ambiente ;dichos efectos se pueden reducir con una modificación en las propiedades reológicas del lodo. En esta actividad la generacion de empleo causa un impacto positivo; sinembargo, la duracion de estos empleos es breve.	
				Filtración de los lodos hacia fuentes hídricas.	-	5	5	5	1	5	5	26	BAJO		
		AIRE		Emisión de gases atrapados en las formaciones geológicas a la atmosfera (HC, CO2...)	-	5	5	5	1	1	5	22	BAJO		
		TIERRA		Generación de escombros	-	10	1	5	1	5	5	27	BAJO		
		SOCIOECONÓMICO		Disposición de rípios.	Enfermedades por la disposición de rípios radiactivos	-	1	5	10	1	5	10	32		MEDIO
				Selección de personal obrero.	Generación de empleos a personal no capacitado	+	10	1	5	10	N.A	10	36		MEDIO
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Socialización de Proyectos	AGUA	Información de proyecto a la comunidad.	-		—	—	—	—	—	—	0	-	De igual manera al caso numero uno, esta actividad se da a conocer las acciones a desarrollar por parte de la industria de hidrocarburos a toda la comunidad; como consecuencia a esto, se presenta un impacto positivo, la reactivación económica de la zona. Esta actividad va ligada a programas de capacitación en el desarrollo del fracturamiento hidráulico.	
		AIRE		-		—	—	—	—	—	—	0	-		
		TIERRA		-		—	—	—	—	—	—	0	-		
		SOCIOECONÓMICO		Discernimiento de las actividades a desarrollar.	+	10	1	5	1	N.A	5	22	BAJO		
				Desplazamiento de comunidades	-	5	5	5	1	10	1	27	BAJO		
	Estudios Ambientales	AGUA	Pruebas previas a fuentes hidricas para captacion o compra.	-		—	—	—	—	—	—	0	-	El desarrollo de esta actividad no presenta impactos negativos en los componentes agua, aire y tierra, debido a que las acciones a desarrollar son de tipo exploratorio e identificación de la calidad de los aspectos de la zona. Se ve un notorio impacto positivo en el componente socioeconmico debido al personal capacitado.	
		AIRE	Análisis de futuros impactos al aire.	-		—	—	—	—	—	—	0	-		
		TIERRA	Pruebas de arqueología para identificación de culturas antiguas.	-		—	—	—	—	—	—	0	-		
			Estudios de posibles efectos al terreno (Localización final de lixiviados)	-		—	—	—	—	—	—	0	-		

Continuación (3/9) tabla 8, caso dos.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Estudios Ambientales	TIERRA	Estudio de las condiciones aptas para contrucción de la plataforma del proyecto.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	-	
		SOCIOECONÓMICO	Identificar la ubicación de predio.	Requerimiento de personal capacitado.	+	1	1	1	5	N.A	10	18	BAJO		
	Transporte de Equipos	AGUA	Movilización de maquinaria.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	Esta actividad causa una alteración moderada sobre el ambiente, una ontaminación de áreas puntuales, salud y vida de las personas con afectaciones importante; los mayores impactos, con 31 cada uno, son en la tierra con la deforestacion de zonas y en el socioeconomico con el daño de vías y obras civiles. una medida a implementar sería buscar rutas alternativas de acceso y optimizacion de espacios.	
		AIRE		Emisión de gases de combustión	-	10	1	5	1	5	5	27	BAJO		
		TIERRA		Deforestación de zonas.	-	5	10	5	1	5	5	31	MEDIO		
				Erocción de suelos.	-	10	10	1	1	1	1	24	BAJO		
		SOCIOECONÓMICO		Requerimiento de Vías	+	5	10	1	1	N.A	1	18	BAJO		
				Daño de vías y obras civiles.	-	5	5	5	1	5	10	31	MEDIO		
	Obras Civiles	AGUA	Captación de aguas para uso en obras civiles y consumo humano.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-	5	5	1	1	5	1	18	BAJO	A pesar de tener ciertos impactos altos , la contaminación no es significativa, la salud y vida de las personas se afectan levemente y el impacto causa una alteración moderada sobre el ambiente. la adecuacion del terreno presenta impactos al medio ambiente pero con una are de influencia puntual y una poca importancia. Aunque la generacion de empleos se va ver afectada postivamente en gan manera en esta actividad. Para mitigar estos impactos negativos es necesario implementar medida compensatorias en otras zonas . .	
		AIRE	Adecuación del terreno, contrucción y adecuación de vías de acceso.	Emisión de contaminantes. Arrastre de material por aguas lluvias.	-	5	1	1	1	1	1	10	MUY BAJO		
				Generación de ruido.	-	10	1	1	1	1	1	15	MUY BAJO		
				Cortes y excavación.	-	10	1	5	1	5	1	23	BAJO		
		TIERRA		Deforestación de zonas.	-	5	10	10	1	10	5	41	ALTO		
				Erocción de suelos.	-	10	10	5	1	1	1	28	MEDIO		
			Instalación de facilidades.	Sobrecargas en la columna geológica.	-	10	5	1	1	5	1	23	BAJO		
				SOCIOECONÓMICO	Requerimiento de personal	Generación de empleos.	+	10	1	10	10	N.A	10		41
		Falta de mano de obra en actividades ajenas a la industria.	-			5	1	10	5	5	10	36	MEDIO		
			Requerimiento de suministros alimenticios y de aseo para el personal.		Reactivación económica en localidades cercanas.	+	10	5	5	5	N.A	10	35		MEDIO
				Aumento de precios en los suministros en las localidades cercanas.	-	10	5	5	5	5	10	40	ALTO		

Continuación (4/9) tabla 8, caso dos.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Pruebas de Pozos	AGUA	Pruebas de presión, de interferencia, de pulso, de inyección, Fall-off...	-		-	-	-	-	-	-	0	-	La contaminación producto de pruebas de pozo sigue siendo insignificativa, igual que en el optimista a pesar de que esta presenta una magnitud media, la salud y vida de las personas no se ven afectadas. El impacto causa una alteración mínima al ambiente.	
		AIRE		-		-	-	-	-	-	0	-			
		TIERRA		-		-	-	-	-	-	0	-			
		SOCIOECONÓMICO	Selección de personal capacitado en las diferentes pruebas.	Requerimiento de personal capacitado.	+	1	1	5	5	N.A	10	22	BAJO		
	Servicios de Perforación Vertical y/o Direccional	AGUA	Captación de aguas para usar en lodos de perforación.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-	5	5	10	5	10	10	45	ALTO	La Contaminación producto de las operaciones de perforación y/o direccional presentan graves afectaciones en la salud y vida de las personas y el impacto se asocia a destrucción del ambiente. La radiación emitida por la perforación de rocas generadoras es el mayor impacto negativo con un valor del 51 y su larga prolongación debido a mayores áreas de contacto lo hace aun de mas cuidado. Además de los impactos generados por la disposición de estos ripsos de perforación y la reducción de cauales en la fuente de captación. Esposible adaptar medidas para cumplir y manejar el aspecto ambiental, como la de medidas mas rigurosas en los desechos de perforación y una rotación mucho mas amplia del personal para evitar largas jornadas en contacto con la radiactividad emitida.	
				Uso de lodos	Filtración de los lodos hacia fuentes hídricas.	-	5	10	5	1	10	5	36		MEDIO
		AIRE	Perforación del pozo.	Emisión de gases atrapados en las formaciones geológicas a la atmósfera (HC, CO2...)	-	5	5	10	1	10	5	36	MEDIO		
				TIERRA	Radioactividad en gran producción de ripsos, en perforación horizontal	-	10	10	10	1	10	10	51		MUY ALTO
					Inadecuada disposición de ripsos o recortes	-	10	10	10	1	5	10	46		ALTO
		SOCIOECONÓMICO		Selección de personal obrero.	Generación de empleos a personal no capacitado	+	10	1	10	10	N.A	10	41		ALTO
		Herramientas Perforación y Completamiento	AGUA	Operación de maquinaria.	-		-	-	-	-	-	-	0		-
	AIRE		Emisión de gases de combustión		-	10	1	5	1	5	5	27	BAJO		
	TIERRA		Desplazamiento de maquinaria.	Daño en vías públicas por el paso de maquinaria pesada.	-	5	5	5	1	5	10	31	MEDIO		
				Erosión del suelo en la locación.	-	10	10	5	1	5	1	32	MEDIO		
	SOCIOECONÓMICO		Operación de maquinaria.	Generación de empleos como operador de maquinaria.	+	5	1	10	10	N.A	10	36	MEDIO		
	Registros hueco abierto (Eléctricos, Gamma Ray, SP,	AGUA	Corrido de registros	-		-	-	-	-	-	-	0	-	La contaminación producto de el corrido de registros hueco abierto es insignificativa puesto que las actividades	
		AIRE		-		-	-	-	-	-	0	-			
		TIERRA		-		-	-	-	-	-	0	-			

Continuación (5/9) tabla 8, caso dos.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Density, Neutrón, Laterolog...)	SOCIOECONÓMICO	Selección de personal capacitado en toma de registros.	Requerimiento de personal capacitado.	+		10	1	5	10	N.A	10	36	MEDIO	no son intrusivas y se realizan en una zona puntual
	Sartas de Revestimiento y Producción.	AGUA	Extracción del lodo de perforación del pozo.	Derrames de lodo en el proceso de extracción.	-		1	1	5	1	5	5	18	BAJO	Al igual que en el caso optimista, en el proceso de instalación de sartas de Revestimiento y producción no hay contaminación significativa, salud y vida de las personas se afectan levemente. Los impactos ocurridos en la tierra son producto del almacenamiento de los tubos. Los mayores riesgos que se corren en esta operación son los que corren los operarios en el momento de la introducción de las sartas. Para reducir este impacto es necesario una cuidadosa dirección y control de la operación.
			Uso de aguas en la salmuera de estabilización de pozo.	Filtración de salmueras a recursos hídricos cercanos.	-		5	5	5	1	10	5	31	MEDIO	
		AIRE	-	-			—	—	—	—	—	—	0	-	
		TIERRA	Al maceramiento de sartas.	Erosión del subsuelo.	-		10	10	5	1	1	1	28	MEDIO	
		SOCIOECONÓMICO	Selección de personal obrero.	Generación de empleos a personal no capacitado	+		10	1	5	10	N.A	10	36	MEDIO	
	Cementación	AGUA	Fabricación del cemento.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-		5	1	5	1	5	1	18	BAJO	El impacto producto de la cementación causa una alteración moderada sobre el ambiente. Uno de los mayores impactos es el derrame de los fluidos de control de pozo en el momento de extracción de estos. La contaminación producto del cemento se da en un área local.
			Extracción de la salmuera de estabilización.	Derrames de salmuera en el proceso de extracción.	-		1	1	10	10	5	5	32	MEDIO	
		AIRE	Inyección del cemento.	Volatilización de componentes del cemento en el momento de fragüe del mismo	-		1	5	5	1	10	1	23	BAJO	
				Intrusión componentes del cemento en el subsuelo.	-		5	5	5	1	10	1	27	BAJO	
		SOCIOECONÓMICO	-	-			—	—	—	—	—	—	0	-	
	Cañoneo de pozo	AGUA	Aseguramiento de salmueras	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-		5	1	1	1	5	1	14	MUY BAJO	Al realizar el cañoneo de pozos la contaminación es insignificativa, la salud y vida de las personas no ven se afectadas. Los mayores impactos que podrían ocurrir es la migración de aguas debido a un mal cañoneo; sin embargo, la probabilidad de que ocurra esto es muy baja debido a los controles operacionales que tiene esta actividad.
		AIRE	Bajar herramientas de cañoneo y cañonear	-			—	—	—	—	—	—	0	-	
		TIERRA		-			—	—	—	—	—	—	0	-	
		SOCIOECONÓMICO		-			—	—	—	—	—	—	0	-	
	Fluidos de Perforación. Tratamiento y Disposición	AGUA	Disposición de aguas usadas en la perforación y completamiento de los pozos.	Filtración de fluidos contaminados en los tanques.	-		1	10	10	1	10	5	37	MEDIO	la actividad de fluidos de perforación , tratamientos y disposicion alanza a tener una contaminación de áreas puntuales, salud y vida de las personas con afectaciones importante, el mayor impacto nuevamente reside en la
				Contaminación en los vertederos inadecuada disposición de fluidos producidos.	-		5	5	10	5	10	10	45	ALTO	

Continuación (6/9) tabla 8, caso dos.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Fluidos de Perforación. Tratamiento y Disposición	AIRE	Tratamiento de aguas y lodos.	Evaporación de componentes asociados a los fluidos residuales.	-		1	5	5	1	10	5	27	BAJO	disposicion de aguas usada y completamientos de los pozos con un valor de 45 debido a su imposible rescuperabilidad y a la alta magnitud de este. Es posible adaptar medidas y manejar el aspecto ambiental.
		TIERRA		Absorción de componentes de las aguas por parte del suelo.	-		5	5	5	1	10	5	31	MEDIO	
		SOCIOECONÓMICO	-	-			—	—	—	—	—	—	0	-	
PRODUCCIÓN	Construcción de Campamentos y diseño de Facilidades de superficie	AGUA	Construcción de acueductos.	Reducción de caudales en la fuente.	-		5	5	5	1	5	1	22	BAJO	De forma general es un impacto bajo, con una contaminación insignificativa en la salud y vida de las personas; causa una alteración moderada sobre el ambiente, específicamente en el socioeconómico debido al alza de precios en los suministros en las localidades cercanas, el cual a su vez se ve compensado por el impacto positivo de la reactivación económica en las localidades cercanas.
				Vertimiento de aguas grises y negras.	-		5	5	5	1	10	1	27	BAJO	
			Construcción de piscinas, campos de infiltración y pozos sépticos	Generación de residuos peligrosos	-		5	5	5	1	5	1	22	BAJO	
		AIRE	Adecuación de la ubicación para instalar el campamento y las facilidades.	-		—	—	—	—	—	—	0	-		
		TIERRA		Compactación del subsuelo a causa del campamento.	-		10	10	5	1	1	1	28	MEDIO	
				Erosión del terreno por excesivo paso del personal.			10	10	5	1	5	1	32	MEDIO	
		Construcción de piscinas, campos de infiltración y pozos sépticos		Generación de residuos peligrosos	-		5	5	5	1	1	1	18	BAJO	
			SOCIOECONÓMICO	Requerimiento de suministros alimenticios y de aseo para el personal.	+		10	5	5	5	N.A	10	35	MEDIO	
		Aumento de precios en los suministros en las localidades cercanas.		-		10	5	5	5	5	10	40	ALTO		
	Fracturamiento Hidráulico	AGUA	Captación de agua para el fracturamiento hidráulico.	Reducción de caudales en la fuente.	-		10	10	10	1	10	10	51	MUY ALTO	Se observa el Alto impacto ambiental en el agua producido por el fracturamiento hidráulico; el más crucial de ellos es la reducción de caudales en la fuente, la duración deja de ser temporal para ser permanente la magnitud pasa de media a alta con una irrecuperabilidad y una alta importancia para este caso, consiguiendo un valor del 51 . Las demás activades igual se ven más afectadas en comparación al caso optimista sin embargo, el área de influencia en la mayoría de ellas es puntual, causando afecciones importantes a las personas. El impacto se asocia a destrucción del ambiente .
			Preparación de fluidos de fractura.	Contaminación de acuíferos por aditivos químicos	-		5	1	10	1	10	5	32	MEDIO	
			Prueba de inyección e inyección de agua a la formación (estimulación de pozo).	Filtración del agua usada para el fracturamiento a fuentes hídricas superficiales (Pozos de agua dulce).	-		5	5	10	1	10	10	41	ALTO	
				Filtración del agua a acuíferos subterráneos.	-		5	5	10	1	10	10	41	ALTO	

Continuación (7/9) tabla 8, caso dos.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES	
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia				
PRODUCCIÓN	Fracturamiento Hidráulico	AGUA	Vertimiento de aguas residuales.	Contaminación en vertederos por mal tratamiento de aguas.	-		5	5	10	1	10	5	36	MEDIO	Una forma de reducir este impacto es tener un buen control del fluido fracturante y estudiar muy bien la geología estructural del yacimiento, además de implementar las facilidades de tratamiento de agua y optimizando su proceso para que pueda ser reutilizada y no extraer tanta cantidad de la fuente natural.	
			Fracturamiento de rocas.	Migración de hidrocarburos a fuentes hídricas.	-		5	10	10	5	10	5	45	ALTO		
		AIRE		Evaporación de componentes usados en el agua de fracturamiento.	-		1	5	5	1	10	5	27	BAJO	Los efectos del fracturamiento sobre el aire causan una alteración moderada sobre el ambiente. La emisión de gases de efecto invernadero son los mayores responsables de este impacto debido a que estos se filtran al ambiente al romper la roca madre en este caso la importancia y magnitud de ellos aumenta notoriamente.	
				Emisión de CO2 a la atmosfera (Gases con efecto invernadero)	-		5	5	10	1	10	5	36	MEDIO		
				Emisión de Hidrocarburos a la atmosfera. (Gases con efecto invernadero)	-		5	5	10	1	10	10	41	ALTO		
				TIERRA	Migración de hidrocarburos.	-		5	10	10	5	10	5	45		ALTO
		Interconexión de fracturas.			-		5	10	10	5	10	10	50	MUY ALTO		
		Contaminación del subsuelo por aditivos del agua de fractura.			-		5	5	10	1	10	10	41	ALTO		
		Generación de microsismos y/o sismos.			-		5	1	5	5	10	10	36	MEDIO		
		Recargas en yacimientos convencionales causando sobre presión en pozos.			-		5	5	10	5	10	10	45	ALTO		
		Deslizamientos de tierra.			-		1	1	5	1	10	5	23	BAJO		
		Captación de arenas para mantener abiertas las fracturas.			Extracción de grandes cantidades de arena.	-		10	5	10	5	10	10	50	MUY ALTO	

Continuación (8/9) tabla 8, caso dos.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
PRODUCCIÓN	Fracturamiento Hidráulico	SOCIOECONÓMICO	Fracturamiento de rocas.	Contaminación y escasez de agua potable	-		5	5	10	5	5	10	40	ALTO	La salud y vida de las personas son afectadas de forma importante, debido a la contaminación y escasez de agua potable. La salud de los operarios presenta una mayor probabilidad de ser afectada, puesto que se encuentran en contacto directo con los químicos usados para el fracturamiento. La probabilidad aumenta en comparación con el caso optimista y la magnitud e importancia también sube negativamente.
				Potencial de desarrollo de enfermedades endémicas.	-		5	10	5	1	5	10	36	MEDIO	
			Preparación de fluidos de fractura.	Intoxicación a personal operario.	-		5	5	10	1	10	10	41	ALTO	
	Producción del pozo	AGUA	Altas tasas de producción de agua de fracturamiento.	Contaminación a vertederos por fluidos degradados	-		5	5	10	1	10	5	36	MEDIO	La actividad de producción tiene una contaminación de áreas puntuales, salud y vida de las personas con afectaciones importante, el impacto causa una alteración moderada sobre el ambiente. este impacto se debe mas en gran medida a la magnitud de esté, una alta amgnitud puede generar destrucción en el ambiente, de igual forma la irrecuperabilidad tambien la convierte en un valor negativo. Para reducir esta emisión es necesario implementar un mejor control y sello en cabeza de pozo, el cual permita recoger la mayor cantidad de gas que es emitido.
					Derrame de hidrocarburos, mal empaquetamiento, mala cementación, daño de tuberías...	-		5	5	10	1	5	10	36	
		AIRE	Producción	Emisión de Hidrocarburos a la atmosfera. (Gases con efecto invernadero)	-		5	5	10	1	10	5	36	MEDIO	
				Derrame de hidrocarburos, mal empaquetamiento, mala cementación, daño de tuberías...	-		5	5	10	1	5	10	36	MEDIO	
		TIERRA		Subducción del terreno.	-		1	10	5	1	10	1	28	MEDIO	
				SOCIOECONÓMICO	-		—	—	—	—	—	—	0	-	
	Operación de facilidades de superficie	AGUA	Tratamiento de agua de producción.	Contaminación de vertederos.	-		1	5	10	1	10	5	32	MEDIO	En las actividades de operación de facilidades de superficie llegan a tener un impacto medio para este caso desfavorable, la contaminación es de áreas puntuales, salud y vida de las personas con afectaciones importante, el impacto causa una alteración moderada sobre el ambiente. el mayor impacto que se puede llegar a alcanzar es la contaminación de vertederos por parte del tratamiento de agua de producción y para reducir los impactos es necesario implementar estándares de calidad de agua tratada mucho más rigurosos.
		AIRE	Tratamiento de Hidrocarburos.	Emisión de Hidrocarburos a la atmosfera. (Gases con efecto invernadero)	-		1	5	5	1	10	5	27	BAJO	
				Derrame de hidrocarburos			1	5	10	1	5	5	27	BAJO	
		TIERRA	Tratamiento de solidos.	Mala disposición de sólidos.	-		5	5	5	1	5	5	26	BAJO	
				SOCIOECONÓMICO	Implementación de personal capacitado	Generación de empleos.	-		5	1	5	10	N.A	10	
	Workover y Well service.	AGUA	Actividades de incremento de producción (Recañoneo, Coiled tubing...)	-			—	—	—	—	—	—	0	-	-
		AIRE		-			—	—	—	—	—	—	0	-	

Continuación (9/9) tabla 8, caso dos.

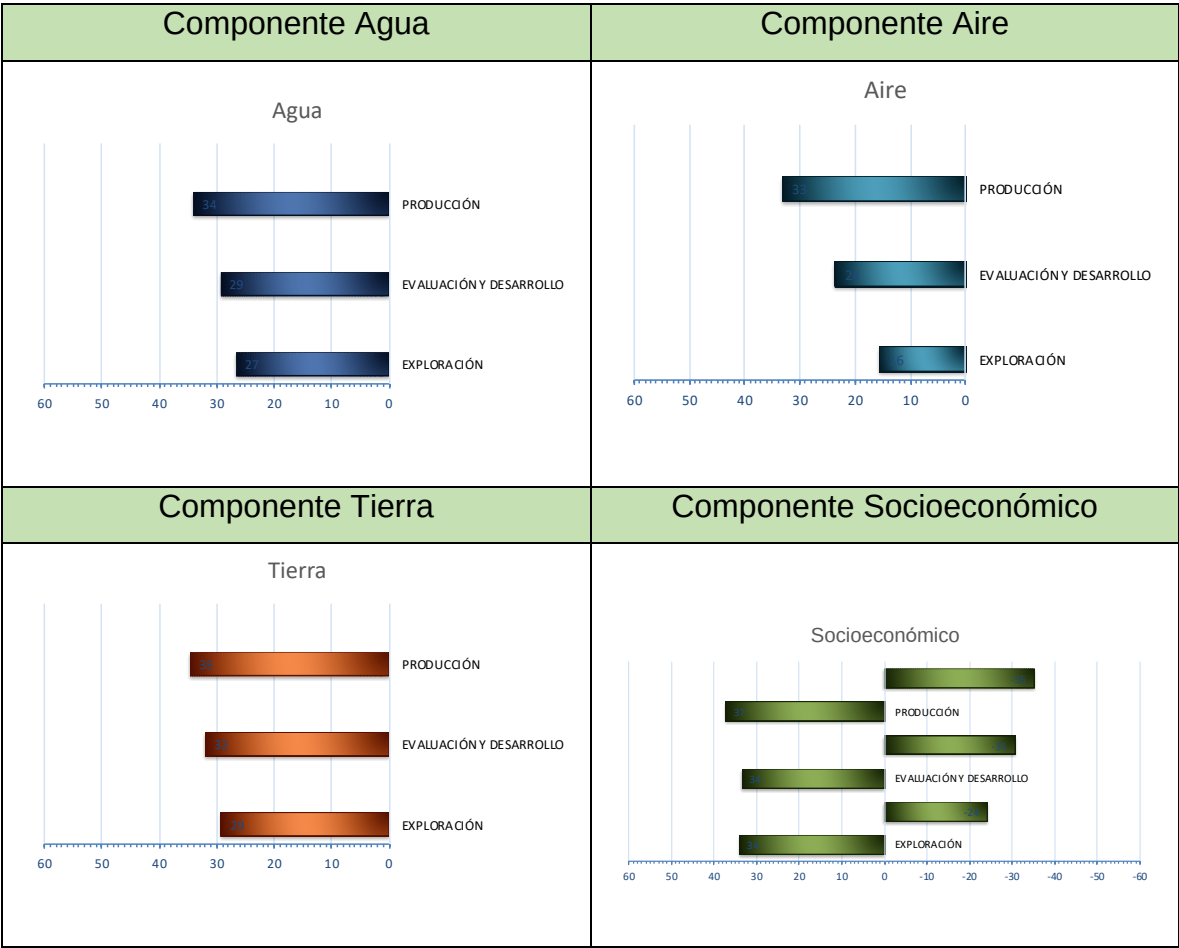
PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
PRODUCCIÓN	Workover y Well service.	TIERRA	y actividades que mantengan la integridad del pozo.	-			-	-	-	-	-	-	0	-	-
		SOCIOECONÓMICO		-			-	-	-	-	-	-	0	-	
	Mant. de Facilidades	AGUA	Mantenimiento y reparacón de Facilidades	Filtración de fluidos contaminados en los tanques.	-		1	5	5	1	5	5	22	BAJO	En el mantenimiento y reparación de facilidades no hay contaminación significativa, puesto que son actividades de corta operación. No se requiere contratación de personal adicional de la región.
		AIRE		Escape de hidrocarburos a la atmosfera.	-		1	5	10	1	10	5	32	MEDIO	
		TIERRA		Derrame de hidrocarburos	-		1	5	10	1	5	5	27	BAJO	
		SOCIOECONÓMICO		-			-	-	-	-	-	-	0	-	

La tabla 8 es completada atendiendo a consideraciones de seguridad preexistentes en la ejecución de la exploración, evaluación, desarrollo y producción de hidrocarburos de roca generadora; asimismo, atendiendo a las características propias de la zona de montaña, descritas en el presente caso (Caso dos “Desfavorable”).

Convenciones usadas por proceso:

-  Mayor impacto negativo sobre el componente Agua.
-  Mayor impacto negativo sobre el componente Aire.
-  Mayor impacto negativo sobre el componente Tierra.
-  Mayor impacto negativo sobre el componente Socioeconómico.
-  Mayor impacto positivo sobre el componente Socioeconómico.

Tabla 9: análisis de los impactos de producto de la explotación de yacimientos de roca generadora en la cordillera oriental de los andes, caso dos.



En este caso, el componente del agua presenta un notorio aumento de los efectos adversos en la etapa de producción llegando a generar un impacto medio, un poco más agresivo que en el caso anterior; esto es debido a que la probabilidad de ocurrencia de una interconexión de fallas es mucho mayor por lo que aumentaría la migración de hidrocarburos a fuentes hídricas. Según los antecedentes, los vertederos cercanos de los pozos están siendo afectados en gran medida y siendo alterados producto de las operaciones de fracturamiento hidráulico; en la etapa de exploración, evaluación y desarrollo, logra aumentar un poco su impacto negativo por causa de la migración de aguas en la sísmica y la captación de agua de fuentes

hídricas; sin embargo, sigue el impacto siendo bajo al ambiente den términos generales.

En el componente aire la etapa de producción logra alcanzar un impacto medio considerable, esto debido a los gases de efecto invernadero emitidos por la perforación de los pozos y el fracturamiento de las rocas. Según un estudio realizado por la escuela de ingeniería ambiental de la Cornell University, el promedio de un pozo de shale gas emite metano a la atmosfera cerca del 3.6 al 7.9% de la producción total del pozo como se registró en el campo Barnett. En las otras dos etapas el impacto sigue siendo bajo e insignificativo para el ambiente, una exploración incluso de muy bajo, una alteración muy mínima.

En cuanto a los efectos ejercidos sobre el componente tierra se evidencia un impacto medio en cada una de las tres etapas. La gran producción de desechos radiactivos producto de la perforación de rocas generadoras de forma horizontal es mucho mayor y llega a alcanzar un impacto muy alto para este caso, el cual posee una magnitud alta de impacto, causando graves alteraciones en el medio ambiente afectando y a toda la comunidad. Para efectuar el fracturamiento hidráulico es necesario grandes cantidades de arena en el fluido de fractura a utilizar, esta actividad genera un impacto muy alto causando graves cambios al ambiente en el tiempo.

La interconexión de fracturas producto del fracturamiento hidráulico propicia la migración de hidrocarburos, los cuales pueden recargar los yacimientos convencionales causando sobre presión en los pozos, esta actividad también tiene un impacto muy alto sobre el ambiente, destruyendo sus características; las otras actividades de exploración y desarrollo como tal tienen este impacto considerable de medio, debido a la deforestación de la zona alcanza a tener un alto impacto al ambiente en la adecuación del terreno y a la posible reactivación de fallas por parte de la sísmica exploratoria.

Finalmente, los impactos negativos sobre el componente socioeconómico, se ven aumentados notoriamente en cada una de las actividades. Este impacto se encuentra catalogado como impacto medio, puesto que la probabilidad de ocurrencia de los efectos es mayor y la alta magnitud de impacto en la comunidad, tal como lo es la contaminación y escases de agua potable que se registra en la cuenca de Neuquén en Argentina en Vaca muerta, donde los habitantes de las localidades cercanas han denunciado públicamente el estado en el que llega este recurso vital a sus casas. Mientras que los impactos positivos se mantienen muy similares al caso anterior (caso optimista) y estos son la creación de empleos en las diferentes etapas de desarrollo de la industria.

5.4.3. Caso número tres (Zona de superficie llana). El caso número tres muestra el análisis del impacto ambiental a la región del noreste del departamento de Norte de Santander, en la cuenca del Catatumbo. La zona está comprendida por un bloque de 6 vértices descritos en la tabla 9 y un área de aproximadamente 660.815 hectáreas, como se observa en la ilustración 17y 18.

Tabla 10: Descripción cartográfica de las aristas que conforman la región de estudio del análisis ambiental en una zona cartográficamente plana.

Vértice	Latitud	Longitud	Poblado Más Cercano
A	9°10'57.45"N	73°12'46.59"O	-
B	9° 6'47.86"N	72°46'2.77"O	Santa Cecilia
C	8°47'39.93"N	72°48'52.33"O	Campo Guayabo
D	8°11'3.77"N	72°30'54.18"O	Londres
E	8° 4'7.72"N	72°18'59.84"O	La China
F	7°19'21.39"N	72°32'45.17"O	Labateca

Información cartográfica fue tomada del mapa político de Colombia, archivo digital del IGAG

La región del Catatumbo será la zona donde se considerarán los efectos ambientales de la exploración, evaluación, desarrollo y la producción de

hidrocarburos de roca generadora en territorio llano, esto con el fin de evidenciar la gravedad de los impactos ambientales en zona montañosa mediante una posterior comparación de los diferentes aspectos. Al igual que el caso uno (Caso optimista) se tendrá en cuenta la media de los comportamientos y efectos de cada una de las actividades técnicas necesarias para realizar la explotación de yacimientos no convencionales observados en los antecedentes registrados.

Ilustración 17: Área de análisis del impacto ambiental en zona cartográficamente plana.

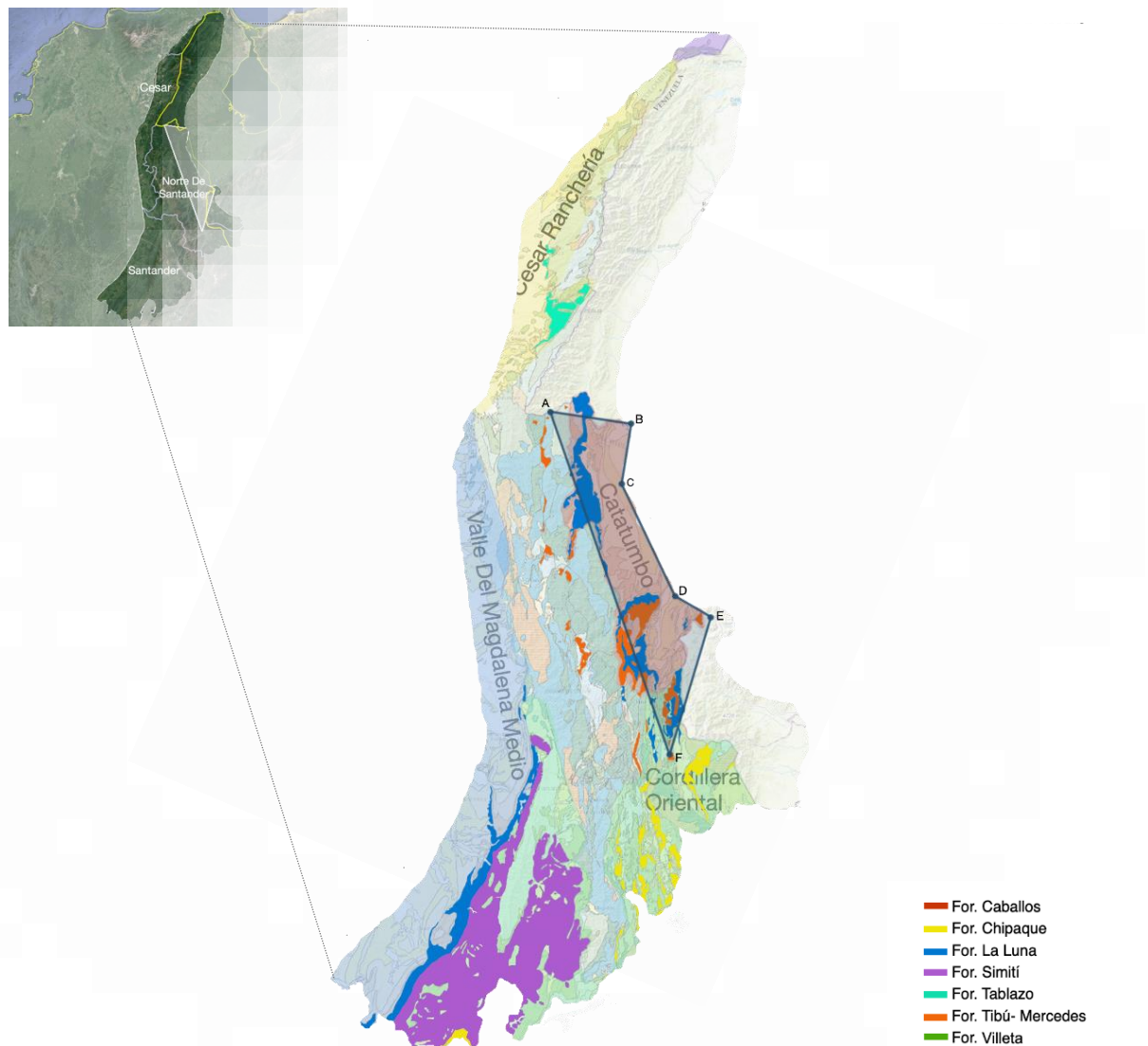


Imagen elaborada con información proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano y el IGCA
 Disponible en: <https://bit.ly/2J4rPVC>

Para la exploración de la región se supondrá el uso de las mismas técnicas utilizadas para los hidrocarburos convencionales, se analizará la perforación de los pozos en base a parámetros de pozos convencionales y la perforación horizontal; asimismo, para la producción se estudiará la implementación del fracturamiento hidráulico como técnica de desarrollo de los pozos en esta zona (tal como se supone en el caso uno). A continuación, se presenta la matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales correspondiente para este caso:

Ilustración 18: Foto de la zona de estudio para el caso tres (zona de superficie llana) cuenca del Catatumbo.



Fuente: Foto de google Eart, Yordan lima, Parador Astilleros, Norte De Santander.

Tabla 11: Matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales, Caso tres.

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES															
Escenario Número 3.			Cordillera Oriental de los Andes Colombianos (Cuenca del Catatumbo)					ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS DE ROCA GENERADORA EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES							
PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EXPLORACIÓN	Topografía, Gravimetría, Magnetometría y Geoquímica	AGUA	Toma de de datos necesarios de la zona de estudio.	-			-	-	-	-	-	-	0	-	Las actividades a realizar no presentan mayor riesgo o amenaza al ambiente. Para efectuar estos estudios se requiere personal de la región.
		AIRE		-			-	-	-	-	-	-	0	-	
		TIERRA		-			-	-	-	-	-	-	0	-	
		SOCIOECONÓMICO		Contratación de personal experto en cada una de estas ciencias.	+		1	1	1	5	N.A	10	18	BAJO	
	Sísmica	AGUA	Generación de ondas sísmicas.	Migración de aguas.	-		1	10	5	5	5	10	36	MEDIO	La sísmica causa una alteración moderada sobre el ambiente, no hay contaminación significativa, la salud y vida de las personas se afectan levemente. Los impactos más desfavorables de esta actividad es la migración de aguas y la deforestación de zonas, esto debido al duración de los efectos y el cambio del uso del suelo. Para reducir los efectos hostiles de la sísmica es necesario la implementación de medidas compensatorias.
		AIRE		Emisión de contaminantes por parte de los explosivos u operación de camiones vibradores.	-		5	1	1	1	1	1	10	MUY BAJO	
				Generación de ruido.	-		10	1	1	1	1	1	15	MUY BAJO	
				Alteración de la superficie terrestre por intrusión de explosivos.	-		1	5	1	1	1	5	14	MUY BAJO	
		TIERRA		Reactivamiento de fallas.	-		1	10	1	5	5	1	23	BAJO	
				Creación de vías, cortes y excavaciones.	Deforestación de zonas. Remoción de tierra y material de cantera.	-		5	10	5	1	5	5	31	
				Captación de ondas	-			-	-	-	-	-	-	0	
		SOCIOECONÓMICO	Realización de la sísmica.	Reducción de caudales en recursos hídricos que proveen a la población más cercana.	-		1	10	5	1	5	10	32	MEDIO	
	Procesamiento de Datos	AGUA	Análisis de datos geológicos.	-			-	-	-	-	-	-	0	-	Las actividades realizadas en el análisis de datos geológicos no presentan mayor riesgo o amenaza al ambiente.
		AIRE		-			-	-	-	-	-	-	0	-	

Continuación (2/9) tabla 11, caso tres.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EXPLORACIÓN	Procesamiento de Datos	TIERRA	Análisis de datos geológicos.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	Para efectuar el análisis de datos no es necesario personal de la región.	
		SOCIOECONÓMICO		Requerimiento de personal capacitado.	+	1	1	1	5	N.A	10	18	BAJO		
	Perforación Estratigráfica y Corazonamiento	AGUA	Perforación exploratoria.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-	5	1	1	1	5	1	14	MUY BAJO	En la perforación estratigráfica no hay contaminación significativa, la salud y vida de las personas se afectan levemente, el impacto causa una alteración baja sobre el ambiente; la probabilidad de ocurrencia de efectos adversos se puede reducir con una modificación en las propiedades reológicas del lodo. En esta actividad la generación de empleo causa un impacto positivo; sin embargo, la duración de estos empleos es breve.	
				Filtración de los lodos hacia fuentes hídricas.	-	1	1	5	1	5	5	18	BAJO		
		AIRE		Emisión de gases atrapados en las formaciones geológicas a la atmosfera (HC, CO2...)	-	5	5	1	1	1	5	18	BAJO		
		TIERRA		Generación de escombros	-	10	1	5	1	5	5	27	BAJO		
		SOCIOECONÓMICO		Disposición de ripios.	Enfermedades por la disposición de ripios radiactivos	-	1	5	5	1	5	10	27		BAJO
				Selección de personal obrero.	Generación de empleos a personal no capacitado	+	10	1	5	10	N.A	10	36		MEDIO
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Socialización de Proyectos	AGUA	Información de proyecto a la comunidad.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	En esta actividad se da a conocer las acciones a desarrollar por parte de la industria de hidrocarburos a toda la comunidad; como consecuencia a esto, se presenta un impacto positivo, la reactivación económica de la zona. Esta actividad va ligada a programas de capacitación en el desarrollo del fracturamiento hidráulico.	
		AIRE		-		-	-	-	-	-	-	0	-		
		TIERRA		-		-	-	-	-	-	-	0	-		
		SOCIOECONÓMICO		Discernimiento de las actividades a desarrollar.	+	10	1	5	1	N.A	5	22	BAJO		
				Desplazamiento de comunidades	-	5	5	5	1	10	1	27	BAJO		
	Estudios Ambientales	AGUA	Pruebas previas a fuentes hídricas para captacion o compra.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	El desarrollo de los estudios ambientales no presenta impactos negativos en los componentes agua, aire y tierra, debido a que las acciones a desarrollar son de tipo exploratorio e identificación de la calidad de los aspectos de la región.	
		AIRE	Análisis de futuros impactos al aire.	-		-	-	-	-	-	-	0	-		
		TIERRA	Pruebas de arqueología para identificación de culturas antiguas.	-		-	-	-	-	-	-	0	-		
			Estudios de posibles efectos al terreno (Localización final de lixiviados)	-		-	-	-	-	-	-	0	-		

Continuación (3/9) tabla 11, caso tres.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Estudios Ambientales	TIERRA	Estudio de las condiciones aptas para contrucción de la plataforma del proyecto.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	-	
		SOCIOECONÓMICO	Identificar la ubicación de predio.	Requerimiento de personal capacitado.	+	1	1	1	5	N.A	10	18	BAJO		
	Transporte de Equipos	AGUA	Movilización de maquinaria.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	En la movilización de maquinaria no hay contaminación significativa, el impacto causa una alteración baja a la zona de tránsito producto de la deforestación de zonas y el propio desplazamiento de maquinaria. En esta actividad se requiere gran cantidad de personal de la zona.	
		AIRE		Emisión de gases de combustión	-	10	1	1	1	5	5	23	BAJO		
		TIERRA		Deforestación de zonas.	-	5	10	1	1	5	5	27	BAJO		
				Erocción de suelos.	-	10	10	1	1	1	1	24	BAJO		
		SOCIOECONÓMICO		Requerimiento de Vías	+	10	10	5	1	N.A	5	31	MEDIO		
				Daño de vías y obras civiles.	-	1	5	5	1	5	10	27	BAJO		
	Obras Civiles	AGUA	Captación de aguas para uso en obras civiles y consumo humano.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-	5	5	1	1	5	1	18	BAJO	El impacto de esta actividad causa una alteración moderada sobre el ambiente. No hay contaminación significativa, la salud y vida de las personas se afectan levemente. Para reducir el impacto producto de la construcción de obras civiles, es necesario ajustar los diseños de ubicación e instalación de facilidades de superficie; adicionalmente, es necesario implementar medidas compensatorias en otra zona.	
		AIRE	Adecuación del terreno, contrucción y adecuación de vías de acceso.	Emisión de contaminantes. Arrastre de material por aguas lluvias.	-	5	1	1	1	1	1	10	MUY BAJO		
				Generación de ruido.	-	10	1	1	1	1	1	15	MUY BAJO		
				Cortes y excavación.	-	10	1	5	1	1	1	19	BAJO		
		TIERRA		Deforestación de zonas.	-	5	10	5	1	10	5	36	MEDIO		
				Erocción de suelos.	-	10	10	1	1	1	1	24	BAJO		
				Instalación de facilidades.	Sobrecargas en la columna geológica.	-	10	5	1	1	5	1	23		BAJO
		SOCIOECONÓMICO		Requerimiento de personal	Generación de empleos.	+	10	1	5	10	N.A	10	36		MEDIO
					Falta de mano de obra en actividades ajenas a la industria.	-	5	1	5	5	5	10	31		MEDIO
			Requerimiento de suministros alimenticios y de aseo para el personal.	Reactivación económica en localidades cercanas.	+	10	5	1	5	N.A	10	31	MEDIO		
				Aumento de precios en los suministros en las localidades cercanas.	-	10	5	1	5	5	10	36	MEDIO		

Continuación (4/9) tabla 11, caso tres.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Pruebas de Pozos	AGUA	Pruebas de presión, de interferencia, de pulso, de inyección, Fall-off...	-		-	-	-	-	-	-	0	-	La contaminación producto de la realización de pruebas a pozos es insignificativa, la salud y vida de las personas no ven se afectadas. EL impacto causa una alteración mínima al ambiente. Para el desarrollo de las actividades se requiere poca contratación de personal de la región.	
		AIRE		-		-	-	-	-	-	0	-			
		TIERRA		-		-	-	-	-	-	0	-			
		SOCIOECONÓMICO	Selección de personal capacitado en las diferentes pruebas.	Requerimiento de personal capacitado.	+	1	1	1	5	N.A	10	18	BAJO		
	Servicios de Perforación Vertical y/o Direccional	AGUA	Captación de aguas para usar en lodos de perforación.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-	5	5	10	5	5	5	35	MEDIO	Los servicios de perforación vertical y/o direccional ocasionan una contaminación de áreas puntuales, la salud de las personas presenta afectaciones importantes, el impacto causa una alteración moderada sobre el ambiente. El mayor riesgo de esta actividad es la extracción de arcillas radioactivas propias de una formación productora de hidrocarburos y su posterior disposición. Para reducir los impactos de esta actividad es necesario implementar medidas de control de desechos mucho más rigurosas.	
			Uso de lodos	Filtración de los lodos hacia fuentes hídricas.	-	1	10	5	1	10	5	32	MEDIO		
		AIRE	Perforación del pozo.	Emisión de gases atrapados en las formaciones geológicas a la atmosfera (HC, CO2...)	-	1	5	1	1	10	1	19	BAJO		
		TIERRA		Radioactividad en gran produccion de rípios, en perforacion horizontal	-	5	5	10	1	10	10	41	ALTO		
				Inadecuada disposición de rípios o recortes	-	10	5	5	1	5	10	36	MEDIO		
		SOCIOECONÓMICO		Selección de personal obrero.	Generación de empleos a personal no capacitado	+	10	1	5	10	N.A	10	36		MEDIO
	Herramientas Perforación y Completamiento	AGUA	Operación de maquinaria.	-		-	-	-	-	-	-	0	-	En la movilización de herramientas perforación y completamiento no hay contaminación significativa al ambiente. Para reducir el impacto producto de la movilización de maquinaria, es necesario implementar una buena planeación de las rutas de movilización de los mismos.	
		AIRE		Emisión de gases de combustión	-	10	1	1	1	5	5	23	BAJO		
		TIERRA	Desplazamiento de maquinaria.	Daño en vías publicas por el paso de maquinaria pesada.	-	1	5	5	1	5	10	27	BAJO		
				Erosión del suelo en la locación.	-	10	10	5	1	1	1	28	MEDIO		
		SOCIOECONÓMICO	Operación de maquinaria.	Generación de empleos como operador de maquinaria.	+	5	1	5	10	N.A	10	31	MEDIO		
		Registros hueco abierto (Eléctricos, Gamma Ray, SP,	AGUA	Corrido de registros	-		-	-	-	-	-	-	0		-
	AIRE		-			-	-	-	-	-	0	-			
	TIERRA		-			-	-	-	-	-	0	-			

Continuación (5/9) tabla 11, caso tres.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Density, Neutrón, Laterolog...)	SOCIOECONÓMICO	Selección de personal capacitado en toma de registros.	Requerimiento de personal capacitado.	+		10	1	5	10	N.A	10	36	 MEDIO	no son intrusivas y se realizan en una zona puntual.
	Sartas de Revestimiento y Producción.	AGUA	Extracción del lodo de perforación del pozo.	Derrames de lodo en el proceso de extracción.	-		1	1	5	1	5	5	18	BAJO	En el proceso de instalación de sartas de revestimiento y producción no hay contaminación significativa, salud y vida de las personas se afectan levemente. Los impactos ocurridos en la tierra son producto del almacenamiento de los tubos. Los mayores riesgos que se corren en esta operación son los que corren los operarios en el momento de la introducción de las sartas. Para reducir este impacto es necesario una cuidadosa dirección y control de la operación.
			Uso de aguas en la salmuera de estabilización de pozo.	Filtración de salmueras a recursos hídricos cercanos.	-		1	5	1	1	10	1	19	BAJO	
		AIRE	-	-			—	—	—	—	—	—	0	-	
		TIERRA	Al maceramiento de sartas.	Erosión del subsuelo.	-		10	10	5	1	1	1	28	MEDIO	
		SOCIOECONÓMICO	Selección de personal obrero.	Generación de empleos a personal no capacitado	+		10	1	5	10	N.A	10	36	 MEDIO	
	Cementación	AGUA	Fabricación del cemento.	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-		5	1	1	1	5	1	14	MUY BAJO	El impacto producto de la cementación causa una alteración moderada sobre el ambiente. Uno de los mayores impactos es el derrame de los fluidos de control de pozo en el momento de extracción de estos. La contaminación producto del cemento se da en un área local.
			Extracción de la salmuera de estabilización.	Derrames de salmuera en el proceso de extracción.	-		1	1	10	10	5	5	32	MEDIO	
		AIRE	Inyección del cemento.	Volatilización de componentes del cemento en el momento de fragüe del mismo	-		1	5	5	1	10	1	23	 BAJO	
		TIERRA		Intrusión componentes del cemento en el subsuelo.	-		5	5	1	1	10	1	23	BAJO	
		SOCIOECONÓMICO	-	-			—	—	—	—	—	—	0	-	
	Cañoneo de pozo	AGUA	Aseguramiento de salmueras	Reducción de caudales en la fuente de captación.	-		5	1	1	1	5	1	14	MUY BAJO	Al realizar el cañoneo de pozos la contaminación es insignificativa, la salud y vida de las personas no ven se afectadas. Los mayores impactos que podrían ocurrir es la migración de aguas debido a un mal cañoneo; sin embargo, la probabilidad de que ocurra esto es muy baja debido a los controles operacionales que tiene esta actividad.
		AIRE	Bajar herramientas de cañoneo y cañonear	-			—	—	—	—	—	—	0	-	
		TIERRA		-			—	—	—	—	—	—	0	-	
		SOCIOECONÓMICO		-			—	—	—	—	—	—	0	-	
	Fluidos de Perforación. Tratamiento y Disposición	AGUA	Disposición de aguas usadas en la perforación y completamiento de los pozos.	Filtración de fluidos contaminados en los tanques.	-		1	10	5	1	10	5	32	MEDIO	El control de fluidos de perforación, tratamiento y disposición de estos causa una contaminación local, la salud y vida de las personas, así como de la flora y fauna son afectadas de forma importante,
				Contaminación en los vertederos inadecuada disposición de fluidos producidos.	-		5	5	10	5	10	5	40	 ALTO	

Continuación (6/9) tabla 11, caso tres.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
EVALUACIÓN Y DESARROLLO	Fluidos de Perforación. Tratamiento y Disposición	AIRE	Tratamiento de aguas y lodos.	Evaporación de componentes asociados a los fluidos residuales.	-		1	5	5	1	10	1	23	BAJO	el impacto causa una alteración moderada sobre el ambiente. Para reducir los impactos de esta actividad es necesario implementar medidas de control de desechos mucho más rigurosas.
		TIERRA		Absorción de componentes de las aguas por parte del suelo.	-		5	5	1	1	10	1	23	BAJO	
		SOCIOECONÓMICO	-	-			-	-	-	-	-	-	0	-	
PRODUCCIÓN	Construcción de Campamentos y diseño de Facilidades de superficie	AGUA	Construcción de acueductos.	Reducción de caudales en la fuente.	-		5	5	5	1	5	1	22	BAJO	El impacto de esta actividad causa una alteración moderada sobre el ambiente. No hay contaminación significativa, la salud y vida de las personas se afectan levemente. Para reducir el impacto producto de la construcción de campamentos y diseño de facilidades de superficie, es necesario ajustar los diseños de ubicación e instalación de facilidades e identificar las vías de acceso a la locación; adicionalmente, es necesario implementar medidas compensatorias en otra zona.
				Vertimiento de aguas grises y negras.	-		5	5	5	1	10	1	27	BAJO	
			Construcción de piscinas, campos de infiltración y pozos septicos	Generacion de reciduos peligrosos	-		5	5	5	1	5	1	22	BAJO	
		AIRE	Adecuación de la locación para instalar el campamento y las facilidades.	-		-	-	-	-	-	-	0	-		
		TIERRA		Compactación del subsuelo a causa del campamento.	-		10	10	5	1	1	1	28	MEDIO	
				Erosión del terreno por excesivo paso del personal.			10	10	5	1	5	1	32	MEDIO	
		Construcción de piscinas, campos de infiltración y pozos septicos		Generacion de reciduos peligrosos	-		5	5	5	1	1	1	18	BAJO	
			SOCIOECONÓMICO	Requerimiento de suministros alimenticios y de aseo para el personal.	Reactivación económica en localidades cercanas.	+		10	5	1	5	N.A	10	31	
		Aumento de precios en los suministros en las localidades cercanas.		-		10	5	1	5	5	10	36	MEDIO		
	Fracturamiento Hidráulico	AGUA	Captación de agua para el fracturamiento hidráulico.	Reducción de caudales en la fuente.	-		10	5	5	1	5	5	31	MEDIO	Se observa que el impacto ambiental en el agua es medio debido a que la recuperabilidad de los efectos es de carácter irrecuperable, así mismo la flora y fauna son afectadas de forma importante; sin embargo, el área de influencia es puntual.
			Preparacion de fluidos de fractura.	Contaminación de acuiferos por aditivos químicos	-		1	1	5	1	10	5	23	BAJO	
			Prueba de inyección e inyección de agua a la formación (estimulación de pozo).	Filtración del agua usada para el fracturamiento a fuentes hídricas superficiales (Pozos de agua dulce).	-		1	5	1	1	10	10	28	MEDIO	
				Filtración del agua a acuíferos subterráneos.	-		1	5	1	1	10	10	28	MEDIO	

Continuación (7/9) tabla 11, caso tres.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
PRODUCCIÓN	Fracturamiento Hidráulico	AGUA	Vertimiento de aguas residuales.	Contaminación en vertederos por mal tratamiento de aguas.	-		1	5	5	1	10	5	27	BAJO	Una forma de reducir este impacto es tener un buen control del fluido fracturante y estudiar muy bien la geología estructural del yacimiento.
			Fracturamiento de rocas.	Migración de hidrocarburos a fuentes hídricas.	-		1	10	5	5	10	5	36	MEDIO	
		AIRE		Evaporación de componentes usados en el agua de fracturamiento.	-		1	5	1	1	10	1	19	BAJO	Los efectos del fracturamiento hidráulico sobre el aire causan una alteración moderada sobre el ambiente. La emisión de gases de efecto invernadero es el efecto mayor responsable de este impacto debido a que este se filtra al ambiente al romper la roca madre. Para reducir esta emisión es necesario implementar un mejor sello en cabeza de pozo, el cual permita recoger la mayor cantidad de gas que es emitido.
				Emisión de CO2 a la atmosfera (Gases con efecto invernadero)	-		5	5	1	1	10	5	27	BAJO	
				Ventilación de Hidrocarburos a la atmosfera. (Gases con efecto invernadero)	-		5	5	1	1	10	5	27	BAJO	
		TIERRA		Migración de hidrocarburos.	-		1	10	1	5	10	5	32	MEDIO	Los efectos causan una alteración moderada sobre el ambiente, la contaminación se da en áreas puntuales, el impacto en el ambiente es producto de grandes cantidades de arena que es necesaria para realizar la operación. Una forma de reducir este impacto es usar materiales sintéticos que tengan menor impacto sobre el ambiente.
				Interconexión de fracturas.	-		1	5	1	1	10	5	23	BAJO	
				Contaminación del subsuelo por aditivos del agua de fractura.	-		5	5	5	1	5	5	26	BAJO	
				Generación de microsismos y/o sismos.	-		1	1	1	1	5	1	10	MUY BAJO	
				Recargas en yacimientos convencionales causando sobre presión en pozos.	-		1	5	5	5	10	10	36	MEDIO	
				Deslizamientos de tierra.	-		1	1	1	1	1	5	10	MUY BAJO	
		Captación de arenas para mantener abiertas las fracturas.	Extracción de grandes cantidades de arena.	-		10	5	5	5	10	5	40	ALTO		

Continuación (8/9) tabla 11, caso tres.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
PRODUCCIÓN	Fracturamiento Hidráulico	SOCIOECONÓMICO	Fracturamiento de rocas.	Contaminación y escasez de agua potable	-		1	5	10	5	5	10	36	MEDIO	La salud y vida de las personas son afectadas de forma importante, a causa de la contaminación y escasez de agua potable. La salud de los operarios presenta una mayor probabilidad de ser afectada, debido a que estos se encuentran en contacto directo con los químicos usados para el fracturamiento.
				Potencial de desarrollo de enfermedades endémicas.	-		1	10	5	1	5	5	27	BAJO	
			Preparacion de fluidos de fractura.	Intoxicación a personal operario.	-		5	5	5	1	5	10	31	MEDIO	
	Producción del pozo	AGUA	Altas tasas de producción de agua de fracturamiento.	Contaminacion a vertederos por fluidos degradados	-		5	5	5	1	10	5	31	MEDIO	En el proceso de producción de pozo no hay contaminación significativa al ambiente, la salud y vida de las personas se afectan levemente. Uno de los impactos mas importantes es la contaminación a vertederos por escapes de fluidos producido, probabilidad de ocurrencia de este impacto es baja.
				Producción	Derrame de hidrocarburos, mal empaquetamiento, mala cementación, daño de tuberías...	-		1	5	5	1	5	10	27	
		AIRE	Ventilación de Hidrocarburos a la atmosfera. (Gases con efecto invernadero)		-		1	5	5	1	10	5	27	BAJO	
		TIERRA	Derrame de hidrocarburos, mal empaquetamiento, mala cementación, daño de tuberías...		-		1	5	10	1	5	1	23	BAJO	
			Subducción del terreno.		-		1	10	5	1	10	1	28	MEDIO	
		SOCIOECONÓMICO	-			-	-	-	-	-	-	0	-		
	Operación de facilidades de superficie	AGUA	Tratamiento de agua de producción.	Contaminación de vertederos.	-		1	5	5	1	10	5	27	BAJO	En la realización de esta actividad no hay contaminación significativa al ambiente, la salud y vida de las personas se afectan levemente. El impacto mas importante es la contaminación a vertederos por derrame de hidrocarburos, el cual puede afectar gravemente a la flora y fauna; la probabilidad de ocurrencia de este impacto es baja; seguido por la mala disposición de desechos sólidos. Para reducir los impactos es necesario implementar estándares de calidad de agua tratada mucho más rigurosos.
		AIRE	Tratamiento de Hidrocarburos.	Ventilación de Hidrocarburos a la atmosfera. (Gases con efecto invernadero)	-		1	1	5	1	10	1	19	BAJO	
				Derrame de hidrocarburos			1	5	5	1	5	5	22	BAJO	
		TIERRA	Tratamiento de solidos.	Mala dispoición de sólidos.	-		5	5	5	1	5	5	26	BAJO	
		SOCIOECONÓMICO	Implementación de personal capacitado	Generación de empleos.	-		5	1	5	10	N.A	10	31	MEDIO	
	Workover y Well service.	AGUA	Actividades de incremento de producción (Recañoneo, Coiled tubing...)	-			-	-	-	-	-	-	0	-	Al realizar las actividades de Workover y Well service no se presenta mayor impacto al ambiente debido a que son
		AIRE		-			-	-	-	-	-	-	0	-	

Continuación (9/9) tabla 11, caso tres.

PROCESO	ACTIVIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN ASPECTOS	DESCRIPCIÓN IMPACTOS	SIGNO		EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACIÓN IMPACTO	IMPACTO	OBSERVACIONES
					+	-	Probabilidad	Duración	Magnitud	Área de influencia	Recuperabilidad	Importancia			
PRODUCCIÓN	Workover y Well service.	TIERRA	y actividades que mantengan la integridad del pozo.	-			–	–	–	–	–	–	0	-	actividades de corta operación. No se requiere contratación de personal adicional de la región.
		SOCIOECONÓMICO		-			–	–	–	–	–	–	0	-	
	Mant. de Facilidades	AGUA	Mantenimiento y reparacón de Facilidades	Filtración de fluidos contaminados en los tanques.	-		1	1	5	1	5	5	18	BAJO	En el mantenimiento y reparación de facilidades no hay contaminación significativa, puesto que son actividades de corta operación. No se requiere contratación de personal adicional de la región.
		AIRE		Escape de hidrocarburos a la atmosfera.	-		1	1	5	1	10	5	23	BAJO	
		TIERRA		Derrame de hidrocarburos	-		1	5	5	1	5	5	22	BAJO	
		SOCIOECONÓMICO		-			–	–	–	–	–	–	0	-	

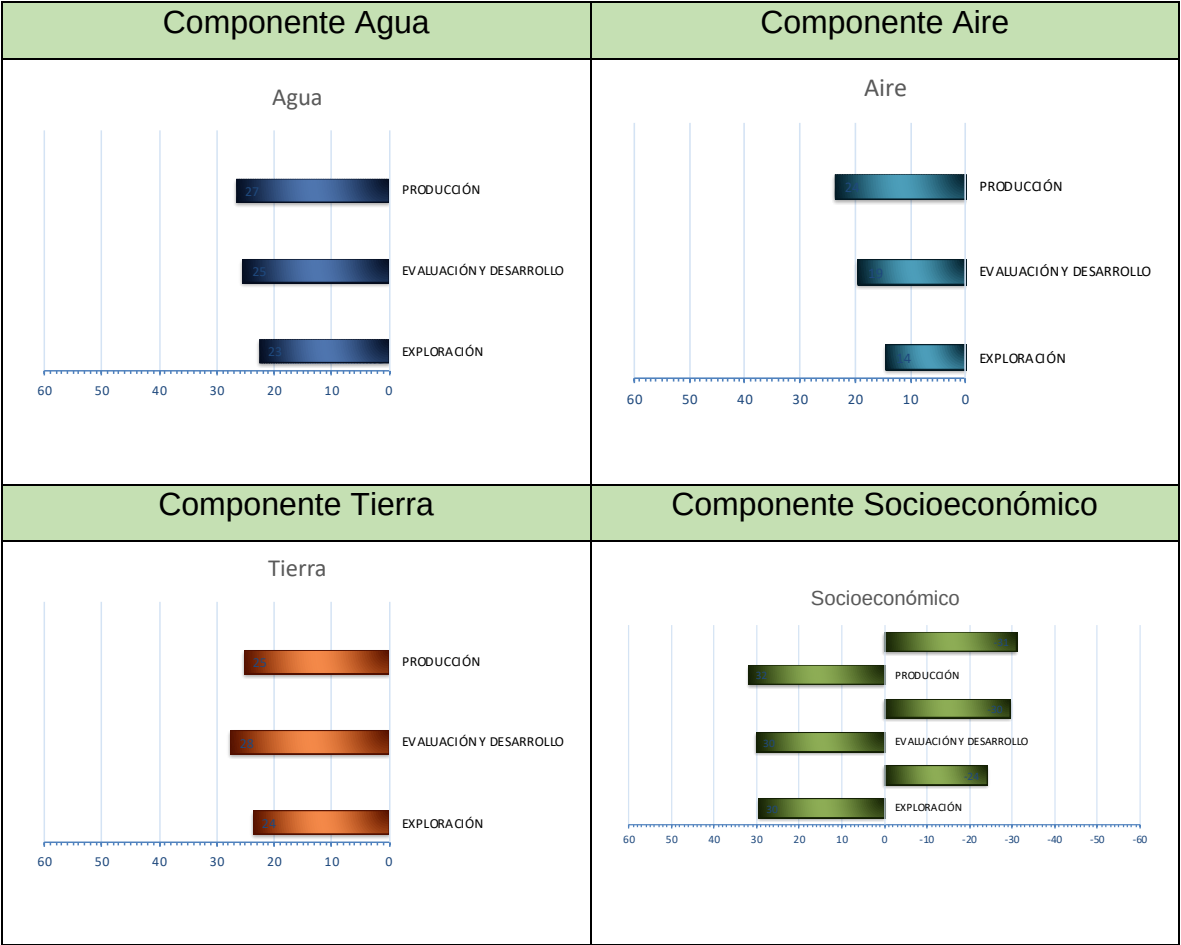
La tabla 10 es completada atendiendo a consideraciones de seguridad preexistentes en la ejecución de la exploración, evaluación, desarrollo y producción de hidrocarburos de roca generadora; asimismo, atendiendo a las características propias de la zona de superficie llana, descritas en el presente caso (Caso tres).

Convenciones usadas por proceso:

-  Mayor impacto negativo sobre el componente Agua.
-  Mayor impacto negativo sobre el componente Aire.
-  Mayor impacto negativo sobre el componente Tierra.
-  Mayor impacto negativo sobre el componente Socioeconómico.
-  Mayor impacto positivo sobre el componente Socioeconómico.

Al igual que en los anteriores casos, al profundizar en la “matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales” (Tabla 10) junto con los resultados de esta condensados en la tabla 11 se distinguen los posibles efectos directos sobre cada uno de los componentes a analizar.

Tabla 12: Análisis de los impactos producto de la explotación de yacimientos de roca generadora en la cordillera oriental de los andes, caso tres.



En esta tabla se muestra la gravedad de los impactos debido a los diversos procesos establecidos de la industria en los componentes analizados.

Se observa que los efectos debido a las actividades y consideraciones establecidas en el caso tres (Zona de superficie llana) ejercen un bajo impacto sobre el componente teniendo como más graves efectos en cada uno de los procesos analizados: i) La migración de aguas debido a la generación de ondas en la ejecución de la sísmica; ii) La contaminación a vertederos producto de la disposición

de aguas usadas en la perforación y completamiento de los pozos; y iii) la migración de hidrocarburos a fuentes hídricas debido al fracturamiento de las rocas generadoras. Dichos efectos causan una alteración moderada sobre el ambiente puesto que la probabilidad de ocurrencia de los mismos es baja, mientras que la duración e importancia de los dichos efectos en caso de que ocurran es alta.

En el componente aire se evidencia que los efectos directos ejercen un muy bajo impacto al ambiente, teniendo como más grave impacto la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (HC, CO₂...), según lo planteado en el caso estas emisiones son de gravedad equivalente a la emisión de gases de combustión producto de la operación de maquinaria.

Ilustración 19: Efecto adverso sobre el componente tierra, uso masivo del suelo.



Fuente: Steemit, Fracking ¿Si o No?, amendez, diusponible en: <https://bit.ly/2VtHUay>.

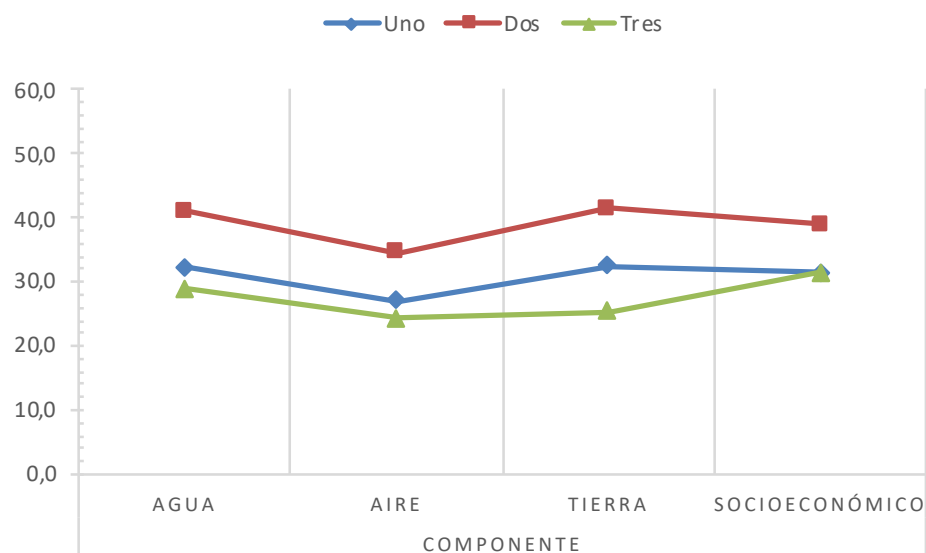
Los efectos ejercidos sobre el componente tierra se evidencian un impacto de tipo bajo. En este componente se presentan graves impactos tales como: i) Una gran producción de desechos radiactivos producto de la perforación de rocas generadoras de forma horizontal; ii) extracción de grandes cantidades de arena para adicionar al fluido fracturante; iii) Una alta deforestación de zonas para la instalación de los pozos; este último efecto puede propiciar el aumento masivo del suelo, es

decir un cambio en el uso del mismo el cual puede incurrir en graves efectos a largo plazo (Ilustración 19).

Como último se analizan los efectos sobre el componente socioeconómico, en cuanto a los impactos positivos al igual que los otros dos casos se tiene la creación de empleos en las diferentes etapas de desarrollo de la industria; mientras que por otro lado los más graves impactos negativos son la contaminación y escases de agua potable junto con el cambio del uso de los terrenos, consecuencia de los impactos a los componentes agua, aire y tierra.

5.4.4. Análisis de los tres casos planteados. Para tener un mejor análisis de los efectos que podrían suceder al realizar la explotación de hidrocarburos de roca generadora en la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos es útil estudiar los impactos definidos en los casos propuestos discrepando cada uno de los componentes estudiados, es así como se resumen los efectos en la siguiente ilustración (Ilustración 20)

Ilustración 20. Impacto ambiental del fracturamiento hidráulico de los tres casos analizados y estudiados.



Al hacer una comparación de los efectos producidos en las tres hipótesis propuestas se evidencia que el caso en el que ocurre el menor impacto sobre el ambiente es el caso de la superficie llana; no obstante, el impacto que este ejerce es de tipo bajo tendiendo a medio el cual indica alteración moderada sobre el ambiente y contaminación de áreas puntuales. El caso en el que se exhibe el mayor impacto es el caso numero dos, los resultados de este indican que el impacto que se puede alcanzar en este es de carácter alto; todos los componentes analizados se encuentran presentes en este nivel de agresividad al ambiente.

De esta manera se establece que los efectos mas graves al realizar la explotación de hidrocarburos de roca generadora en la Cordillera Oriental de los Andes están definidos en los efectos del caso dos y los mínimos impactos por el caso tres; asimismo, se evidencia que cuanto mas se acerque el caso uno a uno de estos dos extremos, mayor será la probabilidad de ocurrencia del caso al cual tiende.

Efectos sobre el componente Agua:

los principales impactos que podrían ocurrir sobre el componente agua al realizar la explotación de hidrocarburos de roca generadora en la zona de montaña son: una reducción de caudal en las fuentes de captación del recurso (Ilustración 21), puesto que más de 14 millones de litros de agua son necesarios por pozo para poder implementar esta técnica según los estudios realizados; así como la migración de hidrocarburos a fuentes hídricas debido al fracturamiento de las rocas que lo contienen (Ilustración 22).

Ilustración 21: Efecto adverso sobre el componente agua, reducción de caudales en las fuentes de captación de del recurso.



Fuente: Vanguardia, Rio Sogamoso, disponible en: <https://bit.ly/2EbpCEV>

Los efectos de estos impactos son de importante consideración puesto que según los casos estudiados; pueden ir desde la contaminación de áreas puntuales con alteración moderada sobre el ambiente hasta la contaminación de áreas locales y llegar a afectar a toda la comunidad. La intensidad de los impactos es proporcional a los pozos productores que se desee implementar

Ilustración 22: Efecto adverso sobre el componente agua, migración de hidrocarburos a fuentes hídricas.



Fuente: La opinión, Daño ambiental tras derrame de crudo en Santander, disponible en: <https://bit.ly/30mfJxE>

Efectos sobre el componente Aire:

En lo que respecta a los efectos que podrían ocurrir en el componente aire en los tres casos se evidencia que el mayor efecto adverso es la emisión de gases de efecto invernadero atrapados en las formaciones productoras de hidrocarburos, los cuales son liberados a la atmosfera al fracturar la roca (Ilustración 23). Las consecuencias de este efecto van desde una afección leve al ambiente hasta la contaminación de áreas locales, por lo que se afectaría de forma grave la salud y vida de no solo la flora y fauna sino también de las personas de la zona.

Ilustración 23: Efecto adverso sobre el componente aire, emisión de gases de efecto invernadero atrapados en las formaciones productoras de hidrocarburos.



Fuente: Made for minds, Fracking: ¿sí o no?, disponible en: <https://bit.ly/2VFvj pH>

Efectos sobre el componente Tierra:

El componente tierra es el que presenta una mayor incertidumbre en la probabilidad de ocurrencia de los efectos puesto que no se tiene mayor conocimiento de la

propagación de las fracturas a lo largo del subsuelo; por ende, no se tiene total certeza de la cercanía de unas fracturas con otras.

En los tres casos se presenta un impacto muy alto debido a la extracción de arena necesaria para el sistema de producción (Ilustración 24), este efecto a pesar de producir una contaminación en áreas locales afecta de forma grave a la flora y fauna de la zona de tal forma que no se pueden retornar a las condiciones originales. Al analizar las hipótesis planteadas en la zona de montaña se evidencia un alto impacto producto de la interconexión de fracturas, las cuáles podrían propiciar la migración de hidrocarburos a la superficie (Ilustración 25), y en otros casos a reservorios naturales causando sobre presión en ellos (Ilustración 26),

Ilustración 24: Efecto adverso sobre el componente tierra, extracción de grandes cantidades de arena necesaria para el sistema de producción.



Fuente: El colombiano, Planta de arena en Saldaña (Tolima), Cementos argos, disponible en: <https://bit.ly/30pBxsf>.

Ilustración 25: Efecto adverso sobre el componente tierra, rezumaderos de hidrocarburos.



Fuente: Geocontacto, Principales rezumaderos de hidrocarburos en Colombia, Francisco Javier O, disponible en: <https://bit.ly/2HrGtEz>.

Ilustración 26: Efecto adverso sobre el componente tierra, emanaciones de hidrocarburos por sobre presión en yacimientos.



Fuente: CM&, Noticias, Controlada emanación de crudo en quebrada Lizama: Ecopetrol, disponible en: <https://bit.ly/2w3Uxid>.

Los efectos ocurridos en el componente tierra propician la contaminación de los demás componentes causando problemas que van desde la contaminación de áreas locales, afectando de forma grave la flora y fauna, hasta la contaminación de

áreas locales asociados a destrucción del ambiente o sus características. Cabe resaltar que es necesario implementar técnicas preventivas adicionales debido a que dentro del área establecida en el caso uno y dos se encuentra la reserva natural de la Cordillera de los Cobardes, el parque Nacional de Iguaque, junto con la cordillera de los Picachos; de igual manera, dentro del área definida en el caso tres se sitúa la Serranía del Perijá junto con el Parque Nacional Natural del Catatumbo.

Efectos sobre el componente Socioeconómico:

Para el análisis del componente socioeconómico es importante hacer la discriminación de los impactos presentados en los tres casos de acuerdo con el área de influencia; de esta manera, la afección más importante con un área de influencia puntual es la intoxicación a personal operativo producto del uso de químicos necesarios en el fracturamiento hidráulico, la cual afecta gravemente la salud de estas personas; con un área de influencia local se puede presentar un alto potencial de desarrollo de enfermedades endémicas y; finalmente con una área de influencia regional se puede presentar la contaminación de la tierra, así como también escasez de agua potable producto de la cantidad de agua requerida para la implementación de esta técnica de explotación no convencional, las fuentes hídricas se ven reducidas y contaminadas a tal punto de no ser potables.

Cabe mencionar un factor muy importante en este análisis como lo es el tiempo, en la actualidad esta fase de fracturamiento dura entre 2 a 5 días, la vida productiva media del pozo es de 7 años, pero solo hasta unos 8 o 10 años se lleguen a ver reflejados estos impactos en el ambiente como, por ejemplo: en el componente tierra, recargas sobre yacimientos convencionales por sobrepresión en los pozos. De esta manera lo que se puede deducir de esta matriz donde se encuentra el factor “duración” determina y especifica el tiempo de duración, una vez se haya producido el impacto, pero no permite dar un análisis con certeza del momento en el que podría ocurrir ni en el que se va a presentar.

5.4.5. Medidas de control.

- Realizar un mejor reconocimiento de la geología estructural de la zona de cordillera la cual permita conocer la propagación de las fracturas en el subsuelo junto con la existencia de escorrentías subterráneas, de esta manera poder diseñar una trayectoria de pozo adecuada que reduzca la probabilidad de errores en el proceso de fracturamiento de las rocas.
- Adecuar una serie de facilidades de superficie que permita una mayor reutilización del agua de fractura para usar en otros pozos cercanos, las herramientas que cumplan este papel deben reducir la degradación de las aguas; así como también permitir la separación de sólidos con el propósito de un mejor tratamiento.
- Equipar a el personal que está en contacto con los químicos usados para realizar el fracturamiento hidráulico con elementos de protección más rigurosos, identificar un tiempo adecuado de exposición a los compuestos usados; de igual manera identificar compuestos que tengan un menor impacto al ambiente.

6. CONCLUSIONES

- Las formaciones que podrían ser Yacimientos de Roca Generadora son propias de la era del cretáceo, al identificar los afloramientos de estas formaciones en la cordillera Oriental de los Andes Colombianos se puede seguir la continuidad de la misma través de la cordillera; es así como se establece que la zona en la cual podría existir mayor probabilidad de yacimientos de roca generadora se encuentra ubicada en la parte oriental de Norte de Santander (Cuenca del Catatumbo), el occidente de los departamentos de Santander, Cundinamarca y Boyacá (cerca de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena); de la misma manera, se evidencia que en la cuenca de la cordillera oriental la probabilidad de encontrar hidrocarburos de este tipo en estos afloramientos es casi nula debido a que los hidrocarburos que pudieron generarse en la zona han migrado producto de las bajas presiones.
- En la actualidad la técnica para la extracción de hidrocarburos no convencionales en zona montañosa es la misma que para el resto de las zonas topográficas, el fracturamiento hidráulico. Para realizar esta técnica se protege el pozo con un casing y el cemento; posteriormente, se corren registros que permitan verificar un buen aislamiento del pozo; una vez garantizado la calidad de este revestimiento se procede a realizar una serie de pruebas de presión y pérdida de fluidos inyectados con el propósito de seleccionar la presión óptima para realizar la técnica y así garantizar un menor impacto en el ambiente.
- Al realizar la explotación de hidrocarburos de roca generadora en la cordillera Oriental de los Andes Colombianos existe la posibilidad de tener un grave impacto al ambiente debido al desconocimiento del subsuelo de la zona,

dicho desconocimiento aumenta la probabilidad de graves efectos producto de la interconexión de fracturas, las cuáles a su vez facilitan la migración de hidrocarburos a la superficie y en otros casos a reservorios naturales causando sobre presión en ellos; de igual manera, los impactos ocurridos en el componente tierra propicia la contaminación en los demás componentes afectando de forma grave la flora y fauna, hasta la contaminación de áreas locales asociados a destrucción del ambiente o sus características.

- Los problemas sobre el componente socioeconómico que trae la explotación de hidrocarburos de roca generadora son consecuencia de los impactos en los recursos naturales agua, aire y tierra; por esta razón, es indispensable que al realizar operaciones no convencionales se preste especial atención a estos componentes.
- La técnica de fracturamiento hidráulico ha sido gran motivo de debates y discusiones, con la realización de este proyecto se puede afirmar que es tiempo de dar un paso hacia el desarrollo de esta nueva técnica de explotación de hidrocarburos no convencionales aquí en Colombia; con los estudios realizados y con la información que se ha recopilado de sus efectos e impactos durante los últimos años en los demás, es suficiente para arriesgarse e implementarla, de la misma manera como hace muchos años atrás con los convencionales, siempre y cuando se realice de buena manera con todas las normas y medidas necesarias, teniendo en cuenta los posibles mayores impactos ambientales y mitigando su efecto.

7. RECOMENDACIONES

- Continuar con los estudios de los diferentes impactos ambientales encontrados con esta matriz para la nueva técnica de extracción en hidrocarburos no convencionales, pero esta vez realizando un mayor énfasis en el tiempo de ocurrencia de cada uno de ellos; puesto que el factor tiempo es un agente muy importante a la hora de ver los efectos reales alcanzados ya que muchos de ellos se comienzan a ver reflejados a mediano y a largo plazo.
- Obtener un mapa del Contenido Orgánico Total (TOC) de la cordillera Oriental de los Andes Colombianos el cual reduzca el área de estudio del impacto ambiental y de la misma manera permita aumentar la probabilidad de existencia de hidrocarburos de roca generadora en la zona.
- Realizar el análisis del impacto ambiental con cada uno de los componentes estudiados (Agua, Aire, Tierra y Socioeconómico) por separado, analizando los efectos secundarios que acarrea cada uno de estos sobre los demás componentes.
- Proponer nuevas técnicas para la remediación de los daños que se puede ocurrir al explotar los yacimientos de roca generadora en la zona de montaña.
- Diseñar un plan de contingencia en base a los mas posibles efectos a ocurrir producto de la explotación de yacimientos no convencionales en la cordillera Oriental de los Andes Colombianos.

BIBLIOGRAFÍA

CABANILLAS, Luis & Carstens, Gustavo & Lovecchio, Juan & Marshall, Patricio & Rébora, Luis & Carlos Soldo, Juan & Vallejo, Eduardo & Vergani, Gustavo. (2015); Asociación Argentina de geólogos y geofísicos del petróleo; Hidrocarburos convencionales y no convencionales.

ECOPETROL.S. A; Ecopetrol 2020 – 2030; Presentación foro UNAL; ECHEVERRY Juan Carlos.

EL ORDEN MUNDIAL EN EL SIGLO XXI; Hidrocarburos no convencionales, la nueva revolución energética; Fernando Alarcón; 2015-06-29; Disponible en: <https://goo.gl/VR8KNx>

ENERGÍA YPF; ¿Qué son los yacimientos No Convencionales?; GALLEGOS Ernesto; Independencia Energética; 24.02.2014; Disponible en: <https://goo.gl/3rswxt>

FRACTURA HIDRAULICA NO: Compendio de hallazgos científicos, médicos y de medios de comunicación que demuestran los riesgos y danos del Fracking (extracción no convencional de gas y petróleo); Tercera edición; octubre 2015; disponible en: <https://goo.gl/UffojB>.

ICONTEC; Guía Técnica Colombiana 104; Gestión del riesgo ambiental. Principios y proceso; 2009-08-19

IMPACTO ECONÓMICO; Colombia le apuesta a los hidrocarburos no convencionales; Septiembre-noviembre de 2012.

LA COMUNIDAD PETROLERA: Yacimientos Convencionales y No-Convencionales-Características; 2014-03-16; disponible en: <https://goo.gl/ztVQPy>

SCHLUMBERGER; Oilfield Glossary; 2018; Disponible en: <https://goo.gl/dWGRVs>

Fracking: Extracción de gas y petróleo no convencional, y su impacto ambiental; Disponible en: <https://bit.ly/2VW6OUx>