

**IMPACTOS AMBIENTALES POR LA COMPOSICIÓN DE FLUIDOS
UTILIZADOS EN LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EFICIENTE EN
YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES DESDE UN CONTEXTO
INTERNACIONAL**

HÉCTOR CAMILO ROMERO PARRA

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2016**

**IMPACTOS AMBIENTALES POR LA COMPOSICIÓN DE FLUIDOS
UTILIZADOS EN LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EFICIENTE EN
YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES DESDE UN CONTEXTO
INTERNACIONAL**

HÉCTOR CAMILO ROMERO PARRA

**Monografía para optar por el título de Especialista en
Gestión Ambiental**

**Orientador
JIMMY EDGARD ÁLVAREZ DIAZ
Biólogo Doctor**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del Calificador

Bogotá, D.C., Octubre de 2016

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García Peña

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suarez

Director Especialización en Gestión Ambiental

Dr. Francisco Archer Narváez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero que todo a Dios quien me permitió llegar hasta este punto y ser la persona que soy.

De igual manera, a mis padres y hermano por su apoyo, paciencia y dedicación durante mi especialización

Finalmente, le dedico este Trabajo de Grado a mi novia, quien con su apoyo constante ha hecho de mí una persona perseverante y decidida a los retos que la vida a diario impone.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por sus bendiciones y oportunidades para que mi profesión y mi vida estén siempre en constante crecimiento.

A mi novia por ser mi soporte y ayuda cuando lo requiero y por permitirme tener esta relación tan maravillosa.

A cada uno de los docentes de la especialización quienes de una manera u otra aportaron a mi conocimiento, especialmente al Dr Francisco Archer, quien con su sabiduría, entrega y compromiso hizo de mí una mejor persona y profesional.

Al profesor Jimmy Álvarez quien me guío y me colaboró con la elaboración y desarrollo de este trabajo de Grado

A Laura Romero, Lina Gaitán y Camilo Gómez, mis fieles compañeros de la especialización, quienes siempre estuvieron en las buenas y en las malas apoyando y compartiendo este camino; sin ellos esto no hubiese sido lo mismo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	15
1. FORMULACIÓN DEL FLUIDO PARA LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES.	16
1.1 ANTECEDENTES	17
1.2 EL FLUIDO ACTUALMENTE	18
1.2.1 Propante o Agente Sostén o Apuntalante	20
1.2.2 Ácidos	21
1.2.3 Agentes gelificantes (Geles)	21
1.2.4 Rompedores de gel ("breaker")	21
1.2.5 Bactericidas	22
1.2.6 Inhibidores de corrosión	22
1.2.7 Inhibidores de incrustaciones	22
1.2.8 Reductores de fricción	23
1.2.9 Surfactantes	23
2. TECNOLOGÍA EN LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES.	26
2.1 ESTUDIO ANUAL DE LAS COMPOSICIONES DE VARIOS FLUIDOS SELECCIONADOS	26
2.2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA UTILIZADA PARA EL DESARROLLO DEL FLUIDO	32
3. IMPACTOS AMBIENTALES DURANTE LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES.	36
3.1 ANTECEDENTES	36
3.2 DESCRIPCIÓN EFECTOS MEDIOAMBIENTALES DURANTE EL FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO	37
3.2.1 Ambiente Físico	37
3.2.1.1 Recurso Hídrico	37
3.2.2 Aire	39
3.2.3 Suelo	40
3.2.3.1 Movimientos Sísmicos	40
3.2.4 Aspecto Biótico	41
3.2.5 Aspecto Socioeconómico	41
3.3 GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA 104, RELACIONADA CON EFECTOS MEDIO AMBIENTALES	44
4. CONCLUSIONES	46
5. RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Compuesto del Fluido de Fracturamiento	24
Cuadro 2. Componentes Dañinos Presentes en Diferentes Fluidos del Fracturamiento y Sus Posibles Efectos Potenciales en la Salud	42
Cuadro 3. Efectos del Fracturamiento Hidráulico	45

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Promedio de la Composición del Fluido de Fracturación Hidráulica	20
Gráfica 2. Caso Texas / Johnson, Devon Energy.	28
Gráfica 3. Caso Texas / La Salle, Anadarko Petroleum Corporation.	30
Gráfica 4. Caso Texas / Gaines, Occidental Oil & Gas.	32
Gráfica 5. Porcentaje de Agua Por años	33
Gráfica 6. Clasificación Propantes	34
Gráfica 7. Porcentaje de Propante en el Fluido	35

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Componentes Relevante Casos Texas año 2013	28
Tabla 2. Casos Texas Año 2014	29
Tabla 3. Componentes Relevantes Casos Texas Año 2014	29
Tabla 4. Casos Texas Año 2015	31
Tabla 5. Componentes Relevantes Casos Texas Año 2015	31
Tabla 6. Uso de Agua por Pozo Para Perforación y Fracturación	38

RESUMEN

La presente monografía tuvo como objetivo general evaluar la composición del fluido para la estimulación hidráulica en yacimientos no convencionales. Para lograr el propósito de la misma se procedió a actualizar el estado del arte utilizado como referencia para sustentar la información principalmente para Estados Unidos, país con mayor cantidad de pozos donde se ha ejecutado el fracturamiento hidráulico. Luego, se organizó la información y se inició con la redacción de los capítulos, que para el caso, se dividieron en tres, dentro de los que se encuentran: la composición del fluido de fracturamiento teniendo en cuenta el fluido base y los posibles aditivos constituyentes; posteriormente, se analizaron diferentes estudios de caso obtenidos en la industria en los que se había realizado la operación, teniendo en cuenta el agua utilizada y la relación de los aditivos utilizados; y, finalmente se desarrollaron los impactos al medio ambiente que la operación y el fluido generan en las poblaciones cercanas donde se ejecuta el proyecto.

Los impactos ambientales y socioeconómicos fueron bastante significativos, por lo que sería de vital importancia desarrollar un fluido en el que se reduzca aproximadamente un 15% la utilización de agua, reduciendo así la gran cantidad de agua que demanda el sector petrolero, sin que afecten la exploración, explotación y producción de yacimientos no convencionales, que es el principal propósito energético en la actualidad.

Palabras claves: Fracturamiento Hidráulico, Composición del Fluido, Impacto Ambiental.

GLOSARIO

ÁCIDO NAFTÉNICO: se obtiene por extracción cáustica de los destilados de petróleo, principalmente de las fracciones de querosene y diésel.

ACIDO NÍTRICO: líquido corrosivo, tóxico, que puede ocasionar graves quemaduras. Se utiliza para fabricar explosivos como la nitroglicerina y trinitrotolueno (TNT), así como fertilizantes como el nitrato de amonio.

CASING: tubería especial de acero que se introduce en el pozo con el fin de cubrir las paredes de los hoyos previamente perforados.

COMBUSTIÓN IN SITU: método convencional térmico que se basa en la generación de calor en el yacimiento para seguir recuperando hidrocarburo una vez culminada la producción primaria y/o secundaria.

FLOWBACK: mezcla captada en superficie, resultante de un proceso de fracturamiento hidráulico compuesta por agentes químicos, propanes y agua, utilizados inicialmente y algunos compuestos pertenecientes naturalmente a la formación.

FRACTURAMIENTO HIDRAULICO: técnica experimental por la cual es posible obtener gas o crudo atrapado a partir de inyección de agua a diferentes presiones.

LUTITA (*Shale*): roca sedimentaria de grano fino compuesta principalmente por arcilla o lodo consolidado. Principales formaciones de yacimientos no convencionales, conforman la fuente más importante de gas natural atrapado en rocas de baja permeabilidad.

PROPANTE O AGENTE SOSTEN: sustancia granular, usualmente arena, que es mezclada e inyectada junto con el fluido de inyección a los pozos en yacimientos no convencionales. Su propósito es mantener abiertas las fracturas realizadas en el proceso de fracturamiento hidráulico para que el fluido pueda ser producido.

SQUEEZE: proceso de forzamiento de la lechada de cemento en el pozo, que se realiza principalmente en reparaciones/reacondicionamientos o en tareas de terminación de pozos.

VISCOSIDAD: resistencia que tienen las moléculas que conforman un líquido para separarse unas de otras, es decir, es la oposición de un fluido a deformarse.

YACIMIENTOS CONVENCIONALES: es un yacimiento asociado a cuerpos rocosos arenoso que por sus características habitualmente permite que el petróleo o el gas natural fluyan con facilidad hacia el interior de los pozos. Generalmente este tipo de yacimientos no requieren de tratamientos mayores de estimulación o que permite que sean producidos a tasas económicas de flujo.

YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES: es un yacimiento asociado a cuerpos geológicos lutíticos de baja permeabilidad, lo que hace de su extracción un proceso difícil que requiere de nuevos métodos para su explotación. Entre estos tipos de yacimientos se encuentra el Oil Shale y Gas Shale.

INTRODUCCIÓN

Los requerimientos constantes de fuentes energéticas en el mundo, como consecuencia del desarrollo e industrialización de diferentes países ha sido el factor predominante para que la industria petrolera encuentre incentivos para buscar nuevas reservas, nuevos yacimientos (no convencionales) y nuevos métodos de extracción que permitan obtener la mayor cantidad posible de hidrocarburos que aún existen en los campos petroleros del mundo, sin dejar de lado, el manejo adecuado de los recursos utilizados.

Diferente a las creencias populares, los hidrocarburos que se almacenan en los yacimientos convencionales y no convencionales tienen características similares, es decir, se trata del mismo gas y del mismo petróleo. La diferencia real entre uno y otro es el tipo de yacimiento en el que se encuentran. En los yacimientos convencionales, la roca donde se ubica el hidrocarburo tiene características de alta porosidad y permeabilidad. Es por esto que el fracturamiento hidráulico aparece como una alternativa para suplir las necesidades de aumentar la producción y reservas de distintos países productores como Estados Unidos, eso sí, teniendo en cuenta los impactos que produce este tipo de procedimiento tanto en el agua, aire, suelo y la población cercana al proyecto.

Para el desarrollo de este trabajo, inicialmente se tuvieron en cuenta los posibles componentes que puede tener cualquier fluido de fracturamiento hidráulico. Posteriormente, se analizaron los diferentes casos obtenidos de la industria en los que se había realizado la operación teniendo en cuenta el agua utilizada y la relación de los demás aditivos y finalmente se desarrollaron los impactos del fluido al medio ambiente.

El propósito final de este trabajo es el estudio de los impactos ocasionados por el fracturamiento hidráulico, específicamente, relacionados con la composición del fluido por medio del análisis de diferentes fluidos utilizados en pozos desde el año 2013 hasta el año 2015 en el estado Texas en Estados Unidos. La importancia de conocer a fondo la formulación del fluido se da con el fin de establecer y determinar con claridad los efectos de cada uno de los componentes y de esta manera para una posterior investigación, crear una formulación que reduzca de manera drástica la contaminación y el daño que produce ambientalmente dicho fluido.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la composición del fluido para la estimulación hidráulica eficiente en yacimientos no convencionales desde un contexto internacional.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la formulación del fluido, según la fracción de aditivos químicos, en las operaciones de Fracturamiento Hidráulico, para yacimientos no convencionales en estudios de caso internacional.
- Clasificar las innovaciones tecnológicas utilizadas para mejorar el fluido en la estimulación hidráulica de yacimientos no convencionales.
- Comparar las experiencias obtenidas con la estimulación hidráulica en el contexto internacional, para yacimientos no convencionales.
- Plantear los efectos al medio ambiente generados por las diferentes formulaciones de fluidos investigadas.

1. FORMULACIÓN DEL FLUIDO PARA LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES.

Para Cevallos¹, el fracturamiento hidráulico es la técnica que a partir de la inyección de fluidos a una presión y caudal mayor a la presión de reservorio, se logra fracturar la roca para obtener el gas o crudo almacenado durante millones de años. Esta técnica consiste en hacer una perforación vertical hasta llegar al estrato geológico donde está alojado el recurso, y posteriormente, realizar una perforación horizontal paralela a las capas del estrato. Luego, se inyectan cantidades poco imaginables de agua, arena y diversos productos químicos con una presión bastante elevada que permita debilitar las capas de rocas, y así obtener la presión necesaria para extraer el fluido deseado. De acuerdo con All Consulting², el objetivo del procedimiento es aumentar el flujo de petróleo o gas natural al pozo a través de las fracturas generadas. Principalmente, esta técnica se practica en yacimientos no convencionales y en pozos maduros para incrementar y/o mantener la producción.

Como lo menciona Díaz³, la experiencia y la teoría a lo largo de los años han demostrado que la caída de presión en un pozo en producción está ligada al incremento en los barriles puestos en superficie. Así mismo, las propiedades del yacimiento como la permeabilidad empeoran esta condición. Es por esto, que el fracking es una de las técnicas más apropiadas para incrementar la producción a partir del aumento en la presión y por consiguiente de la permeabilidad, sin embargo no es la única que existe en el mercado ni la que mejores beneficios ambientales trae. Este tipo de perforación permite poner en contacto un área mayor de reservorio con la tubería de producción, remplazando así tres y cuatro pozos verticales, así que día a día demuestra ser una de las técnicas más eficaces como lo demuestran los 6614,1 Tcf que según el último informe presentado por la BP⁴ formaban parte, a finales del año 2012, de las reservas probadas de gas natural.

¹ CEVALLOS RIVERA, Yonathan Paúl. Optimización de la producción mediante el fracturamiento hidráulico al reservorio M-1 del pozo Y. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2009. p. 1-60.

² ALL CONSULTING, LLC. The Modern Practices of Hydraulic Fracturing: A Focus on Canadian Resources. ALL Consulting, LLC ed. Tulsa, Oklahoma: ALL Consulting, LLC, 2012. p. 135-63

³ DÍAZ LÓPEZ, Amanda Cristina y LASSO VELARDE, Andrés Fernando. Análisis Técnico Económico Y Propuesta De Nuevos Pozos Para La Implementación Del Método De Fracturamiento Hidráulico En El Área Amy. Quito: Universidad Central Del Ecuador, 2013. p. 213-263 Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1165>.

⁴ BP. BP statistical review of world energy june 2013. En: BP Statistical Review of World Energy. Junio. vol. 1|, no. 1, p. 1-25

1.1 ANTECEDENTES

Para Montgomery⁵, las primeras aplicaciones utilizadas del "fracking" tienen origen alrededor del año 1860, cuando en estados del este de Estados Unidos se usaba nitroglicerina, inicialmente en estado líquido y posteriormente en estado sólido, para estimular la producción de petróleo en rocas someras. A pesar del riesgo que generaba y, en general, la forma ilegal como se ejercía la actividad, la técnica conocida como el "disparo", fue de alta efectividad para incrementar la producción en pozos de petróleo. Luego, este mismo método de fracturamiento fue rápidamente utilizado para pozos de agua y gas con la misma eficiencia.

Igualmente, y de acuerdo con Montgomery⁶, para los años de 1930, aparece la inquietud de proporcionar fluidos no explosivos, como son los diferentes tipos de ácidos para lograr la estimulación adecuada de los pozos. Mediante el uso de estos fluidos, que principalmente estaban compuestos por agua y ácido nítrico, se especuló en poder crear una separación por presión, la cual ha sido una técnica reconocida en las operaciones petroleras al crear una fractura que no se pierde por la acción de los ácidos Utilizados.

Según García⁷, la idea inicial de la inyección fue corroborada en las operaciones realizadas en campo, no sólo con los fluidos con ácido, sino también a partir de la inyección de agua y las operaciones denominadas "squeeze", técnica que repara las fallas provocadas por la primera cementación o por daños ocasionados por los diferentes fluidos corrosivos. Para Julio de 1947, se procedió a realizar el primer tratamiento del "hidrofracking", específicamente diseñado para estimular la producción del pozo Kelper 1, en el campo de gas Hugoton, Kansas.

Según García⁸, para los siguientes años, Stanolind Oil and Gas Corporation (Amoco) fue acreedor de la patente del proceso y posteriormente, la empresa Halliburton logró ser la primera compañía en implementar el fracturamiento hidráulico en los pozos. Para la década del 50, ya habían sido tratados en total unos 332 pozos, de los cuales se tenía el reporte que indicaba que la producción había aumentado hasta en un 75%.

⁵ MONTGOMERY, Carl T. y SMITH, Michael B. Hydraulic fracturing: history of an enduring technology. En: Journal of Petroleum Technology. Diciembre. vol. 62, no. 12, p. 26-40

⁶ Ibid., p. 18.

⁷ GARCIA, J. El Gas Natural no Convencional. El Gas Natural Como Energia Puente Entre El Presente Energético y El Deseable Futuro Sostenible. Congreso Nacional de Medio Ambiente. [Consultado el Agosto/52016]. Disponible en: <http://www.conama2012.conama.org/web/generico.php?idpaginas=&lang=es&menu=90&id=171&op=view>

⁸ Ibid., p. 18.

Los procesos de fracturamiento hidráulico han sido desarrollados desde lo más simple (volúmenes bajos y costos bajos) hasta operaciones de ingeniería bastantes complejos, como lo son la recuperación secundaria y mejorada, destinados a mejorar la eficiencia de barrido.

Para Ortiz⁹, el proceso se ha desarrollado espectacularmente desde principios de los años ochenta del siglo XX, una vez se especificó su empleo y uso masivo en la producción de hidrocarburos no convencionales. Se estima que la técnica ha sido empleada en millones de lugares para la producción de hidrocarburos.

Weinstein¹⁰ afirma que cada año se realizan unas 35.000 operaciones de fracturamiento en todo el mundo, la mayoría de las cuales se ubican en los Estados Unidos y Canadá. El fracturamiento hidráulico ha generado un impacto inesperado en la historia del mundo y de la ingeniería de petróleos, especialmente en los últimos tiempos cuando más se ha efectuado esta operación.

1.2 EL FLUIDO ACTUALMENTE

Como lo plantea Carpenter¹¹, el fluido generalmente está compuesto por agua (84-90%) y arena (material soportante, entre 15 y 9%) que constituyen el mayor porcentaje del volumen del fluido de fracturación. El % restante de componentes se completa con la incorporación de diferentes tipos de aditivos químicos utilizados en la industria cuya función es contribuir al mejoramiento de las operaciones diarias; este porcentaje se ubica entre el 0,5 y el 0,8%.

Bustos¹², en su tesis de maestría, menciona al agente soportante, regularmente denominado “propante”, como el aditivo que se agrega en el agua y que utiliza arena de sílice o un producto similar. Sin embargo, para las arenas “limpias”, los granos de cuarzo, las arenas sintéticas o los materiales cerámicos son los soportantes más comunes. Según Ferrer¹³, estos granos son introducidos en las

⁹ ORTIZ, Marvin Marulanda, et al. Refracturamiento hidráulico: “una exitosa técnica de estimulación de pozos”. En: Revista Fuentes. Mayo. vol. 8, no. 2, p. 45-50

¹⁰ WEINSTEIN, MARK. Hydraulic fracturing in the United States and the European Union: rethinking regulation to ensure the protection of water resources. En: Wisconsin International Law Journal. Diciembre 2013. vol. 30, no. 4, p. 881-911

¹¹ CARPENTER, ADAM T. Water and hydraulic fracturing. En: Journal: American Water Works Association. vol. 105, no. 3, p. 56-59

¹² BUSTOS CEDEÑO, Jairo Geovanny. Aplicación De La Fractura Hidráulica En La Cuenca Oriente Ecuatoriana. Av. Séneca, 2, 28040 Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid. Facultad: Ciencias Geológicas, 2013. p. 7-8, 9, 18

¹³ FERRER, I. y THURMAN, E. M. Chemical constituents and analytical approaches for hydraulic fracturing waters. En: Trends in Environmental Analytical Chemistry. Febrero. vol. 5, no. 1, p. 18-25

microfracturas creadas por la inyección del fluido a presión en la primera etapa de la operación y ayudan a que las fracturas no se cierren una vez que se detiene el bombeo.

Para Bustos¹⁴, en el proceso del fracturamiento hidráulico, uno de los temas que más preocupa a la opinión pública es la fracción de aditivos químicos utilizados, su composición y los posibles efectos al medio ambiente, en especial al agua de los acuíferos. Por esta razón, a diario en diferentes campañas se fomenta el cuidado de agua potable, el reciclado de líquido proveniente de fractura o el uso de aguas residuales. De igual manera, se está probando otro tipo de medio acuoso sintético para disminuir o eliminar por completo el uso de agua. Se espera que en el futuro cercano de las fracturas se direcciona hacia las tecnologías verdes.

De acuerdo con Stringfellow¹⁵ la utilización de alrededor de doce tipos de aditivos está siendo regulada en la mayoría de países donde se hace fracturamiento hidráulico. Por ejemplo, en Estados Unidos ha surgido una iniciativa de GWPC & IOGCC¹⁶, llamada FracFocus que controla la composición química de los fluidos utilizados; en Europa se procede forma similar con la iniciativa REACH (“European Community Regulation on Chemicals and their Safe Use”).

La composición del fluido de fracturación varía de una formación geológica a otra ya que las condiciones pueden variar dependiendo de la ubicación de los mantos a intervenir.

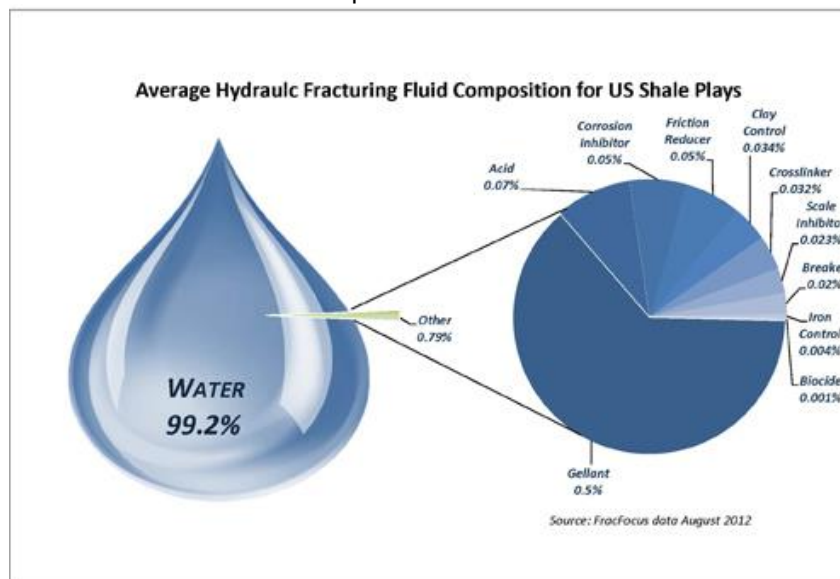
Los aditivos nombrados en la parte derecha del Gráfica 1. (Promedio de la composición del fluido de fracturación hidráulica), que se presenta a continuación, representan alrededor de 0.8% del volumen total del fluido, mientras que cerca del 99.2% corresponde a agua. A continuación se mostrará que este es un importante porcentaje si se consideran los altos volúmenes de agua que requiere un proceso de fracturamiento hidráulico.

¹⁴ BUSTOS CEDEÑO, Jairo Geovanny. Aplicación De La Fractura Hidráulica En La Cuenca Oriente Ecuatoriana. Av. Séneca, 2, 28040 Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid. Facultad: Ciencias Geológicas, 2013. p. 7-8, 9, 18

¹⁵ STRINGFELLOW, William T., et al. Physical, chemical, and biological characteristics of compounds used in hydraulic fracturing. En: Journal of Hazardous Materials. 6/30. vol. 275, no. 0, p. 37-54

¹⁶ GWPC & IOGCC. FracFocus chemical disclosure registry. Oklahoma, Estados Unidos. [Consultado el Julio 152016]. Disponible en: <https://fracfocus.org/chemical-use>

Gráfica 1. Promedio de la Composición del Fluido de Fracturación Hidráulica



Fuente: GWPC & IOGCC. FracFocus chemical disclosure registry. Oklahoma, Estados Unidos. [Consultado el Julio 15 2016]. Disponible en: <https://fracfocus.org/chemical-use>

Bustos¹⁷, en su trabajo final, realiza un breve resumen, que a continuación se presenta, de los principales aditivos empleados en la fractura hidráulica con alguna de sus propiedades y propósitos dentro del fluido.

1.2.1 Propante o Agente Sostén o Apuntalante

Según Muñoz¹⁸, una vez ha sido generada la fractura, es necesario conservar abierto el agujero para mantener el flujo desde el yacimiento. Para esto, se utiliza el agente sostén o propante, que es un componente que impide que la fractura se cierre completamente.

¹⁷ BUSTOS CEDEÑO, Jairo Geovanny. Aplicación De La Fractura Hidráulica En La Cuenca Oriente Ecuatoriana. Av. Séneca, 2, 28040 Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid. Facultad: Ciencias Geológicas, 2013. p. 7-8, 9, 18

¹⁸ MUÑOZ Steven y CARILLO Beatriz. Selección Del Material Propante En Procesos De Fracturamiento Hidráulico En Un Pozo Petrolero. Universidad Industrial de Santander, 2012. p. 77

1.2.2 Ácidos

Como lo menciona Fink¹⁹, el ácido más usado es el ácido clorhídrico (HCl), cuya función es remover el cemento de la perforación. Se suele emplear con una concentración no mayor al 38%, sin embargo lo más común es utilizar concentraciones inferiores al 15%. Para Markets and Markets²⁰, el ácido clorhídrico reacciona muy rápidamente con el cemento del pozo, consumiéndose casi en su totalidad.

1.2.3 Agentes gelificantes (Geles)

Según Carrascal²¹, la viscosidad del agua dulce tiende a ser menor de la requerida para transportar el agente soportante, por lo tanto, a algunos fluidos utilizados para el fracking se les adiciona un gel para aumentar la viscosidad. La selección del gelificante está basada en la reacción de la formación al mismo, las características petrofísicas, el espesor, la temperatura y presión de la formación.

1.2.4 Rompedores de gel ("breaker")

De acuerdo con Díaz²², en toda operación de completamiento de un pozo en el que haya sido necesario el uso de agentes gelificantes es necesario utilizar los "breakers" o rompedores que son aditivos que degradan los agentes gelificantes una vez han cumplido su función principal. Estos se seleccionan según la temperatura a la que se encuentre la formación.

¹⁹ FINK, Johannes Karl. Chapter 17 - Fracturing Fluids. En: FINK, Johannes Karl. Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids. 1 ed. Boston: Gulf Professional Publishing, 2012. p. 519-583.

²⁰ MARKETS&MARKETS. Fracking Chemicals and Fluid Market by Fluid & Well Type, and Chemicals (Acid, Surfactant, Biocide, Gelling Agent, Cross Linker, Breaker, Scale & Corrosion Inhibitor, Clay & Iron Control, Friction Reducer) - Global Trends & Forecasts to 2018. En: MarketsandMarkets. Enero. vol. 1, no. PR Newswire Association LLC, p. 68-76

²¹ CARRASCAL, Fabián A. y CONTRERAS, Zarith Pachón. Química aplicada al control de calidad de fluidos: Éxito del fracturamiento hidráulico. En: Revista Fuentes. Junio. vol. 12, no. 2, p. 25-28

²² DÍAZ LÓPEZ, Amanda Cristina y LASSO VELARDE, Andrés Fernando. Análisis Técnico Económico Y Propuesta De Nuevos Pozos Para La Implementación Del Método De Fracturamiento Hidráulico En El Área Amy. Quito: Universidad Central Del Ecuador, 2013. p. 213-263

1.2.5 Bactericidas

Según Lester²³, el agua es un medio ideal para el crecimiento de bacterias. Los fluidos de fractura también suelen contener productos orgánicos lo que hace que el fluido sea más susceptible al crecimiento de estas. En las operaciones del fracturamiento hidráulico, las bacterias pueden causar problemas significativos tales como la obtención de ácido sulfhídrico, que pueden acidificar el agua, corroer el metal, y aumentar los riesgos para las personas que están encargadas de manejar el fluido.

Para el Capítulo III-Fluidos de Fracturamiento²⁴, la mayoría de fluidos base agua para estimulaciones requieren la adición de un bactericida para prevenir la degradación de los fluidos de fracking. Existen muchas clases de bactericidas y la selección de uno depende del pH del fluido de fracturamiento y la temperatura de formación.

1.2.6 Inhibidores de corrosión

Para Maule²⁵, son comúnmente añadidos al fluido de fractura para mitigar la probabilidad de corrosión de las superficies metálicas, como el casing o la tubería de perforación. Su función es crear una película protectora en las superficies metálicas

1.2.7 Inhibidores de incrustaciones

De acuerdo con All Consulting²⁶, los inhibidores de incrustaciones son usados cuando existe la probabilidad de formarse incrustaciones en la tubería de producción o en el casing. Según Carrascal²⁷, usar estos productos es necesario ya que algunos minerales como el calcio y el magnesio, presentes en el agua de formación, pueden precipitarse formando incrustaciones. Según Markets &

²³ LESTER, Yaal, et al. Characterization of hydraulic fracturing flowback water in Colorado: Implications for water treatment. En: Science of the Total Environment. Abril. vol. 512–513, no. 0, p. 637-644

²⁴ Chapter III - Fracturing Fluids. Water- Based Chemicals and Technology for Drilling, Completion and Workover Fluids. En: Boston: Gulf Professional Publishing. 2015. p. 115-178.

²⁵ MAULE, A. L., et al. Disclosure of hydraulic fracturing fluid chemical additives: analysis of regulations. En: New Solutions : A Journal of Environmental and Occupational Health Policy : NS. 2013. vol. 23, no. 1, p. 167-187

²⁶ ALL CONSULTING, LLC. The Modern Practices of Hydraulic Fracturing: A Focus on Canadian Resources. ALL Consulting, LLC ed. Tulsa, Oklahoma: ALL Consulting, LLC, 2012. p. 135-63

²⁷ CARRASCAL, Fabián A. y CONTRERAS, Zarith Pachón. Química Aplicada Al Control De Calidad De Fluidos: Éxito Del Fracturamiento Hidráulico. 2015. p. 25-28

Markets²⁸, el inhibidor más común es el ácido acrílico, que es especialmente útil ante las incrustaciones de sulfato de calcio y carbonato de calcio.

1.2.8 Reductores de fricción

Para Gu²⁹, este aditivo se añade con el objetivo de reducir la fricción que se produce al añadir el agente soportante o el denominado proppante.

1.2.9 Surfactantes

Según Díaz³⁰, los agentes surfactantes disueltos en líquido reducen la tensión superficial o la tensión interfacial y modifican el ángulo de contacto, rompen y previenen problemas de emulsiones y bloqueos de agua, forman espumas en los fluidos y ayudan a controlar las bacterias.

Fink³¹, menciona que otro producto usado como surfactante es el etilenglicol monobutil éter. El uso de este producto es uno de los más discutidos y que más prevención ha suscitado entre grupos opositores al fracturamiento hidráulico, ya que altas exposiciones a este producto generan riesgo para la salud.

En el artículo de Mccaffree³² se presenta la carta que le escribió Colburn a Storch donde se evidencia que una alta exposición a este reactivo puede causar hemólisis, que provoca la desintegración de los glóbulos rojos. Sin embargo, hay que mencionar que el producto tiene una vida máxima de cuatro semanas en el agua.

El Consejo de Protección de Aguas Subterráneas y la IOGCC (Interstate Oil and Gas Compact Commission), dos organizaciones de Los Estados Unidos cuya

²⁸ MARKETS&MARKETS. Fracking Chemicals and Fluid Market by Fluid & Well Type, and Chemicals (Acid, Surfactant, Biocide, Gelling Agent, Cross Linker, Breaker, Scale & Corrosion Inhibitor, Clay & Iron Control, Friction Reducer) - Global Trends & Forecasts to 2018. PR Newswire Association LLC, 2014. p. 68-76

²⁹ GU, M.; DAO, E. y MOHANTY, K. K. Investigation of ultra-light weight proppant application in shale fracturing. En: Fuel. Junio. vol. 150, p. 191-201

³⁰ DÍAZ, J y MESA, N. Evaluación De Los Trabajos De Fracturamiento Hidráulico Realizados En El Campo Llanito. calle 70 No 55-210 Bucaramanga. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander, 2009. p. 134-125

³¹ FINK, Johannes Karl. Chapter 17 - Fracturing Fluids. Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids. 1 ed. Boston: Gulf Professional Publishing, 2012. p. 519-5839780123838445

³² MCCAFFREE, Jody; ANDERSON, Dear Mr John y MYERS, Mr Edward. 2012 LNG Export Study Reply Comments. An Analysis of Possible Increases in Exposure to Toxic Chemicals in Delta County, Colorado Water Resources as the Result of Gunnison Energy's Proposed Coal Bed Methane Extraction Activity. 1 ed. Estados Unidos: Citeseer, 2013. p. 110-115

misión gira en torno a la conservación y protección del medio ambiente, construyen un sitio web denominado FracFocus el cual brinda acceso al público de los reportes químicos usados en la fracturación hidráulica dentro de un área específica en los Estados Unidos. Adicionalmente, allí se tiene información de los objetivos del fracturamiento hidráulico y los propósitos de la página, en los que afirman querer brindar información verídica correspondiente al fracturamiento hidráulico y la protección de aguas subterráneas sin estar a favor o en contra de dicha técnica.

Tal como se mencionó anteriormente, el sitio web tiene un espacio con los reportes de los químicos utilizados en el proceso, a continuación en el Cuadro 1. (Compuesto del Fluido de Fracturamiento), se evidenciaran los aditivos, el propósito, el resultado de reacción en el pozo y un ejemplo del aditivo.

Cuadro 1. Compuesto del Fluido de Fracturamiento

ADITIVO	PROPOSITO	RESULTADO	EJEMPLO
Acido	Ayuda a disolver minerales e iniciar las grietas en las rocas	Reacciona con minerales presentes en la formación para crear sales, agua y dióxido de carbono(neutralizado)	Ácido Clorhídrico
Acido Inhibidor / de Corrosión	Protege el Casing de la corrosión	Sea adhiere a la superficie del metal. Cualquier remanente de producto no adherido es roto por microorganismos y consumido o retornado en el agua producida	Isopropanol, Metanol, Acido Fórmico y Acetaldehído
Agentes de Sostén (propping Agent)	Mantiene la fractura abierta permitiendo la producción de hidrocarburos	Permanece en la formación, incrustado en las fracturas	Sílice, Arena de Cuarzo
Agua	Crea fracturas geométricas y suspende el proppante	Alguna cantidad se queda en las formaciones, mientras que el remanente regresa con el agua de formación.	agua
Biocida	Elimina bacterias en el agua que pueden causar corrosión	Reacciona con microorganismos que pueden estar presentes en el fluido y en la formación.	Gludealdehido
Control de Hierro	agente quelante de hierro que ayuda a prevenir la precipitación de óxidos metálicos	Reacciona con minerales en la formación para crear sales simples, dióxido de carbono y agua, todos retornando en agua de producción	Ácido Cítrico
Estabilizador de Arcilla	Temporal o permanente para controlar la arcilla en la estructura de la formación	Reacciona con arcilla en la formación a través de un intercambio de iones entre sodio y potasio	Cloruro de colina

Cuadro 2. (Continuación)

Gel	Adelgaza el agua con el fin de suspender los propantes	Se combina con el rompedor en la formación por lo que es mucho más fácil para que el fluido fluya y retorne en agua producida	Goma guar, Hidroxietyl Celulosa
Inhibidor de Incrustaciones	Previene incrustaciones en el tubo y en la formación	El Producto se une a la formación, la mayoría del producto regresa como agua producida y el remanente reacciona con microorganismos que lo rompen y lo consumen	Etilenglicol
No Emulsionante	Usado para romper o separara las mezclas de agua/petróleo (emulsiones)	Generalmente retorna como agua producida.	Isopropanol
Reductor de Fricción	Reduce el efecto de la fricción	Se mantiene en la formación donde la temperatura y la exposición hacia el rompedor permite que se rompa y sea consumido naturalmente por microorganismos	Policramida, Aceite Mineral
Regulador de pH	Mantiene la efectividad de otros aditivos como el reticulante	Reacciona con agentes ácidos en el fluido para mantener un pH neutral	Hidróxido de sodio, Hidróxido de Potasio
Reticulante (crosslinker)	Mantiene la viscosidad con el aumento de la temperatura	Se combina con el rompedor en la formación para crear sales que retornan como agua producida	Sales de Borato
Rompedor (Breaker)	Permite una ruptura retrasada de los geles cuando se requiera	Reacciona con el reticulante y el gel una vez en la formación facilitándole al fluido fluir en el hoyo. Su reacción produce amonio y sulfato de sal que retorna como agua producida.	Persulfato de Amonio, Peróxido de magnesio
Surfactante	Reduce la tensión superficial de un fluido en la formación y ayuda a mejorar la recuperación de fluido del pozo después de que se complete la fracturación	Algunos están hechos para reaccionar con la formación, y algunos otros a retornar con el agua producida	Etanol, Naftaleno

Fuente: GWPC & IOGCC. FracFocus chemical disclosure registry. Oklahoma, Estados Unidos. [Consultado el Julio 152016]. Disponible en: <https://fracfocus.org/chemical-use>

2. TECNOLOGÍA EN LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES.

Para Cevallos³³, en retrospectiva, se puede decir que el fracturamiento hidráulico ha tenido un gran éxito porque en el pasado no se tenían que diseñar tratamientos con un alto grado de precisión para poder trabajar adecuadamente, no como ahora que se tiene que tomar en cuenta un mayor número de factores, como materiales más sofisticados, evaluaciones económicas, etc., lo que demanda un diseño de fracturamiento hidráulico más riguroso y preciso.

2.1 ESTUDIO ANUAL DE LAS COMPOSICIONES DE VARIOS FLUIDOS SELECCIONADOS

El lugar seleccionado para el estudio de las composiciones fue Texas, más exactamente la zona conocida como Permian Basin y clasificada entre los 15 productores de petróleo más grandes del mundo. Esta cuenca ha experimentado un despegue desde 2008, incrementando considerablemente la producción y superando records que se tenían desde aproximadamente enero de 1981.

Para Ding³⁴, la presión a la que se inyecte el fluido tendrá que ser tal que, cuando alcance la formación reservorio a estimular, sea capaz de fracturar la roca. Tendrá que ser mayor que la presión de rotura de la formación, lo cual suele implicar presiones de bombeo importantes, por lo que normalmente es necesario utilizar un cierto número de bombas en superficie.

Según FracFocus³⁵, en la fracturación hidráulica, los volúmenes de agua a inyectar, varían de unas formaciones a otras y, fundamentalmente, del espesor del tramo a estimular. Para fracturar una etapa, es decir un intervalo (*stage*) de unos 100 m, el volumen de agua necesario suele alcanzar los 3.100 m³. Normalmente y de acuerdo con la experiencia de FracFocus, el proceso de inyección es rápido, se suele tardar solamente unas cuantas horas (del orden de cinco) en inyectar un volumen de fluido de fracturación como el mencionado.

³³ CEVALLOS RIVERA, Yonathan Paúl. Optimización De La Producción Mediante El Fracturamiento Hidráulico Al Reservorio M-1 Del Pozo Y. Escuela Politécnica Nacional. Quito: Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2009. p. 1-60

³⁴ DING, D. Y.; WU, Y. S. y JEANNIN, L. Efficient simulation of hydraulic fractured wells in unconventional reservoirs. En: Journal of Petroleum Science and Engineering. 10. vol. 122, no. 0, p. 631-642

³⁵ GWPC & IOGCC. FracFocus Chemical Disclosure Registry. <https://fracfocus.org/chemical-use> ed. Oklahoma, Estados Unidos: 2016.

Para comprobar el tipo de composición que era utilizada en la fracturación hidráulica, se seleccionaron nueve casos de explotaciones de diferentes condados de Texas, para los últimos tres años, es decir 2015, 2014 y 2013. Estos casos se utilizaron para documentar los componentes con mayor porcentaje o relevancia dentro del fluido a estudiar.

Dentro de los resultados utilizados obtenidos, se encuentra que para el año 2013, como se observa en la Tabla 1. (Casos Texas año 2013), los volúmenes de fluido utilizado en promedio son de 16,775 metros cúbicos, es decir que se utilizaron aproximadamente trece piscinas olímpicas de 50 m de largo x 25 m de ancho para poder realizar el fracturamiento hidráulico.

Tabla 1. Casos Texas Año 2013

AÑO	ESTADO/CONDADO	OPERADOR	VOLUMEN DE FLUIDO UTILIZADO (Gal)	TIPO DE FLUIDO PRODUCIDO
2013	Texas/Johnson	Devon Energy Production Co LP	3.709.296	Gas
2013	Texas/Dewitt	Marathon Oil	3.377.082	Petróleo
2013	Texas/LaSalle	EOG Resources Inc	6.208.272	Petróleo

Nota: Los datos fueron tomados de la página web FracFocus y organizados por el autor.

Como se puede observar en la Tabla 2. (Componentes Relevante Casos Texas año 2013), en los tres casos seleccionados, más del 80% del fluido está compuesto por agua pura, le sigue el propante, que en la mayoría de los casos se utilizó Silica y Cuarzo en diferentes proporciones según las condiciones de explotación y por último el ácido hidroc্লórico que fue el químico con mayor uso para el 2013.

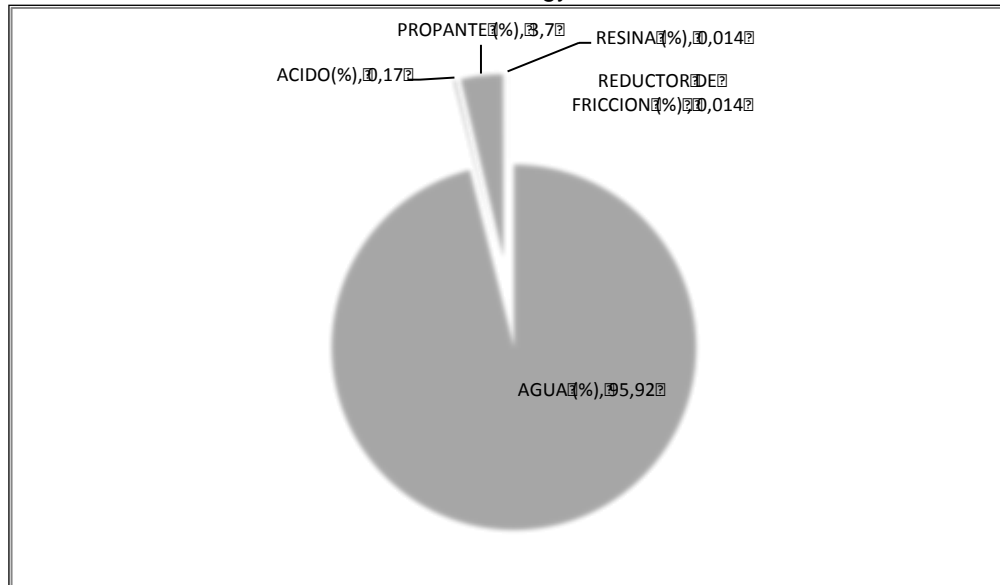
Tabla 1. Componentes Relevante Casos Texas año 2013

COMPOSICIÓN DEL FLUIDO DE ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA							
AGUA (%)	ACIDO (%)	PROPANTE (%)	GEL (%)	RESINA (%)	REDUCTOR DE FRICCIÓN (%)	ESTABILIZADOR (%)	Total Aproximado
95,92	0,17	3,7	-	0,014	0,014	-	99,818
Agua Pura	Acido Hidroclorico	Silica Cristalina, Cuarzo	-	Dipropilenglicol monometil eter	Destilado de Petróleo liviano tratado con Agua	-	
	FE ACIDO 10% HCL- Halliburton	Premium White 0/70 Halliburton	-	ER-25 Halliburton	FR-66 Halliburton	-	
85,95	-	12,05	0,3	0,014	0,014	0,14	98,468
Agua Pura	-	Silica Cristalina, Cuarzo	Goma	Dipropilenglicol monometil eter	Destilado de Petróleo liviano tratado con Agua	Tiosulfato de Sodio	
	-	30/50 RC Premium	WG-18 Gelling Agent	ER-25 Halliburton	FR-66 Halliburton	GEL-Stabilizer	
83,38	1,22	15,29	0,0411	-	0,0456	-	99,9767
Agua Pura	Acido Hidroclorico	Silica Cristalina	Mezcla de Polisacáridos	-	Cloruro de Sodio	-	
	-	Arena	MGA-1A LR-UPPI	-	WFR-UPPI	-	

Nota: Los datos fueron tomados de la página web FracFocus y organizados por el autor.

En el estado de Texas, Condado Johnson, la operadora Devon Energy, realizó fracturamiento hidráulico con un fluido de las características que se observan en la Gráfica 2. (Caso Texas/Johnson, Devon Energy). Como se ha mencionado anteriormente, gran parte del fluido es agua con 95,92%, le sigue el propante con 0,17% y por último la resina y el reductor de fricción ambos con 0,0014%.

Gráfica 2. Caso Texas / Johnson, Devon Energy.



Nota: Los datos fueron tomados de la página web FracFocus y organizados por el autor.

Para el año 2014, como se observa en la Tabla 3. (Casos Texas año 2014), los volúmenes de fluido utilizado en promedio son 31,989 metros cúbicos. Para este

año y en comparación con el anterior se duplico el consumo en la operación, sin embargo, para uno de los casos del año en mención, el consumo fue bastante bajo (6,614 metros cúbicos) si se tiene en cuenta que en la mayoría de los procedimientos se consumieron más de 20,000 metros cúbicos.

Tabla 2. Casos Texas Año 2014

AÑO	ESTADO/CONDADO	OPERADOR	VOLUMEN DE FLUIDO UTILIZADO (Gal)	TIPO DE FLUIDO PRODUCIDO
2014	Texas/La Salle	Anadarko Petroleum Corporation	8.352.582	-
2014	Texas/Lavaca	Devon Energy Production Company LP.	8.548.621	Petróleo
2014	Texas/Martin	QEP Energy Company	1.747.231	Petróleo

Nota: Los datos fueron tomados de la página web FracFocus y organizados por el autor.

Como se puede observar en la Tabla 4. (Componentes Relevante Casos Texas año 2014), en los tres casos, aproximadamente el 90% del fluido está compuesto por agua pura, le sigue el propante con un promedio de 10,17% y cuyo producto principal fue la Silica y Cuarzo (nombres de mercado) proporcionados por Halliburton y por último el Reductor de Fricción que fue utilizado en mayores proporciones que el ácido o la gel, igualmente suministrado por Halliburton.

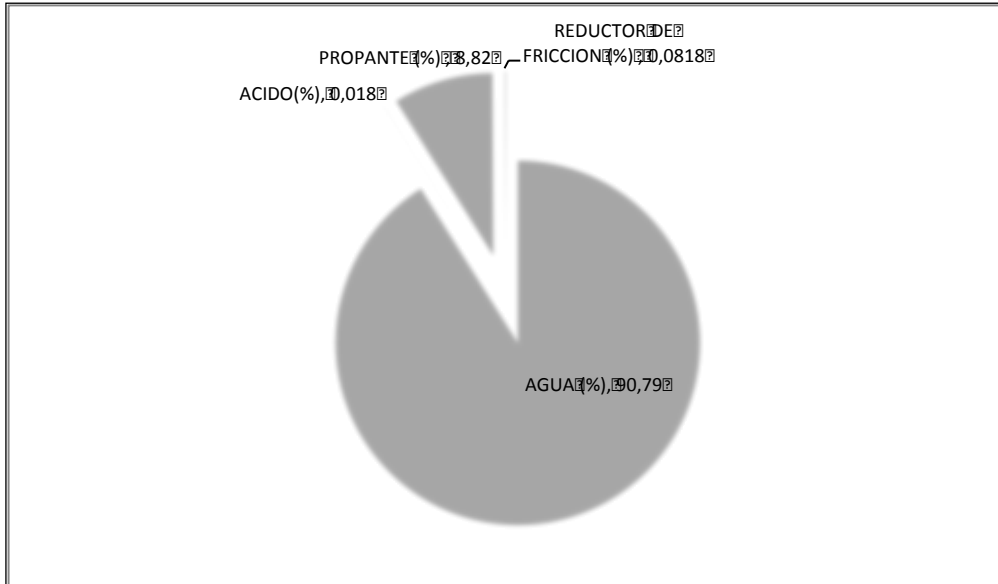
Tabla 3. Componentes Relevantes Casos Texas Año 2014

COMPOSICIÓN DEL FLUIDO DE ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA							
AGUA (%)	ACIDO (%)	PROPANTE (%)	GEL (%)	RESINA (%)	REDUCTOR DE FRICCIÓN (%)	ESTABILIZADOR (%)	Total Aproximado
90,79	0,018	8,82	-	-	0,0818	-	99,7098
Agua Pura	Acido Hidroclórico 7,5% HCL	Silica Cristalina, Cuarzo White US Silica 20/70	-	-	Destilado de Petróleo liviano tratado con Agua FR-1B	-	
86,66	-	12,91	0,1	0,014	0,014	-	99,698
Agua Pura	-	Silica Cristalina, Cuarzo Sand-Premium White, Halliburton	Goma Wg-36 Halliburton	Dipropilenglicol monometiléter ER-25 Halliburton	Destilado de Petróleo liviano tratado con Agua FR-66 Halliburton	-	
90,39	0,004	8,78	0,03	-	0,014	-	99,218
Agua Pura	Acido Acético FE-1A Halliburton	Silica Cristalina, Cuarzo Sand-Premium White, Halliburton	Goma Wg-36 Halliburton	-	Destilado de Petróleo liviano tratado con Agua FR-66 Halliburton	-	

Nota: Los datos fueron tomados de la página web FracFocus y organizados por el autor.

En el estado de Texas, Condado La Salle, la operadora Anadarko Petroleum Corporation, realizó fracturamiento hidráulico con un fluido de las características que se observan en la Gráfica 3. (Caso Texas / La Salle, Anadarko Petroleum Corporation). Para este caso, el 90,79% del fluido es agua le sigue el propante con 8,82%, luego el reductor de fricción con 0,0818 % y por último el ácido con 0,018%, para un total aproximado de 99.7098% de fluido. El porcentaje restante se divide en diferentes aditivos adicionados al fluido pero en mínimas cantidades.

Gráfica 3. Caso Texas / La Salle, Anadarko Petroleum Corporation.



Nota: Los datos fueron tomados de la página web FracFocus y organizados por el autor.

Finalmente, para el año 2015, como se observa en la Tabla 5. (Casos Texas año 2015), los volúmenes de fluido utilizado en promedio son 27997,82 metros cúbicos. Para este año, el consumo se redujo con respecto al año inmediatamente anterior debido a la utilización de diferentes fluidos en remplazo del agua y a la constante crítica al procedimiento, sin embargo, para en el condado de Gaines, la operadora Occidental Oil & Gas reportó un consumo de 503 metros cúbicos, que si se compara con otros pozos es bastante bajo. Esta reducción del consumo en este pozo, está directamente relacionado con la geología que se presentó.

Tabla 4. Casos Texas Año 2015

AÑO	ESTADO/CONDADO	OPERADOR	VOLUMEN DE FLUIDO UTILIZADO (Gal)	TIPO DE FLUIDO PRODUCIDO
2015	Texas/Gaines	Occidental Oil and Gas	133.028	-
2015	Texas/Tirion	Pioneer Natural Resources	8.209.236	-
2015	Texas/Webb	Sanchez Oil & Gas Corporation	6.583.248	Gas

Nota: Los datos fueron tomados de la página web FracFocus y organizados por el autor.

Como se puede observar en la Tabla 5. (Componentes Relevantes Casos Texas año 2015), en los tres casos, el porcentaje de agua utilizado disminuyó notablemente y se ubicó entre el 80 y 86 %, lo que lleva a indicar que se utilizaron mayores cantidades de algún componente o en su defecto componentes adicionales de plena confidencialidad como se evidencia en la misma tabla.

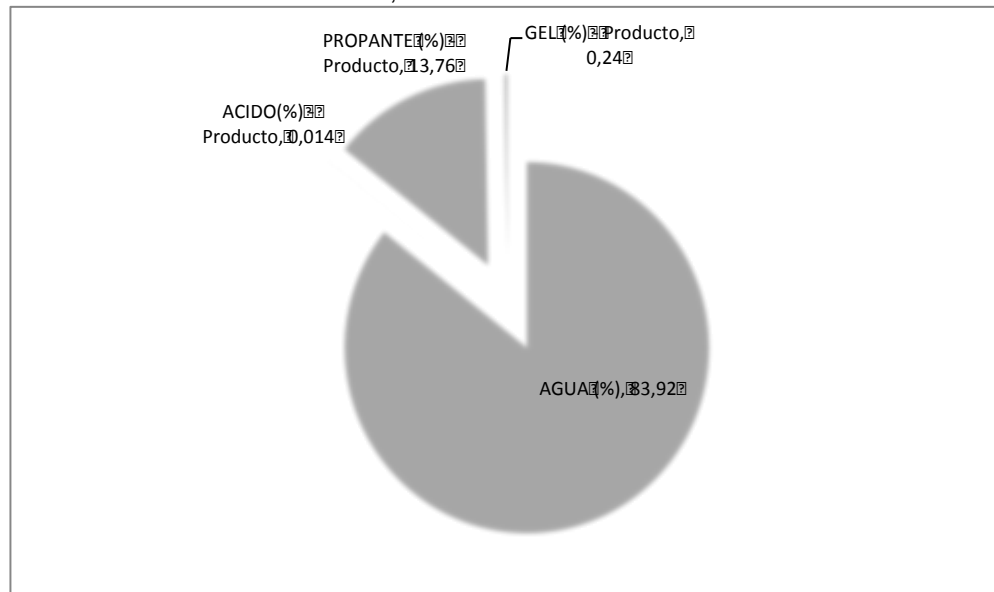
Tabla 5. Componentes Relevantes Casos Texas Año 2015

COMPOSICIÓN DEL FLUIDO DE ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA							
AGUA (%)	ACIDO (%) Producto	PROPANTE (%) Producto	GEL (%) Producto	RESINA (%) Producto	REDUCTOR DE FRICCION (%) Producto	ESTABILIZADOR (%) Producto	Total Aproximado
83,92	0,014	13,76	0,24	-	-	-	97,934
Agua Pura	Acido Graso Etoxilado	Silica Cristalina, Cuarzo	Goma	-	-	-	
	Confidencial	CRC-20/40, Halliburton	Wg-36, Halliburton	-	-	-	
85,92	0,00079	13,25	0,2869	-	0,005	-	99,46269
Agua Pura	Acido Acetico	Silica Cristalina, Cuarzo	Petroleo Destilado, Goma	-	Destilado de Petróleo liviano tratado con Agua	-	
	AC-20, Pioneer Natural Resources Pumping Services LLC	Arena (Grano Completo)	Polyfrac Plus, Pioneer Natural Resources Pumping Services LLC	-	StimLube W, Pioneer Natural Resources Pumping Services LLC	-	
84,86	0,3148	14,55	0,0411	-	0,075	-	99,8409
Agua Pura	Acido Acetico	Substrato de Silica	nafta (solvente, (petróleo), Alifáticos Pesados	-	Destilado de Petróleo liviano tratado con Agua	-	
	GelTrol 20	Arena	LFC 64, Independence Oilfield Chemical	-	HiRate 500, Independence Oilfield Chemicals	-	

Nota: Los datos fueron tomados de la página web FracFocus y organizados por el autor.

En el estado de Texas, Condado Gaines, la operadora Occidental Oil & Gas, realizó fracturamiento hidráulico con un fluido de las características que se observan en la Gráfica 4. (Caso Texas / Gaines, Occidental Oil & Gas). Para este caso, el 83,92% del fluido corresponde a agua, le sigue el propante con 13,76%, luego el gel con 0,24 % y por último el ácido con 0,014%, para un total aproximado de 97,934% de fluido. En este caso, se puede evidenciar la reducción del porcentaje destinado para agua, lo que refleja una mejora en el consumo y el avance de fluidos con compuestos diferentes y menos perjudiciales al medio ambiente.

Gráfica 4. Caso Texas / Gaines, Occidental Oil & Gas.



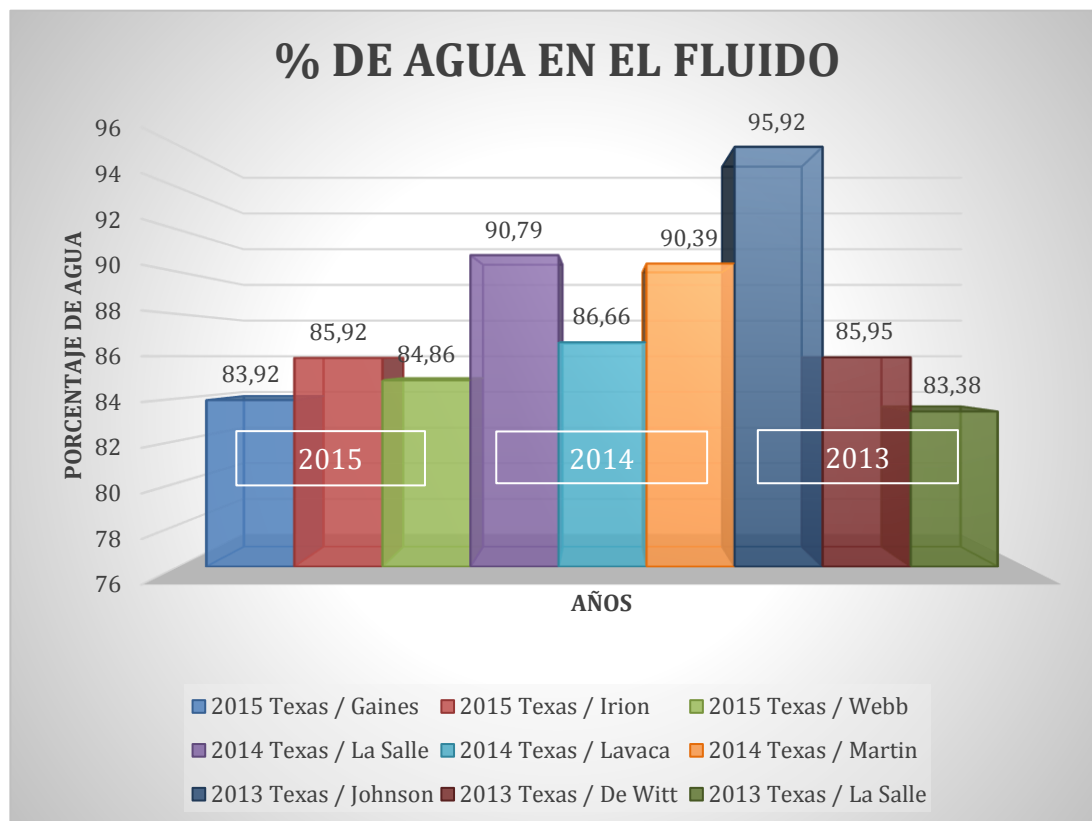
Nota: Los datos fueron tomados de la página web FracFocus y organizados por el autor.

2.2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA UTILIZADA PARA EL DESARROLLO DEL FLUIDO

A lo largo del documento, se ha demostrado la influencia e importancia que el agua tiene dentro del fracturamiento hidráulico. Como se observa en la Gráfica 5. (Porcentaje de Agua por Años), la disminución para el año 2015 es notoria, ya que poco a poco se han introducido nuevas alternativas de fracturamiento como fluidos con gases o geles que reemplazan notoriamente la utilización de agua. Sin embargo, sigue siendo bastante alto el volumen de agua (galones) empleado para dicho fin.

Aunque para los otros dos años, es decir 2014 y 2013 los porcentajes no fueron altos, (excepto el caso del año 2013, Estado de Texas, Condado Johnson) se mantiene una constante en cuanto al porcentaje del agua dentro del fluido en el que el mínimo valor reportado es de 83.38% y el más alto de 90.79%.

Gráfica 5. Porcentaje de Agua Por años



Nota: Los datos fueron tomados de la página web FracFocus y organizados por el autor.

Por otro lado, cuando se iniciaron con los primeros trabajos de fracturamiento hidráulico, se observó que el efecto del aumento de la producción decrecería rápidamente con la producción, por lo que se llegó a la conclusión que con el tiempo la fractura volvería a cerrarse quedando el pozo en las condiciones casi originales. Es por esto, que para tratar de evitar de que la fractura se cerrara, se implementó la técnica de inyectar el fluido de fractura con material granular de forma que actuara como agente sostén de las paredes de fractura.

Según Muñoz³⁶, dicho material denominado propante puede ser natural o artificial, y como se mencionó anteriormente, es utilizado para mantener abierta la fractura y proveer un adecuado canal de flujo a los fluidos que se producen. En la Gráfica 6. (Clasificación de Propantes), se puede observar la clasificación disponible. Este material de arena es principalmente utilizado debido a su bajo costo y eficacia en el proceso.

³⁶ MUÑOZ Steven y CARILLO Beatriz. Selección Del Material Propante En Procesos De Fracturamiento Hidráulico En Un Pozo Petrolero. Universidad Industrial de Santander, 2012. p. 77

La composición del propante varía desde simple cuarzo hasta materiales cerámicos de alta resistencia, clasificados por su forma, tamaño y resistencia, entre otros. Estos materiales son mezclados en superficie con los fluidos de fracturamiento para posteriormente se depositados en la fractura abierta producida por la presión del fluido.

Gráfica 6. Clasificación Propantes



Fuente: MUÑOZ Steven y CARILLO Beatriz. Selección Del Material Propante En Procesos De Fracturamiento Hidráulico En Un Pozo Petrolero. Universidad Industrial de Santander, 2012. p. 77

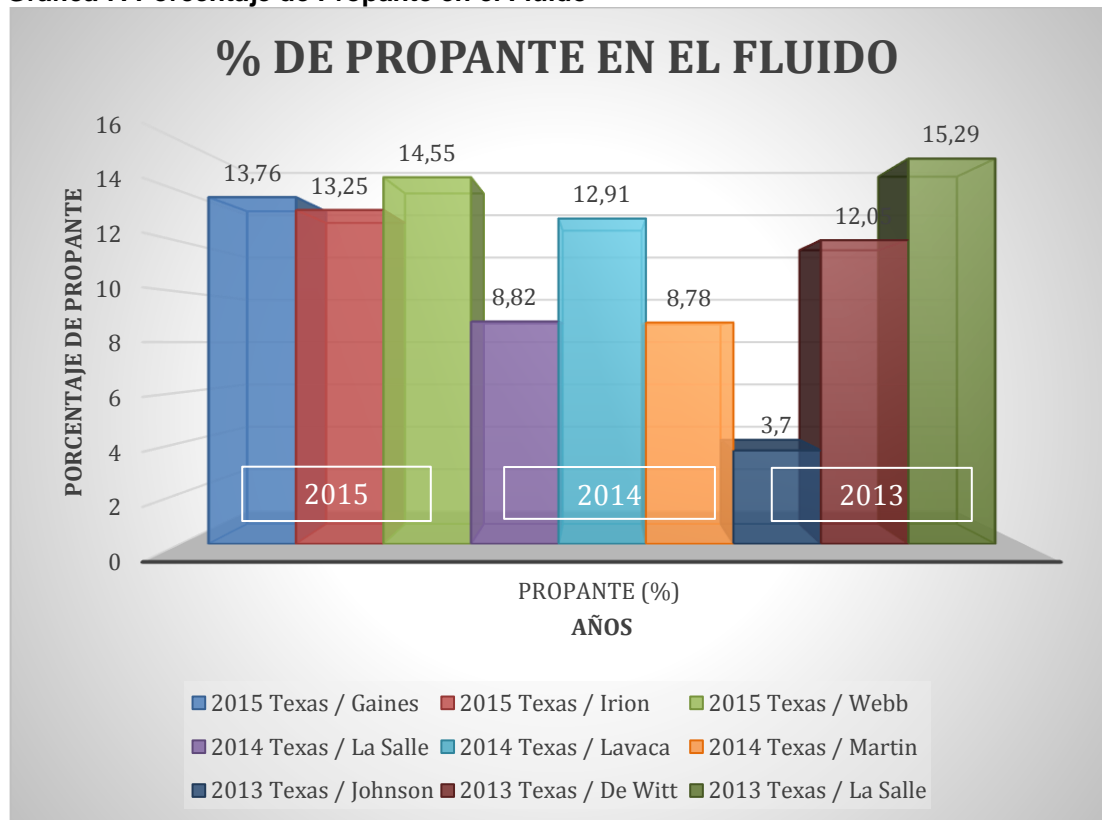
Otro ejemplo de Propante son las fibras que han sido utilizadas en la industria desde la antigüedad. Los antiguos egipcios utilizaban paja y cerdas de caballo para reforzar los ladrillos de barro. Las casas de los chinos y de los japoneses muestran evidencias de tapetes de paja utilizados para proveer soporte estructural. No obstante, hasta la introducción de las fibras sintéticas al mercado a comienzos del siglo XX, las aplicaciones comerciales estaban limitadas por las propiedades de fibras naturales.

Actualmente, la gran variedad de fibras manufacturadas están hechas en su mayor parte de polímeros, metales, vidrio o carbono. Estas fibras tienen propiedades que están revolucionando distintas industrias, en especial la ingeniería civil, la medicina, la industria de la indumentaria y el transporte. Para la industria del petróleo y del gas, especialmente el sector de servicios de bombeo, también se está beneficiando con los nuevos materiales fibrosos.

Para 1990, de acuerdo con Jiang³⁷, Schlumberger implantó el cemento con fibras de avanzada CemNET, que empleaba fibras de vidrio para prevenir pérdidas de circulación. Adicionalmente, según Saldungaray³⁸, las fibras también se utilizan para permitir el contraflujo de apuntalante (partículas dimensionadas que se mezclan con el fluido de fracturamiento para mantener las fracturas abiertas después de efectuar un tratamiento de fracturamiento hidráulico), un serio problema asociado con el fracking.

Como se puede observar en la Gráfica 7. (Porcentaje de Propante en el Fluido), los niveles de este componente dentro del fluido son constantes para los tres años estudiados, sin embargo, esta proporción aumentó y se mantuvo constante para el año 2015, caso distinto al año 2014, donde se reflejan dos casos muy similares y uno elevado. Para el año 2013, los tres casos variaron excesivamente, desde el uso mínimo de propante hasta un uso por encima del 15% del fluido total.

Gráfica 7. Porcentaje de Propante en el Fluido



Nota: Los datos fueron tomados de la página web FracFocus y organizados por el autor.

³⁷ JIANG, T., et al. A new comprehensive hydraulic fracturing technology to minimize formation damage in low permeability reservoirs. En: SPE European Formation Damage Control Conference Proceedings. Enero 1. vol. 1, no. SPE-82222-MS, p. 1-8

³⁸ P. SALDUNGARAY, T. P. Hydraulic Fracture Optimization in Unconventional Reservoirs. (Enero 23-25 2012). Abu Dhabi, UAE.: Society of Petroleum Engineers, 2013. p. 1-15

3. IMPACTOS AMBIENTALES DURANTE LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES.

De acuerdo con Arnedo³⁹, “el desarrollo tecnológico ha propuesto a la fractura hidráulica como una alternativa para la extracción y explotación de petróleo y gas natural en yacimientos no convencionales, debido a la disminución continua en las reservas convencionales y la creciente demanda energética para el desarrollo económico. Pese al aumento en el uso de la técnica y los frágiles marcos regulatorios que no controlaron el adecuado desarrollo, en los gobiernos aún se conserva la incertidumbre si avanzar y apoyar este tipo de explotación o defender a las comunidades y territorios para no resultar perjudicados”.

A lo largo de este capítulo se expondrán los impactos ambientales que produce el fracturamiento hidráulico, incluyendo los producidos a la salud humana y el consumo de agua, el riesgo de contaminación a aguas subterráneas, el suelo y la calidad del aire.

3.1 ANTECEDENTES

Para Arnedo⁴⁰, actualmente se ha venido presentando una progresiva disminución en las reservas convencionales de petróleo y de gas, provocando que en la última década el gas natural pase al primer plano de la discusión energética a nivel mundial, pues sus características son mejores frente a otros combustibles fósiles tales como el petróleo y el carbón.

Según Urresti⁴¹, la fractura hidráulica es una tecnología relativamente nueva, que ha estado en escena durante más de 100 años. Fue desarrollada primero en los Estados Unidos, en el siglo XX, pero no se aplicó comercialmente hasta mediados de la década de 1940 donde el gas de esquisto extraído del yacimiento Barnett Shale, centro-norte de Texas, constituyó sólo un 2%. Desde el año 2000 hasta el 2007 se incrementó aproximadamente al 9% y para el 2011 supero la barrera del 30%, comparado con el 50% aproximado de la producción de gas para el año 2012.

³⁹ ARNEDO CÁRDENAS, Ana Ercilia y YUNES CAÑATE, Karla María. Fracking: extracción de gas y petróleo no convencional, y su impacto ambiental. En: Facultad De Ingeniería, Arquitectura, Artes Y Diseño. Programa De Ingeniería Química. Universidad De San Buenaventura. Febrero. vol. 1, no. 1, p. 1-Universidad de San Buenaventura, Cartagena

⁴⁰ Ibid., p. 37

⁴¹ URRESTI, Aitor y MARCELLESI, Florent. Fracking: Una Fractura Que Pasará Factura. 16 Septiembre 2012. [Consultado el 1/0915]. Disponible en: <http://florentmarcellesi.eu/2012/09/16/fracking-una-fractura-que-pasara-factura/>

3.2 DESCRIPCIÓN EFECTOS MEDIOAMBIENTALES DURANTE EL FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO

Según la Agencia de Protección Medio Ambiental de Estados Unidos⁴², durante el desarrollo del fracturamiento hidráulico los puntos críticos resultan ser los impactos negativos que tiene sobre el ambiente y la salud humana. De acuerdo con Birol⁴³, la mayoría de publicaciones reflejan en EE. UU (primer país productor del mundo), que la preocupación es cada vez mayor con la utilización del fracturamiento hidráulico y sus posibles efectos negativos, sin embargo, las numerosas excepciones a las leyes ambientales realizadas desde el 2005, han blindado la práctica de forma considerable.

Por otro lado, en EEUU la propiedad pública del subsuelo no existe como si la hay en Colombia, de forma que los pozos se perforan con el aval del dueño de la propiedad a cambio de una amplia suma de dinero. Es por esto que en diferentes países del mundo la normatividad relacionada con el fracturamiento hidráulico es más rígida y requiere de mayores estudios de riesgos relacionados a la extracción de petróleo y gas en yacimientos no convencionales.

De acuerdo con el informe de Tyndall Centre del año 2011 y con Global Data⁴⁴, la probabilidad de que los incidentes que ocasionen contaminación aumentan, al incrementarse la cantidad de pozos y plataformas para el fracking, agravando las problemáticas ambientales. Siendo así, entonces, cada uno de los impactos se debe tener en cuenta durante todas las intervenciones que se haga en el sector.

A continuación se mencionan las principales preocupaciones:

3.2.1 Ambiente Físico

3.2.1.1 Recurso Hídrico

El impacto de mayor relevancia en la técnica del fracturamiento hidráulico es del recurso hídrico, que va desde el gran volumen utilizado en la inyección hasta finalizar en su posterior contaminación de acuíferos y aguas subterráneas.

⁴² US Environmental Protection Agency EPA "Plan to study the potential impacts of hydraulic fracturing on drinking water resources", Noviembre 2011, Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/hf_study_plan_110211_final_508.pdf

⁴³ BIROL, Fatih y BESSON, Christian. Golden rules for a golden age of gas, world energy outlook special report on unconventional gas. En: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. vol. 12.

⁴⁴ Global Data. US hydraulic fracturing (Fracking) regulations handbook, 2012. En: PR Newswire. Jan 24, 2013. vol. 1, no. 1, p. 4-60

De acuerdo con Jimenez⁴⁵, el uso del agua en el proceso de fracturamiento, a grandes rasgos, utiliza entre 10 y 11 millones de litros de agua entre la preparación, la extracción del fluido de interés y la terminación de los pozos. De esta cantidad, entre 400,000 y 4, 000,000 litros de agua se utilizan para mantener presiones, enfriar broca y eliminar residuos, sin embargo, el mayor consumo se refleja al inicio de la producción para formar la mezcla de fluidos

Tabla 6. Uso de Agua por Pozo Para Perforación y Fracturación

USO DE AGUA POR POZO PARA PERFORACIÓN Y FRACTURACIÓN (EN MILLONES DE LITROS)			
Lugar de Gas de Lutita	Perforación: Volumen de agua por pozo	Fracturación: Volumen de agua por pozo	Total: Volumen de agua por pozo
Barnett	1,5	8,7	10,2
Fayetteville	0,2*	11,0	11,2
Haynesville	3,8	10,2	14,0
Marcellus	0,3*	14,2	14,7

*Perforación con vapor de agua y/o agua con lodos de aceite para terminaciones horizontales de pozos profundos.

Fuente: ARNEDO CÁRDENAS, Ana Ercilia y YUNES CAÑATE, Karla María. Fracking: extracción de gas y petróleo no convencional, y su impacto ambiental. En: Facultad De Ingeniería, Arquitectura, Artes Y Diseño. Programa De Ingeniería Química. Universidad De San Buenaventura. Febrero. vol. 1, no. 1, p. 1-Universidad de San Buenaventura, Cartagena

Hay que mencionar que en un solo permiso está incluida la producción de varios pozos, lo que significa que la productividad de los pozos destinados a yacimientos no convencionales no es proporcional a la cantidad de recurso hídrico utilizado, lo que deriva un problema de sostenibilidad en la región.

En cada fractura se producen desechos líquidos que están entre los 1,500 y los 23,000 metros cúbicos, la cual contiene componentes orgánicos tóxicos, metales pesados y materia natural con residuos radiactivos.

Según Meng⁴⁶, entre los años 2005 y 2009, las principales industrias de petróleo y gas usaban alrededor de 2,500 productos de fracturación hidráulica que causaban discusión por su contenido de agentes cancerígenos, regulados en primera

⁴⁵ JIMÉNEZ, David Gómez; OLIVA, Jorge Sanz y LARRAGUETA, Jaime Portero. Hidrocarburos no convencionales en EEUU y sus implicaciones. En: ENERGÉTICA XXI. Diciembre. vol. 1, no. 1, p. 82-86

⁴⁶ Q. Meng y S. Ashby, «Distance: A critical aspect for environmental impact assessment of hydraulic fracking,» *The extractive industries and society*, pp. 124-126, 2014.

instancia por la Safe Drinking Water Act por sus riesgos a la salud humana y contaminantes peligrosos del aire regulado por la Clean Air Act. Entre una mezcla pueden figurar 38 tóxicos y ocho cancerígenos representando un total de cuatro toneladas por pozo.

Por otra parte, Gregory⁴⁷, menciona que muchas industrias tienen los productos químicos como secreto de comercio, soportándose en las leyes de patentes para no divulgar los líquidos utilizados en la extracción, lo que dificulta notoriamente el estudio de los impactos que estos provocan al ambiente. Es por esto, que varias jurisdicciones estatales en EEUU están elaborando normas para obligar a las empresas a revelar los líquidos utilizados en el proceso, incluyendo Wyoming, Pennsylvania, Arkansas, Texas, Colorado, New México, Montana, West Virginia, Idaho y Dakota del Norte.

3.2.2 Aire

Para Arnedo⁴⁸, “la contaminación atmosférica provocada en la extracción de recursos no convencionales a partir del fracturamiento hidráulico es una preocupación generalizada, ya que entre un 4% y un 8% del hidrocarburo se liberan durante los procesos de retorno del fluido de inyección, fugas accidentales durante la extracción, transporte, almacenamiento y distribución”.

De acuerdo con E.P.A.⁴⁹, estas emisiones incluyen material particulado, compuestos orgánicos volátiles (COV), como el metano que según un estudio realizado por Howarth⁵⁰ se estima que dicha emisión se podría encontrar entre un 30% y 100% mayores que las emisiones provenientes del carbón y contaminantes peligrosos del aire, como el Radón, siendo los mismos compuestos liberados en la extracción de petróleo y gas en yacimientos convencionales. Las composiciones de las emisiones atmosféricas producidas por el fracturamiento son las siguientes:

- Metano (CH₄). Liberado por equipos de procesamiento y dispositivos neumáticos.

⁴⁷ GREGORY, Kelvin B.; VIDIC, Radisav D. y DZOMBAK, David A. Water management challenges associated with the production of shale gas by hydraulic fracturing. En: Elements. Abril. vol. 7, no. 3, p. 181-186

⁴⁸ ARNEDO CÁRDENAS, Ana Ercilia y YUNES CAÑATE, Karla María. Fracking: extracción de gas y petróleo no convencional, y su impacto ambiental. En: Facultad De Ingeniería, Arquitectura, Artes Y Diseño. Programa De Ingeniería Química. Universidad De San Buenaventura. Febrero. vol. 1, no. 1, p. 1-Universidad de San Buenaventura, Cartagena

⁴⁹ E. P. A. Department of Energy Department of the Interior, «Federal Multiagency Collaboration on Unconventional Oil and Gas Research,» U.S. Department of Energy, U.S. Department of the Interior, Washington, 2014.

- Óxidos de nitrógeno (NOx).
- Compuestos orgánicos volátiles (COV). Sustancias compuestas principalmente por carbono fácilmente evaporable.
- Benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX). Compuestos tóxicos emitidos en bajas cantidades.
- Monóxido de carbono. Producido durante la combustión de hidrocarburos.
- Dióxido de Azufre (SO₂). Es formado a partir de la quema de combustibles fósiles que contienen azufre.
- Partículas de polvo y suelo resultantes de la construcción, el tráfico dentro y fuera de las carreteras y los escapes de vehículos y motores diésel.
- El sulfuro de hidrógeno (H₂S). Existente en las formaciones de gas y de aceite.

El metano y el etano están específicamente excluidos de la definición de COV porque reaccionan más lento que los otros compuestos COV además que reaccionan con los óxidos de nitrógeno producidos por equipos diesel utilizados en los procesos, formando ozono troposférico que es el ozono superficial.

3.2.3 Suelo

3.2.3.1 Movimientos Sísmicos

De acuerdo con Benedet⁵¹, científicamente, la técnica de la fractura hidráulica puede causar movimientos en las placas tectónicas, de manera que se presenten sismos de varias magnitudes debido a la inyección presurizada del fluido empleado para provocar la fractura en la roca y a la fragilidad del subsuelo, ya que al momento de la ruptura y la liberación de los hidrocarburos, se provocan movimientos involuntarios en las demás placas.

Numerosos casos sísmicos presentados en Alabama, Arkansas, California, Colorado, Illinois, Luisiana, Misisipi, Nebraska, Nevada, Nuevo México, Ohio, Oklahoma y Texas principalmente, y en otros lugares del mundo como Australia, Canadá, China, Dinamarca, El Salvador, Alemania, Islandia, Italia, Japón, Kuwait, Países Bajos, Noruega, Omán, Rusia, Suecia, Suiza, Turkmenistán, Reino Unido y Uzbekistán durante los últimos años ha llamado la atención de las diferentes comunidades sobre la relación existente entre los movimientos sísmicos y los pozos utilizados para el desecho de aguas residuales de fractura. De acuerdo con los estudios y análisis del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)⁵² los

⁵¹ BENEDET, JA Sáenz de Santa María y CLAVEROL, M. Gutiérrez. Valoración de la técnica de fracturación hidráulica y su aplicación a la extracción de gas no convencional en las cuencas carbonífera y jurásica de Asturias. En: Trabajos De Geología. vol. 33, no. 1, p. 201-213

⁵² USGS, Earthquake hazards program, induced earthquakes, myths and misconceptions Disponible en: <http://earthquake.usgs.gov/research/induced/myths.php>

procesos realizados con la fractura hidráulica aplicada a pozos en yacimientos no convencionales no representan un riesgo en tema de sismicidad inducida.

Para Arnedo⁵³, de acuerdo con la sismicidad asociada al fracturamiento hidráulico, hay dos diferentes tipos de eventos, el primero corresponde a eventos micro sísmicos que son habituales y se producen debido a la propagación de las fracturas, mientras que el segundo tipo de eventos son sismos mayores, poco frecuentes, pero que pueden ser inducidos en presencia de fallas que acumulan tensiones; para los sísmicos mayores, se puede inducir un sismo aumentando la presión al inyectar el fluido y reduciendo la resistencia a una falla cerca de la rotura.

3.2.4 Aspecto Biótico

Las operaciones de la industria petrolera contundentemente causan daños y degradación en el paisaje, ya que se ocupan territorios que están verdaderamente cerca a poblaciones donde hay desarrollo continuo en todos los sentidos (Fauna, Flora, Población, Cultura).

Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Mundial de Meteorología el ozono troposférico causa alteraciones en los patrones de lluvias, además de ser el causante de 52 millones de toneladas de cultivos perdidos por año.

3.2.5 Aspecto Socioeconómico

La construcción de infraestructura para el fracturamiento hidráulico es algo que requiere de un amplio espacio para rutas de acceso, tanques de contención, equipos para perforación, camiones de transporte, etc., motivo por el cual son necesarias entre 1.5 y 2 hectáreas.

Estas ocupaciones generan inconvenientes que empiezan por situar el yacimiento hasta las modificaciones que haya que hacer para mantener una distancia prudente desde el campo hasta la población más cercana. Adicionalmente, Bamberger⁵⁴, propone que se debe tener en cuenta que cada pozo requiere miles de viajes de gran tonelaje, ocasionando tráfico pesado en las carreteras y de igual manera afectando a comunidades rurales que antes de la construcción estaban

⁵³ ARNEADO CÁRDENAS, Ana Ercilia y YUNES CAÑATE, Karla María. Fracking: extracción de gas y petróleo no convencional, y su impacto ambiental. En: Facultad De Ingeniería, Arquitectura, Artes Y Diseño. Programa De Ingeniería Química. Universidad De San Buenaventura. Febrero. vol. 1, no. 1, p. 1-Universidad de San Buenaventura, Cartagena

⁵⁴ BAMBERGER, OSWALD, "Impacts of gas drilling on human and animal health", new solutions. A journal of environmental and occupational health policy, vol. 22 núm. 1, 2012, p. 75.

tranquilas y después de la intervención tendrán que vivir con ruido y contaminación constante.

Por otro lado, el simple hecho de que los diferentes tipos de compuestos químicos utilizados en el fluido de la fracturación hidráulica estén presentes en la sociedad, en industrias, y en hogares cotidianamente, no significa que el consumo de estos y/o la exposición a los mismos no sea nociva; incluso causan daños perjudiciales para la salud humana y hasta pueden causar la muerte.

De acuerdo con Holloway⁵⁵, se tiene conocimiento de aproximadamente 600 sustancias químicas, identificadas por medio del número CAS (Chemical Abstracts Service), de las cuales, 286 es decir el 44% no están catalogadas y se desconocen sus efectos sobre la salud y el ambiente. Las 362 restantes, el 55%, tiene efectos sobre el cerebro y el sistema nervioso, el 78% tiene efectos sobre el sistema respiratorio, la piel y los ojos, el hígado o el sistema gastrointestinal, y el 47% afecta al sistema endocrino, con graves efectos para la reproducción y el desarrollo.

En el siguiente Cuadro, Cuadro 2. Componentes dañinos presentes en diferentes fluidos del fracturamiento y sus posibles efectos potenciales en la salud, se presentan los efectos que pueden tener dichos componentes en la salud pública.

Cuadro 3. Componentes Dañinos Presentes en Diferentes Fluidos del Fracturamiento y Sus Posibles Efectos Potenciales en la Salud

COMPONENTE	EFFECTOS POTENCIALES EN LA SALUD
2-Butoxietanol*	Irritación de la piel, irritación de la nariz, dolor de cabeza, náuseas, vómitos, mareos.
Ácido Bórico	Daño renal, insuficiencia renal
Ácido Clorhídrico	Corrosivo para los tejidos, irritación de los ojos, problemas respiratorios, muerte.
Ácido Fluorhídrico	El endurecimiento en los huesos, quemaduras, corrosión de los tejidos del cuerpo, irritación, muerte.
Ácido Fórmico	Quemaduras en la piel, quemaduras oculares, irritación de los pulmones y dolor, náuseas, vómitos.
Ácido Sulfúrico	Corrosivo para todos los tejidos corporales, daño pulmonar, pérdida de visión, cáncer, muerte.

⁵⁵ HOLLOWAY, Michael D. y RUDD, Oliver. Fracking: The operations and environmental consequences of hydraulic fracturing. 1 ed. Texas, Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2013. p. 359-499781118747926

Cuadro 4. (Continuación)

Benceno	Mareos, debilidad, dolor de cabeza, dificultad para respirar, constricción del pecho, náuseas, vómitos, insuficiencia de la médula ósea, leucemia, cáncer.
Combustible #2	Mareos, somnolencia, irritación ocular, irritación de la piel, cáncer de piel.
Destilado liviano hidrotratado*	Irritación de la piel, irritación de los ojos, dolor de cabeza, mareos, daño hepático, daño renal, daño arterial.
Diésel*	Enrojecimiento, picazón, ardor severo, daño en la piel, cáncer de piel.
Etilenglicol*	Estupor, coma, insuficiencia renal grave.
Formaldehido	Daño pulmonar, problemas reproductivos en las mujeres, Cáncer, muerte.
Hidróxido de Sodio (Lejía)	Daño pulmonar, ardor ocular, ardor en la piel, quemaduras en las membranas mucosas, muerte.
Isopropanol*	Irritación ocular, irritación respiratoria, vómitos.
Kerosen	Irritación ocular, irritación de la nariz, somnolencia, convulsiones, coma, muerte.
Metanol*	Irritación de los ojos/daños, dolor de cabeza, fatiga, muerte.
Naftaleno*	Irritación en las vías respiratorias, náuseas, vómitos, dolor abdominal, fiebre, cáncer, muerte.
Plomo	Daños del sistema nervioso, trastornos cerebrales, trastorno de la sangre, cáncer.
Sílice Cristalino*	Silicosis y cáncer.
*Componentes comúnmente encontrados	

Fuente: ARNEO CÁRDENAS, Ana Ercilia y YUNES CAÑATE, Karla María. Fracking: extracción de gas y petróleo no convencional, y su impacto ambiental. En: Facultad De Ingeniería, Arquitectura, Artes Y Diseño. Programa De Ingeniería Química. Universidad De San Buenaventura. Febrero. vol. 1, no. 1, p. 1-Universidad de San Buenaventura, Cartagena

Con el paso del tiempo, el hecho de tener cerca un plataforma de explotación de yacimientos no convencionales se van evidenciando lo efectos negativos que tiene sobre la salud humana. Poniendo como ejemplo el caso desarrollado por Arnedo⁵⁶, en Texas, Estados Unidos, una familia notablemente afectada, denunció en el año 2011 la compañía que explotaba un yacimiento de gas cerca de su

⁵⁶ ARNEO CÁRDENAS, Ana Ercilia y YUNES CAÑATE, Karla María. Fracking: extracción de gas y petróleo no convencional, y su impacto ambiental. En: Facultad De Ingeniería, Arquitectura, Artes Y Diseño. Programa De Ingeniería Química. Universidad De San Buenaventura. Febrero. vol. 1, no. 1, p. 1-Universidad de San Buenaventura, Cartagena

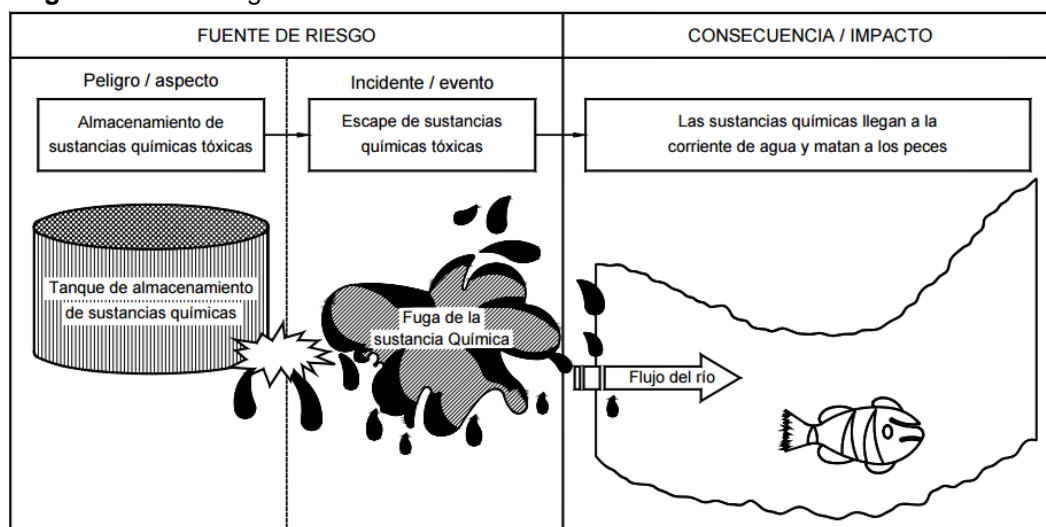
residencia, y finalmente para inicios del 2014, un tribunal obligó a la compañía a compensar a la familia con cerca de 3 millones de dólares porque consideraba que las afectaciones en la salud de la familia estaban directamente relacionados con las operaciones de Fracturamiento Hidráulico realizadas en el sector.

3.3 GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA 104, RELACIONADA CON EFECTOS MEDIO AMBIENTALES

De acuerdo con la Guía Técnica Colombiana GTC 104⁵⁷, existen muchos conceptos claves que son importantes para la gestión del impacto ambiental; por lo tanto, antes de iniciar la evaluación de los impactos es importante entender los términos usados, así como sus relaciones.

Los conceptos se presentan de forma gráfica en la siguiente Imagen, Imagen. 1 Terminología, y se explican a continuación.

Imagen 1. Terminología



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Guía Técnica Colombiana 104. 2009. p. 9-86

La Guía Técnica Colombiana 104⁵⁸ lo define así:

- Fuente de riesgo, es un término que incluye todas las fuentes de un riesgo cuando existe una relación causa-efecto.

⁵⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Guía Técnica Colombiana 104. 2009. p. 9-86

⁵⁸ Ibid., p. 45

- Peligro es una fuente de daño potencial o situación con potencial que puede causar pérdida o impactos adversos.
- Aspectos ambientales son aquellos elementos de las actividades, productos o servicios que pueden interactuar con el ambiente.
- Incidente es cualquier suceso que puede tener un impacto adverso en el ambiente.
- Evento también se usa en un sentido similar a incidente.
- Consecuencia es el resultado o impacto de un evento y puede ser expresado cuantitativamente o cualitativamente.
- Impacto ambiental se define como cualquier cambio en el ambiente, ya sea adverso o benéfico, que es el resultado total o parcial de las actividades.

Para el caso de los impactos ambientales durante el fracturamiento hidráulico en yacimientos no convencionales, y siguiendo la Guía técnica Colombiana 104, la clasificación de fuente de riesgo y consecuencia/ impactos estaría planteada como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Efectos del Fracturamiento Hidráulico

	FUENTE DE RIESGO		CONSECUENCIA / IMPACTO
	Peligro / Aspecto	Incidente/Evento	
Recurso Hídrico	Uso de Millones de litros	Derrame de fluidos de fractura debido a fallas en la tubería.	Contaminación de Acuíferos y Aguas Subterráneas.
Aire	Uso de Aditivos Antibacterianos	Activar bacterias reductoras de sulfato produciendo sulfuro de hidrogeno (H ₂ S).	Afectaciones a la salud pública. De 20-50 ppm causa sofocación y por encima de 95 ppm produce la muerte.
Movimientos Sísmicos	Inyección de Fluido a altas Presiones	Produce fracturas en las rocas y movimientos de placas tectónicas.	Eventos Micro Sísmicos y Eventos Sísmicos Mayores.
Aspecto Biótico	Operación de Fracturamiento Hidráulico	Producción de ozono Troposférico.	Pérdida de especies de plantas (Coníferas, álamos, forraje y alfalfa).
Aspecto Socioeconómico	Funcionamiento de Motores de equipos de Perforación y Fracturamiento.	Aumento en los decibeles normales de audición.	Contaminación Auditiva y daños nocivos de salud.
	Uso de aditivos químicos en el fluido	Mala Manipulación entra en contacto con el ser humano.	Morbilidad y en algunos casos mortalidad.

Fuente: El Autor

4. CONCLUSIONES

- Se identificó una tendencia general en la composición del fluido, la cual indica que el fluido está compuesto por agua entre un 80-90% y un material sostén o también llamado propante que principalmente es arena entre 15 – 9%. El 100% se obtiene a partir de la incorporación de algunos aditivos químicos con diferentes fines.
- Durante la clasificación se observó que indudablemente el agua es indispensable en el fracturamiento hidráulico y que la arena y la fibra orgánica es vital para mantener la fractura abierta durante el procedimiento.
- A partir de los casos estudiados se evidencio que durante los años 2013 el consumo de agua fue elevado con respecto al 2014 y 2015, debido principalmente al uso inapreciable de propante y otros aditivos como acido o biocidas.
- Con respecto a los años 2014 y 2015 se redujo notablemente el uso de agua y a la vez la proporción de propantes y aditivos aumentaron con el fin de mantener la fractura abierta y permitir el flujo de petróleo.
- Se evidenció que al desarrollar el fracturamiento hidráulico los efectos negativos fueron evidentes por las significativas afectaciones de las condiciones óptimas, así como en el cambio de la calidad del aire, por las emisiones de gases contaminantes.

5. RECOMENDACIONES

- A partir de la conclusión de la reducción del 15% del uso de agua con la utilización de nuevos tipos de propantes, se recomienda que se empiece un trabajo de investigación específico sobre la aplicación de esta tecnología en Colombia, recopilando información de empresas que utilicen esta técnica en sus procesos.
- Aunque la arena todavía es funcionalmente aceptada y utilizada, es bueno que se piense en su remplazo progresivo con fibras orgánicas para evitar que el medio creado por el propante no permita las reacciones continuamente sino que después de cumplida su actividad se convierta en un medio no reactivo.
- Este estudio se basó en estudios de caso de Estados Unidos sobre la composición y funcionamiento de los fluidos, es necesario que en estudios posteriores se analice la información tratada para el caso colombiano.
- Dado que se encontraron problemas ambientales ligados al uso de aditivos químicos en los fluidos, se recomienda seguir revisando estudios que destaquen el uso de aditivos que reemplacen o disminuyan el uso de aquellos que resulten dañinos para el uso posterior del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, Claudia Lucía Valdés. “El Fracking: impactos ambientales y socioeconómicos”. En: INSTITUTO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS AMBIENTALES DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID. Junio.vol. 1, no. 1, p. 4-5, 6
- ALL CONSULTING, LLC. The Modern Practices of Hydraulic Fracturing: A Focus on Canadian Resources. ALL Consulting, LLC ed. Tulsa, Oklahoma: ALL Consulting, LLC, 2012. 135-63
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Hydraulic fracturing operations well construction and integrity guidelines. En: API GUIDANCE DOCUMENT. Octubre, 2009.vol. 1, no. 1, p. 1-24-15
- ARNEDO CÁRDENAS, Ana Ercilia y YUNES CAÑATE, Karla María. Fracking: extracción de gas y petróleo no convencional, y su impacto ambiental. En: FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA, ARTES y DISEÑO. PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA. UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA. Febrero.vol. 1, no. 1, p. 1-Universidad de San Buenaventura, Cartagena
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO. Colombia Le Apuesta a Los Hidrocarburos no Convencionales. Bogotá. Junio. [Consultado el Mayo 202016]. Disponible en: <http://www.acp.com.co/images/pdf/petroleoygas/yacimientosnoconvencionales/Colombia%20le%20apuesta%20a%20los%20hidrocarburos%20no%20convencionales.pdf>
- BENEDET, JA Sáenz de Santa María y CLAVEROL, M. Gutiérrez. Valoración de la técnica de fracturación hidráulica y su aplicación a la extracción de gas no convencional en las cuencas carbonífera y jurásica de Asturias. En: TRABAJOS DE GEOLOGÍA. vol. 33, no. 1, p. 201-213
- BP. BP statistical review of world energy june 2013. En: BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY. Junio.vol. 1|, no. 1, p. 1-25
- BUSTOS CEDEÑO, Jairo Geovanny. Aplicación De La Fractura Hidráulica En La Cuenca Oriente Ecuatoriana. Av. Séneca, 2, 28040 Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid. Facultad: Ciencias Geológicas, 2013. p. 7-8, 9, 18.
- CARPENTER, ADAM T. Water and hydraulic fracturing. En: JOURNAL: AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. vol. 105, no. 3, p. 56-59
- CARRASCAL, Fabián A. y CONTRERAS, Zarith Pachón. Química aplicada al

control de calidad de fluidos: Éxito del fracturamiento hidráulico. En: REVISTA FUENTES. Junio.vol. 12, no. 2, p. 25-28

CEVALLOS RIVERA, Yonathan Paúl. Optimización De La Producción Mediante El Fracturamiento Hidráulico Al Reservorio M-1 Del Pozo Y. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2009. p. 1-60.

CRAWFORD, MARK. Taking the hydro out of hydraulic fracturing. En: MECHANICAL ENGINEERING. vol. 137, no. 3, p. 30-35

DÍAZ LÓPEZ, Amanda Cristina y LASSO VELARDE, Andrés Fernando. Análisis Técnico Económico y Propuesta De Nuevos Pozos Para La Implementación Del Método De Fracturamiento Hidráulico En El Área Amy. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1165>. Quito.: Universidad Central Del Ecuador, 2013. p. 213-263.

DÍAZ, J y MESA, N. Evaluación De Los Trabajos De Fracturamiento Hidráulico Realizados En El Campo Llanito. Calle 70 No 55-210 Bucaramanga. Bucaramanga. Universidad Industrial De Santander, 2009. p. 134-125.

DING, D. Y.; WU, Y. S. y JEANNIN, L. Efficient simulation of hydraulic fractured wells in unconventional reservoirs. En: JOURNAL OF PETROLEUM SCIENCE AND ENGINEERING. 10. vol. 122, no. 0, p. 631-642

DURAN RODRÍGUEZ, J. ¿Qué Es El 'Fracking' y Por Qué Genera Tanta Oposición?. España. 25 de noviembre. [Consultado el Junio 30 2016]. Disponible en: <http://www.que.es/ultimas-noticias/medio-ambiente/201309230800-fracking-generatanta-oposicion-cont.html>

FERRER, I. y THURMAN, E. M. Chemical constituents and analytical approaches for hydraulic fracturing waters. En: TRENDS IN ENVIRONMENTAL ANALYTICAL CHEMISTRY. Febrero.vol. 5, no. 1, p. 18-25

FINK, Johannes Karl. Chapter 17 - Fracturing Fluids. En: FINK, Johannes Karl. Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids. 1st ed. Boston: Gulf Professional Publishing, 2012. 519-583 p.

GARCIA, J. El Gas Natural no Convencional. El Gas Natural Como Energía Puente Entre El Presente Energético y El Deseable Futuro Sostenible. Congreso Nacional de Medio Ambiente. [Consultado el Agosto/5 2016]. Disponible en: <http://www.conama2012.conama.org/web/generico.php?idpaginas=&lang=es&menu=90&id=171&op=view>

GHOBEITY, Amin y MITSOS, Alexander. Optimal design and operation of desalination systems: new challenges and recent advances. En: CURRENT

OPINION IN CHEMICAL ENGINEERING. vol. 6, no. 1, p. 61-68

Global Data. US hydraulic fracturing (Fracking) regulations handbook, 2012. En: PR NEWSWIRE. Jan 24, 2013.vol. 1, no. 1, p. 4-60

GREGORY, Kelvin B.; VIDIC, Radisav D. y DZOMBAK, David A. Water management challenges associated with the production of shale gas by hydraulic fracturing. En: ELEMENTS. Abril.vol. 7, no. 3, p. 181-186

GU, M.; DAO, E. y MOHANTY, K. K. Investigation of ultra-light weight proppant application in shale fracturing. En: FUEL. Junio.vol. 150, p. 191-201

GUO, Jianchun, et al. Effect of fiber on the rheological property of fracturing fluid. En: JOURNAL OF NATURAL GAS SCIENCE AND ENGINEERING. 3. vol. 23, p. 356-362

GWPC & IOGCC. FracFocus Chemical Disclosure Registry. Junio. [Consultado el Julio 152016]. Disponible en: <https://fracfocus.org/chemical-use>

HAGHSHENAS, Ashkan y NASR-EL-DIN, Hisham A. Effect of dissolved solids on reuse of produced water at high temperature in hydraulic fracturing jobs. En: JOURNAL OF NATURAL GAS SCIENCE AND ENGINEERING. 11.vol. 21, no. 0, p. 316-325

HOLLOWAY, Michael D. y RUDD, Oliver. Fracking: The Operations and Environmental Consequences of Hydraulic Fracturing. 1st ed. Texas, Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2013. 359-49 p.

HOU, Xiangqian, et al. Waterless fracturing fluid with low carbon hydrocarbon as base fluid for unconventional reservoirs. En: PETROLEUM EXPLORATION AND DEVELOPMENT. 10. vol. 40, no. 5, p. 646-650

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Guía Técnica Colombiana 104. 2009. 9-86

JIANG, T., et al. A new comprehensive hydraulic fracturing technology to minimize formation damage in low permeability reservoirs. En: SPE EUROPEAN FORMATION DAMAGE CONTROL CONFERENCE PROCEEDINGS. Enero 1.vol. 1, no. SPE-82222-MS, p. 1-8

JIMÉNEZ, David Gómez; OLIVA, Jorge Sanz y LARRAGUETA, Jaime Portero. Hidrocarburos no convencionales en EEUU y sus implicaciones. En: ENERGÉTICA XXI. Diciembre.vol. 1, no. 1, p. 82-86

KAYUMOV, R., et al. Successful Implementation of Fiber-Laden Fluid for Hydraulic

Fracturing of Jurassic Formations in Western Siberia. En: Society of Petroleum Engineers - International Petroleum Technology Conference 2013, IPTC 2013: Challenging Technology and Economic Limits to Meet the Global Energy Demand. (Marzo 26-28). Beijing, China: 2013. p. 1227-1238

LESTER, Yaal, et al. Characterization of hydraulic fracturing flowback water in Colorado: Implications for water treatment. En: SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. Abril.vol. 512–513, no. 0, p. 637-644

MARKETSANDMARKETS. Fracking Chemicals and Fluid Market by Fluid & Well Type, and Chemicals (Acid, Surfactant, Biocide, Gelling Agent, Cross Linker, Breaker, Scale & Corrosion Inhibitor, Clay & Iron Control, Friction Reducer) - Global Trends & Forecasts to 2018. En: MarketsandMarkets. Enero.vol. 1, no. PR Newswire Association LLC, p. 68-76

MAULE, A. L., et al. Disclosure of hydraulic fracturing fluid chemical additives: analysis of regulations. En: NEW SOLUTIONS: a JOURNAL OF ENVIRONMENTAL AND OCCUPATIONAL HEALTH POLICY: NS. 2013. vol. 23, no. 1, p. 167-187

MCCAFFREE, Jody; ANDERSON, Dear Mr John y MYERS, Mr Edward. 2012 LNG Export Study Reply Comments. 1st ed. Estados Unidos: Citeseer, 2013. 110-115

MCGUIRE, W. J. The effect of vertical fractures on well productivity. En: JOURNAL OF PETROLEUM TECHNOLOGY. 1960. vol. 10, no. SPE-1618-G, p. 1-12

MONTGOMERY, Carl T. y SMITH, Michael B. Hydraulic fracturing: history of an enduring technology. En: JOURNAL OF PETROLEUM TECHNOLOGY. Diciembre.vol. 62, no. 12, p. 26-40

MUÑOZ Steven y CARILLO Beatriz. Selección Del Material Propante En Procesos De Fracturamiento Hidráulico En Un Pozo Petrolero. Universidad Industrial de Santander, 2012. p. 77

OLSSON, Oliver; WEICHHREBE, Dirk y ROSENWINKEL, Karl-Heinz. Hydraulic fracturing wastewater in Germany: composition, treatment, concerns. En: ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES. 12/15.vol. 70, no. 8, p. 3895-3906

ORTIZ CÁRDENAS, Fernando. Consideraciones Para La Identificación De Riesgos Asociados a La Exploración De Crudos no Convencionales En Los Llanos Orientales-Colombia. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.: Universidad Militar Nueva Granada, 2014. p. 1-18.

ORTIZ, Marvin Marulanda, et al. Refracturamiento hidráulico: “una exitosa técnica

de estimulación de pozos”. En: REVISTA FUENTES. Mayo.vol. 8, no. 2, p. 45-50

P. SALDUNGARAY, T. P. Hydraulic Fracture Optimization in Unconventional Reservoirs. En: Hydraulic Fracture Optimization in Unconventional Reservoirs. (Enero 23-25 2012). Abu Dhabi, UAE: Society of Petroleum Engineers, 2013. p. 1-15

PATEL, P. S., et al. Analysis of US Hydraulic Fracturing Fluid System and Proppant Trends. En: Society of Petroleum Engineers - SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference 2014.(Febrero 4-6). The Woodlands, Texas, USA.: Society of Petroleum Engineers, 2014. p. 854-873

RAHMAN, M. K., et al. Unsuccessful hydraulic fracturing cases in Australia: Investigation into causes of failures and their remedies. En: JOURNAL OF PETROLEUM SCIENCE AND ENGINEERING. 5.vol. 57, no. 1–2, p. 70-81

STRINGFELLOW, William T., et al. Physical, chemical, and biological characteristics of compounds used in hydraulic fracturing. En: JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS. 6/30.vol. 275, no. 0, p. 37-54

SUCHY, Daniel R. y NEWELL,K. David. Hydraulic Fracturing of Oil and Gas Wells in Kansas. Mayo 15 2012. [Consultado el Mayo 282016]. Disponible en: <http://www.kgs.ku.edu/Publications/PIC/pic32.html>

THIEL, Gregory P. y LIENHARD V, John H. Treating produced water from hydraulic fracturing: Composition effects on scale formation and desalination system selection. En: DESALINATION. 8/1.vol. 346, no. 0, p. 54-69

TROMBETTA, Juan Carlos. El agua en la explotación de yacimientos no convencionales. En: PETROTECNIA. Agosto 2012.vol. 1, no. 1, p. 55-60

URRESTI, Aitor y MARCELLESI, Florent. Fracking: Una Fractura Que Pasará Factura. 16 Septiembre 2012. [Consultado el 1/0915]. Disponible en: <http://florentmarcellesi.eu/2012/09/16/fracking-una-fractura-que-pasara-factura/>

WEINSTEIN, MARK. Hydraulic fracturing in the United States and the European Union: rethinking regulation to ensure the protection of water resources. En: WISCONSIN INTERNATIONAL LAW JOURNAL. December 2013.vol. 30, no. 4, p. 881-911

ZHANG, Y.; ZHANG, S. y ZHANG, J. Performance and discussion on applicability of a novel clean fracturing fluid. En: ELECTRONIC JOURNAL OF GEOTECHNICAL ENGINEERING. vol. 19 F, no. 1, p. 1353-1364