

**EL FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES  
A PARTIR DE FUENTES HÍDRICAS SUPERFICIALES Y ACUÍFEROS  
SUBTERRÁNEOS, Y SU IMPACTO EN EL RECURSO HÍDRICO Y EN LA SALUD  
HUMANA**

**HERNAN FELIPE FERIA JIMENEZ**

**PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**DIRECTOR**

**DIANA CAROLINA GARZÓN VELASCO  
INGENIERA QUÍMICA Y AMBIENTAL**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C**

**2023**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

Nombre del director

Firma del Director

---

Nombre

Firma del presidente Jurado

---

Nombre

Firma del Jurado

---

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. agosto de 2023

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Ingeniería

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora del programa

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

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.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>9</b>
<b>2.OBJETIVOS</b>	<b>11</b>
<b>2.1.OBJETIVO GENERAL</b>	<b>11</b>
<b>2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>11</b>
<b>3.METODOLOGÍA</b>	<b>12</b>
<b>4.RESULTADOS</b>	<b>13</b>
<b>4.1.EL FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO</b>	<b>13</b>
<i>4.1.1 Concepto De El Fracturamiento Hidráulico</i>	<i>13</i>
<b>4.2.FUENTES DE AGUA</b>	<b>14</b>
<i>4.2.1 Origen de las Aguas Superficiales y Subterráneas</i>	<i>14</i>
<i>4.2.2 Acuíferos</i>	<i>15</i>
<b>4.3 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES</b>	<b>15</b>
<i>4.3.1 Origen De La Contaminación</i>	<i>16</i>
<b>4.4 EFECTOS EN LA SALUD HUMANA</b>	<b>21</b>
<i>4.4.1 Composición del Fluido de Fracturamiento</i>	<i>21</i>
<i>4.4.2 Aditivos Químicos</i>	<i>22</i>
<i>4.4.3 Químicos Tóxicos (Impactos en la salud)</i>	<i>27</i>
<i>4.4.4 Control De La Salud</i>	<i>28</i>
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>30</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>31</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>35</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Evolución del fracking	14
Figura 2. Ciclo del agua	15
Figura 3. Composición volumétrica de un fluido de fracturación	23
Figura 4. Lista de aditivos comúnmente usados en el fracturamiento hidráulico	25
Figura 5. Efectos en la salud por aditivos	29

## RESUMEN

El objetivo fundamental de esta investigación radica en la identificación de las fuentes de contaminación que afectan tanto las aguas superficiales como las subterráneas debido al proceso de fracturamiento hidráulico, y en la evaluación minuciosa de los efectos adversos que esta contaminación ejerce sobre la salud humana. En una primera etapa, se proporciona un contexto esclarecedor sobre el procedimiento de fracturamiento hidráulico y el origen de las fuentes acuíferas, tanto las visibles en la superficie como las ocultas bajo tierra. Posteriormente, se procede a delinear los diversos tipos de contaminantes que afectan estas fuentes de agua.

Este estudio lleva a cabo un análisis exhaustivo de las principales causas y repercusiones vinculadas a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas como resultado directo del proceso de fracturamiento hidráulico. Específicamente, se examinan minuciosamente las sustancias químicas esenciales empleadas en este proceso y se evalúa su impacto tanto en el suministro de agua como en la salud de las personas. El enfoque principal radica en alcanzar una comprensión profunda de los efectos derivados del fracturamiento hidráulico en las fuentes hídricas y en la salud humana. En última instancia, el propósito final de esta investigación es sugerir medidas preventivas y estrategias de mitigación que contrarresten de manera eficiente los efectos perjudiciales que esta técnica podría generar en el entorno natural y en las comunidades circundantes.

Es de suma importancia resaltar que este documento se erige sobre un análisis riguroso y exhaustivo de la literatura científica existente relacionada con este tema. A lo largo de este estudio, se identifican las sustancias químicas primordiales utilizadas en el proceso de fracturamiento hidráulico y se examina su impacto en profundidad en las fuentes hídricas y en la salud de las personas. Además, se presentan recomendaciones concretas destinadas a prevenir y reducir los efectos adversos que se desprenden de esta técnica en el entorno ambiental y en la población circundante.

**Palabras Clave:** Fracturamiento hidráulico, Impacto ambiental, Recurso hídrico, Salud humana, Yacimientos no convencionales, Sustancias químicas, Mitigación.

## INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente demanda de combustibles fósiles en constante aumento a lo largo del tiempo, las fuentes tradicionales de yacimientos ya no son suficientes para satisfacer la brecha en las reservas mundiales (Cárdenas,2015). En respuesta a esta necesidad, en los últimos años se ha implementado la extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales con el objetivo de elevar la producción de hidrocarburos y atenuar la demanda global. Sin embargo, esta integración de yacimientos no convencionales en el panorama de producción ha requerido la adopción de nuevas técnicas, como el fracturamiento hidráulico. Esta técnica busca aumentar la permeabilidad y la porosidad de estos yacimientos, generando fracturas mediante la incorporación de aditivos que abren canales para facilitar la extracción de recursos hidrocarburíferos (Bertinat, et al., 2014).

Esta implementación de nuevas técnicas ha conllevado repercusiones tanto en el entorno ambiental como en la salud de las personas, principalmente debido al riesgo de contaminación que surge en las aguas superficiales y subterráneas (Cárdenas,2015). Ante este contexto de consecuencias evidentes, se plantea la necesidad de llevar a cabo esta investigación con el propósito de analizar las principales causas de contaminación en las aguas superficiales y subterráneas, así como los posibles efectos que derivan de fuentes tanto naturales como antropogénicas.

El objetivo central de este estudio es identificar el origen de la contaminación en las aguas superficiales y subterráneas a causa del uso del fracturamiento hidráulico, y evaluar los perjuicios que esto acarrea para la salud humana. Para lograrlo, se establece un marco contextual que abarca el proceso de fracturamiento hidráulico y el origen de las fuentes de agua, tanto en su forma superficial como subterránea. A continuación, se procede a identificar y describir los distintos tipos de contaminación que afectan a estas fuentes hídricas.

El enfoque del estudio se centra en un análisis exhaustivo de las causas primordiales y las consecuencias directas de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas debido al uso del fracturamiento hidráulico. Se realiza una evaluación detallada de las principales sustancias presentes en los cuerpos de agua que son responsables de generar enfermedades y afectaciones a la salud humana. A través de esta investigación, se busca comprender a profundidad los efectos del fracturamiento hidráulico en las fuentes hídricas y en la salud de las personas, con el objetivo último de proponer medidas preventivas y estrategias de mitigación para contrarrestar los impactos negativos de esta técnica en el medio ambiente y en las poblaciones cercanas.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El fracturamiento hidráulico al ser una técnica moderna utilizada poco tiempo en los últimos años, ha sido una fuente de debate tanto ambiental como socialmente ya que este ha generado un fuerte impacto en los escenarios ambientales en los cuales indirectamente afecta a las comunidades cercanas las cuales reciben las consecuencias de este que con llevan a ser el origen de fuentes de enfermedades y daños en la salud de las personas, Pero ¿Por qué sucede este tipo de debates y consecuencias? El fracturamiento hidráulico (fracking) es un proceso físico en el cual grandes cantidades de recursos hídricos son mezclados con arenas y sustancias químicas las cuales son bombeadas directamente a altas presiones a los pozos con el propósito de poder fracturar la roca y crear canales permeables para la extracción del hidrocarburo (Sánchez, 2014). La conveniencia o no sobre el tema de explotación del fracking es una polémica en la cual muchos gobiernos han tomado serias medidas restrictivas (Drögue y Westphal, 2013).

Se ha llevado a cabo estudios en los que se determina que, en el proceso de fractura hidráulica, una gran cantidad de gas metano y otros productos químicos tóxicos son filtrados desde el pozo y contaminan las inmediaciones de las aguas subterráneas, que suelen ser la fuente hídrica para el consumo de las comunidades locales. Un solo pozo puede producir casi cuatro millones de litros de aguas residuales, el cual contiene elementos radiactivos como el radio y varios hidrocarburos cancerígenos, como el benceno; existe una mayor concentración en los cuerpos de agua cercanos a los que se emplea esta práctica de hasta diecisiete veces a comparación de pozos no fracturados. (Delgado, 2020).

El problema principal de esta técnica es que puede conllevar a la contaminación de las aguas subterráneas de forma definitiva debido que, al emplearse la misma, dado los altos niveles de profundidad e infraestructura, el agua no llega con suficiente presión a las zonas objetivo, lo cual se emplea el uso alrededor de ciento treinta químicos combinados con arena para potenciar su acción. (Ortega, 2018). De igual manera, este producto llega a ser altamente peligroso debido a que requiere un óptimo manejo y uso de infraestructuras para que no ocasionen escapes indeseables o fugas hacia las formaciones.

Por otro lado, existen causas naturales por las cuales se han hecho estudios geoquímicos y geológicos en las que se ha podido determinar posibles escenarios que establecen un origen natural del CH<sub>4</sub> ya preexistente en las formaciones subterráneas que afectan los acuíferos tanto profundos como someros de agua potable.

Por lo anterior, esta investigación va dirigida hacia la determinación del origen de estos contaminantes en los cuerpos de agua ya sea por causas naturales o antropogénicas con el objetivo de crear un análisis de las repercusiones que se generan en el recurso hídrico y la salud humana, así como a identificar las medidas regulatorias y las mejores prácticas para mitigar los riesgos asociados con el uso de fuentes hídricas en el fracturamiento hidráulico.

## **2.OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Identificar el origen de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por el uso del fracturamiento hidráulico, y con éste determinar los daños que causa a la salud de las personas, por medio de un análisis bibliográfico en el cual se integrara toda la información obtenida.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Contextualizar sobre el fracturamiento hidráulico y el origen de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas para posteriormente identificar los tipos de contaminación a las fuentes hídricas.
- Determinar las principales causas y consecuencias de contaminación a las a las aguas superficiales y subterráneas por el uso del fracturamiento hidráulico.
- Analizar las principales sustancias en los cuerpos de aguas que generan enfermedades y daños a la salud de las personas.

### **3.METODOLOGÍA**

La metodología utilizada en este documento se basó en una revisión bibliográfica exhaustiva de la literatura existente sobre el Fracturamiento Hidráulico en Yacimientos No Convencionales, las fuentes hídricas superficiales y subterráneas, y los efectos de la contaminación en la salud humana. Para ello, se consultaron diversas fuentes bibliográficas especializadas, incluyendo artículos científicos, informes técnicos, libros y publicaciones gubernamentales. La revisión bibliográfica permitió identificar los principales conceptos y teorías relacionadas con el tema, así como las metodologías utilizadas en investigaciones previas. Una vez recopilada la información, se procedió a analizarla críticamente y a sintetizarla en un documento coherente y estructurado. Se identificaron los principales impactos ambientales y sociales asociados con el Fracturamiento Hidráulico en Yacimientos No Convencionales, así como las regulaciones existentes y las posibles alternativas. Asimismo, se presentaron los resultados de estudios científicos recientes que han evaluado los impactos del Fracturamiento Hidráulico en Yacimientos No Convencionales, con el fin de proporcionar una visión objetiva y actualizada sobre este tema. Finalmente, se elaboraron recomendaciones para prevenir y mitigar los impactos negativos del Fracturamiento Hidráulico en las fuentes hídricas y en la salud humana, basadas en los resultados obtenidos y en las mejores prácticas identificadas en la literatura existente.

## 4.RESULTADOS

### 4.1. El Fracturamiento Hidráulico

#### 4.1.1 Concepto De El Fracturamiento Hidráulico

El fracturamiento hidráulico es el proceso físico a través de las cual grandes cantidades de recursos hídricos son mezcladas con cantidades pequeñas de arena y sustancias químicas, las cuales posteriormente son bombardeadas con altas presiones dentro del pozo, para con esto lograr fragmentar la roca (Guerrero, 2016), superando la presión de fractura. Para esto, se perfora el revestimiento cruzando el intervalo y usan tapones recuperables para aislar el intervalo de las otras zonas abiertas, cuyo intervalo es presurizado para lograr alcanzar esta presión de fractura para que se rompa la roca y se cree una fractura (Nolen-Hoeksema ,2013). La fractura se mantiene debido a los aditivos apuntalantes (Arena) de la mezcla para así lograr que el fluido llegue a superficie a partir de un diferencial de presiones.

Esta técnica se usa principalmente para hidrocarburos atrapados en rocas con muy baja permeabilidad y porosidad con el propósito final de conectar estas fracturas y crear canales permeables para que así el fluido fluya a superficie más fácilmente.

- **Historia Del Fracturamiento Hidráulico.**

El fracturamiento hidráulico fue desarrollado en Estados Unidos y por más de 50 años se ha venido utilizando esta técnica en pozos verticales y hasta la década de los 80 comenzó la aplicación de este en pocos pozos horizontales.

Esta técnica solo fue conocida por pocos integrantes de la industria petrolífera hasta el año 2002, el cual fue mayormente implementado para extraer volúmenes grandes de petróleo a altas tasas de producción en Barnnet Sale (Una formación geológica ubicada en Texas). En este punto se marcó el comienzo de explotación de yacimientos no convencionales en pozos horizontales y la industria empezó a tener grandes avances y transformaciones (Soliman y Dusterhoft, 2016),

**Figura 1.**

*Evolución del fracking*

<b>Tipo de Fracking</b>	<b>Descripción</b>
Primeras técnicas de fracturación	Mediante el uso de explosivos como la nitroglicerina y el gel napalm (gasolina gelatinosa)
Segundas técnicas de fracturación	Uso del agua con geles químicos y espuma
Slickwater fracking	Se emplean más grandes cantidades de agua con inhibidores y tensoactivos para a lo largo de una formación rocosa crear una serie de fracturas.
Movable Sleeves	Proceso de fracturación de un tubo, con varias fisuras para adecuarlo en los pozos y permita que se filtre la mayoría del gas que emerge.
HiWAY	Se optimiza el proceso usando menos agua y arena que el fracking convencional, generando grietas grandes en la perforación como en los actuales procesos. Su creador es la multinacional Schlumberger.
RapidFrac	Proceso más rápido y barato que el fracking tradicional el cual fractura las formaciones en forma horizontal y luego inyecta los fluidos asegurando que las rocas cercanas igualmente se agrieten.

*Nota.* La Figura representa la revolución energética del siglo XXI, Tomado de: Sánchez Cano, J. E. (2015). LA Revolución energética del siglo xxi: fracturación hidráulica versus energía renovable. Perfiles De Las Ciencias Sociales, 2(3). <https://revistas.ujat.mx/index.php/perfiles/article/view/787>

## **4.2. Fuentes De Agua**

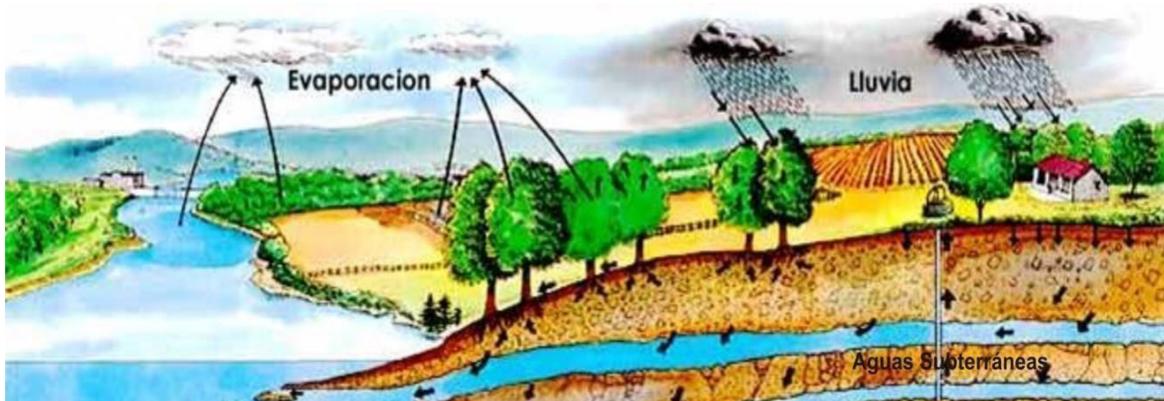
### **4.2.1 Origen de las Aguas Superficiales y Subterráneas**

Estas fuentes de agua se crean a partir de un ciclo básico hidrológico sin fin en el cual la energía cae a los océanos proveniente del sol para así ser evaporada, para que luego bajo ciertas condiciones se condense y caiga a la superficie en forma de lluvia por las nubes, después esta es desplazada por la superficie hasta retenerse en los árboles la cual regresa a la atmósfera por

evapotranspiración. El excedente de esta agua baja por las raíces de los árboles debido a la fuerza de gravedad el cual desciende por canales permeables generados por estos hasta quedar en un reservorio, Luego estas pueden subir a superficie por medio de manantiales el cual desemboca en los océanos y puede continuar su ciclo hidrológico. Esta agua almacenada en acuíferos se puede encontrar en diferentes profundidades y ambientes. (Ordoñez, 2011).

**Figura 2**

*Ciclo del agua*



*Nota.* La figura representa el ciclo del agua. Tomado de : Ordoñez Gálvez, J. J.(2011).Cartilla técnica: Aguas subterráneas-acuíferos. Sociedad Geográfica de Lima. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/aguas\\_subterranas.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf).

#### **4.2.2 Acuíferos**

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y del Decreto 1640 de 2012 se define como una roca o sedimentos que almacena y transporta el agua por sus caracteres especiales de porosidad y permeabilidad, el cual está constituido por zonas de recarga y descargas, y establece una conexión con las aguas marinas y supervigiles con las cuales emana aproximadamente el 30% de su caudal hacia estos.

#### **4.3 Contaminación De Las Aguas Subterráneas Y Superficiales**

Esta se define como la afectación en la calidad de las aguas debido al cambio de las características fisicoquímicas que pueden ser de origen natural o antropogénico.

Esta consecuencia de deterioro de la calidad del agua se da a partir de eventos geológicos naturales o a causa uso de sustancias químicas peligrosas, radiactivas, aceites, lodos entre otros fluidos usados en el fracturamiento hidráulico, además de escenarios como derrames, fugas, transporte, almacenamiento y manejo de residuos que se den al momento de llevar acabo esta práctica.

### 4.3.1 Origen De La Contaminación

- **Origen Natural.**

Esta forma de contaminación surge debido a la interacción entre la presencia, distribución y composición de los hidrocarburos en la corteza terrestre, influenciada por la dinámica tectónica y los ciclos hidrológicos. Los vestigios resultantes de estos procesos generan gases nobles, hidrocarburos y composiciones inorgánicas que dejan huellas geoquímicas en las capas subterráneas. Estas huellas se utilizan para discernir el origen de los hidrocarburos que han migrado de manera natural (Woda et al., 2018).

En ciertos contextos, como escenarios en los cuales el metano (CH<sub>4</sub>) es el protagonista, su migración se evidencia de manera predominante en comparación con otras sustancias. Específicamente, el metano migra desde acuíferos y formaciones subterráneas hacia acuíferos destinados para el consumo de agua potable. Dichas situaciones son identificadas a través de pruebas de naturaleza geoquímica.

#### **Causas Y Consecuencias De La Contaminación En Las Aguas Subterráneas De Origen Natural**

- **Causas**

- **Migración de Químicos Contaminantes de la Formación Hasta las Fuentes de Agua Potable.** La sal natural y rica en gas de las aguas subterráneas son derivadas de salmueras profundas y formaciones ricas en gas producto de factores topográficos generando una migración de gas y sal natural a lo largo del tiempo (Vidic et al., 2013).
- **Migración de Aguas Subterráneas Contaminadas Desde un Acuífero Profundo Preexistente Hacia un Acuífero Somero.** Este escenario se genera a partir de un acuífero profundo preexistente, el cual presenta componentes de metano en el agua al estar sometido bajo cargas de profundidad y elementos químicos contaminantes, los cuales migran y generan una recarga en el acuífero somero por canales de permeabilidad y porosidad. (Woda et al., 2018).
- **Efecto Natural de Migración a Causa del Fracturamiento Hidráulico.** El cual se afirma que contaminantes (no provenientes del fluido inyectado) pueden llegar a los acuíferos por transporte advectivo, de manera natural, lo cual es un hecho que puede tardar millones de años, pero a consecuencia del fracturamiento hidráulico este tiempo es recortado drásticamente (Myers, 2012).

- **Consecuencias**

- **Contaminación de acuíferos con metano.** Este gas puede migrar desde los pozos petroleros fracturados(fracking) hacia acuíferos subterráneos si no se llegase a implementar adecuadas medidas de prevención. La presencia de este en las aguas subterráneas puede llegar a afectar su calidad y potabilidad, y en casos muy extremos, puede llegase a ser un riesgo de explosión si se acumula en espacios muy cerrados.
- **Contaminación por sustancias preexistentes en los acuíferos y formaciones profundas.** En el proceso de fracturamiento hidráulico, los fluidos de fracturamiento inyectados pueden llegar a hacer contacto con algunas sustancias ya preexistentes en los acuíferos y en profundas formaciones geológicas con metales pesados, minerales y otros compuestos tóxicos. Lo cual esto puede llegar a ocasionar una liberación de sustancias y una migración hacia los acuíferos, contaminando el agua subterránea y afectando la calidad de esta.
- **Aumento en la salinidad de las aguas subterráneas.** En general los fluidos de fracturamiento tienen altas concentraciones de sales o si se utilizan aguas saladas en el proceso, puede generar un aumento en la salinidad de las aguas subterráneas cercanas al pozo fracturado. Esto afecta la calidad del agua para uso humano, ya que el agua al tener una alta salinidad puede ser inadecuada para algunos usos.

- **Origen Antropogénico**

La fuente de contaminación de origen antropogénico surge principalmente debido a la falta de optimización en los procesos y al uso de sustancias químicas y radiactivas durante la ejecución del fracturamiento hidráulico.

El fracturamiento hidráulico, como actividad humana, es la principal generadora de contaminación en los acuíferos subterráneos y superficiales. Esto se debe a que su implementación no se lleva a cabo bajo regulaciones óptimas durante las fases de perforación, producción y manejo de residuos asociados a esta práctica.

- **Causas Y Consecuencias De La Contaminación En Aguas Superficiales Con Origen Antropogénico**

- **Causas**

- **Derrames en la Superficie.** Uno de los principales riesgos ambientales del manejo de productos químicos y fluidos en superficie empleados en el fracturamiento hidráulico, consiste en que se pueden generar derrames o fugas de los insumos químicos y de los fluidos de

estimulación o a lo largo de las rutas de transportes en los sitios de almacenamiento. Los fluidos o sustancias derramadas en el suelo pueden infiltrarse en el suelo y migrar hacia los acuíferos generando posiblemente contaminación aguas superficiales cercanas al are de perforación por efectos de escorrentía o incluso una contaminación alas aguas subterráneas (Cruz, 2013).

- Estos eventos suelen ocurrir con frecuencia en: roturas de tanques, fallas en equipos, roturas de geomembranas, sobrellenos accidentales, durante las actividades de manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas empleadas en el fracking y de las aguasresiduales en superficie.
- **Disposición De Residuos Líquidos.** Las aguas residuales en las operaciones de fracturamiento hidráulico son las que generan mayores volúmenes al producir recursos noconvencionales (Jiménez Y Fabián, 2014). Además, que una proporción del 10% al 70% del agua inyectada retorna a superficie a través del pozo, como contraflujo, durante los siguientes 30 días, lo que equivale a un volumen entre 1,5 y 10,5 millones de litros de agua contaminada con grandes cantidades de sustancias disueltas en formaciones como metales, sales y sustancias radiactivas, además de los aditivos utilizados para fracturar (Manzanares, 2014). Se describirán 3 posibles situaciones
- Este se da cuando los residuos son enviados a plantas de tratamiento y son descargados en cuerpos de agua potable de los cuales se abastece una población.
- En este escenario el agua es descargada en pozos profundos, pero se ocasionan filtraciones a la superficie debido al flujo natural que se produce a través de fisuras subterráneas o canales permeables.
- Por último, se almacenan los residuos en pozos para que posteriormente sean evaporados por el calor solar, este escenario genera riesgos drásticos en el medio ambiente ya que genera una contaminación en la calidad del aire como resultado de la evaporización y afecta a toda la zona cercana a este proceso.
- **Consecuencias**
  - **Aumento en la salinidad de las aguas superficiales.** En el proceso de fracturamiento, se puede utilizar agua salada como componente de los fluidos de fracturamiento. Si esta agua salada lograra llegar a cuerpos de agua superficiales debido a fugas, derrames u otros eventos, puede llegarse a aumentar la salinidad del agua superficial, lo que podría afectar la vida acuática y el uso humano del agua.

- **Contaminación de cuerpos de aguas superficiales con metales pesados.** Unos cuantos aditivos y compuestos presentes en los fluidos de fracturamiento los cuales pueden tener metales pesados que, en caso de ser liberados accidentalmente, podrían contaminar los cuerpos de agua superficiales y ser un riesgo para las especies acuáticas y la salud humana.
- **Contaminación de cuerpos de aguas superficiales con hidrocarburos aromáticos policíclicos.** Estos hidrocarburos son sustancias químicas que pueden estar presentes en algunos fluidos de fracturamiento. En cuyo caso donde estos sean liberados al medio ambiente, ya sea por fugas o disposición inadecuada de los fluidos de retorno, pueden contaminar las aguas superficiales y ser un riesgo para la salud humana y el ecosistema acuático.
- **Contaminación de cuerpos de aguas superficiales con sólidos suspendidos.** En el proceso de fracturamiento, se utilizan arenas u otros materiales como agentes de soporte (apuntalantes) para mantener abiertas las fracturas en las formaciones rocosas. En dicho caso en el cual los sólidos suspendidos sean liberados al medio ambiente, estos pueden afectar la calidad del agua para la salud humana y la vida acuática.
- **Contaminación de cuerpos de aguas superficiales con compuestos orgánicos volátiles.** Existen algunos aditivos y sustancias presentes en los fluidos de fracturamiento que pueden contener de estos. En caso de liberación de estos al agua superficial, estos pueden representar un riesgo para el medio ambiente y la salud humana.
- **Acumulación de sedimentos en los cuerpos de aguas superficiales.** Usualmente en los procesos de fracturamiento, se pueden generar grandes volúmenes de agua de retorno que contiene sedimentos, productos químicos y otras sustancias. Cuando estos fluidos de retorno no son manejados de manera adecuada, pueden contribuir a la acumulación de sedimentos en las aguas superficiales los cuales pueden alterar la calidad del agua.

#### ✚ **Causas Y Consecuencias De La Contaminación En Aguas Subterráneas Con Origen Antropogénico**

- **Causas**

- **Migración a Través de las Grietas del Subsuelo.** Este es uno de los problemas de contaminación a los cuerpos de agua subterráneos más conocidos ya que se genera si se tiene un acuífero cercano al pozo, en dicho caso al tener fugas, estas sustancias se pueden filtrar y llegar al acuífero para contaminarlo. Estas migraciones se pueden generar por fallas, fugas o factores de permeabilidad o porosidad que causen la filtración o canales permeables para que

este migre hacia la reserva de agua (Darrah et al., 2014).

- **Reventones.** Son ocasionados por liberación de gas inesperado en el interior del pozo, consecuencia de una sobrepresión que puede llegar a afectar las zonas de agua cercanas. Además de la exposición que implica perforar en zonas sobre presurizadas y el uso de fluidos de alta presión en el fracturamiento hidráulico. Esto provoca una grave contaminación a las aguas subterráneas, suelo y atmósfera debido a la emisión de gases.
- **Grietas en el Casing.** En los pozos revestidos y sellados los anulares con cemento, pueden generarse grietas por las que el gas asciende y logra alcanzar los acuíferos superficiales, lo cual ocasiona una contaminación. Si el cemento falla, es un principal factor de migración hacia los acuíferos de agua. Por lo cual un óptimo cemento en el revestimiento y en el casing pueden mitigar este tipo de incidentes.
- **Gas Metano.** Este gas natural está conformado principalmente por metano y es un gas de efecto invernadero tan potente que atrapa 85 veces más calor que el CO<sub>2</sub>. Debido a las migraciones de éste por fuga en el fracturamiento hidráulico, puede ser mucho más dañino y generar mayor impacto ambiental que la quema de carbón, (Colombia.com, 2018)
- **Flow back.** Se da cuando el fluido de fractura retorna a superficie, este residuo llamado Flow back es debido a los malos procesos de aislamiento en los tubos de revestimiento y a la cementación en los pozos. Este fluido es altamente contaminante ya que absorbe todas las sustancias presentes altamente radiactivas y cancerígenas de la roca. La mayoría de estas mezclas se quedan a 1000 metros en el subsuelo, donde hay menos riesgo de las reservas de aguas subterráneas utilizadas para el consumo humano (Paz Y Salinas, 2012)
- **Consecuencias**
  - **Aumento en la salinidad de las aguas subterráneas.** A veces los fluidos de fracturamiento se filtran en acuíferos subterráneos, lo cual puede ocasionar un aumento de la salinidad de las aguas subterráneas, lo que puede afectar la calidad del agua y su uso para consumo humano.
  - **Contaminación de acuíferos con compuestos orgánicos volátiles.** Existe algunos compuestos orgánicos volátiles que están presentes en los fluidos de fracturamiento, estos pueden migrar a través de la formación rocosa hacia los acuíferos subterráneos e ir contaminando el agua subterránea y afectando su calidad.

- **Contaminación de acuíferos con metano.** La preocupación este es porque es un gas de efecto invernadero que puede migrar desde los pozos petroleros fracturados hacia los acuíferos subterráneos, lo cual puede contaminar las aguas subterráneas.

#### 4.4 Efectos En La Salud Humana

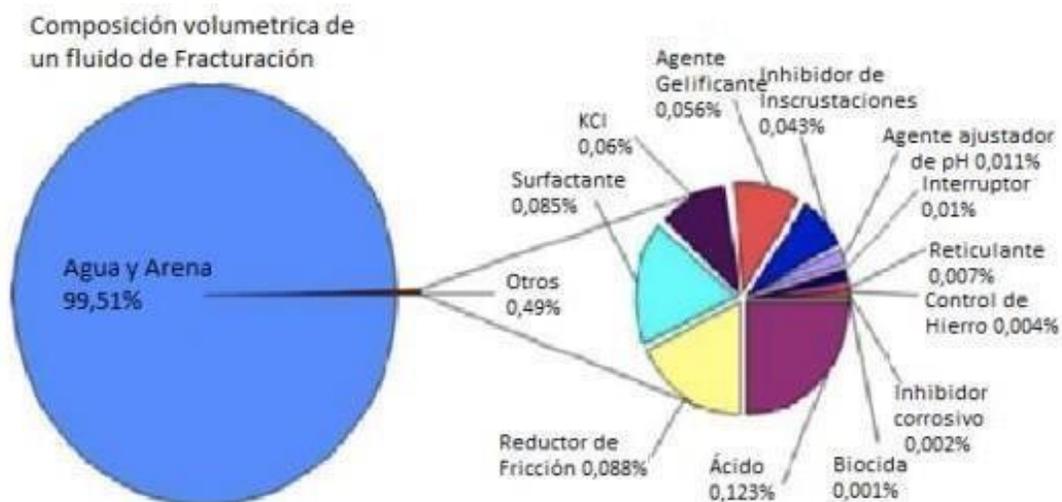
Se realizó un análisis de los fluidos que generan impacto en la salud humana al momento de emplear la técnica del fracturamiento hidráulico, para así generar una perspectiva de los riesgos que afrontan las comunidades cercanas que habitan cerca a estas actividades y así establecer un control de la salud y prevención de riesgos.

##### 4.4.1 Composición del Fluido de Fracturamiento

La creación de un fluido de fracturamiento requiere equipos especializados para realizarla mezcla química de una variedad de diferentes aditivos. Estos aditivos pueden ser biocidas, inhibidores de corrosión, reductores de fricción e inhibidores de incrustaciones, entre otros (Carter, et al., 2013). A continuación, una gráfica de la constitución del fluido de perforación:

**Figura 3.**

*Composiciones Volumétrica de un fluido de fracturación*



**Nota.** La figura representa la composición volumétrica de un fluido de perforación. Tomado de: Arnedo, A. E., y Yunes, K. M. (2015). Fracking : Extracción de gas y petróleo no convencional , y su impacto ambiental. Universidad de San Buenaventura. <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/32df2878-288a-450e-85ce-65e663970253/content>.

Se determina que la mayor parte del fluido de perforación está constituido por agua y arena (agente apuntalante) y el 0,5% aproximadamente son aditivos químicos usados para optimizar el proceso de perforación.

#### 4.4.2 Aditivos Químicos

Los aditivos químicos que normalmente son utilizados en el fracturamiento hidráulico en pozos petroleros son sustancias añadidas a los fluidos de fracturamiento para poder mejorar su rendimiento y eficiencia en la extracción de hidrocarburos. Estos aditivos se seleccionan cuidadosamente para cumplir funciones específicas durante el proceso de fracturamiento.

A continuación, Estos son los principales aditivos usados en el fracturamiento hidráulico, el uso de estos varía dependiendo de las profundidades, presiones y condiciones operaciones que se den en el pozo (Barbosa, 2018):

- Componentes gelificantes y espumosos – Facilitar transporte en fracturas al disminuir la viscosidad.
- Reductores de fricción –Reducción de tensión entre fluido y tubería para facilitar su transporte en la estimulación.
- Reticulantes – Genera mayor viscosidad y elasticidad aumentando el tamaño de las moléculas.
- Rompedores –Disminuyendo la viscosidad lo cual permite que la mezcla salga con mayor facilidad de las fracturas creadas artificialmente y así poder dar paso al hidrocarburo que se está intentando extraer.
- Reguladores de pH – Alcalinos que modifican el pH. Para dar mayor beneficio a otros aditivos.
- Biácidos – Para destruir las bacterias que puedan dañar la mezcla y hacer óptimo el proceso.
- Inhibidores de corrosión –Crean una capa protectora en la tubería para evitar cualquier posible daño o interacción entre los ácidos, las sales, o los gases que están saliendo.
- Inhibidores de escamas – Evitan una reducción de la permeabilidad.
- Control de hierro –evita que los precipitados de hierro bloqueen las fracturas o las tuberías (reducen la permeabilidad de la roca reservorio, la productividad del pozo y el porcentaje de recobro de fluido).
- Estabilizadores de arcillas – Evitan el hinchamiento de las arcillas en la formación.
- Surfactantes –Son usados para mantener un control sobre la viscosidad y reducir la tensión superficial entre el fluido de inyección y la formación, con el objetivo de permitir y facilitar la recuperación del fluido que fue inyectado.
- Los químicos usados en el fracturamiento hidráulico son clasificados detalladamente y usados

dependiendo de los gradientes de presión, características geológicas, temperaturas, mineralogía y litologías encontradas al momento de realizar la práctica. A continuación, una tabla con la lista de aditivos usados comúnmente para el fracturamiento hidráulico:

**Figura 4.**

*Lista de aditivos comúnmente usados en el fracturamiento hidráulico.*

<b>Chemical Name</b>	<b>CAS</b>	<b>Chemical Purpose</b>	<b>Product Function</b>
Ácido clorhídrico	007647-01-0	Ayuda a disolver minerales e iniciar el fracturamiento de las rocas	Ácido
Glutaraldehído	000111-30-8	Elimina las bacterias en el agua que producen subproductos corrosivos	Bioácido
Cloruro de amonio cuaternario	012125-02-9	Elimina las bacterias en el agua que producen subproductos corrosivos	Bioácido
Cloruro de amonio cuaternario	061789-71-1	Elimina las bacterias en el agua que producen subproductos corrosivos	Bioácido
Tetrakis Hidroximetil-Sulfato fosfórico	055566-30-8	Elimina las bacterias en el agua que producen subproductos corrosivos	Bioácido
Persulfato amoniacal	007727-54-0	Permite una degradación retrasada del gel	Rompedor
Cloruro Sódico	007647-14-5	Estabilizador del producto	Rompedor
Peróxido de Magnesio	014452-57-4	Permite una degradación retrasada del gel	Rompedor
Óxido de Magnesio	001309-48-4	Permite una degradación retrasada del gel	Rompedor
Cloruro Calcio	010043-52-4	Estabilizador del producto	Rompedor
Cloruro de Colina	000067-48-1	Evita que las arcillas se hinchen o se desplacen	Estabilizador de arcilla
Tetrametil Cloruro de amoniacal	000075-57-0	Evita que las arcillas se hinchen o se desplacen	Estabilizador de arcilla
Cloruro Sódico	007647-14-5	Evita que las arcillas se hinchen o se desplacen	Estabilizador de arcilla
Isopropanol	000067-63-0	Estabilizador del producto y / o agente de acondicionamiento para el invierno	Inhibidor de corrosión

**Figura 4. (Continuación)**

Metanol	000067-56-1	Estabilizador del producto y / o agente de acondicionamiento para el invierno	Inhibidor de corrosión
Ácido Fórmico	000064-18-6	Evita corrosión del tubo	Inhibidor de corrosión
Acetaldehído	000075-07-0	Evita corrosión del tubo	Inhibidor de corrosión
Petróleo destilado	064741-85-1	Líquido transportador para boratos o reticulantes de circonato	Reticulador
Destilado de petróleo liviano hidrotratado	064742-47-8	Líquido transportador para boratos o reticulantes de circonato	Reticulador
Meta borato potásico	013709-94-9	Mantiene la viscosidad del fluido a medida que aumenta la temperatura	Reticulador
Circonato de Trietanolamina	101033-44-7	Mantiene la viscosidad del fluido a medida que aumenta la temperatura	Reticulador
Tetra borato sódico	001303-96-4	Mantiene la viscosidad del fluido a medida que aumenta la temperatura	Reticulador
Ácido Bórico	001333-73-9	Mantiene la viscosidad del fluido a medida que aumenta la temperatura	Reticulador
Complejo de circonio	113184-20-6	Mantiene la viscosidad del fluido a medida que aumenta la temperatura	Reticulador
Boratos	N/A	Mantiene la viscosidad del fluido a medida que aumenta la temperatura	Reticulador
Etilenglicol	000107-21-1	Estabilizador del producto y / o agente de acondicionamiento para el invierno	Reticulador
Metanol	000067-56-1	Estabilizador del producto y / o agente de acondicionamiento para el invierno	Reticulador
Poliacrilamida	009003-05-8	Minimiza la fricción	Reductor de fricción
Petróleo destilado	064741-85-1	Fluido portador de la poliacrilamida que reduce la fricción.	Reductor de fricción
Destilado de petróleo liviano hidrotratado	064742-47-8	Fluido portador de la poliacrilamida que reduce la fricción	Reductor de fricción

**Figura 4. (Continuación)**

Metanol	000067-56-1	Estabilizador del producto y / o agente de acondicionamiento para el invierno	Reductor defricción
Etilenglicol	000107-21-1	Estabilizador del producto y / o agente de acondicionamiento para el invierno	Reductor de fricción
Goma Guar	009000-30-0	Espesa el agua para suspender la arena	Agente Gelificante
Destilado de petróleo liviano hidrotratado	064742-47-8	Fluido portador de goma guar en geles líquidos	Agente Gelificante
Metanol	000067-56-1	Estabilizador del producto y / o agente de acondicionamiento para el invierno	Agente Gelificante
Polisacárido	068130-15-4	Espesa el agua para suspender la arena	Agente Gelificante
Etilenglicol	000107-21-1	Estabilizador del producto y / o agente de acondicionamiento para el invierno	Agente Gelificante
Ácido cítrico	000077-92-9	Previene la precipitación de óxidos de metal	Control de hierro
Ácido acético	000064-19-7	Previene la precipitación de óxidos de metal	Control de hierro
Ácido tioglicólico	000068-11-1	Previene la precipitación de óxidos de metal	Control de hierro
Eritorbato sódico	006381-77-7	Previene la precipitación de óxidos de metal	Control de hierro
Laurilsulfato	000151-21-3	Previene la formación de Emulsiones en el fluido defracturación	No emulsionante
Isopropanol	000067-63-0	Estabilizador del producto y / o agente de acondicionamiento para el invierno	No emulsionante
Etilenglicol	000107-21-1	Estabilizador del producto y / o agente de acondicionamiento para el invierno	No emulsionante
Hidróxido sódico	001310-73-2	Ajusta el pH del fluido para mantener la efectividad de otros componentes, como los reticuladores	Agente de ajuste de pH

**Figura 4. (Continuación)**

Hidróxido potásico	001310-58-3	Ajusta el pH del fluido para mantener la efectividad de otros componentes, como los reticuladores	Agente de ajuste de pH
Ácido Acético	000064-19-7	Ajusta el pH del fluido para mantener la efectividad de otros componentes, como los reticuladores	Agente de ajuste de pH
Carbonato sódico	000497-19-8	Ajusta el pH del fluido para mantener la efectividad de otros componentes, como los reticuladores	Agente de ajuste de pH
Carbonato potásico	000584-08-7	Ajusta el pH del fluido para mantener la efectividad de otros componentes, como los reticuladores	Agente de ajuste de pH
Copolimero de Acrilamida y acrilato sódico	025987-30-8	Evita depósitos de escamas en la tubería	Inhibidor de escamas
Policarboxilato sódico	N/A	Evita depósitos de escamas en la tubería	Inhibidor de escamas
Ácido fosfónico	N/A	Evita depósitos de escamas en la tubería	Inhibidor de escamas
Laurilsulfato	000151-21-3	Usado para incrementar la viscosidad de la fracturación hidráulica.	Surfactante
Etanol	000064-17-5	Estabilizador del producto y / agente de acondicionamiento para el invierno	Surfactante
Naftaleno	000091-20-3	Fluido portador de surfactantes activos	Surfactante
Metanol	000067-56-1	Estabilizador del producto y / agente de acondicionamiento para el invierno	Surfactante
Alcohol Isopropílico	000067-63-0	Estabilizador del producto y / agente de acondicionamiento para el invierno	Surfactante
Dibutoxietanol	000111-76-2	Estabilizador del producto	Surfactante

**Nota.** La figura representa la lista de aditivos comúnmente usados en el fracturamiento hidráulico.

Tomado de: *Barbosa, D. E. (2018). El rol de los agentes químicos en el fracturamiento hidráulico Monografía. Uniandes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/38763/u808577.pdf?sequence=1>*

#### 4.4.3 Químicos Tóxicos (Impactos en la salud)

Los químicos traen consigo consecuencias hacia los cuerpos de aguas que son filtrados desde las aguas superficiales hasta las subterráneas por medio de canales de permeabilidad y porosidades de la roca, al contaminarse estas fuentes de agua, esto genera impactos en la salud de las personas ya que estas aguas son fuentes hídricas de agua potable (Myers, 2012).

A continuación, una tabla con los principales componentes y efectos que genera en la salud de las personas por el uso de aditivos químicos en la técnica de fracturamiento hidráulico(Barbosa, 2018):

**Figura 5.**

*Efectos En La Salud Por Aditivos.*

<b>Componente</b>	<b>Efectos potenciales en la salud</b>
Sílice Cristalino	Silicosis y cáncer
Metanol	Irritación de los ojos/daños, dolor de cabeza, fatiga, muerte.
Isopropanol	Irritación ocular, irritación respiratoria, vómitos
Destilado liviano hidrotratado	Irritación de la piel, irritación de los ojos, dolor de cabeza, mareos, daño hepático, daño renal, daño arterial.
2-Butoxietanol	Irritación de la piel, irritación de la nariz, dolor de cabeza, náuseas, vómitos, mareos.
Etilenglicol	Estupor, coma, insuficiencia renal grave.
Diésel	Enrojecimiento, picazón, ardor severo, daño en la piel, cáncer de piel.
Hidróxido de Sodio	Daño pulmonar, ardor ocular, ardor en la piel, quemaduras en las membranas (Lejía)
Naftaleno	Irritación en las vías respiratorias, náuseas, vómitos, dolor abdominal, fiebre, cáncer, muerte.
Formaldehido	Daño pulmonar, problemas reproductivos en las mujeres, cáncer, muerte.
Ácido Sulfúrico	Corrosivo para todos los tejidos corporales, daño pulmonar, pérdida de visión, cáncer, muerte.

**Figura 5. (Continuación)**

Benceno	Mareos, debilidad, dolor de cabeza, dificultad para respirar, constricción del pecho, náuseas, vómitos, insuficiencia de la médula ósea, leucemia, cáncer.
Plomo	Daños del sistema nervioso, trastornos cerebrales, trastorno de la sangre, cáncer.
Ácido Bórico	Daño renal, insuficiencia renal
Combustible #2	Mareos, somnolencia, irritación ocular, irritación de la piel, cáncer de piel.
Kerosen	Irritación ocular, irritación de la nariz, somnolencia, convulsiones, coma, muerte.
Ácido Fluorhídrico	El endurecimiento en los huesos, quemaduras, corrosión de los tejidos del cuerpo, irritación, muerte.
Ácido Clorhídrico	Corrosivo para los tejidos, irritación de los ojos, problemas respiratorios, muerte.
Ácido Fórmico	Quemaduras en la piel, quemaduras oculares, irritación de los pulmones y dolor, náuseas, vómitos

*Nota.* La figura representa los efectos que generan en la salud los aditivos químicos. Tomado de: Arnedo, A. E., y Yunes, K. M. (2015). Fracking : Extracción de gas y petróleo no convencional , y su impacto ambiental. Universidad de San Buenaventura. <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/32df2878-288a-450e-85ce-65e663970253/content>

#### **4.4.4 Control De La Salud**

##### **🚦 Análisis estadísticos**

Para esto se debe realizar un muestro en el cual se debe incluir a todas las personas que vivan cerca de las zonas donde se realice la práctica del fracturamiento hidráulico y con base en esto, recopilar información continua y dinámica de estadísticas de natalidad, enfermedades respiratorias e incidencia al cáncer. Para posteriormente generar una evaluación con un panorama más específico y que se ejecute un monitoreo de los efectos que este puede generar a la salud humana a partir una la relación de información en los aspectos ambientales, operaciones al momento de emplear esta práctica y la salud.

##### **🚦 Distanciamiento a Zonas de Riesgo**

Por medio de la investigación de escenarios en los cuales se hace uso del fracturamiento

hidráulico cerca a comunidades, se ha establecido que es recomendable tener un distanciamiento no a menos de 2.5 kilómetros de la zona geográficas en la cual se realicen estas prácticas, ya que el uso de esta técnica genera un grave impacto ambiental en la calidad del aire y del agua.

## **5 CONCLUSIONES**

A través de la revisión bibliográfica exhaustiva de la literatura existente, se pudo identificar que el Fracturamiento Hidráulico en Yacimientos No Convencionales es una de las principales causas de contaminación de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas, lo que puede tener graves consecuencias para la salud humana.

Se pudo identificar que el Fracturamiento Hidráulico en Yacimientos No Convencionales es una técnica utilizada para extraer gas y petróleo de formaciones geológicas profundas, y que esta técnica puede tener un impacto significativo en las fuentes hídricas superficiales y subterráneas debido a la liberación de sustancias químicas tóxicas.

Se pudo determinar que las principales causas de contaminación de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas por el uso del Fracturamiento Hidráulico en Yacimientos No Convencionales son la liberación de sustancias químicas tóxicas y la mala gestión de los residuos generados por esta técnica. Las consecuencias de esta contaminación pueden incluir la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo y la contaminación del agua potable, lo que puede tener graves consecuencias para la salud humana.

Se pudo identificar que las principales sustancias químicas liberadas por el Fracturamiento Hidráulico en Yacimientos No Convencionales que pueden generar enfermedades y daños a la salud de las personas son los hidrocarburos, los metales pesados, los productos químicos utilizados en el proceso de fracturamiento y los contaminantes biológicos. Estas sustancias pueden generar efectos negativos en la salud humana, como problemas respiratorios, cáncer, enfermedades del sistema nervioso y trastornos reproductivo

## BIBLIOGRAFÍA

- Arango Figueroa, M. (2020). Identificación de impactos ambientales potenciales sobre la oferta de servicios ecosistémicos por proyectos de fracturación hidráulica en el contexto de ecosistemas de humedales. Universidad de antioquia. [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15497/1/ArangoManuela\\_2020\\_IdentificacionImpactosAmbientales.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15497/1/ArangoManuela_2020_IdentificacionImpactosAmbientales.pdf).
- Aguirre Cárdenas, M. del P. y González Benítez, M. (2015). Gobernanza del agua en el sector de hidrocarburos. Universidad Católica. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/11e1b0c3-195c-48a0-a187-0da5dd4e671e/content>.
- Arnedo, A. E., y Yunes, K. M. (2015). Fracking : Extracción de gas y petróleo no convencional , y su impacto ambiental. [Trabajo de grado] Universidad de San Buenaventura. <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/32df2878-288a-450e-85ce-65e663970253/content>.
- Asrar, F. M., Wen, A. H., Nasser, S. A., Dinas, P. C., Newman, C., Bukley, A., Crist, K., & Irwin, D. (2018). Space technologies for monitoring health and environmental impact of hydraulic fracturing. *The Lancet. Planetary Health*, 2(11)
- Barbosa, D. E. (2018). El rol de los agentes químicos en el fracturamiento hidráulico Monografía. Uniandes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/38763/808577.pdf?sequence=1>
- Barreto Torres, N. (2016). Panorama actual de la fracturación hidráulica a partir del análisis de los procesos e impactos ambientales recopilados de algunas experiencias en Estados Unidos y Argentina. Fundación Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/644/1/5111679-2016-2-GA.pdf>.
- Borbón Bonilla, C. (2015). Identificación de los posibles impactos ambientales por el fracturamiento hidráulico (fracking) de yacimientos no convencionales. [Trabajo de grado]. Universidad Militar Nueva Granada. [https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7484/IDENTIFICACION%20DE%20LOS%20POSIBLES%20IMPACTOS%20AMBIENTALES%20POR%20EL%20FRACTURAMIENTO%20HIDRAULICA%20FRACKING%20DE%20YACIMIENTOS%20NO%20CONVENCIONALES\\_REV%2028](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7484/IDENTIFICACION%20DE%20LOS%20POSIBLES%20IMPACTOS%20AMBIENTALES%20POR%20EL%20FRACTURAMIENTO%20HIDRAULICA%20FRACKING%20DE%20YACIMIENTOS%20NO%20CONVENCIONALES_REV%2028)

- 1%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y .
- Carter, K., Hammack, R. & Hakala, J.(2013). Hydraulic fracturing and organic compounds - Uses disposal and challenges. SPE Eastern Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers.[https://edx.netl.doe.gov/ucr/wp-content/uploads/2015/09/Carter\\_SPE-165692-MS.pdf](https://edx.netl.doe.gov/ucr/wp-content/uploads/2015/09/Carter_SPE-165692-MS.pdf)
- Charry-Ocampo, S. (2018). Effects of hydraulic stimulation (fracking) on water resources: implications in the colombian context. Universidad Militar Nueva Granada.<http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v28n1/0124-8170-cein-28-01-00135.pdf>.
- Darrah, T. H., Vengosh, A., Jackson, R. B., Warner, N. R., & Poreda, R. J. (2014). Noble gases identify the mechanisms of fugitive gas contamination in drinking-water wells overlying the Marcellus and Barnett Shales. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(39).
- Delgado Méndez C. Impactos ambientales y económicos derivados de la práctica del fracking en Colombia. Universidad Libre.<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/18748/Paper.pdf?sequence=5&isAllowed=y> .
- Dröge, S., & Westphal, K. (2013). ¿Gas de esquisto para un mejor clima?: la revolución de la fractura hidráulica en Estados Unidos desafía la Política Climática Europea e Internacional. Berlín: Instituto Alemán de Asuntos Internacionales y de Seguridad. [https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/43772/ssoar-2013-westphal\\_et\\_al-Gas\\_de\\_esquisto\\_para\\_un.pdf?sequence=1&isAllowed=y&lnkname=ssoar-2013-westphal\\_et\\_al-Gas\\_de\\_esquisto\\_para\\_un.pdf](https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/43772/ssoar-2013-westphal_et_al-Gas_de_esquisto_para_un.pdf?sequence=1&isAllowed=y&lnkname=ssoar-2013-westphal_et_al-Gas_de_esquisto_para_un.pdf) .
- Gallegos, T. J., & Varela, B. A. (2015). Trends in hydraulic fracturing distributions and treatment fluids, additives, proppants, and water volumes applied to wells drilled in the United States from 1947 through 2010: Data analysis and comparison to the literatura. US Geological Survey .<https://pubs.usgs.gov/sir/2014/5131/pdf/sir2014-5131.pdf>
- Gutiérrez Alemán, D. M. (2018). Oportunidad, conveniencia y necesidad de la implementación del Fracking en Colombia. Universidad Católica.:<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/577b55f4-7dcf-4dba-9bd4-cd133b8be295>

- Guerrero Sánchez, N. P. (2016). El derecho fundamental a un medio ambiente sano en el marco de la explotación de recursos naturales no renovables: un estudio del fracking en Colombia. Universidad Católica. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/ca5cef4e-7e19-4bf0-aa95-fccaf9b7cc9e/content> .
- Haluszczak, L. O., Rose, A. W., & Kump, L. R. (2013). Geochemical evaluation of flowback brine from Marcellus gas wells in Pennsylvania, USA. Pennsylvania state university. [https://www.researchgate.net/publication/257265871\\_Geochemical\\_evaluation\\_of\\_flowback\\_brine\\_from\\_Marcellus\\_gas\\_wells\\_in\\_Pennsylvania\\_USA](https://www.researchgate.net/publication/257265871_Geochemical_evaluation_of_flowback_brine_from_Marcellus_gas_wells_in_Pennsylvania_USA)
- Jiménez A. y Fabián H. (2014). Consideraciones para la identificación de riesgos asociados a la exploración de crudos no convencionales en los Llanos Orientales-Colombia. [Trabajo de grado] Universidad Militar Nueva Granada. [https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11660/FABIAN\\_ALDANA\\_GIP\\_NOCTURNO\\_1300810.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11660/FABIAN_ALDANA_GIP_NOCTURNO_1300810.pdf?sequence=2&isAllowed=y) .
- Manzanares-Rivera J. L. (2014). Uso de agua en la extracción de gas de lutitas en el noreste de México: Retos de regulación ambiental. Estudios sociales (Hermosillo, Son.). <https://www.scielo.org.mx/pdf/estsoc/v22n44/v22n44a7.pdf>
- Mazo Murcia, C. (2020). Discusiones sobre el fracking en Colombia como una cuestión socio-científica. Universidad De Antioquia. [www.researchgate.net/profile/James-Arango-2/publication/335313947\\_Discusiones\\_sobre\\_el\\_fracking\\_en\\_Colombia\\_como\\_una\\_cuestion\\_sociocientifica/links/5d5dd1ec299bf1b97cfcf4c6/Discusiones-sobre-el-fracking-en-Colombia-como-una-cuestion-sociocientifica.pdf](http://www.researchgate.net/profile/James-Arango-2/publication/335313947_Discusiones_sobre_el_fracking_en_Colombia_como_una_cuestion_sociocientifica/links/5d5dd1ec299bf1b97cfcf4c6/Discusiones-sobre-el-fracking-en-Colombia-como-una-cuestion-sociocientifica.pdf).
- Molano Vargas, J. D. (2016). Evaluación de algunas estrategias de mitigación de la contaminación de aguas subterráneas en yacimientos no convencionales. Fundación Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/631/1/5111712-2016-2-GA.pdf> .
- Myers, T. (2012). Potential Contaminant Pathways from Hydraulically Fractured Shale to Aquifers. *Ground Water*, 50(6).
- Nolen-Hoeksema, R. Elementos Fracturamiento hidráulico, 2013. Universidad Nacional Autónoma De México. <http://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/4676/Asignaturas/1458/Archivo2.3329.pdf> .

- Ordoñez Gálvez, J. J.(2011).Cartilla técnica: Aguas subterráneas-acuíferos. Sociedad Geográfica de Lima. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/aguas\\_subterraneeas.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneeas.pdf).
- Ortega.R.B, (2018).El gran daño del “fracking” a Colombia.Telesurtv. <https://www.telesurtv.net/opinion/El-gran-dano-del-fracking-%20aColombia-20180503-0040.html>
- Paz Silva P.S y Salinas Tovar.(2012) M.a.estrategias sostenibles para la protección de aguas subterráneas frente a los efectos de la aplicación de la técnica de fracturación hidráulica (fracking).[Trabajo de grado]. Universidad Santo tomas .<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2403/PazPaula2016.pdf?sequence=2> .Acceso:Junio,05,2023
- Redaccion actualidad-Colombia.com.(2018).Los peores efectos producidos por el fracking.Colombia.com. <https://www.colombia.com/actualidad/economia/los-peores-efectos-producidos-por-el-fracking-205049>
- Solimán M.Y. y Dusterhoft Ron. (2016). Fracturing Horizontal Wells.McGraw- Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/binary/mheaeworks/579db2b3cc2e4711/eda5a469109afaf163bae41bca2204d8fe6e4c23cc8121bb01701a5f795c8ae8/book-summary.pdf>
- Sánchez Cano, J. E. (2015). La revolución energética del siglo xxi: fracturación hidráulica versus energía renovable. Perfiles De Las Ciencias Sociales, 2(3). <https://revistas.ujat.mx/index.php/perfiles/article/view/787>
- Vidic, et al. (2013). Impact of shale gas development on regional water quality. Sciencemag .340(6134).
- Woda, J., Wen, T., Oakley, D., Yoxtheimer, D., Engelder, T., Castro, M. C., & Brantley,S.L. (2018). Detecting and explaining why aquifers occasionally become degraded near hydraulically fractured shale gas wells. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 115(49)

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### RECOMENDACIONES

A lo largo del tiempo, el proceso de fracturamiento hidráulico ha experimentado una evolución con la inclusión de medidas que reemplazan compuestos riesgosos para la salud humana y el entorno, como el caso de la nitroglicerina utilizada como aditivo (Gallegos y Varela, 2015). Para abordar de manera eficaz estos riesgos ambientales, es crucial implementar un monitoreo continuo de los pozos y desarrollar análisis TDS que permitan identificar los componentes presentes en la salmuera utilizada en el fluido de inyección del fracturamiento hidráulico (Haluszczak et al., 2013). En esencia, este enfoque busca establecer un control más riguroso basado en indicadores para identificar las fuentes de fallos, en lugar de simplemente reemplazar los componentes químicos.

En relación a posibles deficiencias en la infraestructura y la integridad de los pozos, es esencial aplicar medidas de penalización y regulación a las empresas responsables de la contaminación en acuíferos subterráneos. Estas medidas buscan incentivar la optimización de prácticas de infraestructura y evitar daños al medio ambiente (David Suzuki Foundation, 2018).

Resulta fundamental implementar acciones que contribuyan a mejorar tanto la seguridad ambiental como la salud pública. Entre las recomendaciones destacadas se incluyen:

- Reemplazar los compuestos tóxicos y peligrosos que forman parte del fluido de fracturamiento por alternativas menos contaminantes.
- Realizar una gestión adecuada de los residuos líquidos generados a lo largo de todo el proceso de operación.
- Fortalecer estructuralmente las tuberías y otras instalaciones esenciales en las operaciones de perforación. Esto tiene como objetivo prevenir potenciales fugas, reventones y filtraciones que podrían impactar negativamente los acuíferos y las fuentes hídricas superficiales debido a la migración de contaminantes (Bertinat et al., 2014).
- Frente a derrames en la superficie, es esencial implementar supervisión regular del equipo utilizado para el transporte de fluidos entre los tanques de almacenamiento y la boca del pozo de perforación. Asimismo, se deben tomar precauciones durante el transporte del fluido hasta los puntos de inyección o tratamiento. En conclusión, es necesario abordar el transporte y almacenamiento del fluido de fracturamiento con suma precaución para prevenir derrames (Haluszczak et al., 2013).

Además, es recomendable:

- Utilizar tecnologías de monitoreo en tiempo real para detectar fugas y derrames de fluidos de fracturamiento durante el transporte y almacenamiento.
- Establecer protocolos de emergencia y planes de contingencia para una respuesta rápida ante cualquier derrame o fuga de sustancias tóxicas.
- Capacitar al personal encargado del transporte y almacenamiento de fluidos de fracturamiento en las mejores prácticas de seguridad ambiental y prevención de riesgos laborales.
- Realizar inspecciones periódicas de las instalaciones de almacenamiento y transporte de fluidos de fracturamiento para detectar posibles fallas o debilidades en la infraestructura.
- Promover la implementación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales para reducir la cantidad de desechos líquidos generados durante la operación.
- Establecer zonas de exclusión alrededor de las fuentes hídricas y otros cuerpos de agua para evitar los efectos negativos en la salud humana, como problemas respiratorios, cáncer, enfermedades del sistema nervioso y trastornos reproductivos.