

ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Análisis del Consumo de Agua en Operaciones de Fracturamiento Hidráulico Comparado  
con el Gasto Hídrico de otras Industrias

Sofía Mejía Noguera, Julián Esteban Barriga Soto

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniería de Petróleos

Director

Zuly Himelda Calderón Carrillo, PhD

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físico-Químicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2022

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Dedicatoria**

*Dedico esta tesis a mis padres Reinaldo Arturo Mejía y Fanny Noguera quienes me apoyaron  
constantemente durante este proceso*

*A mi novio Mateo quien me apoyó y alentó a continuar*

*A mis primas Sussan y Darcy que me apoyaron en el momento que más lo necesite para lograr  
la culminación de esta tesis*

*A mis familiares por su apoyo incondicional*

*A todos los que me apoyaron para lograr culminar esta tesis*

*Para ellos esta dedicatoria, pues es a ellos quienes se las debo por su apoyo incondicional.*

***Autor:*** Sofía Mejía Noguera

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Dedicatoria**

*Dedico esta tesis antes que nada a Dios por darme la inteligencia y permitirme iniciar y  
terminar este grandioso trabajo.*

*A mis padres Cristóbal Barriga y Patricia Soto quienes me apoyaron y animaron  
constantemente durante este proceso.*

*A mi familia quienes me apoyaron y alentaron a continuar creciendo.*

*A mis amigos por su apoyo incondicional*

*A todos los que me apoyaron directa e indirectamente para lograr culminar esta labor.*

*Para ellos esta dedicatoria, pues es a ellos quienes se las debo por su apoyo incondicional.*

***Autor: Julián Esteban Barriga Soto***

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### **Agradecimientos**

Me gustaría ofrecer mi agradecimiento, a todas aquellas personas que hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mi caminaron en todo momento y fueron inspiración, apoyo y fortaleza. En especial a mis padres, mi hermano, mi novio, gracias por guiarme e incentivar me a continuar a pesar de todos los obstáculos que se presentaron en mi camino.

Mi gratitud a la escuela de Ingeniera Petróleos, en especial a mi directora de tesis, PhD. ZULY HIMELDA CALDERON CARRILLO, por el apoyo y aportes en la elaboración y culminación de esta tesis.

Agradezco a mi amigo y compañero de estudio Julián Barriga Soto, quien ha estado presente desde el inicio de mi carrera universitaria ya que con él pude contar durante toda ella, tanto en aspectos educativos como personales, y con esto ser la persona con la cual di el último paso para culminar esta profesión; gracias por el apoyo para finalizar este proceso.

Por último, a todos mis compañeros y compañeras con los cuales compartí durante toda mi carrera universitaria, gracias por esos momentos que compartimos, por experiencias que me llevaron a ser la persona que soy hoy en día tanto personal como profesionalmente.

**Autor:** Sofía Mejía Noguera

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### **Agradecimientos**

Agradezco a toda mi familia, amigos, conocidos y allegados que de una u otra forma dejaron su huella en mí, motivándome siempre a la excelencia.

Siempre agradecido con Sofía Mejía Noguera, compañera y amiga incondicional, por confiar en mi para la realización de este increíble trabajo, por motivarme y siempre animarme a dar lo mejor de mí.

A mis padres y hermanos infinitas gracias, porque sin ellos, sin su apoyo, cariño, consejos no estaría terminando este trabajo y así cumplir mi sueño de ser ingeniero.

A mi alma mater la escuela de Ingeniera Petróleos, en especial a mi directora de tesis, PhD. ZULY HIMELDA CALDERON CARRILLO, por el apoyo, paciencia, dedicación y aportes en la elaboración y culminación de esta tesis.

**Autor:** Julián Esteban Barriga Soto

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Tabla de contenido**

Glosario.....	14
Resumen.....	20
Abstract.....	21
Introducción.....	22
1.    Objetivos.....	24
1.2 Objetivo General.....	24
1.3 Objetivos Específicos.....	24
2.    Marco legal.....	25
3.    Fracking y consumo de agua.....	28
3.1    Industria petrolera.....	28
3.1.1 Consumo de agua en la industria petrolera.....	31
3.2    Generalidades del Fracturamiento Hidráulico Multietapa a través de Pozos Horizontales. .....	34
3.3    Yacimientos no convencionales.....	37
3.3.1 Características de yacimientos no convencionales.....	39
3.3.2 Clasificación de yacimientos no convencionales.....	39
3.3.2.1 Tight gas (gas en areniscas de baja permeabilidad).....	40
3.3.2.2 Coal bed methane (gas asociado al carbón, CBM).....	40

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

3.3.2.3	Hidratos de metano (Moléculas de metano atrapadas en compuestos helados de agua).	41
3.3.2.4	Shale gas (gas en lutitas) Shale oíl (aceite en lutitas).	41
3.3.2.5	Shale oíl.	42
3.3.3	¿Qué es una lutita o Shale?	42
3.3.3.1	Caracterización de reservorios tipo shale.	42
3.4	Impacto ambiental en el uso del agua	47
3.5	Consumo agua en el fracturamiento hidráulico.	49
4.	Demanda de agua en otras industrias	58
4.1	Industria minera.	59
4.2	Agricultura	64
4.3	Industria avícola	69
4.4	Industria porcina.	73
4.5	Industria bovina.	76
5.	Unidad de medición	80
5.1	Historia de las unidades de volumen.	80
5.2	Sistema de unidades volumétricas.	81
5.2.1	Sistema internacional de unidades (SI).	82
5.2.2	Sistema anglosajón de unidades	82
5.3	Comparación de unidades	82
6.	Priorización del consumo de agua por industrias.	83

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

6.1	Tipos de matrices: .....	83
6.1.1	Matriz metodológica.....	84
6.1.2	Matriz de comparación .....	84
6.1.3	Método Leopold.....	84
6.1.4	Matriz de identificación de impactos.....	84
6.1.5	Matriz de datos .....	85
6.1.6	Método de Fernández Conesa.....	85
6.1.7	Método Batelle – Columbus .....	85
6.1.8	Métodos de valoración cuantitativos .....	86
6.1.9	Evaluación por puntos (point rating) .....	86
6.1.10	Comparación por factores.....	86
6.2	Matriz comparativa de datos .....	87
6.2.1	Análisis de diferentes parámetros por medio de gráficos de barras .....	88
6.2.1.1	Ganancias económicas.....	89
6.2.1.2	PIB .....	89
6.2.1.3	Empleo Generado .....	90
6.2.1.4	Consumo de agua .....	91
7	Análisis ambiental.....	94
7.2	Industria avícola .....	94
7.2.1	Residuos sólidos .....	94

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

7.2.2	Contaminación del agua .....	95
7.3	Industria porcina.....	95
7.3.1	Desechos sólidos.....	95
7.3.2	Uso hídrico.....	96
7.4	Industria bovina.....	96
7.4.1	Afectación del subsuelo.....	97
7.4.2	Impacto ambiental en Colombia en los recursos naturales.....	97
7.4.3	Contaminación del agua .....	98
7.5	Industria minera.....	98
7.5.1	Contaminación del subsuelo.....	99
7.5.2	Contaminación de aguas .....	99
7.6	Agricultura industrial .....	100
7.7	Fracturamiento hidráulico .....	101
7.7.1	Contaminación hídrica.....	102
7.7.2	Gasto hídrico.....	102
8	Conclusiones .....	105
	Recomendaciones .....	106
	Referencias.....	107

### Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Consumo total de agua utilizada en operaciones de la industria petrolera de 2016 a 2020 proporcionada por Ecopetrol. ....</i>	32
<b>Tabla 2.</b> <i>Registros de la CIH (Comisión Interinstitucional de Hidrocarburos) sobre operaciones de fracturamiento hidráulico en Colombia.....</i>	36
<b>Tabla 4.</b> <i>Potenciales recursos de oil Shale en Colombia. ....</i>	45
<b>Tabla 5.</b> <i>Potenciales recursos de Shale gas en Colombia. ....</i>	46
<b>Tabla 6.</b> <i>Propiedades petrofísicas formación La Luna.....</i>	47
<b>Tabla 7.</b> <i>Consumo de agua en un pozo para llevar a cabo el FHPH según diferentes autores ..</i>	50
<b>Tabla 8.</b> <i>Estimación de consumo de agua en diferentes plays de Shale en E.U. ....</i>	55
<b>Tabla 9.</b> <i>Demanda de agua, huella hídrica azul y flujos de retorno en millones de m<sup>3</sup>. ....</i>	58
<b>Tabla 10.</b> <i>Análisis porcentual del consumo de agua para los diferentes minerales producidos en Colombia en el año 2019 .....</i>	60
<b>Tabla 11.</b> <i>Demanda de agua, huella hídrica azul y flujos de retorno en millones de m<sup>3</sup>/año. ....</i>	63
<b>Tabla 12.</b> <i>Demanda de agua, huella hídrica azul y verde para cultivos permanentes. ....</i>	66
<b>Tabla 13.</b> <i>Demanda de agua, huella hídrica azul y verde para cultivos transitorios.....</i>	68
<b>Tabla 14.</b> <i>Demanda de agua para la agricultura, huella hídrica azul y verde consumo total. ...</i>	69
<b>Tabla 15.</b> <i>Análisis demanda hídrica de la industria avícola .....</i>	71
<b>Tabla 16.</b> <i>Análisis demanda hídrica de la industria porcina 2019.....</i>	75

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

<b>Tabla 17.</b> <i>Análisis demanda hídrica de la industria porcina 2019.</i> .....	78
<b>Tabla 18.</b> <i>Comparación de unidades según su sistema de medida.</i> .....	83
<b>Tabla 19.</b> <i>Matriz comparativa de diversas industrias.</i> .....	87
<b>Tabla 20.</b> <i>Posicionamiento de las industrias según las diferentes variables analizadas.</i> .....	93
<b>Tabla 21.</b> <i>Matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales del fracturamiento hidráulico, según experiencias internacionales.</i> .....	102

### Tabla de figuras

<b>Figura 1.</b> Participación de la actividad de extracción de petróleo crudo y gas en el PIB Nacional. .....	29
<b>Figura 2.</b> Extracción de gas esquisto .....	35
<b>Figura 3.</b> Yacimientos de hidrocarburos.....	38
a industria.....	38
<b>Figura 4.</b> Pirámide fuentes de hidrocarburos .....	39
<b>Figura 5.</b> Etapas del ciclo en el fracturamiento hidráulico .....	49
<b>Figura 6.</b> Potencial de Yacimientos No Convencionales en Colombia. ....	52
<b>Figura 7.</b> Mapa de países con fracturamiento hidráulico multietapa en YRG.....	54
<b>Figura 8.</b> Volumen promedio de agua por etapa (m <sup>3</sup> ).....	56
<b>Figura 9.</b> Análisis porcentual gasto hídrico minero.....	61
<b>Figura 10.</b> Porcentaje de agua para cultivos permanentes .....	66
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de agua para cultivos transitorios .....	67
<b>Figura 12.</b> Análisis porcentual de la industria avícola.....	70
<b>Figura 13.</b> Análisis porcentual de la industria porcina. ....	74
<b>Figura 14.</b> Análisis porcentual de la industria bovina. ....	77
<b>Figura 15.</b> Análisis comparativo de ganancias para diferentes industrias .....	89
<b>Figura 16.</b> Análisis comparativo de PIB para diferentes industrias.....	90

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

<b>Figura 17.</b> Análisis comparativo de empleo generado para diferentes industrias .....	91
<b>Figura 18.</b> Análisis comparativo de consumo de agua para diferentes industrias en $Mm^3$ / año. 92	
<b>Figura 19.</b> Análisis de consumo de agua para diferentes industrias en $Mm^3$ /año vs algunos de los monocultivos con mayor consumo hidrico en el pais. ....	93

## Glosario

**ACP: Asociación Colombiana del Petróleo.** Es el gremio de la industria de hidrocarburos en Colombia, el cual reúne las compañías que desarrollan actividades de exploración y producción de petróleo y gas, transporte de hidrocarburos y distribución de combustibles líquidos y lubricantes, en especial las del régimen privado. (Asociación Colombiana de Petróleo [ACP], 2021)

**Afluentes:** Corresponde a parte de la estructura hidrográfica, donde confluyen sucesivamente para formar cauces más y más anchos, es decir se define como un aporte significativo de agua superficial en cuerpos de agua. (Fundación BBVA, 2019)

**Anaerobiosis:** Capacidad que poseen algunos organismos como hongos, bacterias, parásitos, etc., para vivir sin oxígeno molecular libre. (WordReference, s.f)

**ANH: Agencia Nacional de Hidrocarburos.** Es una agencia del gobierno colombiano adscrita al Ministerio de Minas y Energía, encargada de administrar y regular los recursos hidrocarburíferos de la nación (Agencia Nacional de Hidrocarburos. [ANH], 2020)

**ANLA: Agencia Nacional de Licencias Ambientales.** Es el organismo del Gobierno Colombiano encargado de otorgar o denegar las licencias, permisos y trámites ambientales para el desarrollo de proyectos que contribuyan al desarrollo sostenible del país. (Autoridad Nacional de Licencias ambientales. [ANLA], 2021)

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Antrópicos:** Producido o modificado por la actividad humana. (Real Académica Española [RAE], 2020)

**Casing:** Se utiliza para recubrir el interior del pozo perforado para proveer estabilidad y evitar que sus paredes colapsen durante la extracción del crudo. Para esto se utilizan cadenas formadas por varios tubos roscados entre sí, los cuales son insertados en el pozo y fijados con cemento. (Coltubos Steel, s.f)

**Cultivos permanentes:** Cultivos que después de plantados llegan en un tiempo relativamente largo a la edad productiva, dan muchas cosechas y terminada su recolección no se los debe plantar de nuevo. (DANE, 2015)

**Cultivos transitorios:** Cultivos cuyo ciclo de crecimiento es, en general, menor de un año y tienen como característica fundamental que después de la cosecha deben volver a sembrarse para seguir produciendo. (DANE, 2015)

**DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.** Entidad responsable de la planeación, levantamiento, procesamiento, análisis y difusión de las estadísticas oficiales de Colombia. (DANE, 2021)

**Demanda hídrica:** Se define como la extracción<sup>2</sup> hídrica del sistema natural destinada a suplir las necesidades o requerimientos del consumo humano, la producción sectorial y las demandas esenciales de los ecosistemas no antrópicos. (IDEAM, 2014)

**Edáficos:** Pertenciente o relativo al suelo, especialmente en lo que respecta a las plantas. (RAE,2020).

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**ENA: Estudio Nacional del agua.** Es un informe realizado por el ministerio del medioambiente y el IDEAM, realizado cada 4 años. (IDEAM, s.f.)

**Estructura edáfica:** Son el resultado de los procesos edáficos de contracción e hinchamiento debidos a los cambios de humedad por lo cual los materiales originales carecen de estos tipos de estructuras. (Departamento de Edafología y Química Agrícola Universidad de Granada [UGR], s.f)

**FEDEGAN: Federación Colombiana de Ganaderos.** Es una organización gremial sin ánimo de lucro, creada el 13 de diciembre de 1963 con sujeción al derecho privado Colombiano y como decisión del IX Congreso Nacional de Ganaderos. Tiene dentro de sus funciones la representación gremial, el análisis sectorial, información y política ganadera, el recaudo y administración de la parafiscalidad ganadera y la prestación de servicios al ganadero (Federación Colombiana de Ganaderos. [FEDEGAN], 2021)

**FINAGRO: Fondo Para El Financiamiento Del Sector Agropecuario.** Entidad financiera de desarrollo para el sector agropecuario y rural Colombiano que otorga recursos a través de los intermediarios financieros (bancos, cooperativas e intermediarios microfinancieras) para que estos a su vez otorguen créditos a los empresarios del campo en apoyo al desarrollo de su proyecto productivo. (FINAGRO, 2020)

**Fracturamiento hidráulico:** La fracturación hidráulica o fracking es una técnica que permite extraer el llamado gas de esquisto, un tipo de hidrocarburo no convencional que se encuentra. (ACP, 2021).

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Gallinaza:** Excremento o estiércol de gallinas ponedoras que se acumulan durante la etapa de producción de huevo o bien durante periodos de desarrollo de este tipo de aves, mezclado con desperdicios de alimentos y plumas. (Casas & Guerra, 2020)

**Gas de esquisto:** Roca sedimentaria de sedimentos de barro, arcilla y materia orgánica, comprimida en grano fino. (Calderón, 2013)

**Hemoglobina:** Proteína del interior de los glóbulos rojos que transporta oxígeno desde los pulmones a los tejidos y órganos del cuerpo; además, transporta el dióxido de carbono de vuelta a los pulmones. Por lo general, la prueba para medir la cantidad de hemoglobina en la sangre forma parte del recuento sanguíneo completo. (RSC) (Mayo Clinic)

**Huella hídrica azul:** Elemento importante para evaluar la demanda de agua, permite por lo tanto medir el impacto de productos específicos, o empresas, sobre los recursos hídricos (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. [ FAO], 2013)

**IDEAM: Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales.** Es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilite la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general. (IDEAM, s.f.)

**INVIMA: Instituto Nacional De Vigilancia De Medicamentos Y Alimentos.** Es la Agencia Regulatoria Nacional, una entidad de vigilancia y control de carácter técnico científico, que trabaja para la protección de la salud individual y colectiva de los Colombianos, mediante la aplicación

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

de las normas sanitarias asociadas al consumo y uso de alimentos, medicamentos, dispositivos médicos y otros productos objeto de vigilancia sanitaria. (INVIMA, 2021)

**Mm<sup>3</sup>**: Millones de metros cúbicos.

**MAVDT: Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial.** Entidad rectora de la política ambiental, la vivienda, el agua potable y el desarrollo territorial. (MinAmbiente,2021)

**Patógenos:** Son agentes infecciosos que pueden provocar enfermedades a su huésped. Este término se emplea normalmente para describir microorganismos como los virus, bacterias y hongos, entre otros. Estos agentes pueden perturbar la fisiología normal de plantas, animales y humano. (GutMicrobiotaforHealth, 2021)

**PIB: Producto Interno Bruto.** Es un indicador económico que refleja el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos por un país o regiones en un determinado periodo de tiempo, normalmente un año. Se utiliza para medir la riqueza que genera un país. (Alcaldía Mayor de Bogotá, s.f.)

**PORCOLOMBIA: Fondo Nacional De La Porcicultura.** Es el gremio que representa, desde 1983, a los productores de carne de cerdo del país. Impulsamos y acompañamos el proceso de tecnificación en todos los eslabones de la cadena cárnica porcina y fomentamos el consumo de la carne de cerdo. (Porkcolombia, 2021).

**Porcinaza:** Es un subproducto de gran valor que se genera en una granja, debido al alto contenido de nutrientes y de materias orgánicas que se pueden usar en otras actividades agropecuarias. (Porcinews.2020)

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Purines:** Líquido formado por las orinas de los animales y lo que rezuma del estiércol. (RAE, 2020)

**Shale:** Es una formación que produce hidrocarburos de gran importancia, debido a su capacidad de producir gas y petróleo en mayor proporción que otras formaciones de gas de esquisto. (Calderón, 2013).

**UPME: Unidad De Planeación Minero-Energética.** Es una unidad administrativa especial del orden nacional, de carácter técnico adscrita al ministerio de minas y energía, regida por la ley 143 de 1994 y por el Decreto número 1258 de junio 17 de 2013. (Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME], 2019)

**YNC: Yacimientos No Convencionales.** Son formaciones rocosas, donde se producen hidrocarburos de buena calidad dentro de reservorios con baja porosidad y permeabilidad.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Resumen**

**Título:** Análisis del consumo de agua en operaciones de fracturamiento hidráulico comparado con el gasto hídrico de otras industrias.<sup>1</sup>

**Autor:** Sofia Mejía Noguera, Julián Esteban Barriga Soto.<sup>\*\*</sup>

**Palabras Clave:** Fracturamiento hídrico, ecosistema, consumo hídrico, medioambientales

**Descripción:** Una de las mayores polémicas en el mundo actual es la contaminación o impacto ambiental que provoca la fracturación hidráulica (comúnmente conocida como fracking), todo lo cual se debe principalmente a falta de información técnica al respecto. Este trabajo de grado plantea una investigación detallada del consumo de agua y la implementación de los procedimientos técnicos, no solo con referencia al estudio del gobierno Colombiano, sino también a otros países como Estados Unidos, tomando la información recolectada por diversas industrias como la agrícola, porcícola, minera, avícola y bovina.

Con los resultados de esta investigación, se corrobora una vez más que la agricultura que es esencial para el ser humano ya que, provee recursos para que este sobreviva, también es el sector que más agua utiliza directa e indirectamente, seguida por la avícola, evidenciando que el fracturamiento hidráulico utiliza un bajo porcentaje comparado con estos sectores.

Teniendo en cuenta que, todas las actividades humanas provocarán cambios en los ecosistemas, se puede determinar que, no solo algunos impactos ambientales son causados por FHPH (fracturamiento hidráulico multietapa en perforación horizontal), sino también por otras industrias analizadas, los resultados de esta tesis permitirán al país contar con más datos que posibiliten tomar mejores decisiones en temas energéticos.

---

<sup>1</sup> Trabajo de grado

<sup>\*\*</sup> Facultad de Físico-químicas. Escuela de Ingeniería de petróleos. Director: Zuly Himelda Calderon Carrillo. PhD.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Abstract**

**Title:** Analysis of water consumption in hydraulic fracturing operations compared to the water consumption of other industries.

**Author:** Sofia Mejia Noguera, Julián Esteban Barriga Soto.

**Key Words:** Water Fracturing, Ecosystem, Water Consumption, Environmental

**Description:** One of the biggest controversies in the world today is the pollution or environmental impact caused by hydraulic fracturing (commonly known as fracking), all of which is mainly due to lack of technical information on the subject. This degree work proposes a detailed investigation of water consumption and the implementation of technical procedures, not only with reference to the Colombian government study, but also to other countries such as the United States, taking the information collected by various industries such as agriculture, swine, mining, poultry and cattle. With the results of this research, it is corroborated once again that agriculture, which is essential for human beings since it provides resources for them to survive, is also the sector that uses more water directly and indirectly, followed by poultry, showing that hydraulic fracturing uses a low percentage compared to these sectors.

Taking into account that all human activities will cause changes in ecosystems, it can be determined that not only some environmental impacts are caused by FHPH (multistage hydraulic fracturing in horizontal drilling), but also by other industries analyzed, the results of this thesis will allow the country to have more data to make better decisions on energy issues.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### **Introducción**

El crecimiento poblacional ha aumentado drásticamente en los últimos 100 años, trayendo consigo un incremento en la demanda energética, la cual se obtiene principalmente de recursos no renovables; por lo que la industria petrolera ha estudiado diversas técnicas para poder suplir esta problemática, enfocándose en métodos como el fracturamiento hidráulico multietapa a través de pozos horizontales desde plataformas multipozos en yacimientos de roca generadora, siendo éste asociado comúnmente a riesgos ambientales, los cuales derivan del consumo masivo de agua y su contaminación con químicos en concentraciones tóxicas e isótopos radioactivos, entre otros impactos.

La falta de suficientes estudios técnicos relacionados con el consumo de agua de esta nueva técnica, ha ocasionado una colosal discordia entre las comunidades, por lo cual es de vital importancia realizar un análisis con respecto a esta problemática, permitiendo comparar el consumo de agua de diversas industrias en el país, y así se podría llegar a mitigar en gran medida las discusiones presentes con respecto al impacto ambiental que genera esta técnica en relación con el gasto hídrico en este sector.

Durante la última década, en el sector de hidrocarburos se han presentado muchos debates con relación al consumo hídrico, por lo cual es importante aclarar que, muchos de los mitos y paradigmas causados por la implementación de las nuevas tecnologías importantes para aumentar las reservas y suplir las diferentes demandas energéticas para los colombianos.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados anteriormente, es importante resaltar el gasto hídrico que es ocasionado por diferentes industrias y la contaminación que generan a este recurso, para abordar una comparación de los diferentes gastos, tomando como base la información disponible en la literatura, con el fin de analizar cuál es el sector que ocasiona mayor consumo

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

hídrico. Para hacer este estudio se usó la metodología propuesta por el Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales –IDEAM, cuantificando así dicho uso en el proceso del fracturamiento hidráulico y las diferentes industrias a analizar.

De este modo, la finalidad del presente trabajo de grado es realizar una comparación del consumo de agua entre el proceso de fracturamiento hidráulico multietapa a través pozos horizontales desde plataformas multipozo en roca generadora, con respecto a diferentes industrias tomando datos de la literatura de industrias colombianas, que son contribuyentes al sector económico del país, con el fin de conocer cuál de ellas genera mayor consumo hídrico. Este estudio permitiría que el país cuente con más elementos que permitan tomar las mejores decisiones en temas energéticos.

## **1. Objetivos**

### **1.2 Objetivo General**

Analizar el consumo de agua en operaciones de fracturamiento hidráulico comparándolo con el gasto hídrico de otras industrias.

### **1.3 Objetivos Específicos**

Seleccionar las industrias a comparar con la industria petrolera, analizando la información del consumo hídrico que éstas utilizan para cada una de sus operaciones.

Definir variables de medición de consumo de agua por operaciones de fracturamiento hidráulico y para otras industrias.

Diseñar una matriz comparativa que permita priorizar el consumo de agua de las industrias seleccionadas.

Analizar el impacto ambiental que genera el gasto hídrico en cada una de las industrias incluido el fracturamiento hidráulico.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### 2. Marco legal

En el marco regulatorio de algunos países, se protegen los derechos del agua en sus constituciones, como mecanismo de protección y guardia ante los diferentes procesos industriales y nuevos métodos como el fracturamiento hidráulico multietapa a través de pozos horizontales desde plataformas multipozo en roca generadora, bajo el principio de prevención y precaución, para evitar el gasto excesivo y daños irreversibles a este recurso. El estado asegura la responsabilidad general del propietario y el acceso a los servicios de agua potable y saneamiento. En diferentes tribunales el sistema legal también dicta resoluciones sobre casos relacionados con el disfrute de los derechos de agua, y los temas involucrados de más relevancia son, la contaminación del agua, los cierres arbitrarios e ilegales, entre otros.

En Europa, especialmente en Francia se prohibió el fracking con la ley 835 de 2011 de la Asamblea de Francia. El artículo 1º de esta ley estipula que la prohibición del fracking se hizo en aplicación de la Carta del Medio Ambiente de 2005, que, en su artículo 5, consagra el principio de precaución. La Carta del Medio Ambiente hace parte de la Constitución francesa.<sup>2</sup> Una empresa petrolera demandó la Ley de prohibición del fracking ante la Corte Constitucional, que la dejó en firme mediante la sentencia 2013-346. Posteriormente, Francia ordenó la salida gradual e irreversible de la extracción de gas y petróleo en su territorio para 2040, como parte de su lucha contra el cambio climático y su liderazgo en la materia.<sup>3</sup>

En España, la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha prohibió el fracking, con algunas limitaciones, mediante la ley 1 de 2017. El Tribunal Constitucional revisó esta ley y la dejó en firme con la sentencia 6240-2017. Actualmente, España debate el proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética, que incluye un artículo que prohibiría el fracking. El

---

<sup>2</sup> Constitución política de Francia, 2008

<sup>3</sup> Gobierno de Francia, 2017

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Consejo de ministros de España dio luz verde a este proyecto de ley en febrero de 2019.<sup>4</sup> El mencionado proyecto de ley se basa en el principio de precaución y lo aplica para las políticas de adaptación al cambio climático.<sup>5</sup>

También en 2018, el Consejo de Estado holandés ordenó al Ministerio de Economía y Clima revisar sus decisiones sobre dos proyectos de gas de lutitas en las regiones de Brabante septentrional y Noordoostpolder, esta vez, en aplicación de la Ley de Minería de 2017, que da prioridad a la protección ambiental.<sup>6</sup> Paralelamente, Holanda avanza en su política de transición energética, con hitos como la prohibición total, en 2030, de autos y motos que usen combustibles fósiles en Ámsterdam.<sup>7</sup>

En Norteamérica, para los Estados Unidos existen diversidades de regulaciones respecto al consumo de agua para las industrias y procesos como el fracturamiento hidráulico multietapa a través pozos horizontales desde plataformas multipozo en roca generadora (de ahora en adelante: fracking). De acuerdo con lo anterior, en solo algunos estados se presentan regulaciones de prohibiciones para esta técnica del fracking.

En 2019, la Asamblea Legislativa del Estado de Oregón prohibió el fracking mediante la ley 2623, que, en su artículo 4, estipula que esta contravención es necesaria para «preservar la paz, la salud y la seguridad públicas», para el mismo año el Estado de Washington prohibió el fracking mediante la ley 5145, también la Oficina del Gobernador del Estado de la Florida expidió la Orden Ejecutiva 19-12 para la protección del agua y ordenó al Departamento de Protección Ambiental tomar las medidas necesarias para oponerse firmemente al fracking en La Florida. En Canadá, la

---

<sup>4</sup> Ministerio para la transición ecológica, 2019

<sup>5</sup> Congreso de los diputados, 2019

<sup>6</sup> Consejo de estado de Holanda, 2018

<sup>7</sup> The guardian, 2019

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Provincia de New Brunswick prohibió el fracking mediante la Regulación 2015-28.<sup>8</sup> En la Provincia de Quebec se prohibió el fracking, pero únicamente cuando se aplica para extraer gas de lutitas.<sup>9</sup>

Mientras tanto en Suramérica, concretamente en Argentina, la Provincia de Entre Ríos prohibió el fracking con la ley 10477 de 2017. Esta ley reitera la importancia de proteger las aguas pluviales, superficiales y subterráneas, incluido el acuífero Guaraní.<sup>10</sup> El Acuerdo sobre el Acuífero Guaraní pactado entre Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay obliga a estos países a proteger esta reserva subterránea de agua (véase ley 26.780 de 2012, mediante la que el acuerdo entra al sistema jurídico argentino).

En Argentina, la Provincia de Entre Ríos prohibió el fracking con la ley 10477 de 2017. Esta ley reitera la importancia de proteger las aguas pluviales, superficiales y subterráneas, incluido el acuífero guaraní (ley 10477 de 2017). El Acuerdo sobre el Acuífero Guaraní pactado entre Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay obliga a estos países a proteger esta reserva subterránea de agua (véase ley 26.780 de 2012, mediante la que el acuerdo entra al sistema jurídico argentino).

En Colombia, existe un Ministerio y es el que se encarga de las políticas de recursos hídricos, que es el de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Con la creación de la ley 1151 del 2007, se presenta un método en agua potable y saneamiento inducirá a el guía industrial y los esquemas regionales a través de la implementación de los Planes Departamentales para el manejo empresarial de los servicios, articulando las diferentes fuentes de recursos, con un mejor control sobre la ejecución de los mismos, y sin

---

<sup>8</sup> Instituto de información legal de Canadá, 2015

<sup>9</sup> Gomez, Fierro y pardo, 2019

<sup>10</sup> Ley 10477 de 2017

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

perjuicio de las competencias de las Corporaciones Autónomas Regionales, como máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción.

Para el 2015, entró en vigencia la resolución 631 del 2015, en la que se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, y se dictan otras disposiciones.

### **3. Fracking y consumo de agua**

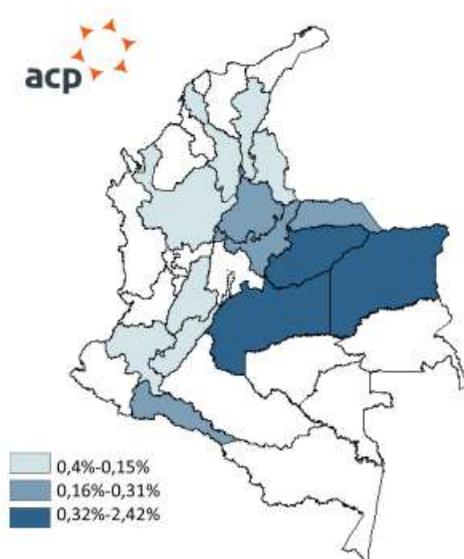
En este capítulo se exponen las generalidades, características y el impacto que genera en el recurso hídrico la industria petrolera especial mente el fracturamiento hidráulico multietapa a través de pozos horizontales en yacimientos no convencionales tipo roca generadora.

#### **3.1 Industria petrolera**

Luego de un siglo de la industria petrolera en Colombia, a partir de 1918, cuando se dio inicio a la comercialización de hidrocarburos; esta industria sigue siendo crucial para la economía del país, aportando más renta que cualquier otro de los sectores, y generando grandes ingresos al gobierno nacional (participación en la producción y rentas fiscales), a las diferentes regiones por medio de las regalías, y la promoción de la economía local y regional, con la contratación de mano obra y bienes y servicios.

El aporte de este sector al PIB (Producto interno bruto), de Colombia es superior al 5%, el cual se ha mantenido así desde el año 2000. Solo los departamentos del Meta, Casanare y Santander aportan el 3,77% del PIB nacional, donde estos departamentos representan el 75% de la extracción del petróleo del país figura (1).

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Figura 1.** Participación de la actividad de extracción de petróleo crudo y gas en el PIB Nacional.

*Nota. Tomado de <https://n9.cl/qczn>*

Con la llegada de la compañía estadounidense denominada Tropical Oil Company (Troco) en 1916, y posteriormente, en 1921, con la compra de la Troco por parte del Rockefeller Group, se dio inicio al desarrollo de las inversiones petroleras en Colombia.

Las primeras muestras de petróleo colombiano del manadero de Infantas fueron llevadas a Alemania por Geo Von Lenguerke en 1860. Luego, en 1903 José Joaquín Bohórquez, fue quien recogió algunas muestras de aceite y asfalto del mismo manadero de Infantas, y comenzó a hacer negocio con la certificación de que las características del producto eran similares al que llegaba en latas importado desde las islas Martinica, para iluminación de Cartagena. En 1905 se formalizaron dos contratos con el gobierno colombiano: concesión De Mares y concesión Barco, para realizar actividades exploratorias con fines comerciales, que solo se cristalizaron hasta en 1919. En la concesión De Mares, se fijaron 30 años de explotación, que iniciaron a partir del 25 de agosto de 1921 (primer bombeo – fallo de la Corte Suprema en 1949). En ese contrato se determinó la participación del Estado en la explotación (0%), las regalías (15%), se definió la colaboración de

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

las entidades territoriales y se identificaron como áreas de reserva las aguas de los mares, ríos y lagos.<sup>11</sup>

En estas tres décadas la Concesión De Mares perforó 1.386 pozos, de los cuales entregó 1.036 en producción el día de la reversión. Las 7 empresas petroleras más importantes del mundo llegaron a explorar zonas determinadas, entregando al Estado importantes regalías que iba del 6 al 14 por ciento, según el caso, cuando los campos eran declarados comerciales. Entre estas empresas está la Texas, Shell, Mobil e Intercol, entrando a hacer parte de las estadísticas de producción petrolera en Colombia, y descubriendo otros campos como Tibú, Petrolea, Casabe, Yarigués, El Difícil, Orito, Dina, Velásquez, entre otros; convirtiendo a Colombia en un país con posibilidades de explotación y autosuficiencia petrolera, así como la incursión en los mercados internacionales con los derivados del petróleo, gracias a la refinación, y los primeros oleoductos y poliductos, hacia los puertos y las zonas más pobladas del país.<sup>12</sup>

Recientemente, antes de la pandemia, la industria petrolera generaba 95.293 puestos de trabajo, de los cuales el 66% correspondieron a mano calificada y el 34% a no calificada. Según informe presentado por la ACP, el 53% de los empleos corresponden a los departamentos del Meta, Casanare y Santander. Cabe resaltar qué si el ritmo de inversión se hubiese mantenido o mejorado, los empleos adicionales que se hubieran generado serían más de 40 mil, razón por la cual es importante reactivar este sector.<sup>13</sup>

---

<sup>11</sup> Castañeda, 2017

<sup>12</sup> Castañeda 2017

<sup>13</sup> ACP (2015), Meta, Casanare y Santander, principales motores del PIB petróleo en Colombia. Análisis del PIB departamental

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

La posibilidad del desarrollo de yacimientos no convencionales tipo roca generadora en Colombia, con la técnica de fracturamiento hidráulico multietapa a través de pozos horizontales, ha generado diversidad de opiniones e interrogantes. Uno de los principales aspectos que se ha estudiado, es el impacto que ocasionaría el uso de esta técnica con respecto al empleo, llegando a la conclusión que, en promedio, se podrían generar 50.000 empleos entre directos e indirectos de los cuales 15.000 empleos serían directos;<sup>14</sup> además, habría un aumento del 2,39% en el PIB, y unas ganancias para el país, aproximadas a los 30.000 millones USD anuales.<sup>15</sup> Sin embargo, uno de los aspectos que más ha generado controversia a la hora de implementar esta técnica, es el impacto ambiental, sobre todo la afectación al recurso hídrico, el cual es vital para el sostenimiento del ser humano.

### **3.1.1 Consumo de agua en la industria petrolera.**

La producción de petróleo en Colombia se encuentra actualmente distribuida en alrededor de 19 departamentos, repartida en 532 campos de explotación, de los cuales 156 se encuentran en 77 subzonas hidrográficas,<sup>16</sup> generando así una huella hídrica azul en cada una de las áreas de la industria petrolera. Esta huella hídrica azul está ligada a las etapas de exploración y producción de petróleo y gas, por lo que su demanda hídrica de manejo de agua, equivale a 836.4 millones de metros cúbicos para el año 2020<sup>17</sup>, distribuidos así: según el reporte integrado de gestión sostenible de ECOPETROL (campos operados directamente por Ecopetrol), el volumen total de entradas por captación de agua fresca, tanto subterránea como de escorrentía fue de 51 millones de metros cúbicos; y de producción, tanto de formación (agua salada), como por influjo o hidrodinamismo,

---

<sup>14</sup> ACP (2018), yacimientos no convencionales, una oportunidad para Colombia, informe económico

<sup>15</sup> Análisis del sector petrolero en Colombia, carga tributaria y comparación con Perú, México y Ecuador

<sup>16</sup> Andrés Acevedo, Huella hídrica azul del sector petrolero en Colombia y su relación con otros sectores económicos, tesis especialización en gestión ambiental, Fundación universitaria de América

<sup>17</sup> Andrés Acevedo, Huella hídrica azul del sector petrolero en Colombia y su relación con otros sectores económicos, tesis especialización en gestión ambiental, Fundación universitaria de América

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

fue de 403.4 millones de metros cúbicos (ver tabla 1). De la misma manera, las empresas de la industria petrolera, para el mismo año 2020, captaron 34 millones de metros cúbicos de agua fresca y produjeron 349 millones de metros cúbicos de agua de formación e influjo por hidrodinamismo.

Los usos de esta agua, por parte de la industria petrolera, se distribuye en consumo potable para la misma industria y las comunidades (10 millones de metros cúbicos al año, en el caso de Ecopetrol); recobro secundario (95.1 millones de metros cúbicos al año, en el caso de Ecopetrol); reúso de agua de producción para riego agrícola (3.1 millones de metros cúbicos al año, en el caso de Ecopetrol); reinyectada para disposición final (245.4 millones de metros cúbicos al año, en el caso de Ecopetrol); y vertimientos a caños, ríos, ciénagas, carreteras terciarias y esteros (87,3 millones de metros cúbicos al año, en el caso de Ecopetrol). La diferencia se va en pérdidas por evaporación, recirculación, fallas naturales y usos en la perforación.

**Tabla 1.** *Consumo total de agua utilizada en operaciones de la industria petrolera de 2016 a 2020 proporcionada por Ecopetrol.*

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Consumo de agua (millones de m <sup>3</sup> )	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Entradas</b>	<b>300.6</b>	<b>410.4</b>	<b>440.1</b>	<b>453.8</b>	<b>454.5</b>
Captaciones de agua fresca	55.9	56.5	57.5	54.6	51.0
Agua de producción	244.7	353.9	382.6	399.1	403.4
<b>Efluentes</b>	<b>280.3</b>	<b>393.6</b>	<b>433.9</b>	<b>439.3</b>	<b>440.9</b>
Agua captada inyectada para recobro	13.7	13.6	14.2	12.1	10.3
Agua potable suministrada a terceros (comunidades)	8.1	8.2	8.5	8.3	10.0
Agua de producción reinyectada para recobro	52.2	56.7	67.1	71.7	84.8
Agua de producción reinyectada para disposición final	120.4	224.0	244.0	249.3	245.4
Reúso de agua de producción para riego agrícola	0.1	–	0.1	1.2	3.1
Vertimientos	85.8	91.1	100.0	96.7	87.3
<b>Balance (consumo)</b>	<b>20.3</b>	<b>16.7</b>	<b>6.2</b>	<b>14.5</b>	<b>13.6</b>

*Nota. Datos tomados de “Reporte integrado de gestión sostenible 2020”. ECOPETROL*

La industria petrolera reporta como agua de consumo, la diferencia entre el volumen total de agua extraída (entradas) y el volumen de agua que retorna al medio natural (efluentes), de acuerdo con la metodología del CDP Water Security Reporting Guidance (2020). Es así como Ecopetrol reporta en la Tabla 1, que el consumo de agua en sus operaciones fue de 13.6 millones de m<sup>3</sup> para el año 2020.<sup>18</sup> Sin embargo, la mayor parte del agua que retorna al medio natural no tiene potabilidad, debido a que la normatividad solo exige tratamiento del agua hasta el nivel III; por lo cual, lo correcto sería sumar toda el agua de retorno como el agua o recurso hídrico manejado

<sup>18</sup> Ecopetrol, reporte integrado de gestión sostenible, 2020.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

y usado por la industria petrolera. Esto es 836.4 millones de metros cúbicos de huella hídrica verdadera.

### **3.2 Generalidades del Fracturamiento Hidráulico Multietapa a través de Pozos Horizontales.**

El fracturamiento hidráulico multietapa a través de pozos horizontales genera una red de fracturas inducidas, causada por la inyección de un fluido a alta presión (por encima de la presión de fractura de la roca), en una formación rocosa objetivo, generalmente rocas generadoras de lutita o carbonatadas.

Para la operación se prepara un fluido de fracturamiento, el cual a menudo está compuesto en un 94,6% de agua, 5,23% de arena o material propante y 0,17% de aditivos químicos.<sup>19</sup>

Esta técnica se comenzó a realizar en julio de 1947 en el campo de gas Hugaton, en el pozo Kelpper 1, con el fin de estimular la producción. Este pozo está localizado en el Estado de Kansas Estados Unidos, el cual fue seleccionado para realizarle una estimulación hidráulica considerando que estaba localizado en cuatro zonas operarias y cuya producción era baja<sup>20</sup>.

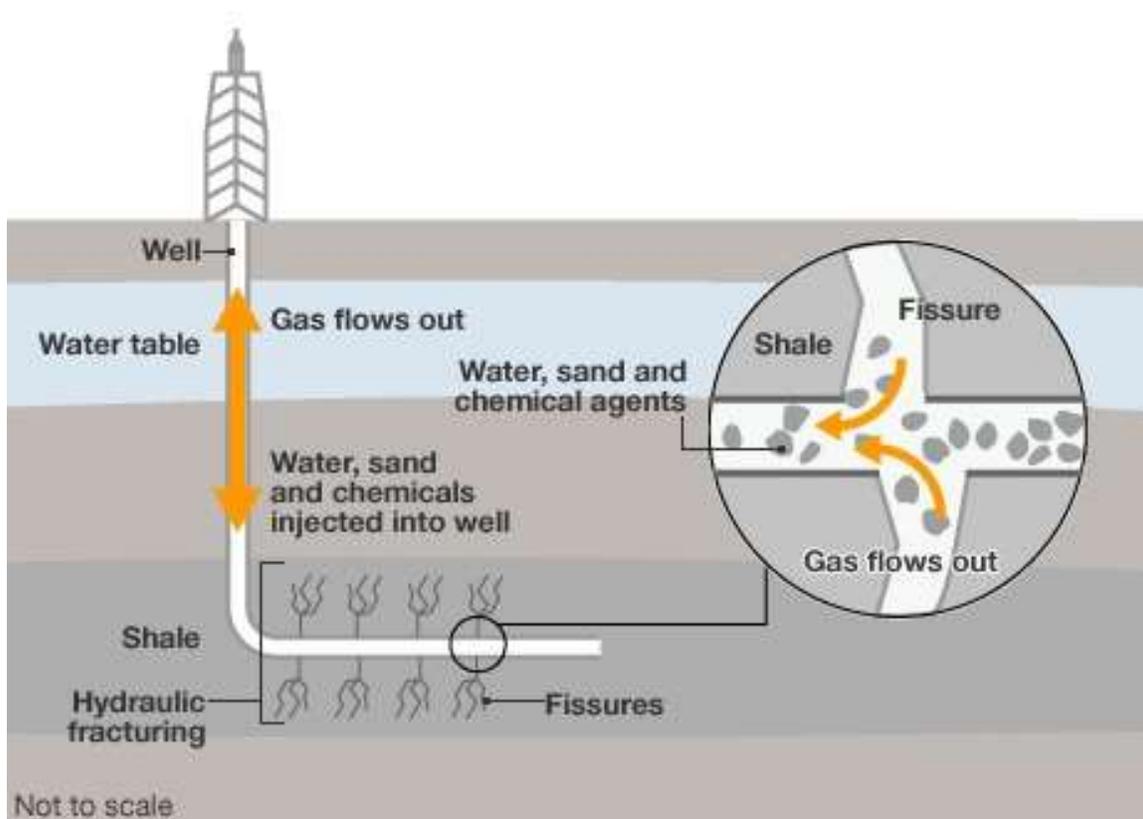
Esta técnica involucra la inyección del agua, la arena y los químicos a presiones superiores a la presión de fractura hacia una formación petrolífera a través de un pozo<sup>21</sup> (figura 2). Dicho proceso, junto con el recobro mejorado (EOR), tomó mucho auge después de 2005 (gracias al precio dle crudo sobre los 50 dólares el barril), sobre todo en Estados Unidos, quien se convirtió en el primer país productor de hidrocarburos a nivel mundial desde el año 2016 hacia acá.

---

<sup>19</sup> Agencia Nacional de Hidrocarburos – respuesta a derecho de petición Congreso de la República.

<sup>20</sup> J. Hernández. Academia. Antecedentes fracturamiento hidráulico.

<sup>21</sup> U:S: Geological Survey, 2020

**Figura 2.** Extracción de gas esquistoso

Nota. Tomado de <https://tinly.co/fS9yx>.

El procedimiento de Fracturamiento Hidráulico a través de Pozos Horizontales – FHPH, generalmente se hace en rocas o formaciones de baja permeabilidad, y que consecuentemente tienen una disminución en su producción; de tal modo que al aplicar esta técnica, la producción del pozo aumenta en gran medida. En Colombia solamente se ha usado el Fracturamiento Hidráulico en rocas almacenadoras de arenisca (yacimientos convencionales), desde 1957 (La Cira - Infantas), a través de pozos verticales (tabla 2). El 80% de los pozos de Cusiana, Cupiagua, Pauto, Floreña y Volcanera, se han fracturado, y el 100% de los pozos de Guando. Estos fracturamientos han sido de una sola etapa de máximo 80 pies de longitud, y en pozos verticales, donde se ha utilizado polímeros como fluido de fracturamiento, y arena sintética a base de cerámica, como

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

material propante. Por lo cual estas operaciones se consideran rutinarias de estimulación de pozos o workover, donde no se requiere licencia ambiental, ni permisos de las Corporaciones Autónomas Regionales, ya que no se hace uso de agua (menos en forma masiva), ni arena natural o material pétreo.

Aunque en Colombia se tiene amplia experiencia en el uso de esta técnica en pozos verticales y yacimientos convencionales, el fracturamiento hidráulico multietapa con perforación horizontal - FHPH (Multi-stage hydraulic fracturing with horizontal drilling), en roca generadora (Fracking), no se ha utilizado; por lo cual, no se tiene estadísticas sobre el uso de agua, arena e ingredientes químicos (este es el objetivo de los pozos piloto, como Kalé y Platero), ni se conocen su impactos ambientales.

**Tabla 2.** Registros de la CIH (Comisión Interinstitucional de Hidrocarburos) sobre operaciones de fracturamiento hidráulico en Colombia

Años	Zona	Entidad encargada	Descripción
1957	Infantas 167	---	---
1959	Sardinata-5	---	---
1986-2002	Campo SaN Francisco	Hocol	55 fracturamientos en un grupo de 40 pozos
1996-2011		Bp Colombia	85 pozos
2002-2007	Campo Guando	Petrobras	Mas de 130 pozos y 400 fracturamientos
2005-2008	Campo Orito	---	29 pozos, 48 fracturamientos

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

<b>2008-2010</b>	Superintendencia de operaciones de Apiay	Ecopetrol	19 pozos, 18 fracturamientos
------------------	--	-----------	------------------------------

*Nota. Datos tomados de “El rol de los agentes químicos en el fracturamiento hidráulico monografías”. Tesis de pregrado. Universidad de los Andes. 2018, Se consignan los registros que reposan en la CIH de fracturamiento hidráulico en yacimiento convencionales desde 1957 hasta 2010*

### 3.3 Yacimientos no convencionales

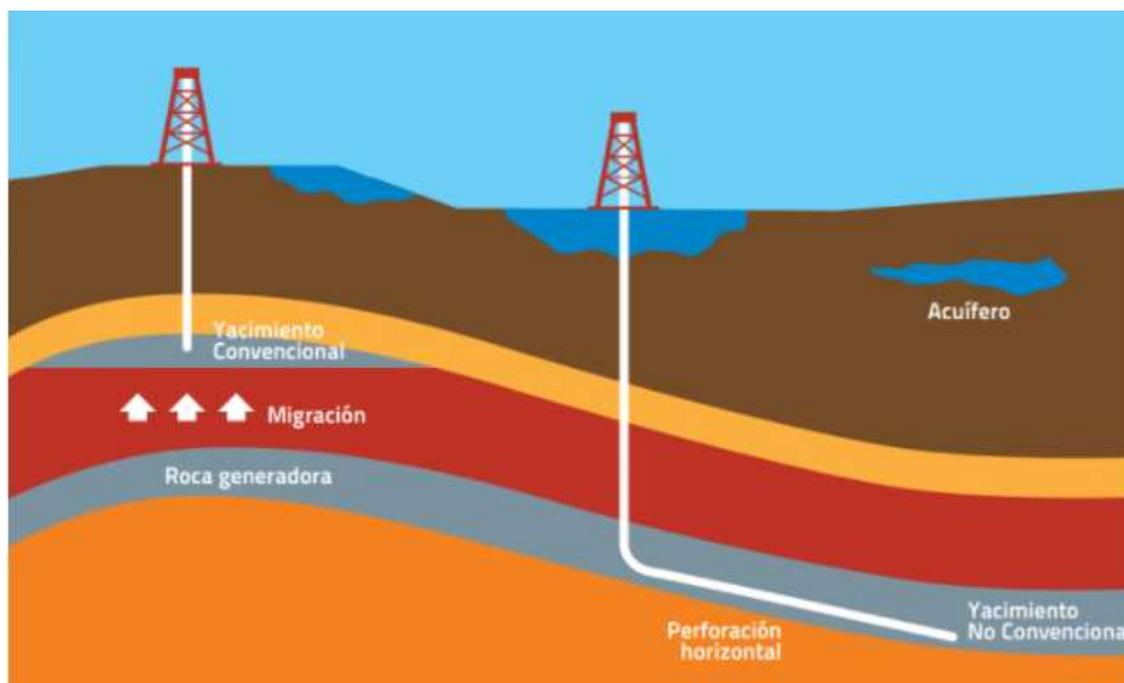
Los hidrocarburos que se encuentran en yacimientos convencionales y no convencionales son diferentes en su composición físico química; al igual que el tipo de roca, pues se diferencian en sus propiedades petrofísicas, como porosidades, permeabilidades, saturaciones, composición mineral, entre otras diferencias. En los yacimientos convencionales, la roca donde se encuentra almacenado el hidrocarburo posee características de moderada a alta permeabilidad y porosidades. El hidrocarburo se forma en la roca generadora y migra por fallas naturales y otras formaciones permeables, hasta llegar a la roca almacenadora o reservorio, donde se acumula sin llegar a la superficie debido a la presencia de rocas sello (impermeables). La unión de estas características se conoce como Sistema Petrolífero. Esta clase de yacimientos por lo general se pueden desarrollar mediante pozos verticales con técnicas tradicionales de extracción, gracias al flujo de los hidrocarburos a través de la roca hasta los pozos.

Por otro lado, los yacimientos no convencionales tipo roca generadora contienen hidrocarburo que todavía se encuentran en la roca madre (cocina). Los cuales se encuentran en condiciones geológicas que hacen que el movimiento del fluido sea nulo o muy lento, debido a la poca o nula permeabilidad. Por este motivo, este tipo de yacimientos debe desarrollarse con la

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

técnica de estimulación hidráulica multietapa a través de pozos horizontales y desde plataformas multipozo<sup>22</sup>.

**Figura 3.** Yacimientos de hidrocarburos

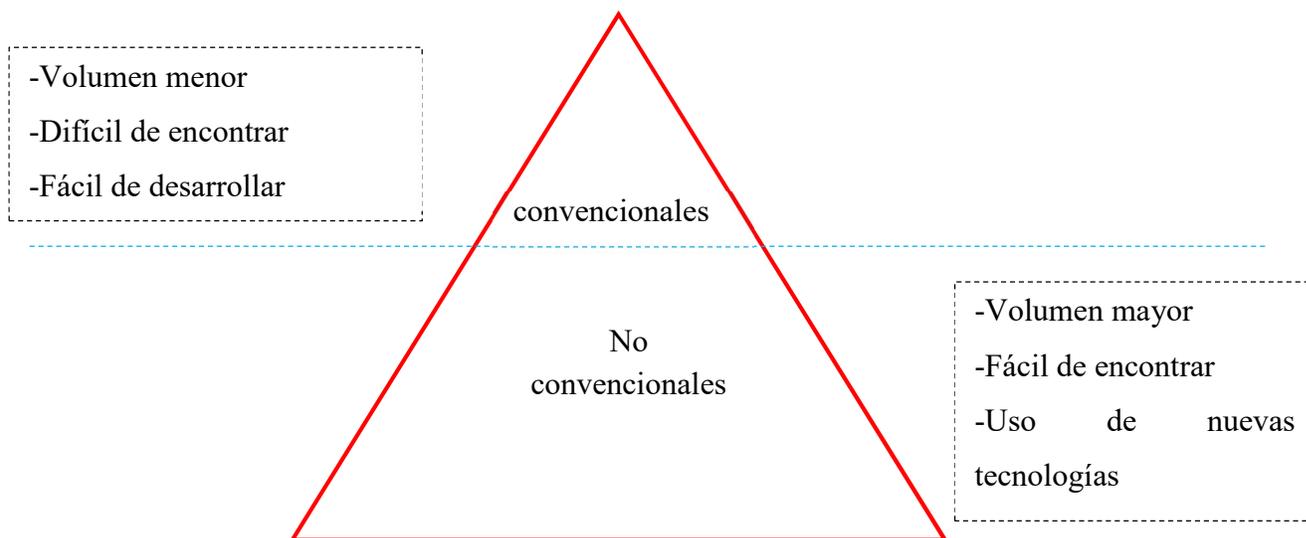


*Nota. Tomado de. ACP (asociación Colombiana de petróleo y gas)*

En resumen, los yacimientos convencionales, aunque poseen un menor volumen y son difíciles de ubicar, su fácil desarrollo, lo hace muy atractivo para la industria petrolera. Mientras que los yacimientos no convencionales tipo roca generadora, poseen mayor volumen (regionales) y por ende, fáciles de ubicar (figura 4), aunque se encuentran más profundos de los convencionales; y requieren del uso de nuevas tecnologías, como la perforación horizontal con top drive, motor de fondo (turbo drill), y fracturamiento hidráulico multietapa, convirtiéndolos en un reto para esta industria.

<sup>22</sup> ACP. Asociación Colombiana de petróleo y gas

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Figura 4.** Pirámide fuentes de hidrocarburos

*Nota. Tomado de. [www.gasenergy.com.br](http://www.gasenergy.com.br)*

### 3.3.1 Características de yacimientos no convencionales

- Se presentan como acumulaciones predominantes regionales, extensas, normalmente independientes de la presencia de trampas estructurales estratigráficas
- Bajas porosidades y permeabilidades, pobres en propiedades petrofísicas
- Uso de altas tecnologías para su desarrollo
- Gran cantidad de reservas de hidrocarburos
- Producción durante varias décadas<sup>23</sup>

### 3.3.2 Clasificación de yacimientos no convencionales

Existen diferentes tipos de yacimientos no convencionales, clasificados según su tipo de roca generadora como se puede observar a continuación.

<sup>23</sup> Química aplicada (2018), com 21. Yacimientos hidrocarburíferos no convencionales.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**3.3.2.1 Tight gas (gas en areniscas de baja permeabilidad).** Gas natural encontrado en formaciones de areniscas o calizas, las cuales contienen baja permeabilidad y porosidad, conformado por una roca matriz con:

- porosidad <10%
- permeabilidad <0,1 Milidarcy

En muchas ocasiones este tipo de formación es similar a los yacimientos convencionales, por lo cual no se pueden diferenciar fácilmente

Una forma fácil de localizar este tipo de yacimientos para lograr producirlos, es determinar sectores donde abunde la materia orgánica y fracturas naturales, conocidas como puntos dulces o sweet spots.

Si no se encuentran fracturas naturales, prácticamente todos los yacimientos de arenas compactas requieren técnicas de estimulación hidráulica, para así lograr obtener un hidrocarburo de forma rentable<sup>24</sup>.

**3.3.2.2 Coal bed methane (gas asociado al carbón, CBM).** El gas con un alto contenido de metano, el cual procede de yacimientos subterráneos de carbón queda absorbido en la superficie granulada del carbón debido a la presión del agua que lo rodea.

- Para producir el metano en capas de carbón primero debe extraerse el agua, reduciendo la presión para que así el metano se libere y fluya hacia el núcleo del pozo, a medida que la cantidad de agua disminuye la producción de gas aumenta.

- Estas capas suelen tener baja permeabilidad, por lo que los fluidos no circulan fácilmente, a menos que se estimule el yacimiento, por ejemplo, con fracturación hidráulica<sup>25</sup>.

---

<sup>24</sup> Luis Mogollón, MBA. Yacimientos no convencionales: Clasificación, características y técnicas de exploración y explotación. Universidad externada de Colombia. Bogotá, mayo 2013

<sup>25</sup> Química aplicada (2018), com 21. Yacimientos hidrocarburíferos no convencionales.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### **3.3.2.3 hidratos de metano (Moléculas de metano atrapadas en compuestos helados de agua).**

Estos son moléculas de metano en estructuras de agua a bajas condiciones de presión y temperatura, las cuales existen en el talud continental y en las regiones polares, convirtiéndose en sustancias sólidas cristalinas (hielos de metano).

Durante su extracción es difícil que no se libere metano, hecho que ha dificultado su explotación ya que, al liberar metano a la atmósfera, se podría incrementar el efecto invernadero de manera considerable.

Estos yacimientos se encuentran generalmente en las plataformas continentales de los mares y océanos en las zonas árticas<sup>26</sup>.

**3.3.2.4 Shale gas (gas en lutitas) Shale oil (aceite en lutitas).** Gas natural encontrado en yacimientos compuestos en su mayoría por lutitas, las cuales tienen poca permeabilidad, por lo cual, para lograr obtener una producción de gas rentable se necesitan implementar técnicas de fracturación para así lograr aumentar su permeabilidad.

- El Shale gas se encuentra atrapado en estratos a mucha profundidad, y debido a sus bajas permeabilidades, este se encuentra distribuido en pequeños poros o burbujas las cuales no están conectadas entre sí, debido a que no está limitada a trampas o estructuras en las cuales pueda estar confinado el gas, si no el estrato donde se encuentra este hidrocarburo es extendido sobre amplias zonas geográficas, lo cual hace necesario romper las capas para así lograr reunir el gas y hacer fluir hacia la superficie; la técnica empleada para lograr este proceso es el fracturamiento hidráulico horizontal.

---

<sup>26</sup> Química aplicada (2018), com 21. Yacimientos hidrocarburíferos no convencionales.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

- Este tipo de yacimientos es actualmente el sector energético de crecimiento más rápido en Estados Unidos, impulsado por avances tecnológicos y presencias de amplias cuencas de producción.

**3.3.2.5 Shale oil.** Tiene las mismas características que el Shale gas, es un hidrocarburo que no migra fuera de la roca generadora y se encuentra atrapado en estratos o capas de lutita a una gran profundidad, este tipo de hidrocarburo puede ser extraído por medio de pirolisis, hidrogenación, disolución térmica o fracturamiento hidráulico.

### 3.3.3 ¿Qué es una lutita o Shale?

El término Shale hace referencia al tamaño de los granos, en la práctica, el Shale es una roca sedimentaria de grano fino, rica en orgánicos, conteniendo material silíceo y carbonáceo, normalmente los más productivos de este tipo tienen composiciones ricas en carbonatos y sílice con menos del 25% de arcillas, son normalmente la roca madre de los yacimientos convencionales<sup>27</sup>.

**3.3.3.1 Caracterización de reservorios tipo shale.** Este tipo de yacimientos no es regido por la flotabilidad de los hidrocarburos frente al agua ni por la ley de Darcy, este tipo de acumulaciones son continuas, independientes de la presencia de trampas estructurales y/o estratigráficas, las rocas más típicas en este tipo de reservorio están constituidas por una matriz de grano fino (tamaño arcilla, pelitas o magras) con proporciones variables de arcilla, sílice y carbonato actuando como roca generadora, sello y reservorio, estos tienen una baja permeabilidad y necesitan estimulación para producir hidrocarburos<sup>7</sup>

---

<sup>27</sup> Luis Mogollón, MBA. Yacimientos no convencionales: Clasificación, características y técnicas de exploración y explotación. Universidad externada de Colombia. Bogotá, mayo 2013

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Generalmente este tipo de yacimientos deben cumplir una serie de características que los hacen viables económicamente :<sup>28</sup>

- Riqueza orgánica (> 2% COT para Shale gas y variable para un Shale oíl)
- Madurez térmica (> 0,7 Ro%)
- Espesor (>30 m)
- Capacidad de adsorción (principalmente en Shale gas)
- Fracturabilidad (contenido de arcillas <40%)
- Sobrepresión
- Profundidad
- Porosidad (<15%)

Como se puede apreciar existen varios tipos de YNC, y entre aquellos que requieren fracturamiento hidráulico para su explotación se encuentran el “gas Shale” y el “oíl Shale” que, en español, se podrían agrupar como “Yacimientos en Roca Generadora” (YRG).

En el mundo existen variedad de yacimientos no convencionales con diferentes propiedades que los hacen únicos. Un ejemplo clásico de esta variedad se puede observar en los yacimientos YRG de Estados Unidos (tabla 3), en los cuales se puede apreciar que tienen bastantes diferencias a pesar de estar todos categorizados como yacimientos no convencionales, pero que estos están entre los rangos que diferencian a un yacimiento no convencional de uno convencional.

**Tabla 3.** *Datos típicos de yacimientos de roca generadora en Estados Unidos*

---

<sup>28</sup> SPE international (2013). Analogía entre la formación vaca muerta y Shale Gas/OIL Plays de EE. UU.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Shale Play	Barnett	Marcellus	Fayetteville	Haynesville	Woodford	Lewis	Eagle Ford
Edad (Ma)	320	410	330	150	370	85	95
Extensión Areal (km <sup>2</sup> )	13.000	250.000	23.000	23.000	28.900	26.000	5.000
Profundidad (km)	2,0 - 2,6	1,2 - 2,6	0,3 - 2,1	3,2 - 4,2	1,8 - 3,4	0,9 - 1,8	1,2 - 4,2
Gradiente de Presión (psi/ft)	0,43 - 0,44	0,15 - 0,40		>0,9		0,2 - 0,25	0,6
Porosidad (%)	4,0 - 5,0	10,0 - 11,0	2,0 - 8,0	8,0 - 9,0	3,0 - 9,0	3,0 - 6,0	4,0 - 15
Espesor (metros)	60 - 90	30 - 120	30 - 210	60 - 90	90 - 300	150 - 580	20 - 150
Espesor Útil (metros)	15 - 60	15 - 60	15 - 60	61	35 - 67	61 - 92	25 - 100
Tipo Kerogeno	II	II - III	II - III	III	II	II - III	II
Madurez Térmica (% Ro)	0,5 - 1,5	0,5 - 2,0	1,0 - 3,0	0,94 - 2,62	0,5 - 3,0	1,7 - 1,9	0,5 - 2,2
COT (%)	3,0 - 6,0	3,0 - 12	4,0 - 9,8	4,0 - 10	0,6 - 1,0	0,45 - 2,5	4,5 - 5,5

*Nota. Tomado de [https://www.spe.org.ar/locker/pdf/SPE\\_JJPP0003.pdf](https://www.spe.org.ar/locker/pdf/SPE_JJPP0003.pdf)*

La naturaleza geológica de estos yacimientos y la ingeniería aplicada para su aprovechamiento es compleja; primero, por la presencia de elementos radioactivos y gases tóxicos en la roca, que tienen una alta capacidad de migración, y segundo, por las características propias de las técnicas usadas en la fase de perforación, en donde se hace uso de químicos especiales, grandes volúmenes de agua y una alta densidad de perforaciones. Si bien, estos dos factores han sido tenidos en cuenta por los países para tomar la decisión de si hacen o no fracking para aprovechar los YRG.<sup>29</sup>

En Colombia, estudios dejan en evidencia el gran potencial de petróleo y gas presentes en yacimientos de roca generadora, restringidos principalmente a rocas del Mesozoico tardío y

<sup>29</sup> Valderrama y Idrovo, 2019

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Cenozoico, a continuación, se presentan las tablas (4) y (5) las cuales contienen información de potenciales recursos tanto de Oil Shale como Shale Gas en Colombia.

**Tabla 4.** *Potenciales recursos de oil Shale en Colombia.*

Cuenca	Recursos Oil Shale - Indicados (MMbbl)		
	P <sub>10</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>90</sub>
Amaga	3.48	0.06	0.01
Áreas no Prospectivas	5.52	0.29	0.01
Caguán-Putumayo	259.06	4.95	0.03
Catatumbo	85.03	3.57	0.13
Cauca-Patía	240.15	7.77	0.23
Cesar Ranchería	622.91	13.94	0.28
Choco	412.19	10.91	0.27
Cordillera Oriental	294.64	9.54	0.28
Guajira	10,443.25	198.65	1.16
Llanos Orientales	798.88	33.31	1.24
Sinú - San Jacinto	1,135.06	47.48	1.88
Tumaco	2,678.01	99.34	2.96
Urabá	1,950.33	97.09	4.13
Valle Inferior del Magdalena	12,165.96	220.42	3.75
Valle Medio del Magdalena	39,432.19	549.61	7.34
Valle Superior del Magdalena	5,986.40	240.93	8.45
Vaupés-Amazonas	14,564.94	682.19	28.32
<b>TOTAL</b>	<b>91,077.98</b>	<b>2,220.05</b>	<b>60.47</b>

*Nota. Datos tomados de "Potencial de hidrocarburos en Colombia". estudio realizado por el profesor. Carlos A. Vargas: Universidad Nacional de Colombia, departamento de geo ciencias, diciembre 2011.*

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Tabla 5.** *Potenciales recursos de Shale gas en Colombia.*

Cuenca	P <sub>10</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>90</sub>
	(Tcf)	(Tcf)	(Tcf)
Amagá	1.37	0.41	0.06
Caguán-Putumayo	2,687.60	127.56	13.81
Catatumbo	185.43	38.98	4.89
Cauca-Patía	28.57	8.55	1.34
Cesar-Ranchería	107.13	28.46	4.18
Chocó	22.73	6.89	1.08
Cordillera Oriental	729.26	206.65	31.61
Guajira	132.77	35.34	5.22
Llanos Orientales	6,619.59	1,042.44	125.40
Sinú - San Jacinto	441.33	113.24	16.37
Tumaco	56.72	16.97	2.66
Urabá	91.22	23.37	3.36
Valle Inferior del Magdalena	121.31	35.05	5.39
Valle Medio del Magdalena	148.80	43.50	6.71
Valle Superior del Magdalena	45.38	13.47	2.09
Vaupés-Amazonas	3,228.09	154.55	16.61
<b>TOTAL</b>	<b>14,647.29</b>	<b>1,895.44</b>	<b>240.78</b>

*Nota. Datos tomados de “Potencial de hidrocarburos en Colombia”. estudio realizado por el profesor. Carlos A. Vargas: Universidad Nacional de Colombia, departamento de geo ciencias, diciembre 2011.*

Como se puede apreciar en las dos tablas anteriores la cuenca Valle Medio del Magdalena (VMM) es la que presenta mayor potencial de Oil Shale y Gas Shale, donde se identifica como

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

principal roca fuente, La Formación La Luna y en segundo lugar, el intervalo correspondiente a las formaciones Tablazo-Paja, de la secuencia Cretácica<sup>30</sup>.

**Tabla 6.** *Propiedades petrofísicas formación La Luna*

Datos Básicos	Formación / Área Bruta		Valle Medio del Magdalena (34000 Km <sup>2</sup> )	
	Formación Shale		La Luna/Tablazo	
	Año Geológico		U. Cretáceo	
	Ambiente deposicional		Marino	
Extensión Física	Área prospectiva (Km <sup>2</sup> )		6190	518
	Espesor (pies)	Orgánicamente rico	1000	1000
		Neto	300	300
	Profundidad (pies)	Intervalo	3300 - 16400	3300 - 10000
Promedio		10000	8000	
Propiedades de yacimiento	Presión de yacimiento		Alta Sobrepresión	Alta Sobrepresión
	TOC promedio (%)		5,0%	5,0%
	Madurez Térmica (% Ro)		0,85%	1,15%
	Contenido de Arcilla		Bajo	Bajo

*Nota. Datos tomados de "Yacimientos no convencionales en la cuenca del Valle Medio del Magdalena: su impacto en Colombia". Universidad de los andes facultad de ingeniería, maestría en ingeniería de petróleos. Septiembre 2020.*

### 3.4 Impacto ambiental en el uso del agua

El proceso de fracturación hidráulica multietapa a través de pozos horizontales en roca generadora conlleva un número elevado de efectos ambientales, algunos de los que más enfatizan son el consumo de agua y su pérdida para el ciclo hidrológico, migración de gases y sustancias del fluido hidráulico hacia la superficie, la contaminación atmosférica y la captación masiva de agua, que pondría en riesgo su suministro en zonas con escaso recurso hídrico.<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Cuenca Valle Medio del Magdalena, integración geológica de la digitalización y análisis de núcleos. Pozo Infantas-1613. Diciembre 2012.

<sup>31</sup> Albert, s,f

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

En Europa y Estados Unidos las prohibiciones y moratorias del fracturamiento hidráulico multietapa a través de pozos horizontales en roca generadora se han sustentado bajo la gran preocupación sobre el impacto ambiental que este método causa en el uso del agua, directa o indirectamente. Las discusiones se apoyan en el principio de precaución. En otro aspecto, varios países de esta región afirman tener un alto compromiso político con el cambio climático y con la transición energética y las decisiones sobre fracking se han tomado en ese contexto.<sup>32</sup>

En Norteamérica para el año 2011, el Reporte de la misión a Estados Unidos de la Relatora Especial de Naciones Unidas sobre los derechos humanos al agua potable y al saneamiento, señaló denuncias que recibió sobre los impactos del fracking en el agua. Por otro lado, los habitantes de algunas regiones denunciaron contaminación en el agua para consumo humano y dificultad para detectar esta contaminación. La relatora recomendó a Estados Unidos una consideración holística del “derecho humano al agua” al incluirlo en las políticas sobre agua relacionadas con asuntos energéticos, debido a toda esta clase de impactos ambientales, observados y analizados por su población. En consecuencia, en el año 2019 los Estados de Oregón y Washington prohibieron el fracking y La Florida lo restringió.<sup>33</sup>

Por otro lado, la contaminación del agua subterránea podría ocasionarse por la propagación de fracturas inducidas y su conexión con fallas naturales; o por la deficiencia en la cementación del casing, si estos están inadecuadamente diseñados. Sin embargo, algunos modelos numéricos y estudios micro-sísmicos sugieren que las fracturas creadas durante el fracturamiento hidráulico, son poco probable de que se extiendan verticalmente hacia arriba desde formación fracturada hasta los acuíferos poco profundos o someros.<sup>34</sup> Algunos sucesos, como el incendio ocurrido en

---

<sup>32</sup> Gomez, Fierro, y pardo, 2019

<sup>33</sup> Gomez, Fierro, y pardo, 2019

<sup>34</sup> Congreso Español de Tratamiento del Agua 2020. (2015, 8 julio). Evaluación de Posibles Impactos por Fracturación Hidráulica “Fracking” en los Recursos Hídricos.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

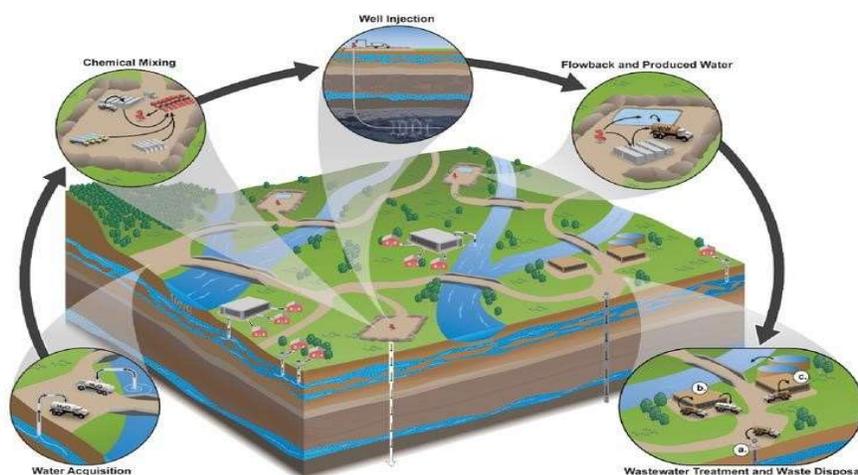
Septiembre de 2019 en Vaca Muerta, Argentina, que duró varias semanas, y requirió la asistencia de bomberos estadounidenses, puso una vez más el fracking en el centro del debate.<sup>35</sup>

### 3.5 Consumo agua en el fracturamiento hidráulico

El alto consumo de agua en la preparación de fluido fracturante para el fracking, genera preocupación en las diferentes poblaciones, ya que este recurso natural en algunas zonas se encuentra muy limitado, a pesar de que aproximadamente el 60% del agua utilizada en el fracturamiento hidráulico regresa a superficie y pueda reutilizarse en dos o más trabajos de fracturamiento posterior.<sup>36</sup>

En la Figura (5) se muestra la adquisición del agua para luego mezclarla con aditivos químicos e inyectarla en los pozos a altas presiones. Las flechas muestran la secuencia del agua y los químicos. La actividad del tratamiento y eliminación de fluidos fracturantes, generalmente se hace mediante la reinyección al subsuelo con un previo tratamiento, o se le da reuso, si es posible. En muy pocos casos se deja en piscinas o se descarga a fuentes de agua.

**Figura 5.** Etapas del ciclo en el fracturamiento hidráulico



*Nota. Tomado de <https://n9.cl/7h0ab>*

<sup>35</sup> Gomez, Fierro, y pardo, 2019

<sup>36</sup> Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de derechos humanos. Comisión de derechos humanos (CNDH) México. Mayo 2018

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

En la tabla (7) se tienen cifras como referencia y comparación en el consumo del agua en trabajos de fracturamiento hidráulico multietapa a través de pozos horizontales, donde se presenta el consumo de agua reportado por diferentes autores, en diferentes años y en diferentes partes del mundo, el cual varía desde  $7500 \text{ m}^3$  a  $75708 \text{ m}^3$  por cada pozo.

**Tabla 7.** Consumo de agua en un pozo para llevar a cabo el FHPH según diferentes autores

Autor	Año	Consumo agua-pozo $\text{m}^3$
<b>Jackson</b>	2014	7570 – 75708
<b>Brantley et al</b>	2014	15142 – 18927
<b>Vidic et al</b>	2013	7570 – 26498
<b>Peduzzi &amp; harding</b>	2013	7570 – 30238
<b>Eaton</b>	2013	7570 – 37854
<b>Rivard et al</b>	2013	7500 - 15000
<b>Freeman</b>	2013	22712
<b>Myres</b>	2012	17034
<b>Groat y Grimshaw</b>	2012	15142 – 23091
<b>Bocora</b>	2012	18927
<b>Weijermars et al</b>	2011	4542.5 – 13249
<b>D. Rahm y Jiang et al</b>	2011	7570.8 – 18927
<b>Harper</b>	2008	15141.6

*Nota.* Datos tomados de “Effects of hydraulic stimulation (fracking) on water resources: in the Colombian context”. Universidad Militar Nueva Granada. 2017.

Para la explotación de los yacimientos no convencionales tipo roca generadora, es importante la construcción de pozos horizontales, de esta forma se asegura que se aproveche la

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

mayor área del yacimiento en una sola perforación. Esa construcción se inicia con una perforación vertical por tramos, donde cada tramo se va revistiendo con tubería de acero y se cementa para aislar los acuíferos. La broca desciende a una profundidad de miles de metros, según la zona de exploración y la roca generadora objetivo. Puede llegar incluso a más de 5.000 metros. 150 metros sobre la roca generadora objetivo, la sarta de perforación es desviada gradualmente hasta lograr la horizontalidad a través de la roca generadora, recorriendo una trayectoria entre 1.000 y 3.500 metros. Finalmente, el pozo horizontal es revestido y cementado con tubería de acero, para luego ser cañoneado o agujereado por etapas. A través de dichos agujeros o perforaciones del revestimiento se inyecta el fluido de fracturamiento a presiones por encima de la presión de fractura de la roca, hasta lograr romperla. Las fracturas se van propagando y simultáneamente se van apuntalando para evitar que se cierren al dejar de ejercer la presión (Osberth, 2016).

El fluido de fracturamiento requiere de una textura gelatinosa, que no tiene el agua; por lo cual, para poder darle esas propiedades reológicas, se le debe agregar un coctel de químicos. La gelatinosidad es necesaria para el transporte del material apuntalante de sostén hasta las fracturas inducidas, y empaquetarlas. A través de dichas fracturas fluye el hidrocarburo desde la roca generadora hasta el pozo.

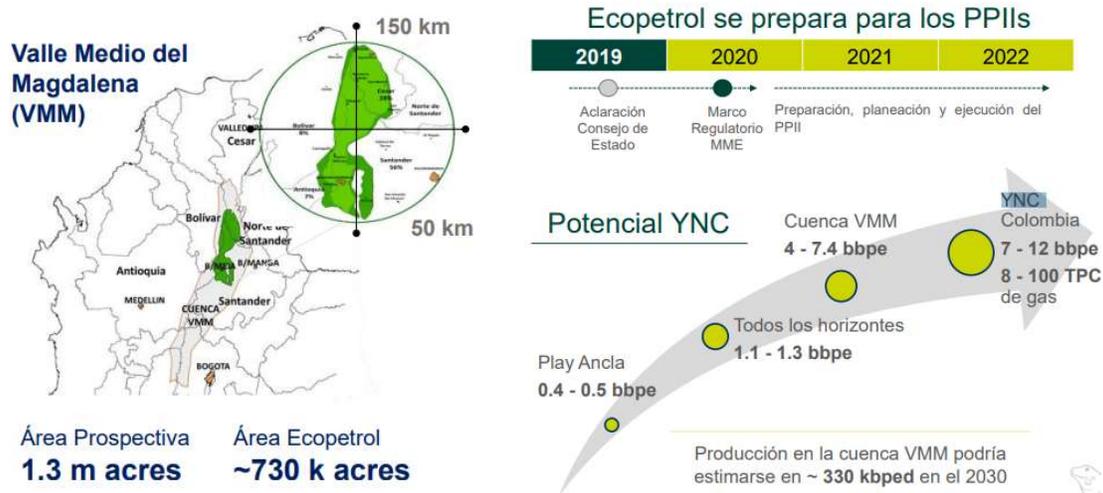
La Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y el Congreso para el Desarrollo de los No Convencionales, Shale Colombia 2013, publicaron que las cuencas colombianas contienen grandes volúmenes de reservas aprovechables de gas en yacimientos no convencionales. Por ejemplo, en la zona de Catatumbo y del Cesar existen aproximadamente 31,7 trillones de pies cúbicos (TFC), y en la zona del Valle Medio del Magdalena (VMM) alrededor de 29 TFC. Sin embargo, la cuenca del Valle Medio del Magdalena es la de mayor prospección de YNC tipo Roca Generadora, al encontrarse allí la formación geológica La Luna, la cual tiene cuatro miembros (galembó,

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

pujamana, salada y la renta), con un potencial de reservas probadas de más de 5.000 millones de barriles equivalentes (BOPE); lo que corresponde a 2.5 veces las reservas probadas del país, las cuales se pueden extraer a un ritmo entre 100 mil y 350 mil barriles equivalentes por día.<sup>37</sup>

En cuanto al impacto económico que tendría el fracking, Ecopetrol estima ingresos para el país, por concepto de impuestos, regalías y otros derechos económicos, por el orden los 500 millones de dólares anuales como mínimo, por los próximos 25 años; y de hasta 3000 millones de dólares anuales, si se incluyen los dividendos de las utilidades de Ecopetrol que se le transferirían a la nación. La Agencia Nacional de Hidrocarburos considera que las cuencas del Valle Medio del Magdalena y la de Cesar- Ranchería son el potencial más importante para la exploración y producción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales del país (figura 6).

**Figura 6.** Potencial de Yacimientos No Convencionales en Colombia.



*Nota. Tomado de Ecopetrol, marzo 2020*

<sup>37</sup> Cabrales, s, f

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

La implementación del fracking como nueva técnica de extracción de hidrocarburos en yacimientos no convencionales tipo roca generadora, aún es un desafío para Colombia, pues su normatividad está suspendida por el Consejo de Estado, no permitiendo aún su licenciamiento ambiental. Muchos expertos consideran que los estudios y políticas que existen respecto al fracking, fueron redactados siguiendo las políticas y regulaciones de países cuyas condiciones hídricas y geológicas no son similares a las colombianas; por lo cual, están equivocadas.

En Estados Unidos, así como en Colombia, la controversia alrededor de los daños ambientales del fracking ha sido ampliamente discutida. Sin embargo, en Estados Unidos se regulan los riesgos del fracking sobre el recurso hídrico subterráneo de baja profundidad, el cual representa el 95% del agua que se consume a nivel rural. Hacia el año 2020 los Estados de Oregón, Washington, Maryland, Vermont y Nueva York, habían emitido normas prohibitivas sobre el desarrollo del fracking en sus territorios o el manejo de residuos provenientes del mismo. Sin embargo, es importante anotar que Vermont, Washington, Oregón y Maryland no son productores de petróleo, y el Estado de Nueva York tiene una producción muy baja de crudo (750 barriles día).<sup>38</sup>

En la actualidad, el fracturamiento hidráulico multietapa con perforación horizontal en roca generadora, es utilizado en Estados Unidos, Canadá, China, India, Australia, y Argentina.<sup>39</sup> Pero según la página “Tracking Fracking”, la técnica del fracturamiento hidráulico multietapa a través de pozos horizontales en roca generadora, se ha aplicado en más de 20 países (figura 7).<sup>40</sup>

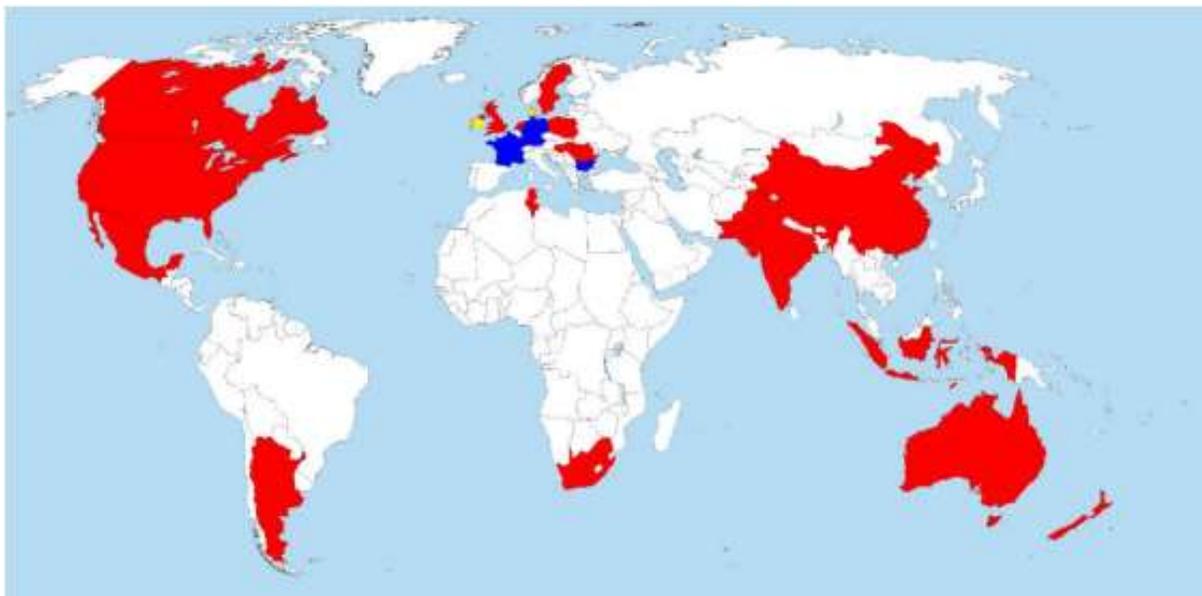
---

<sup>38</sup> U.S. Energy information administration, 2019

<sup>39</sup> SGK planet, SF

<sup>40</sup> Jhans, Wilter, Claudia (2021). Propuesta de estrategia integral de comunicaciones y relacionamiento para mejorar la percepción de la opinión pública sobre la técnica de Fracturamiento Hidráulico Multietapa en Perforación Horizontal (fracking) de ECOPETROL S.A. (Magíster en Administración de Negocios – MBA). Universidad EAN. Bogotá D.C.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Figura 7.** Mapa de países con fracturamiento hidráulico multietapa en YRG

*Nota. Los países que a la fecha de mayo de 2019 han llevado a cabo el fracturamiento hidráulico están señalados en rojo. En azul países donde existen moratorias nacionales contra el uso de la técnica. Tomado de “tracking fracking”. Estados Unidos es uno de los países donde más se ha aplicado esta técnica en los últimos años. Sin embargo, en algunos estados de este país esta práctica está prohibida o se encuentra en moratoria. (El tiempo, 2019)*

Esta técnica del fracking y el recobro mejorado, ha permitido aumentos significativos en la producción de petróleo y gas natural en los países que la han implementado, como es el caso de Estados Unidos, quien logró pasar de producir 6.5 millones de barriles diarios en 2005, a más de 11 millones de barriles diarios después de 2016, convirtiéndose en el mayor productor de petróleo a nivel mundial.

Adicional a la información consignada en la Tabla 7, sobre las estimaciones de agua consumida para fracking por pozo según diferentes autores, la Tabla 8 muestra el consumo promedio de agua por pozo para cada tipo de roca generadora (Shale), en Estados Unidos; donde se observa un consumo promedio de 18 mil metros cúbicos por pozo.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Tabla 8.** *Estimación de consumo de agua en diferentes plays de Shale en E.U.*

<b>SHALE PLAY</b>	<b>Galones (millones)</b>	<b>m<sup>3</sup> por pozo</b>
<b>Barnett</b>	3.8	14,383
<b>Fayetteville</b>	4.9	18,548
<b>Marcellus</b>	5.5	20,819
<b>Haynesville</b>	5	18,927
<b>Eagle ford</b>	6	22,712

*Nota. Datos tomados de la tesis de grado presentada por Enríquez y Lourdes, 2011, datos tomados del Instituto Mexicano de Petróleo, se consiguen los principales pozos de fracturamiento hidráulico en E.U.*

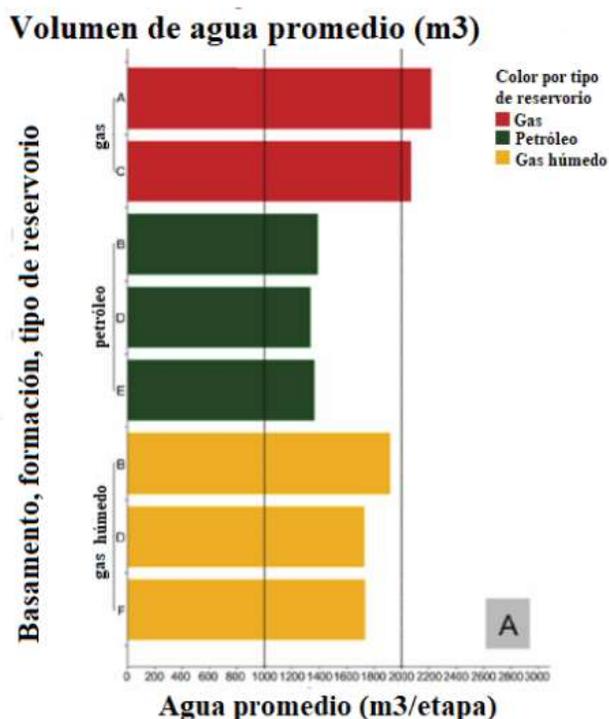
Se estima que, en Estados Unidos, desde el 2010 y hasta el 2020, se han perforado horizontalmente y se han fracturado con múltiples etapas, más de 60 mil pozos en rocas generadoras tipo shale; para un promedio de 6000 pozos horizontales al año, con 20 etapas de fracturamiento hidráulico promedio por pozo.<sup>41</sup>

Otras estadísticas encontradas es el agua usada por etapa de fracturamiento, la cual depende del tipo de fluido contenido en la roca generadora tipo shale (figura 8). Se observa que en los yacimientos tipo shale que contienen gas seco, se requieren más de 2000 metros cúbicos de agua por etapa de fracturamiento; mientras que los que contienen gas húmedo requieren más de 1800 metros cúbicos de agua, y los que contienen petróleo requieren más o menos 1300 metros cúbicos por etapa de fracturamiento.<sup>42</sup>

<sup>41</sup> Yurany Carvajalino, Carlos Medina, Evaluación y teoría de fluidos de fractura, ACIPET

<sup>42</sup> Candellero, Mauro Ariel, Mariela Valentina, Reutilización de agua flowback en fracturas no convencionales, Universidad nacional de Comahue.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Figura 8.** Volumen promedio de agua por etapa (m<sup>3</sup>)

*Nota. Volumen promedio de agua por etapa metros cúbicos. (Reutilización de agua flowback en fracturas no convencionales, Universidad nacional de Comahue).*

Según informe entregado por Ecopetrol al Congreso de la República, el 12 de junio de 2020, en el Joint Venture firmado con la Occidental Petroleum Corp en julio de 2019, para adquirir el 49% de participación en Rodeo Midland Basin LLC, con el fin de realizar exploración y producción de hidrocarburos no convencionales en 100 mil acres de la cuenca Permian en el Estado de Texas, Estados Unidos, a 31 de marzo de 2020 se habían completado y se tenían en producción 4 pozos. Los cuatro pozos lograron una profundidad media promedio de 17000 pies y una profundidad vertical verdadera de aproximadamente 8960 pies. Esto es, 7600 pies de navegación horizontal en promedio. De acuerdo al informe, el volumen de agua usado durante la perforación de estos pozos osciló entre 18000 a 21000 barriles por pozo, y se completaron con un promedio de 37 etapas de fracturamiento hidráulico cada uno (200 pies fracturados por etapa), usando en

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

promedio 296000 barriles de agua por pozo (47064 m<sup>3</sup>/ pozo); o sea, más o menos 1272 m<sup>3</sup> por etapa.<sup>43</sup>

Esta información lleva a la conclusión que Ecopetrol y Occidental utilizaron la misma cantidad de agua por etapa de fracturamiento reportada en la Figura 8 para rocas tipo shale que contienen petróleo (1272 m<sup>3</sup> Vs 1300 m<sup>3</sup> por etapa); pero más del doble de agua por pozo, del promedio reportado por play de shale de Estados Unidos, en la Tabla 8 (47000 m<sup>3</sup> Vs 18000 m<sup>3</sup> por pozo); esto último, posiblemente porque la sección horizontal de los pozos de Ecopetrol y Occidental son de mayor longitud (37 etapas, mientras que el promedio de etapas de fractura es 20 por pozo).

Finalmente, tomando como referencia el área geográfica de la Eagle Ford Shale, equivalente a 51200 kilómetros cuadrados, donde en 2016 la Texas Commission Environmental Quality pronosticó que podrían caber 97 mil pozos horizontales para fracking, se puede predecir que en uno solo de los miembros de la formación La Luna (tiene 4 miembros), con un área de 8200 kilómetros cuadrados, se perforarán 15 mil pozos; que, de acuerdo a las estadísticas, llevarían a un consumo promedio de 400 millones de metros cúbicos de agua. Esto es, la perforación y fracturamiento hidráulico multietapa de 425 pozos consumirán el agua que consumió la ciudad de Barrancabermeja durante el año 2020, según el reporte de la empresa Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. Si se perforan horizontalmente y fracturan los cuatro miembros de la formación La Luna, el consumo de agua equivaldría a la tercera parte del agua almacenada en el embalse Topocoro (río Sogamoso).

---

<sup>43</sup> ECOPETROL, 2020, secretaria general y soporte a presidencia

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**4. Demanda de agua en otras industrias**

En el presente capítulo, se presenta un análisis sobre consumo del gasto hídrico que utilizan otras industrias en el desarrollo de producción en sus materias primas, teniendo en cuenta las unidades de medición que común mente son usadas. Para dicho análisis se tomaron los datos del 2019.

El agua es uno de los principales motores esenciales en el desarrollo económico de un país, de manera que su aprovechamiento debe ser eficiente y sostenible; estos aspectos son importantes a la hora de determinar los dominios de sostenibilidad del recurso hídrico, por lo cual se realizan seguimientos permanentes sobre el gasto de este fluido tabla 9.

**Tabla 9.** *Demanda de agua, huella hídrica azul y flujos de retorno en millones de m<sup>3</sup>.*

<b>Sectores</b>	<b>Demanda hídrica</b>	<b>Huella hídrica azul</b>	<b>Flujos de retorno</b>	<b>Pérdida</b>	<b>Vertimiento</b>	<b>Descarga</b>
<b>Agrícola</b>	16 066,9	8 327,7	7 739,2	7 732,9		
<b>Energía</b>	9 069,45	453,30	59 400,0			59 400
<b>Pecuario</b>	3 071,4	1 013,1	2 058,3	891,00	1 167,3	
<b>Piscícola</b>	3 023,2	27,40	2 913,4			
<b>Doméstico</b>	2 747,2	285,00	2 462,3	852,60	1 609,7	
<b>Industria</b>	1 074,6	125,00	949,70	39,50	910,20	
<b>Minería</b>	668,20	180,10	488,10			
<b>Hidrocarburos</b>	581,30	6,10	575,10			
<b>Servicios</b>	570,90	43,10	527,80	129,30	398,40	
<b>Construcción</b>	435,80	143,80	292,00			

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

*Nota. Datos tomados de “estudio nacional del agua”. Ministerio de Ambiente. Bogotá DC. 2018.*

En el mundo, existen una gran cantidad de industrias, las cuales utilizan una cantidad de agua necesaria para poder producir su materia prima. Los estudios realizados en Colombia por el Ministerio De Ambiente han generado diversas apreciaciones a los análisis del consumo de agua de industrias que aportan a la economía. En la tabla (10) se presenta una comparación entre sectores industriales como el agrícola, el de energía, sector pecuario, piscícola, doméstico, de industria, minero, hidrocarburos, el de servicios y el de construcción, se encuentran conceptos que fueron definidos en el Glosario de esta tesis, como la demanda hídrica, huella azul, flujos de retorno, pérdidas, vertimientos y descargas, en los cuales algunos sectores tienen muy poca influencia.

### **4.1 Industria minera**

La minería es considerada una actividad económica, la cual permite la explotación de diversos minerales que se pueden encontrar en la corteza terrestre, usándose en diferentes industrias para elaborar infinidad de productos de consumo cotidiano.

Esta industria es conocida a nivel mundial por su gran crecimiento exponencial a lo largo de los años, debido a esto se ha convertido en un motor clave de la economía; en los últimos años se ha valorizado logrando llevar sus diferentes productos a los mercados mundiales esto beneficiando a muchos países. Los métodos y las técnicas para la exploración como para la extracción dependen de la ubicación del mineral, si este debe ser explotado en forma subterránea o si se puede a cielo abierto.

En Colombia el sector minero se caracteriza por su riqueza en la diversidad de minerales, su desarrollo es concebido en 4 etapas la cual es la exploración, construcción, explotación y abandono. Esta industria contribuye a el 2,1% del Producto Interno Bruto del país; debido a que los productos generados por este sector hacen parte de la vida diaria de los Colombianos bien sea

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

por que dependen económicamente de este, laboran en minas, transportan productos, comercializan, se benefician de las exportaciones y hasta los usan a diario, esto genera que la necesidad de producción en esta industria aumente constantemente para así suplir las necesidades de los Colombianos.<sup>44</sup>

Debido a que la industria minera sigue creciendo año tras año, con el tiempo requiriendo un gran consumo de agua en el orden de 232 Millones de  $m^3$  en el 2019, se obtienen los siguientes porcentajes de consumo de agua en metros cúbicos por cada uno de los minerales :a) 0,07% en Arcillas cerámicas; b) 0,88% Arcillas misceláneas; c)0,001% Arenas silíceas; d) 0,002% Barita; e) 2,55% caliza; f) 63,72% carbón; g)0,076% Diabasa; h)0,001% Dolomita i) 0,23% Esmeralda; j) 0,004% Feldespatos; k) 0,81% Gravas; l) 0,0003% Mármol; m) 0,0005 Magnesio; n) 0,93% Níquel; o) 28,64% Oro; p) 0,0006% Puzolanas; q) 1,5% Recebo; r) 0,003 Roca fosfórica; s) 0,57% Sal, datos que se pueden ver representados en la Figura(9).

**Tabla 10.** *Análisis porcentual del consumo de agua para los diferentes minerales producidos en Colombia en el año 2019*

<b>mineral</b>	<b>Unidad</b>	<b>Consumo agua (<math>m^3</math>/unidad)</b>	<b>%</b>
<b>Arcillas cerámicas</b>	ton	0,076	0,0716983
<b>Arcillas misceláneas</b>	ton	0,5993	0,88430535
<b>Arenas silíceas</b>	$m^3$	0,009	0,00150956
<b>Barita</b>	$m^3$	2,1561	0,00210477
<b>Caliza Para Cal o Cemento</b>	ton	0,312	2,5472089
<b>Carbón</b>	ton	1,745	63,7244093
<b>Diabasa</b>	$m^3$	0,1481	0,07695628

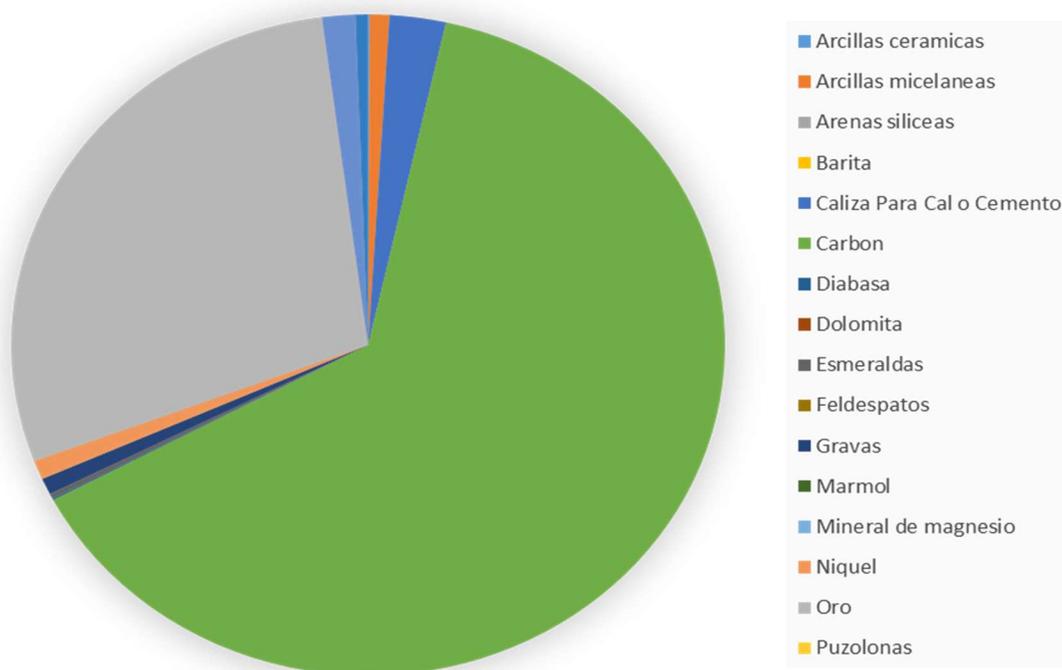
<sup>44</sup> Martínez Édmer (2019). Minería bien hecha, una joya para la economía colombiana. Portafolio.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

<b>Dolomita</b>	ton	0,1204	0,00135687
<b>Esmeraldas</b>	Quilates	0,2985	0,22838113
<b>Feldespatos</b>	ton	0,064	0,00495011
<b>Gravas</b>	m <sup>3</sup>	0,138	0,80928217
<b>Mármol</b>	m <sup>3</sup>	0,0015	2,8743E-05
<b>Mineral de magnesio</b>	ton	0,068	5,4011E-05
<b>Níquel</b>	lb	0,0243	0,93469315
<b>Oro</b>	gr	1,7772	28,6421156
<b>Puzolanas</b>	ton	0,0052	0,00064478
<b>Recebo</b>	m <sup>3</sup>	0,373	1,49534179
<b>Roca fosfórica</b>	ton	0,074	0,0026064
<b>Sal</b>	ton	3,8335	0,57235283
<b>Total</b>		11,8231	100

*Nota. Datos tomados de Unidad de planeación minero-energética de Colombia (UPME). Sistema de información minero-energética.*

**Figura 9.** Análisis porcentual gasto hídrico minero



## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

*Nota. Elaboración propia con información tomada de la investigación Estimación de áreas Intervenidas, Consumo de Agua, Energía Eléctrica y Costos de Producción en Mina Etapa de Explotación realizado por la UPME y UIS para el año 2014*

En la investigación realizada por la UPME & UIS (2014), se tomó primeramente información inicial de los títulos mineros dentro del Registro Minero Nacional (RMN), se seleccionaron por municipios los títulos de mayor relevancia y a la hora de cuantificar el consumo del agua, los autores tomaron referentes del costo mensual de este recurso y su proyección anual.

Los criterios tenidos en cuenta para obtener la cifra de consumo de agua en la industria minera en el año 2019 fueron los siguientes:

- a) Para obtener los diferentes valores de producción minera se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: datos estadísticos de producción minera otorgados por la Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia (UPME) valores que se encuentran junto con el Sistema De Información Minero Colombia.
- b) Para el consumo hídrico necesario para la producción de cada uno de los minerales se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: En un trabajo de campo realizado por (UPME-UIS, 2014) lograron cuantificar un valor de conversión promedio para cada uno de los minerales teniendo en cuenta su diferente forma de explotación ya sea a cielo abierto o subterránea, para así obtener el gasto hídrico necesario para su producción. Estos datos fueron derivados de 350 registros en el estudio de “estimación de áreas intervenidas, consumos de aguas, energía eléctrica y costos de producción de minas en etapa de explotación”.
- c) El valor de captación de agua para cada uno de los minerales se obtuvo, multiplicando el dato de producción en el año 2019 de cada uno de estos por el promedio de

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

captación necesaria para cada mineral. En la tabla (11) se pueden apreciar los datos mencionados anteriormente.

**Tabla 11.** *Demanda de agua, huella hídrica azul y flujos de retorno en millones de m<sup>3</sup>/año.*

<b>mineral</b>	<b>Unidad</b>	<b>Producción- año</b>	<b>Consumo agua (m<sup>3</sup>/unidad)</b>	<b>Volumen Mm<sup>3</sup>/año</b>
<b>Arcillas cerámicas</b>	ton	2193741	0,076	0.16
<b>Arcillas misceláneas</b>	ton	3431216	0,5993	2.05
<b>Arenas silíceas</b>	m <sup>3</sup>	390030	0,009	0.00351
<b>Barita</b>	m <sup>3</sup>	2270	2,1561	0.00489
<b>Caliza Para Cal o Cemento</b>	ton	18984539	0,312	5.9
<b>Carbón</b>	ton	84918140	1,745	148.18
<b>Diabasa</b>	m <sup>3</sup>	1208312	0,1481	0.17
<b>Dolomita</b>	ton	26206	0,1204	0.00315
<b>Esmeraldas</b>	Quilates	1779123	0,2985	0.53
<b>Feldespatos</b>	ton	179856	0,064	0.0115
<b>Gravas</b>	m <sup>3</sup>	13636753	0,138	1.88
<b>Mármol</b>	m <sup>3</sup>	44558	0,0015	0.0000668
<b>Mineral de magnesio</b>	ton	1847	0,068	0.000125
<b>Níquel</b>	lb	89444342	0,0243	2.173
<b>Oro</b>	gr	37476487	1,7772	0.000066
<b>Puzolanas</b>	ton	288336	0,0052	0.0015
<b>Recebo</b>	m <sup>3</sup>	9322271	0,373	3.47
<b>Roca fosfórica</b>	ton	81903	0,074	0.0061

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

<b>Sal</b>	ton	347183	3,8335	1.33
			<b>Total, Mm<sup>3</sup>/Año</b>	<b>232.54</b>

*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado. Referencia página Upme*

## 4.2 Agricultura

La agricultura juega un papel estratégico importante en el desarrollo de los países y es la principal fuente de ingresos en las zonas rurales, aunque los objetivos económicos elegidos por países de todo el mundo han provocado que el sector reduzca o aumente su participación o contribución al ingreso Producto Interno Bruto (PIB) total.

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en el primer trimestre de 2020, para la industria agrícola el Producto Interno Bruto (PIB) creció un 6,8%, respecto al mismo periodo del año anterior. Este crecimiento se debe a las siguientes dinámicas: pesca y acuicultura (31,5%); cultivos transitorios, permanentes y otros (8,6%); ganadería (7,1%); Silvicultura y extracción de madera (2,6%); y cultivo permanente de café decrece (13,9%).<sup>45</sup> Específicamente, el top cinco de los cultivos que más crecieron fueron: plátano (35%); maíz (29,4%); arroz (20,9%); huevo (13,4%); y papa (11,2%). Ahora bien, el crecimiento de cultivos (sin café) y ganadería tienen un peso muy alto en la economía, 61% y 24% respectivamente, esto hizo que el PIB repuntara.<sup>46</sup>

A lo largo de la historia, la industria agrícola ha jugado un papel muy importante en el desarrollo económico de los países desarrollados y las economías emergentes, y se ha convertido en un motor de crecimiento para otras industrias. Por ello, el Banco Mundial (2007) enfatizó que

<sup>45</sup> Departamento Administrativo nacional de Estadísticas. DANE (2020). Boletín técnico, Producto interno bruto (PIB). Disponible en: <https://acortar.link/2UUam>

<sup>46</sup> Ministerio de Agricultura. Minagricultura (2020). El sector agropecuario creció 6,8% e impulso la economía Colombiana en el primer trimestre de 2020.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

la agricultura ha contribuido al desarrollo integral del país en tres aspectos: como actividad económica, como medio de supervivencia y como proveedora de servicios ambientales.<sup>47</sup>

La Agricultura Colombiana es muy variada, según el Banco de la República los principales productos en la economía del país son las oleaginosas, el café, el algodón, el cacao, la caña de azúcar, el banano, el arroz, el maíz, la papa y las flores, entre otros.<sup>48</sup>

Para el análisis del consumo de agua en la industria agrícola se utilizaron los términos de demanda hídrica, huella azul (volumen de agua dulce extraído de una fuente superficial o subterránea utilizado para producción de bienes y servicios, cubriendo una demanda de agua no satisfecha a causa de un déficit en la disponibilidad de agua procedente de la lluvia) y huella verde (Volumen de agua lluvia que no se convierte en escorrentía, por lo que se almacena en los estratos permeables superficiales y así satisface la demanda de la vegetación. Esta agua subterránea poco profunda es la que permite la existencia de la vegetación natural y vuelve a la atmósfera por procesos de evapotranspiración).<sup>49</sup>

Según el ENA 2018 los cultivos permanentes representan el 57 % del total de la demanda hídrica agrícola, el 60 % del total de la huella hídrica azul agrícola y el 15 % del total de la huella hídrica verde agrícola (figura 10). La demanda hídrica y la huella hídrica azul agrícola están concentradas en cinco cultivos principales: plátano, palma, caña, yuca y cacao, que representan el 77 % del total estimado para el componente azul de la huella hídrica y la demanda hídrica. La

---

<sup>47</sup> Perfetti, Balcázar, Hernández Leibovich (2013). Políticas para el desarrollo de la agricultura. FEDESARROLLO.

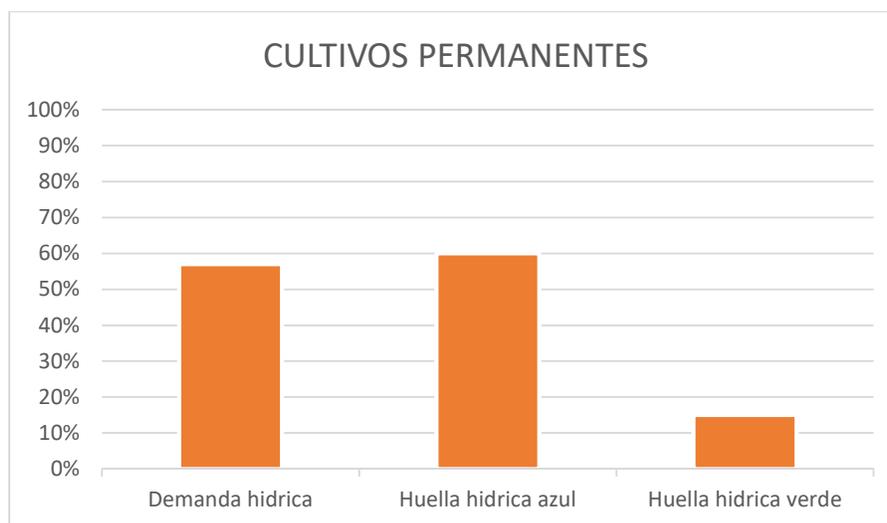
<sup>48</sup> Vargas Katherine (2016). La agricultura Colombiana en el contexto de la globalización. El campesino.

<sup>49</sup> Lozano, Sabogal, Arévalo (2018). Estudio nacional de huella hídrica Colombiana sector agrícola. Sostenibilidad tecnología y humanismo.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

huella hídrica verde está concentrada en cinco cultivos principales: café, plátano, palma, caña y cacao, que representan el 76 % del componente verde de la huella hídrica (tabla 12).

**Figura 10.** Porcentaje de agua para cultivos permanentes



*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado*

**Tabla 12.** Demanda de agua, huella hídrica azul y verde para cultivos permanentes.

cultivo	Demanda hídrica		Huella hídrica azul		Huella hídrica verde	
	Cultivos permanentes (millones de m <sup>3</sup> /año)	(%)	Cultivos permanentes (millones de m <sup>3</sup> /año)	(%)	Cultivos permanentes (millones de m <sup>3</sup> /año)	(%)
<b>Plátano</b>	2399,3	26,2%	1279,6	25,7%	6488,7	15,34%
<b>Palma</b>	1768,0	19,3%	1000,6	20,1%	6280,3	14,85%
<b>Caña</b>	1128,8	12,3%	639,6	12,8%	6206,2	14,67%
<b>Yuca</b>	1077,8	11,8%	574,8	11,5%	2211,2	5,23%
<b>Cacao</b>	628,2	6,9%	335,1	6,7%	2554,1	6,04%
<b>Banano</b>	553,9	6,1%	291,5	5,9%	1168,6	2,76%
<b>Ñame</b>	434,0	4,7%	231,5	4,6%	453,6	1,07%
<b>Otros permanentes</b>	330,3	3,6%	176,2	3,5%	1328,2	3,14%

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

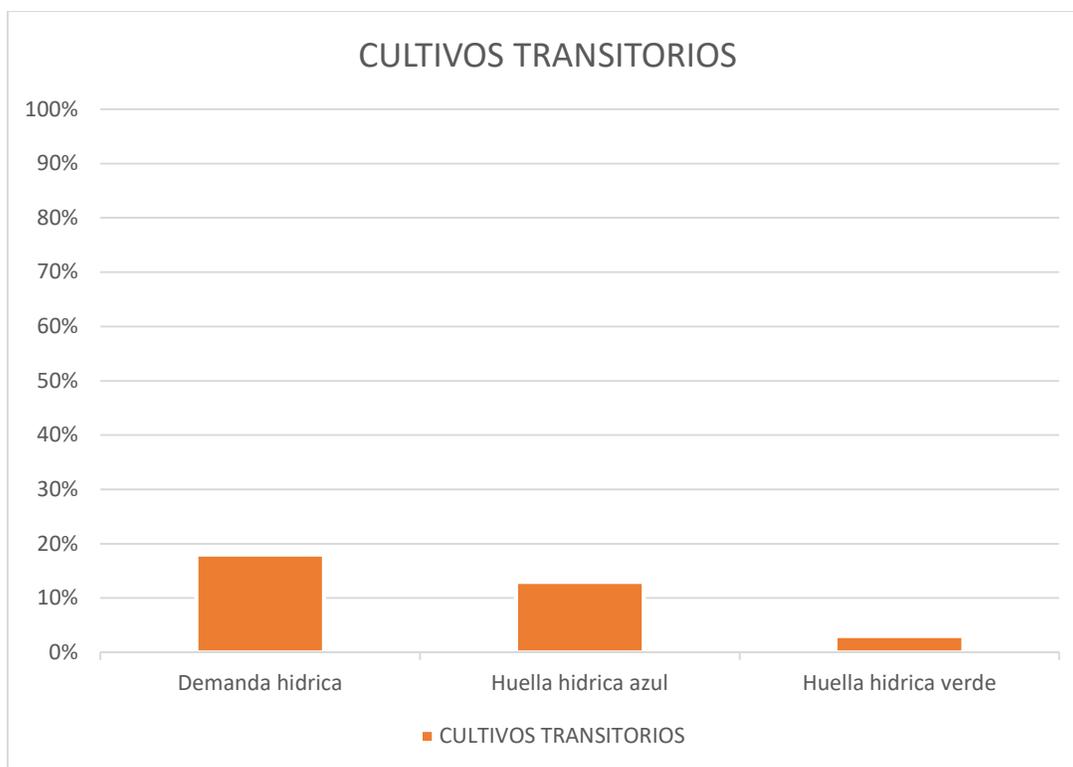
<b>Mango</b>	302,7	3,3%	161,4	3,2%	447,3	1,06%
<b>Cítricos</b>	153,6	1,7%	81,9	1,6%	805,4	1,90%
<b>Piña</b>	81,8	0,9%	43,7	0,9%	261,7	0,62%
<b>Aguacate</b>	81,1	0,9%	43,3	0,9%	719,1	1,70%
<b>Naranja</b>	61,0	0,7%	32,5	0,7%	266,1	0,63%
<b>Flores</b>	46,8	0,5%	30,2	0,6%	18,3	0,04%
<b>Mora</b>	36,0	0,4%	24,9	0,5%	161,1	0,38%
<b>Tomate de árbol</b>	35,5	0,4%	19,2	0,4%	135,8	0,32%
<b>Guayaba</b>	30,0	0,3%	16,0	0,3%	180,3	0,43%
<b>Café</b>	5,5	0,1%	0,6	0,0%	10786,5	25,50%
<b>Caucho</b>		0,0%		0,0%	485,7	1,15%
<b>Coca</b>	0,1	0,0%		0,0%	1001,8	2,37%
<b>Coco</b>		0,0%		0,0%	226,4	0,54%
<b>Fique</b>		0,0%		0,0%	109,2	0,26%
<b>TOTAL</b>	9154,4	100,0%	4982,6	100%	42295,6	100%

*Nota. Datos tomados de “estudio nacional del agua”. Ministerio de Ambiente. Bogotá DC 2018.*

Los cultivos transitorios representan el 18 % del total de la demanda hídrica agrícola, el 13 % del total de la huella hídrica azul agrícola y el 3 % del total de la huella hídrica verde agrícola (figura 11). La demanda hídrica y la huella hídrica azul agrícola están concentradas en dos cultivos principales: arroz de riego y maíz, que representan más del 80 % del total estimado para el componente azul de la huella hídrica y la demanda hídrica. La huella hídrica verde se concentra en tres cultivos principales: arroz de riego, arroz seco mecanizado y maíz, que representan el 79 % del componente verde de la huella hídrica (Tabla 13).

**Figura 11.** Porcentaje de agua para cultivos transitorios

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.



*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado*

**Tabla 13.** *Demanda de agua, huella hídrica azul y verde para cultivos transitorios.*

cultivo	Demanda hídrica		Huella hídrica azul		Huella hídrica verde	
	Cultivos transitorios (millones de m <sup>3</sup> /año)	Cultivos transitorios (%)	Cultivos transitorios (millones de m <sup>3</sup> /año)	Cultivos transitorios (%)	Cultivos transitorios (millones de m <sup>3</sup> /año)	Cultivos transitorios (%)
<b>Arroz de riego</b>	1881,0	64,7%	564,3	50,8%	1772,8	19,0%
<b>Maíz</b>	628,0	21,6%	334,9	30,2%	3463,7	37,1%
<b>Papa</b>	144,3	5,0%	77,0	6,9%	390,4	4,2%
<b>Otros transitorios</b>	66,8	2,3%	35,6	3,2%	169,2	1,8%
<b>Algodón</b>	44,6	1,5%	23,8	2,1%	45,3	0,5%
<b>Frijol</b>	40,4	1,4%	21,5	1,9%	252,0	2,7%
<b>Hortalizas</b>	33,0	1,1%	17,6	1,6%	120,0	1,3%
<b>Cebolla de bulbo</b>	15,9	0,5%	8,5	0,8%	34,6	0,4%

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

<b>Zanahoria</b>	13,8	0,5%	7,4	0,7%	41,6	0,4%
<b>Cebolla de rama</b>	9,5	0,3%	5,1	0,5%	49,9	0,5%
<b>Arveja</b>	9,1	0,3%	4,8	0,4%	64,4	0,7%
<b>Tomate</b>	8,1	0,3%	4,3	0,4%	37,5	0,4%
<b>Tabaco</b>	7,0	0,2%	3,7	0,3%	27,1	0,3%
<b>Trigo</b>	2,6	0,1%	1,4	0,1%	24,5	0,3%
<b>Sorgo</b>	1,0	0,0%	0,5	0,0%	8,6	0,1%
<b>Soya</b>	0,1	0,0%	0,1	0,0%	82,4	0,9%
<b>Arroz secado manual</b>		0,0%		0,0%	644,3	6,9%
<b>Arroz secado mecanizado</b>				0,0%	2118,9	22,7%
<b>TOTAL</b>	2905,2	100,0%	1110,50	100,0%	9347,2	100,0%

*Nota. Datos tomados de “estudio nacional del agua”. Ministerio de Ambiente. Bogotá DC 2018*

**Tabla 14.** *Demanda de agua para la agricultura, huella hídrica azul y verde consumo total.*

<b>cultivo</b>	<b>Demanda hídrica Cultivos (millones de m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Huella hídrica azul (millones de m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Huella hídrica verde Cultivos transitorios (millones de m<sup>3</sup>/año)</b>
<b>Permanentes</b>	9154,4	4982,6	42295,6
<b>Transitorios</b>	2905,2	1110,50	9347,2
<b>Total, consumo de agua</b>	12059,6	6093,1	51642,8

*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado.*

### 4.3 Industria avícola

La avicultura es una de las explotaciones de animales más viables en la actualidad. Gracias al enorme desarrollo de la tecnología, el uso de maquinaria y equipos, y la investigación

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

realizada, la producción de estas especies se ha optimizado no solo a nivel nacional sino también a nivel nacional y escala global, en la búsqueda para obtener una mayor producción.<sup>50</sup>

El crecimiento de la industria avícola no se debe a su eficiencia de producción, sino también a que las personas se han centrado en obtener una nutrición más equilibrada y a que el pollo y los huevos se consideran fuentes importantes de nutrición saludable, lo que conduce a un mayor gasto en estos. Alimentos y seguirá aumentando en los próximos diez años, generando que las diferentes industrias se vean en la necesidad de aumentar su producción para lograr suplir las necesidades de los Colombianos, lo cual ha logrado que la avicultura ocupe el segundo lugar dentro de las actividades agropecuarias del país después de la carne y leche.<sup>51</sup>

En este sector, el agua es esencial para la productividad, ya que es una de las fuentes principales de alimento en esta industria, en el proceso de alimentación de las aves se debe cumplir con algunos requisitos como: la calidad del agua, la bioseguridad, la limpieza de los galpones y de los tanques de almacenamiento; actividades que implican un consumo significativo de este recurso.

La demanda hídrica en esta industria da cuenta de una extracción del orden de 227 Mm<sup>3</sup>/año con las siguientes participaciones: 1) 63,15% para cría, levante y engorde; 2) 15,4% para sacrificio; 3) 21,45% para postura (figura12) para obtener estas cifras se utilizan los siguientes criterios y parámetros:

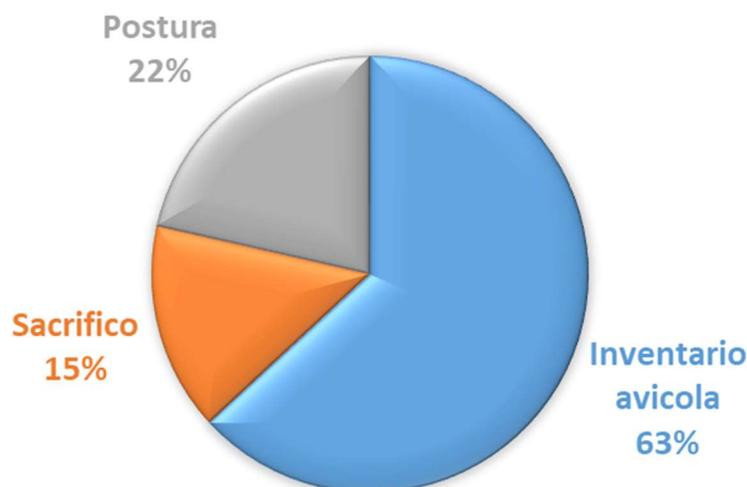
**Figura 12.** Análisis porcentual de la industria avícola

---

<sup>50</sup> Camargo Lyan (2012). Influencia del consumo de agua en los costos de producción en la planta de beneficio avidesa Mac pollo SA (tesis de pregrado zootecnia). Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña.

<sup>51</sup> Bohórquez Víctor (2014). Perspectiva de la producción avícola en Colombia (Especialización en alta gerencia). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.



*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado*

1. Definición de la población conforme a la cadena de producción de la siguiente forma: a) para la fase de cría, levante y engorde de pollos y gallinas, se basó en el informe estadístico presentado en el 2019 por el Instituto Colombiano Agropecuario el cual se encuentra dividido departamentalmente, de este informe también se tomaron los datos de postura; para las otras especies se tomó la información de Ministerio de Agricultura, -Dirección de Cadenas Pecuarias - presentado en abril del 2019 b) para el caso del volumen de sacrificio avícola registrado en 2019 se tomó la información aportada por el INVIMA con respecto a las diferentes plantas de sacrificio inspeccionadas.

**Tabla 15.** *Análisis demanda hídrica de la industria avícola*

Inventario Avícola año	Módulo de consumo fase de cría levante y engorde (l/día-100 animal)	Demanda hídrica en fase de cría, levante y engorde (Mm <sup>3</sup> /año)
Pollos y gallinas	160964485	240
patos	721755	370
		141.0
		0.975

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

<b>pavos</b>	415625	650	0.986
<b>codornices</b>	3647000	58	0.772
<b>Total, animales</b>	165748865		143.778
<b>sacrificios registrados año</b>		<b>módulo consumo de agua en fase de sacrificio (l/día-100 aves)</b>	<b>demanda hídrica en fase de sacrificio registrado (Mm<sup>3</sup>/año)</b>
<b>Total, aves sacrificadas</b>	600196449	16	35.05
<b>Postura año</b>		<b>Módulo de consumo fase postura (l/día-100 aves)</b>	<b>Demanda hídrica en fase de postura (Mm<sup>3</sup>año)</b>
	<b>60814199</b>	220	48.83
	<b>Total, consumo agua Mm<sup>3</sup>/año</b>		<b>227.62</b>

*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado.*

2. Para los módulos de consumo de agua estos son tomados de valores ya registrados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) en la guía ambiental para el sector avícola, para el consumo de agua en fase sacrificio se tomaron los valores presentados en un estudio nacional del agua realizado en 2010 el cual tomo los datos referentes publicados por la Universidad de la Salle sobre dotaciones de agua en infraestructura de beneficio para el subsector de aves.

3. Los datos de consumo de agua se obtuvieron multiplicando las cantidades de poblaciones avícolas por el valor registrado de gasto hídrico de cada especie y proceso realizado en esta industria. cómo se puede apreciar en la tabla (15) donde se relacionan los volúmenes de población. Consumo y demanda hídrica puntuales, conforme con los parámetros ya descritos.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### 4.4 Industria porcina

En Colombia el año 2019 término con una alta estabilidad del sector Porcícola nacional y demostrando un gran crecimiento para los próximos años, y es debido a que esta industria cada vez es más sólida, prueba de esto es que en el 2019 movió 2,6 billones en términos de producción, tuvo una participación del 1,4% del PIB agropecuario y 4,8% del pecuario, según el último estudio sectorial del DANE.<sup>52</sup>

Durante los últimos diez años el sector porcícola Colombiano ha exhibido un importante dinamismo, doblando su producción al mantener un crecimiento anual promedio al 7,2% y esto se debe al resultado de un trabajo en el mejoramiento de los parámetros productivos.<sup>53</sup>

Debido a que el agua es uno de los nutrientes más importantes, debido a que sin este no puede ocurrir ningún proceso metabólico y fisiológico en el organismo, el agua es necesaria para lo que conlleva todo un proceso digestivo desde la absorción de nutrientes a un buen proceso de remoción de desechos, otro signo de esencialidad en los cerdos es que el 80 % del cuerpo de un lechón recién nacido es agua y al finalizar su crecimiento aproximadamente un 53%. Un animal puede perder casi toda su grasa y más de la mitad de su proteína y aun así seguir viviendo, pero perder una décima de agua podría resultarle en la muerte.<sup>54</sup>

La demanda de agua en los cerdos se incrementa en proporción al contenido de proteína en su dieta, un cerdo recién destetado el cual tiene una dieta aproximada ente 12 o 16% de proteína, debió consumir diariamente entre 3,9 y 5,3 litros de agua respectivamente. Las temperaturas altas también incrementan la ingesta de agua especialmente en cerdas y cerdos de finalización. La cadena de consumo de agua en la industria porcina da un total de 591 Mm<sup>3</sup> anuales, con las

---

<sup>52</sup> El sitio porcino (2019). Cifra récord en producción porcina en Colombia.

<sup>53</sup> González Ximena (2019). El sector porcícola colombiano mueve al año \$2.6 billones en términos de producción. Agronegocios.

<sup>54</sup> Alltech (2013). La importancia del agua en producción porcina. Porcicultura.com.

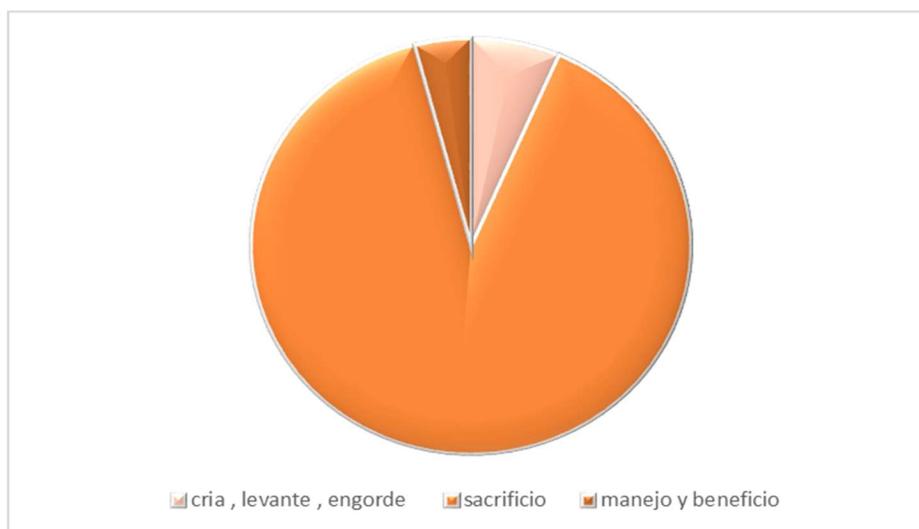
## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

siguientes particiones. a) 89,32% fase de sacrificio; b) 6, % periodo de cria, levante y engorde; c) 4,14% en manejo y beneficio, datos que se pueden apreciar mejor en la figura (13).<sup>55</sup>

Los criterios tenidos en cuenta para obtener la cifra de consumo en la industria porcina en el año 2019 se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- a) Para definir la población porcina se tomó el informe presentado por Ministerio de Agricultura del primer trimestre de 2020, sobre la ceba cárnica porcina en el cual se encuentran los datos registrados de la producción de cabezas de cerdo; b) Para la fase de sacrificio porcino: se tomaron los datos presentados por FINAGRO en una ficha de inteligencia sobre la porcicultura, con datos tomados referentes donde presentan el sacrificio porcentual tanto de hembras como cerdos machos en el año 2019.

**Figura 13.** Análisis porcentual de la industria porcina.



*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado.*

<sup>55</sup> González. M, Saldarriaga. G, Jaramillo. O (2010). Estimación de la demanda de agua, conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. Cap 5. IDEAM.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

a) Los módulos de consumo de agua, se obtuvieron del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial tomados de la guía ambiental, para el sector Porcícola ;b) para el gasto de agua en el sacrificio porcino se tuvo en cuenta el Artículo 107 del decreto 2278 de 1982, donde establece el consumo mínimo y máximo para sacrificar un cerdo, además se completó con la información presentada en el estudio realizado por la universidad de la Salle sobre dotaciones de agua en infraestructuras de beneficio para el sector porcino obteniendo así un módulo de consumo intermedio, c) Para obtener la demanda hídrica en cada una de las diferentes etapas de producción porcinas, se multiplica la población porcina por su respectivo módulo de consumo registrado de agua.

**Tabla 16.** *Análisis demanda hídrica de la industria porcina 2019.*

Inventario Porcícola		Módulo de consumo fase de cría levante y engorde (l/día-cabeza)	Demanda hídrica en fase de cría, levante y engorde (Mm <sup>3</sup> /año)
cerdas cría	308000	18	2.023
lechones	922000	2	0.673
levante y engorde	5480666	18	36.008
Total, cerdos	6710666		38.704
sacrificios registrados año		modulo consumo de agua en fase de sacrificio (l/día-cabeza)	demanda hídrica en fase de sacrificio registrado (Mm <sup>3</sup> /año)
hembras	1689477	300	184.998
Machos	3137600	300	343.567

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Total, cerdos	4827077		528.565
		<b>Módulo de consumo en lugares de manejo y beneficio animal (l/día-cabeza)</b>	<b>Demanda hídrica en fase de postura (Mm<sup>3</sup>/año)</b>
Total, cerdos	6710666	10	24.49
	Total, consumo agua m <sup>3</sup> /año		591.763

*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado.*

En la tabla (16) se puede apreciar la relación entre el volumen de la población porcina con respecto los módulos de consumo y demanda hídrica, con base en los criterios mencionados anteriormente.<sup>56</sup>

#### 4.5 Industria bovina

En Colombia, la carne vacuna es la primera proteína animal consumida por la población por ser considerada una de las principales fuentes de proteína. Además, la actividad ganadera es la actividad económica más grande en el territorio de Colombia, pues de hecho en todas las regiones la hay, sin importar los diferentes pisos térmicos en cualquiera de sus escalas de producción y en diversas especialidades ya sea cría, levante, ceba, lechería o doble propósito.<sup>57</sup>

Esta se encuentra instituida por cuatro cimientos los cuales son: a) producción de ganado en fincas distribuidas por el territorio nacional; b) comercialización del ganado en pie; c) industrialización de las plantas de sacrificio y procesadoras de alimentos; d) canales de distribución

<sup>56</sup> Congreso de la república (1982). Decreto 2278 de 1982. “por el cual se reglamenta parcialmente el título V de la ley 09 de 1979. Bogotá. El congreso.

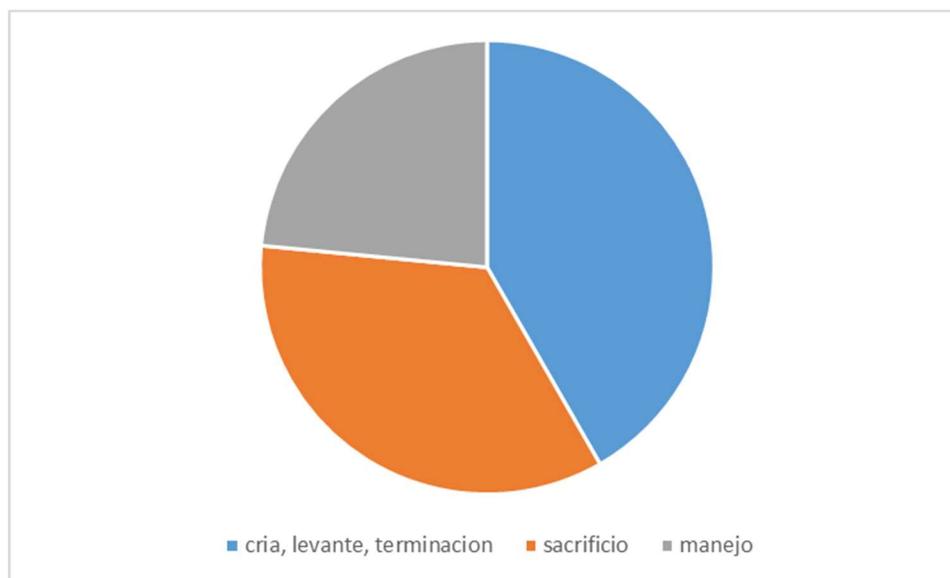
<sup>57</sup> SICEX (2019). Crece el sector cárnico en Colombia y en la región.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

de carne y sus derivados; e) la transformación de los productos cárnicos. Posicionando a la actividad ganadera como la principal en la agropecuaria del país en términos de producción anual se puede decir que equivale a: 2,1 veces el sector avícola; 3,1 el sector floricultor; 5,3 el bananero; 3 el cafetero; 4,4 la piscícola; 8 el porcicultor; lo cual aporta al PIB nacional un 1,4 %, un 48,7 % al sector pecuario y un 21,8% del PIB agropecuario.

Debido a la gran cantidad de producción animal, que genera esta industria su consumo hídrico también es muy elevado posicionándola con el mayor gasto hídrico en el sector pecuario, por esto se realiza una cuantificación de su gasto el cual da el orden de 1694 Mm<sup>3</sup> obteniendo los siguientes porcentajes: a) 41,7% para la parte de cría, levante y terminación; b) 34,81% para sacrificios; c) 23,48% para manejo y beneficio datos que se pueden ver reflejados en la figura (14).

**Figura 14.** Análisis porcentual de la industria bovina.



*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado.*

Los criterios tenidos en cuenta para obtener la cifra de consumo en la industria bovina en el año 2019 se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros a) definir los diferentes volúmenes poblacionales; b) selección de rango de edades para precisión en los respectivos cálculos.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

1) Para definir las poblaciones se realizó en base de los siguientes criterios: a) los datos presentados por la encuesta nacional agropecuaria (ENA) del 2019 presentada por el DANE el 30 de junio de 2020, encuesta donde permite porcentualizar con facilidad cada una de las diferentes poblaciones que conforman el sector bovino; b) los datos de sacrificio bovino se encuentran registrados en la encuesta agropecuaria que realizó el ENA en el 2019 y se complementó con el Censo- sacrificio de ganado total nacional y departamental el cual fue actualizado en diciembre del 2019 y se encuentra en la base de datos del DANE.

**Tabla 17.** *Análisis demanda hídrica de la industria porcina 2019.*

<b>Inventario</b>	<b># Millones de</b>	<b>Módulo de consumo</b>	<b>Demanda hídrica en fase de</b>
<b>Bovino</b>	<b>Cabezas</b>	<b>fase cría, levante y</b>	<b>cría, levante y terminación</b>
		<b>terminación (l/día- cabeza)</b>	<b>(Mm<sup>3</sup>/año)</b>
<b>Machos y</b>	5.13	25	46.837
<b>Hembras</b>			
<b>menores 1 año</b>			
<b>Machos y</b>	6.8	45	111.247
<b>Hembras entre</b>			
<b>1 y 2 años</b>			
<b>Machos y</b>	7.11	98	254.298
<b>Hembras entre</b>			
<b>2 y 3 años</b>			
<b>Machos y</b>	8.22	98	294.190
<b>Hembras</b>			

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

<b>mayores a 3 años</b>			
<b>total</b>			
<b>total</b>	27.24		706.574
<b>Sacrificio registrado</b>	<b># Cabezas</b>	<b>Módulo de consumo en fase de sacrificio (l/día-cabeza)</b>	<b>Demanda hídrica en fase de sacrificio (Mm<sup>3</sup>/año)</b>
<b>Hembras</b>	1.35	500	245.807
<b>Machos</b>	1.88		344.018
<b>total</b>	3.23		598.826
<b>Inventario Bovino</b>	<b># cabezas</b>	<b>Módulo consumo en lugares de manejo y beneficio animal (l-día-cabeza)</b>	<b>Demanda hídrica en lugares de manejo y beneficio (Mm<sup>3</sup>/año)</b>
<b>Machos</b>	9.97	40	145.634
<b>hembras</b>	17.26		252.066
<b>Total</b>	27.23		397.700
<b>Total (Mm<sup>3</sup>/año)</b>			1694.101

*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado.*

1) Para los valores de consumo hídrico de acuerdo a la cadena de producción: a) estos valores de consumo según edades ovinas se puede adquirir en la guía de medidas integrales para el manejo ambiental de la ganadería bovina, publicada por FEDEGAN; b) el consumo de agua tribuida al sacrificio bovino con los datos de consumo presentados por la universidad de la SALLE sobre dotaciones de agua en infraestructuras para el subsector bovino, esto relacionándolo con

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

cada una de las edades de selección poblacional que se realizaron; c) el consumo de agua con respecto a las infraestructuras del sector bovino los datos fueron tomados por informe publicado por la universidad de la SALLE.

2) Para obtener los datos de gasto hídricos finales en cada una de las fases de producción se consiguen multiplicando el valor poblacional por su valor de consumo hídrico estipulado según las fuentes investigadas. En la tabla (17) se aprecian las relaciones mencionadas anteriormente.

### **5. Unidad de medición**

En este capítulo se pretende unificar una unidad de medida que permita cuantificar el consumo hídrico en las diferentes industrias.

La medición del agua es una necesidad para brindar un mayor control sobre este recurso, esta medición se lleva realizando varias décadas optando por diferentes formas de medir su gasto, y se ha venido expresando en diferentes unidades. En el sistema métrico decimal internacional la unidad más usada para medir el agua es el Litro (L), aunque no es la única medida al transcurrir de los años se han originado diferentes unidades de medición las cuales surgen de multiplicar o dividir un litro, 1000 litros son equivalentes a  $1 \text{ m}^3$ , es la unidad más usada para la medición de volúmenes además de pertenecer al sistema internacional.

#### **5.1 Historia de las unidades de volumen**

Antiguas civilizaciones utilizaban diversos recipientes que, si bien en un principio fueron diseñados para su contención, más adelante se convertirían en unidades de volumen de fluidos. Por ejemplo, en la ciudad de Heraclea Póntica descubriendo ánforas de diferentes formas y tamaños variando de 2 a 26 litros, implementadas de los territorios griegos.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Los griegos se apoyaban en diversas variedades de contenedores los cuales cambiaban dependiendo su uso establecido. La Hydria se utilizaba para medir agua y un frasco metálico o de cerámica para medir el vino<sup>58</sup>. Por tal motivo encontramos medidas con nombres como cántara, jarro, copa o bien de sus divisores como cuartillo, cuartilla etc.<sup>59</sup>.

Lastimosamente algunas de estas medidas de volumen fueron desapareciendo por el paso del tiempo, otras olvidadas o simplemente remplazadas gracias al continuo avance científico, debido al gran porcentaje de error que tenían o simplemente por comodidad dando paso al sistema actual de unidades volumétricas.

### **5.2 Sistema de unidades volumétricas**

Son patrones especificados para medir distintas magnitudes que se usan en ciencia e ingeniería, basadas en magnitudes consideradas fundamentales de las cuales se derivan la otras. Existen diversos sistemas de unidades, pero los dos principales sistemas de medición son el sistema métrico o internacional y el inglés (Imperial). El sistema métrico en la actualidad se convirtió en el sistema oficial en la mayoría de los países cuyo sistema inicial era el imperial. Sin embargo, en la actualidad algunos países e industrias utilizan sus propios sistemas de medidas por razones históricas, costumbre o por facilidad de cálculos en determinados campos de actividad, como es el caso de Estados Unidos, Myanmar (antigua Birmania), Liberia (África occidental) y algunas industrias como la petrolera<sup>60</sup>.

---

<sup>58</sup> Convert-me.com. Historia de medición

<sup>59</sup> Stockholms stad. Historia unidades de volumen

<sup>60</sup> Fanny Zapata. Sistemas de unidades tipos y características.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### 5.2.1 Sistema internacional de unidades (SI)

Junto con el antiguo sistema métrico decimal (que es su antecedente y que ha mejorado), el SI también es conocido como sistema métrico. Se estableció en 1960 en la XI Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM) con seis unidades básicas y en 1971 fue añadido el mol como la séptima unidad básica<sup>61</sup>.

### 5.2.2 Sistema anglosajón de unidades

Es el conjunto de las unidades no métricas que se utilizan actualmente como medida principal en Estados Unidos, existen ciertas discrepancias entre los sistemas de Estados Unidos y del Reino Unido (donde se llama el sistema imperial), e incluso sobre la diferencia de valores entre otros tiempos y ahora<sup>62</sup>.

Debido a la variedad de sistemas, matemáticamente existe la posibilidad de compararlos por medio de la conversión de unidades. Esta consiste en la transformación del valor numérico de una magnitud física, expresado en una determinada unidad de medida, en otro valor numérico equivalente expresado en una unidad deseada de medida de la misma naturaleza. Por ejemplo, un 1 galón (unidad del sistema inglés) equivale a 0.00378541 metros cúbicos (unidad internacional).

### 5.3 Comparación de unidades

El consumo de agua en las diferentes industrias que aportan a la economía del país es de suma importancia para tener conocimiento del gasto existente en este recurso tan vital para el ser humano. En términos generales la unidad más común evidenciada en la tabla (18) de medición es  $m^3$ -año unidades usadas para cuantificar el gasto de agua que existen en los diferentes sectores,

---

<sup>61</sup> DR. Rogelio Pérez D'Gregorio. Sistema internacional de unidades (SI)

<sup>62</sup> Sistema Anglosajón de unidades

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

sin embargo, en la industria petrolera normalmente se usa galones o bl para cuantificar sus recursos líquidos.

**Tabla 18.** *Comparación de unidades según su sistema de medida.*

<b>INDUSTRIA</b>	<b>Sistema Internacional</b>	<b>Sistema ingles</b>
<b>Avícola</b>	Metros cúbicos	
<b>Agrícola</b>	Metros cúbicos	
<b>Porcina</b>	Metros cúbicos	
<b>Bobina</b>	Metros cúbicos	
<b>Petrolera</b>		Galones
<b>Minera</b>	Metros cúbicos	

*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado.*

Teniendo en cuenta los argumentos anteriores, en esta tesis se utilizará la unidad de  $Mm^3$ -año para lograr cuantificar el consumo de agua las diferentes industrias y así lograr compararlo con el gasto que se requiere en la industria petrolera para ejecutar un fracturamiento hidráulico.

## **6. Priorización del consumo de agua por industrias**

En el actual capítulo, se proyectan las diferentes matrices de comparación de los datos obtenidos en la presente tesis.

### **6.1 Tipos de matrices:**

Existen diferentes tipos de matrices comparativas dependiendo del enfoque o la clase de datos que se quieran utilizar. Los registros de resultados o datos se pueden efectuar por medio de una matriz, herramienta que permite guardar la data recogida convirtiéndose en evidencia para el análisis de los resultados. A continuación, se describen algunos.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### **6.1.1 Matriz metodológica.**

Es el instrumento científico que permite hacer congruente y coherente el proceso de la medición de variables independientes, creando un marco de comparación racional y ordenada para la construcción de un cuestionario.<sup>63</sup>

### **6.1.2 Matriz de comparación**

Es un cuadro de doble entrada que sintetiza y permite comparar el antes y después de la problemática identificada, al momento de realizar el proceso de reflexión de nuestra práctica pedagógica. La Matriz de comparación, además toma como referencia los instrumentos utilizados para evaluar los resultados de la implementación de la estrategia

### **6.1.3 Método Leopold.**

Este es un método que fue creado en Estados Unidos en el año de 1971 por el Dr. Luna Leopold como parte de un equipo de estudio de la entidad denominada U.S. Geological Survey, con la finalidad de hacer evaluaciones de impacto ambiental en proyectos geológicos y de construcción. La matriz de Leopold se fundamenta en la evaluación de las interacciones que existen entre el proyecto y el medio ambiente, pero sin denominar de forma específica cada impacto generado por dicha interacción.<sup>64</sup>

### **6.1.4 Matriz de identificación de impactos**

Esta matriz presenta una forma resumida del método de Leopold, en la cual se presentan todos los factores que afectarán tanto positiva o negativamente a los sistemas ambientales que se encuentren dentro de la esfera de acción del proyecto.<sup>65</sup>

---

<sup>63</sup> Riva Luis (2015). “Construcción de la matriz metodológica”. Cap. 11. Instituto Politécnico nacional.

<sup>64</sup> Centro de recursos para el aprendizaje y la investigación, CRAI-USTA (2020). “Análisis del método de Leopold y el EPM-Arboleda. Universidad Santo Tomas. Bucaramanga

<sup>65</sup> Ramos Amilcar (2004). “Metodologías matriciales de evaluación ambiental para países en desarrollo” (tesis de pregrado). Pg 65. Universidad de San Carlos de Guatemala.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### 6.1.5 Matriz de datos

Ante cualquier objeto de investigación, ya sea éste de significación teórica o de importancia meramente práctica, las decisiones metodológicas propiamente dichas tienen necesariamente lugar dentro de un cierto marco conceptual. Dentro de ese marco se debe determinar: a) el grado en que dicho objeto es susceptible de ser producido en tanto objeto científico dentro de la estructura de la matriz de datos; y b) todas las operaciones que hagan a la producción del objeto dentro de este esquema, y muy particularmente las que tengan que ver con la definición de las unidades de análisis y de las propiedades que les sean aplicables.<sup>66</sup>

### 6.1.6 Método de Fernández Conesa

El método de Conesa fue creado en el año 1997, el cual está basado en el método de las matrices causa - efecto. Involucrando los métodos de matriz de Leopold y el método Instituto Batelle-Columbus para identificar y valorar los impactos ambientales y por tanto su tendencia ambiental, en un escenario “sin proyecto” es preciso primero identificar y describir las actividades, tanto en el cómo y en dónde ocurren, en el área de influencia del proyecto, bien desarrolladas por las comunidades asentadas en esta o bien por los proyectos que existen en el área. (Conesa, 1993).<sup>67</sup>

### 6.1.7 Método Batelle – Columbus

El método del Instituto Batelle – Columbus, es el principal método cuantitativo que se ha desarrollado para la evaluación de impactos ambientales. Su objetivo es la evaluación sistemática de los impactos de un proyecto mediante el empleo de indicadores homogéneos.<sup>68</sup>

---

<sup>66</sup> Barnger. D (2009). “Construcción y análisis de datos”. Cap. 2.

<sup>67</sup> Thompson Randhy (2014). “Guía para la implementación de adecuadas prácticas empresariales en gestión ambiental relacionada con las obras de infraestructura vial en Colombia” (tesis de maestría gestión ambiental). Pontificia Universidad Javeriana.

<sup>68</sup> Método Battelle-Columbus. Disponible en: <https://acortar.link/OuVAy>

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### **6.1.8 Métodos de valoración cuantitativos**

Se examinan los puestos de trabajo de acuerdo con las características y requisitos para su correcto desempeño, denominados FACTORES, valorados por separado, de manera que, sumando los puntos de los distintos factores compensables, se obtiene un total de puntos para cada puesto.

### **6.1.9 Evaluación por puntos (point rating)**

Este método ideado por Reynolds Lott en 1925, fue el primer método analítico y el más utilizado, ya que considera cada trabajo como un compuesto de “Factores Compensables” que tienen un peso determinado; los grados descritos y puntuados constituyen el MANUAL DE VALUACIÓN. Se requiere una definición precisa de los "factores compensables" que se medirán en los puestos y una escala que especifique los diferentes "grados o intensidades" con que se medirá el factor. Los factores comunes incluyen.

### **6.1.10 Comparación por factores**

Es una técnica analítica por cuanto los cargos se comparan detalladamente utilizando factores de evaluación; en este método se procura construir una “Escala Monetaria” para cada uno de los factores compensables en los Puestos Clave seleccionados, (es decir se reparte la remuneración de esos puestos clave entre los factores que lo componen). La creación del método de comparación de factores se atribuye a Eugene Bengé en 1926, quién en principio propone cinco FACTORES GENÉRICOS, a saber<sup>69</sup>:

- Requisitos intelectuales
- Habilidades exigidas
- Requisitos físicos

---

<sup>69</sup> Métodos de valoración cuantitativos. Disponible en: <https://acortar.link/XYExw>

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

- Responsabilidad
- Condiciones de trabajo.

Para cuantificar el valor sobre el consumo de diferentes industrias se toma una matriz comparativa de datos numéricos para así correlacionar los diferentes datos consultados sobre los diferentes gastos hídricos existentes en las industrias propuestas.

### 6.2 Matriz comparativa de datos

En la siguiente matriz se comparan 4 aspectos de las diferentes industrias seleccionadas para evaluar el gasto hídrico. Con el fin de realizar la matriz se manejaron los siguientes criterios:

- a) En la industria agrícola los datos del PIB fueron obtenidos de informes del primer trimestre 2021.
  - b) Para las cifras de ganancias y empleo generado en las industrias porcina, bovina y avícola, sus datos fueron tomados del reporte de cifras sectoriales aportado por el Ministerio de Agricultura cadenas pecuarias (2019);
  - c) En la industria minera los datos de ganancias y empleos generados, fueron obtenidos del boletín estadístico de Minas y Energía (2016-2020) aportado por la UPME;
4. Para la industria petrolera sus datos fueron tomados bajo los siguientes criterios:
- a) Para el dato de gasto hídrico por fracturamiento hidráulico se tomó como referencia el registrado en Estados Unidos, en el cual realizan un análisis del agua usada, para realizar fracturamiento hidráulico en aproximadamente 6000 pozos anuales, el motivo por el cual se emplea este dato, es que aunque Estados Unidos y Colombia no se pueden comparar por extensión, tamaño de yacimientos ni producción, es un punto de comparación apropiado ya que este país es pionero en el uso de esa técnica, además que Estados Unidos ha sido referencia para tomar decisiones.
  - b) GANANCIAS Y PIB dato obtenido del estudio realizado en 2020 sobre *“Análisis del sector petrolero en Colombia, carga tributaria y comparación con Perú, México y Ecuador”*

**Tabla 19.** *Matriz comparativa de diversas industrias*

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Matriz comparativa**

<b>Industria</b>	<b>Ganancias M USD</b>	<b>PIB %</b>	<b>Empleo Generado (miles)</b>	<b>Consumo agua M m<sup>3</sup>-año</b>
<b>Agricultura</b>	5683	3,3	278	12059.6
<b>Avícola</b>	1170	2,8	400	227.62
<b>Porcina</b>	686	1,5	135	591.76
<b>Bovina</b>	1689	3,6	926	1694.10
<b>Minera</b>	4852	2,1	350	232.53
<b>FHPH</b>	3000	2,39	50	425
<b>Petrolera</b>	2642,15	5	95	836,4
<b>FHPH+ Petrolera</b>	5642,15	7,39	145	1261,4

*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado.*

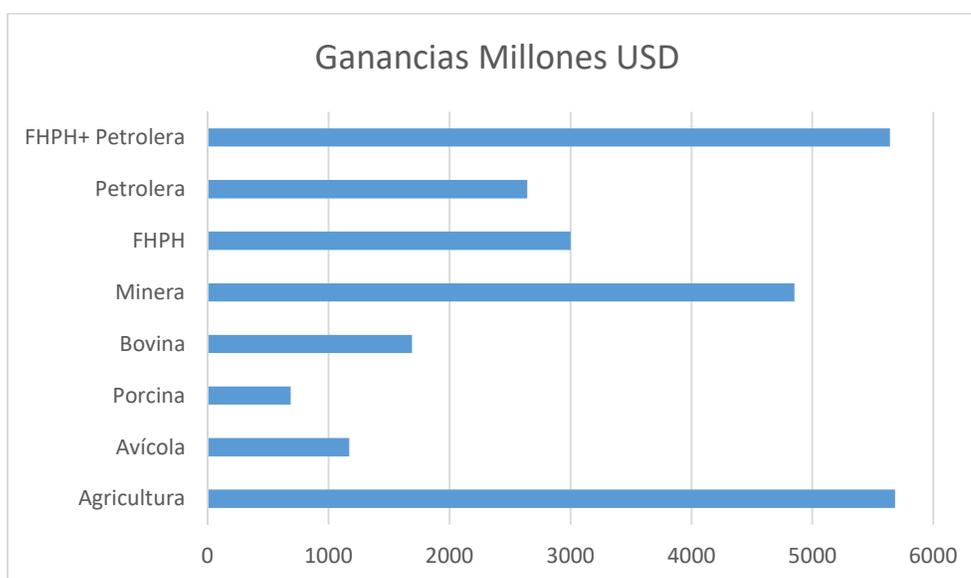
### 6.2.1 Análisis de diferentes parámetros por medio de gráficos de barras

Basados en la tabla (19) se realizó un análisis comparativo de parámetros como, Ganancias económicas, PIB, empleo generado y consumo de agua, mediante gráficos tipo barra, de cada una de las industrias comparadas en esta tesis.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**6.2.1.1 Ganancias económicas.** En la siguiente gráfica se puede apreciar que la industria que genera más ganancias económicas es la agrícola (5683 Millones de USD) ; seguida por la industria petrolera + FH (5642,15 Millones de USD), ganancias que se encuentran muy cerca entre ellas, luego es seguida por la minera (4852 Millones de USD) y el fracturamiento hidráulico (3000 Millones de USD), cabe destacar que en el caso del fracturamiento hidráulico es un aproximado de lo que se podría generar en Colombia si esta técnica se aplicara.

**Figura 15.** Análisis comparativo de ganancias para diferentes industrias



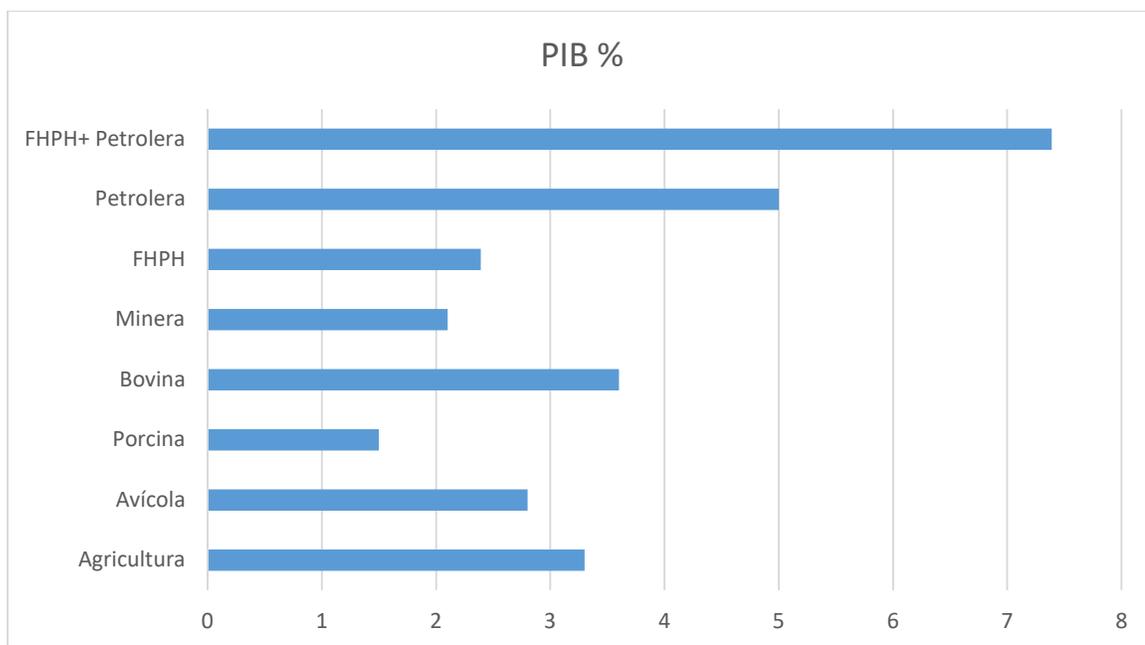
*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado*

**6.2.1.2 PIB.** En el análisis comparativo del Producto interno bruto del país, con las industrias seleccionadas para este proyecto, se puede apreciar que el PIB más alto es aportado por parte de la industria petrolera más la implementación fracturamiento hidráulico, seguida por la petrolera, bovina, agricultura, avícola, aplicación del fracturamiento hidráulico y en el último a la porcina, cabe resaltar que una de las industrias que ha aportado mayor crecimiento al PIB en los últimos años es la industria petrolera, por lo que si a esta se añadieran los posibles proyectos de

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

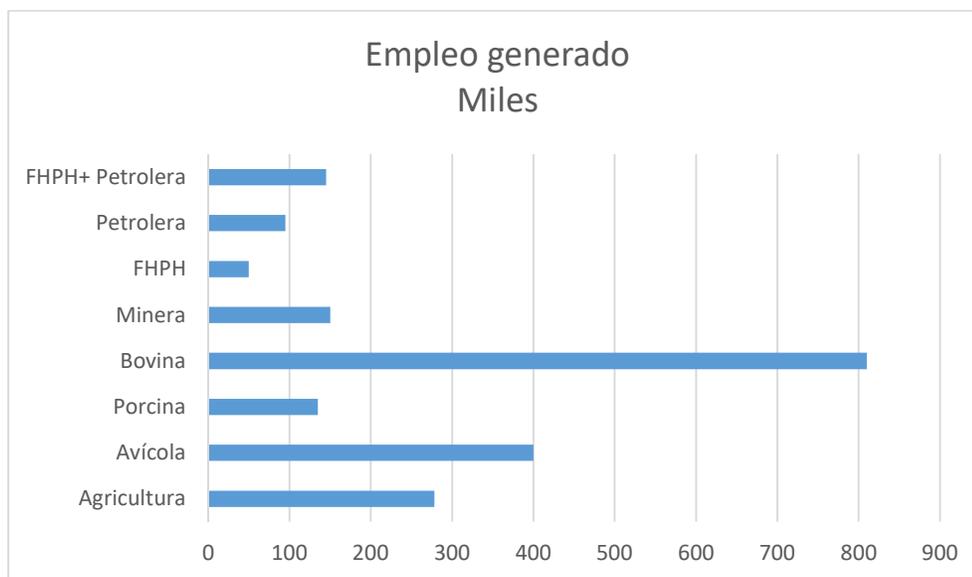
fracturamiento hidráulico el aporte al PIB nacional sería uno de los más grandes como se puede apreciar en la Figura (16).

**Figura 16.** Análisis comparativo de PIB para diferentes industrias



*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado*

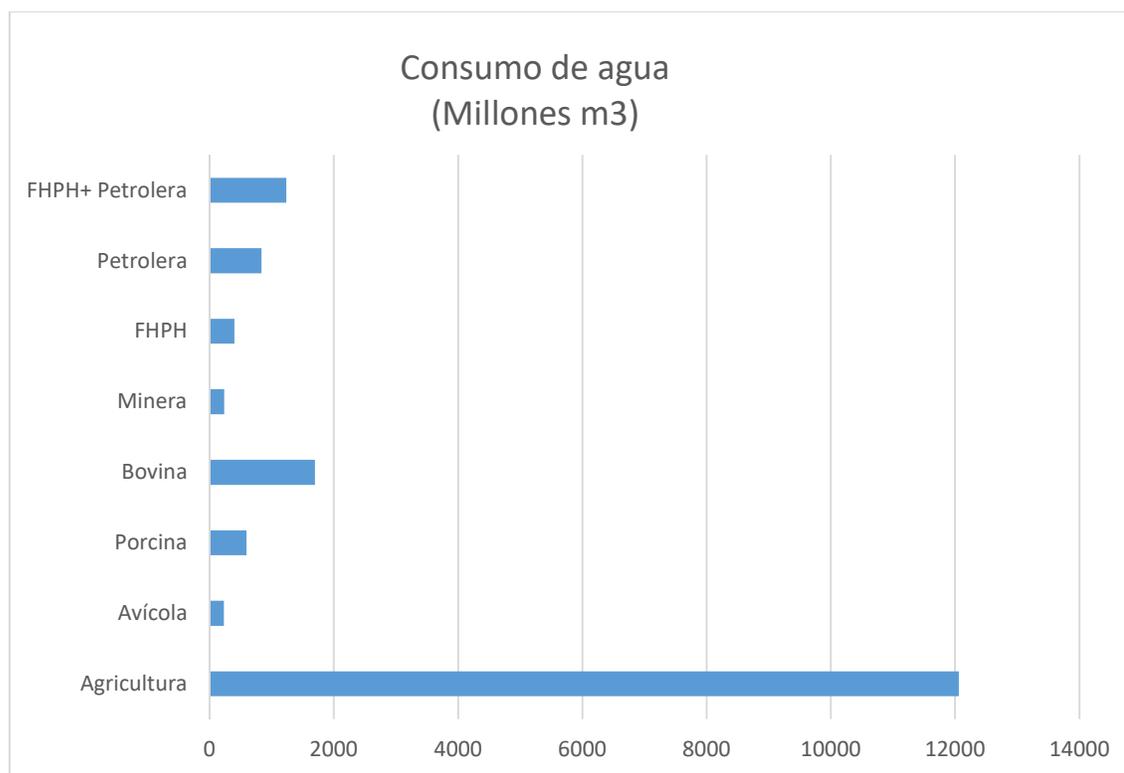
**6.2.1.3 Empleo Generado** En la figura (17) se puede apreciar el empleo generado por las diferentes industrias al país, como se puede apreciar en la gráfica la industria que más empleos aporta es la bovina seguida de la avícola, agrícola, Industria minera, FHPH+ petrolera, porcina, petrolera y culminando con la industria petrolera en la aplicación del FHPH, cabe destacar que en este último dato, es aproximadamente el efecto que esta técnica traería a la hora de generar empleo; por lo cual se puede asumir que este dato puede aumentar como disminuir dependiendo del panorama en años futuros con respecto a la implementación de esta técnica; como conclusión la industria petrolera aun con la implementación del fracturamiento hidráulico multietapa a través de pozos horizontales desde plataformas multipozos en yacimientos de roca generadora seguirá siendo la industria que menor empleo genere.

**Figura 17.** Análisis comparativo de empleo generado para diferentes industrias

*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado*

**6.2.1.4 Consumo de agua  $Mm^3$ .** Como se puede apreciar en la figura (18) la industria que genera mayor consumo de agua es la industria agrícola (12059,6 Millones  $m^3$ ) y con esto también se puede apreciar la desmesurada diferencia que existe entre esta y las demás industrias comparadas, la industria bovina ocupa el segundo puesto de consumo de agua (1694,1 Millones de  $m^3$ ) con una gran diferencia si se compara con la agrícola y de tercer lugar se puede apreciar que se encuentra la industria petrolera más la aplicación del fracturamiento hidráulico (1261,4 Millones de  $m^3$ ), siendo un valor considerablemente alto, por lo cual es importante tener en cuenta el gran consumo que podría llegar a generar esta industria. Analizando el gasto de agua que se requiere para realizar el FHPH (400 Millones  $m^3$ ) se encuentra en la posición sexta, siendo un aproximado del consumo que se generaría en Colombia si se llegasen a perforar 15000 pozos, por lo cual es de suma importancia tener este dato claro a la hora de la implementación masiva de fracturamiento hidráulico horizontal en Colombia.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

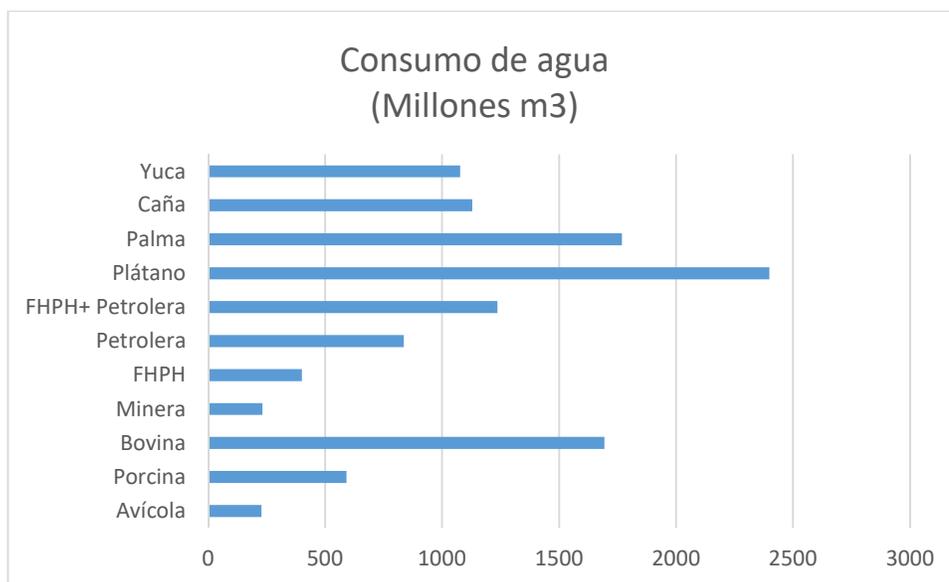
**Figura 18.** Análisis comparativo de consumo de agua para diferentes industrias en  $\text{Mm}^3$  / año.

*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado.*

La comparación realizada es referente al consumo en general de la industria agrícola, al comparar los diferentes monocultivos y su respectivo consumo de agua se puede considerar el consumo significativo que tendrían las diferentes industrias con respecto a estos datos, apreciándose en la figura 19; donde el mayor consumo de agua se da por el monocultivo del plátano seguido de la palma, bovina posicionándose en 4to puesto el consumo que podría llegar a tener el FHPH + la industria petrolera, por ende son cifras que se deben tener en cuenta a la hora de implementar esta técnica.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Figura 19.** Análisis de consumo de agua para diferentes industrias en  $\text{Mm}^3/\text{año}$  vs algunos de los monocultivos con mayor consumo hídrico en el país.



*Nota. Elaboración propia con información del trabajo de grado.*

En la siguiente tabla se puede apreciar un resumen de todo el análisis de variables y posiciones de las industrias con orden numérico.

**Tabla 20.** Posicionamiento de las industrias según las diferentes variables analizadas.

Industrias	Ganancias	PIB	Empleo	Consumo agua
<b>Porcina</b>	8	8	6	5
<b>Bovina</b>	6	4	1	2
<b>Agrícola</b>	1	3	3	1
<b>Minera</b>	3	7	4	6
<b>Petrolera</b>	5	2	7	4
<b>Petrolera +</b>	2	1	5	3
<b>FHPH</b>				
<b>Avícola</b>	7	5	2	8
<b>FHPH</b>	4	6	8	6

*Nota: elaboración propia con datos de la tesis*

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### **7 Análisis ambiental**

El impacto ambiental que pueden llegar a generar diversas industrias son las afectaciones que estas generan sobre la flora o fauna, el suelo, agua, el aire, o el clima, incluso en el hombre mismo, incluyendo sus componentes culturales o económicos. Estos ocurren por actividades generadas de proyectos, construcción y operaciones, por ende, se implementan medidas tanto gubernamentales como internas de cada una de las industrias para mitigar, corregir y compensar los impactos negativos y potenciar los positivos.

#### **7.2 Industria avícola**

Aunque la industria avícola no representa un impacto ambiental muy notorio, hay que analizar las actividades avícolas que se desarrollan en las granjas puesto que un manejo inadecuado de dichas actividades puede traer consigo un impacto negativo sobre los recursos naturales, generando un deterioro sobre la salud pública.

##### **7.2.1 Residuos sólidos**

Las granjas avícolas generan una gran cantidad de desechos sólidos, en los cuales también se generan aves muertas por diferentes causas, gallinaza, cascarilla de arroz, desechos sólidos como plásticos, bolsas; si no se tiene un buen manejo de estos desechos, podrían llegar a consumir una gran cantidad de recursos naturales, afectando al medio ambiente y comunidades cercanas a estas granjas.

Existen granjas donde las aves se encuentran en jaulas donde sus heces caen en fosos y a las aguas residuales en algunas ocasiones no se les realiza el debido tratamiento para evitar contaminaciones de aguas subterráneas y superficiales.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### 7.2.2 Contaminación del agua

La contaminación que se puede llegar a generar en el recurso hídrico debido a esta industria, generalmente es ocasionada por vertederos directos e infiltraciones por los terrenos. la contaminación que se puede dar no solo es microbiológica, si no también puede llegar a ser química esto debido al amoníaco, nitritos y nitratos; los nitritos y nitratos debido a su anaerobiosis si llegasen a tener contacto con el agua, y si esta es consumida por el ser humano podría llegar a ser nocivo para su salud, ya que es de carácter cancerígeno y bloquea la hemoglobina dificultando la oxigenación de los tejidos,(Costa & Urgel, 2000).La presencia elevada de microorganismos patógenos en residuos orgánicos puede suponer un riesgo de infección para la población que se encuentre expuesta a ellos.<sup>70</sup>

### 7.3 Industria porcina

Esta industria trae consigo problemas que afectan al medio ambiente debido al impacto en los recursos de agua, suelo y aire, esto ocasionado por los residuos que estos generan, debido al consecuente incremento en la densidad de cerdos, por lo cual es importante considerar los efectos ambientales.

#### 7.3.1 Desechos sólidos

Uno de los principales impactos ambientales provenientes de la producción porcina, está relacionado con los purines producidos por los cerdos. Sin un almacenamiento adecuado la cantidad de gases de efecto invernadero liberados pueden contaminar de sobremanera el medio ambiente, el nivel de purines determinara los nutrientes liberados en el medio ambiente, los cuales pueden dar fertilidad al suelo si se usan de manera adecuada porque un exceso puede generar la

---

<sup>70</sup> Sánchez Pool (2016).” Evaluación de las medidas de manejo ambiental en las actividades avícolas de la granja inversiones JABRINI import S.A.C” (Tesis de pregrado). Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Perú

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

degradación del suelo y agua. Por lo general las producciones masivas de cerdos liberan excesivas cantidades de nitrógeno y fosforo y las altas dosis de cobre y zinc suministradas a los cerdos pueden acumularse en el subsuelo.

A medida que la industria porcina ha venido creciendo por el territorio Colombiano, empezaron a surgir los problemas ambientales, principalmente originarios por residuos orgánicos, como la porcinaza, placentas, cadáveres e inorgánicos como materiales de uso. Debido a que la porcinaza es el desecho más generado y uno de los más preocupantes, ya que por 70 kg de cerdo producido son 5kg de excretas las cuales generan gases contaminantes. (López, Antonio. Valorización del Estiércol de Cerdo a través de la Producción de Biogás. Asociación Colombiana de Porcicultores. Fondo Nacional de la Porcicultura. Sin Año, Pg. 4.).

### **7.3.2 Uso hídrico**

Como se pudo apreciar en los datos obtenidos en el análisis de consumo de agua de esta industria, es del orden de 590Mm<sup>3</sup> posicionándolo en 5to lugar de las industrias que se analizaron. La contaminación de este recurso se origina normalmente por filtraciones en el subsuelo a la hora de recoger las aguas de limpieza de las jaulas de los cerdos ,de igual manera la filtración de los purines, los cuales pueden llegar a las aguas subterráneas o superficiales y podrían generar una gran contaminación, debido al incremento de biomasa, lo que alteraría el equilibrio de las aguas generando eutrofización, lo cual es de alto riesgo para el consumo humano.<sup>71</sup>

### **7.4 Industria bovina**

Esta industria representa una de las actividades más importantes en Colombia, no solo por sus aportes directos a la alimentación, si no por los derivados que genera, sin embargo, ha ocasionado un gran impacto ambiental, generando pérdidas de hábitats naturales, disminución en

---

<sup>71</sup> Sociedad de agricultores de Colombia, SAC (2002). “Guía ambiental para el subsector porcícola”. Ministerio del medioambiente.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

los suelos y un alto gasto hídrico, aunque esta industria es necesaria para el desarrollo del país hace un uso excesivo de los recursos naturales existentes.

### **7.4.1 Afectación del subsuelo**

Debido a la gran cantidad de tierras usadas por esta industria y en muchos casos generando un uso inadecuado del suelo, impacta negativamente a las fuentes de agua, las zonas de importancia eco sistemática, como lo son páramos. Según informe de FEDESARROLLO una de las principales causas de la deforestación es la expansión masiva generada por la ganadería extensiva representando un 60% de la deforestación en el país, según lo planteo la investigadora Helena García de FEDESARROLLO, lo cual incluye tanto la ganadería con fines productivos, como las inversiones que solo buscan asegurar la tenencia de la tierra introduciendo ganado en pies.<sup>72</sup>

### **7.4.2 Impacto ambiental en Colombia en los recursos naturales**

La industria bovina ha traído consigo impactos tan grandes que unos años atrás se señaló la ganadería como una gran amenaza ecológica del bosque tropical, por actividades pecuarias de pastoreos los cuales generan impactos negativos medioambientales, como lo son la erosión y compactación del suelo; la desecación de humedales; la eliminación vegetal por medio de quemas estacionales y medios químicos como los herbicidas. De igual manera la industria bovina genera contaminaciones significativas al medio ambiente en el desarrollo de sub actividades como: la construcción de vías de penetración, la demanda creciente de madera para cercos, corrales de manejo y camiones ganaderos, contaminación del recurso hídrico y del suelo por fertilizantes sintéticos y plaguicidas, así como la quema de combustibles en el transporte terrestre y fluvial de animales vivos o subproductos de estos.<sup>73</sup>

---

<sup>72</sup> Rico Guillermo (2017). “Colombia: la ganadería extensiva está acabando con los bosques”. MONGABAY periodismo ambiental independiente en Latinoamérica.

<sup>73</sup> Naciones unidas (2006). “la ganadería produce más gases contaminantes que el transporte”.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

La amazonia es la región con más hectáreas deforestadas, principalmente para introducir tanto pastizales para ganado como ganado en pie, lo cual resulta preocupante por la pérdida de biodiversidad que significa pasar de bosque amazónico a pastizal para ganado.

### 7.4.3 Contaminación del agua

Los ecosistemas de páramo y montaña han sido afectados por más de 40 años por sistemas productivos de ganadería y agricultura altamente nociva afectando la estabilidad físico-química del agua, la estabilidad de cauces y los diferentes organismos que viven allí; según Gonzales C<sup>74</sup> un suelo despejado recibe directamente la radiación solar perdiendo humedad y afectando el desarrollo de plantas nativas e introducidas, por lo cual el hombre para mitigar esa pérdida, recurre a fertilizaciones calcáreas y nitrogenadas las cuales causan contaminación de aguas superficiales y profundas.<sup>75</sup>El mismo estudio señala que el consumo hídrico necesario para desarrollar el ganado requerido para la comercialización en Colombia, se encuentra en un orden de 1694 Mm<sup>3</sup> anuales, posicionándolo en la 2 industria con mayor gasto hídrico según el análisis comparativo realizado en este proyecto.

### 7.5 Industria minera

El impacto ambiental que trae consigo esta industria ha generado alteraciones al medio ambiente ocasionados por diferentes aspectos, como el polvo emitido en diferentes actividades como lo son, extractivas, durante la voladura y arranque de material o durante procesos de carga y transporte. Los anteriores aspectos deben controlarse, ya que en unas minerías se genera un polvo silíceo que puede llegar a producirle al ser humano, silicosis y enfermedades pulmonares. Estas industrias mineras generalmente manejan altos niveles de ruido, siendo este uno de los peligros

---

<sup>74</sup> Gonzales C, Saldarriaga G, Jaramillo O (2010). Estimación de la demanda de agua, conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. Cap. 5. IDEAM

<sup>75</sup> Rico Guillermo (2017). “Colombia: la ganadería extensiva está acabando con los bosques”. MONGABAY periodismo ambiental independiente en Latinoamérica.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

ocupacionales más comunes, ya que los trabajadores deben protegerse porque muchos de estos ruidos pueden convertirse en peligrosos.

### 7.5.1 Contaminación del subsuelo

Debido a la generación de aguas ácidas las cuales pueden ocurrir durante la exploración, operación y cierre de una mina, pueden producir efectos mínimos como decoloración en los suelos hasta afectaciones mayores como precipitaciones de óxidos de hierro, llegando a cuerpos de agua o tierras de cultivos. En los terrenos se pueden generar los siguientes efectos:

- Deforestación, erosión y pérdida de suelo fértil
- Impacto visual, alteración de procesos de ladera.
- Desestabilización de laderas por sobre cargas y o excavaciones
- Subsistencia por huecos

En los suelos a menudo se producen los siguientes efectos:

- Variaciones en las texturas, por procesos de despojamiento, compactación, deposición de partículas
- Pérdida de estructura edáfica por compactación
- Variación en el régimen hídrico del suelo por alteraciones en el nivel freático
- Pérdida física de suelo por extracción y arranque
- Contaminación generada por metales pesados, metaloides
- Acidificación por acumulación y oxidación de sulfuros y drenajes ácidos
- Adición de sales al suelo

### 7.5.2 Contaminación de aguas

En el agua se producen los siguientes efectos debido a la minería:

- Variación del perfil trazado de la corriente fluvial

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

- Incorporación de partículas sólidas a la corriente, aumento de la carga de fondo y en suspensión
- Ocupación de lagos, embalses y bahías
- Variación en el nivel freático, variación en el régimen de recarga y modificaciones en el flujo subterráneo, infiltraciones, deforestaciones
- Variaciones del PH por el drenaje de ácidos de las minas. Se produce por hidrolisis y oxidación de sulfuros, en especial la pirita.<sup>76</sup>

Con respecto al consumo de agua se puede apreciar en el análisis comparativo que se realizó en el presente proyecto, un consumo en el orden de 233 Mm<sup>3</sup> posicionando a la industria minera en el 6to lugar del análisis realizado.

### **7.6 Agricultura industrial**

Aunque la agricultura es muy importante para el desarrollo y seguridad alimentaria de todo el país, esta industria genera varios problemas e impactos ambientales. Como es bien sabido esta actividad es ejercida por el hombre para cultivar la tierra y así producir alimentos que sirven para el sustento del ser humano, pero esta industria trae consigo grandes impactos tales como:

- Recuperación de tierras nuevas para proyectos agrícolas
- Intensificación de la producción de las tierras agrícolas
- Sustentabilidad de los proyectos agrícolas
- Degradación de la tierra
- Pérdida de hábitats
- Perdida y extinción de biodiversidad

---

<sup>76</sup> EADIC (2017). “Impacto ambiental de la minería”. Disponible en: <https://acortar.link/Wfpin>

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

- Erosión y sedimentación
- Exceso de plaguicidas, pesticidas y fertilizantes
- Eliminación de afluentes industriales
- Contaminación por desechos
- Uso inadecuado de aguas de riego
- Salinización y solidificación del suelo
- Eutrofización de lagos, ríos y embalses
- Sobrepastoreo excesivo
- Demanda de energía no renovable
- Emisiones de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y amoniaco<sup>77</sup>

Todos estos aspectos conllevan a contaminaciones del aire, suelo, agua y destrucción de la flora como la fauna, además del gran consumo de agua que requiere esta industria para subsistir tal como se puede apreciar en el análisis comparativo que se realizó en este proyecto, donde la industria agrícola representa el mayor consumo de agua encontrándose en un orden del 12059,6 Mm<sup>3</sup> anuales.

### **7.7 Fracturamiento hidráulico**

El impacto ambiental que conlleva esta técnica es normalmente correlacionado con el recurso hídrico del país, de hecho, en diferentes estudios a la hora de evaluar la contaminación ambiental con esta nueva técnica, en los recursos hídricos, recurso fundamental para el sostenimiento del ser humano.

---

<sup>77</sup> Pineda José. “impacto ambiental de la agricultura”. En Colombia. Disponible en: <https://acortar.link/oyRXO>





## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

	Aguas subterráneas	Consumo de agua	x								Disminución de la disponibilidad de recurso hídrico subterráneo
		Uso y manejo de sustancias y residuos peligrosos (química, tóxicas y radioactivas)		x	x	x	x	x	x		Contaminación de aguas subterráneas
Aguas Subterráneas	Emissiones de gases a través					x					Contaminación de aguas subterráneas

*Nota. Datos tomados de: “Riesgos y posibles afectaciones ambientales al emplear la técnica de fracturamiento hidráulico en la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales en Colombia- 2018”.*

## 8 Conclusiones

Con el estudio realizado en este proyecto se cumple con la intención de contribuir a cerrar ese espacio existente de desinformación, relacionada con respecto al fracturamiento hidráulico y su alto consumo hídrico, brindándole al lector argumentos científicos para un análisis argumentando sobre esta temática, mitigando la probabilidad de generar ambigüedades o posturas fundamentadas en argumentos alejados de datos publicados en la literatura científica.

Se seleccionaron las principales industrias que requieren de altos consumos de agua en sus operaciones y mediante la estimación de la demanda hídrica requerida por cada una de estas industrias se pudo correlacionar de forma eficiente, por medio de una matriz comparativa de datos numéricos, con lo cual se puede constatar que el FHPH representa uno de los gastos más bajos de agua en comparación de la industria agrícola posicionándose en el 6to lugar con un consumo de 400 millones de metros cúbicos.

Al analizar las diferentes industrias se pudo apreciar que todas tienen un amplio consumo de agua y un alto riesgo de contaminación hídrica, donde la industria petrolera contribuye al gasto y contaminación de este recurso natural ocupando el 4to puesto y en el momento de aplicar fracturamiento hidráulico esta industria podría llegar a ocupar el 3er lugar, por lo cual es importante tener en cuenta este en los análisis para implementar esta técnica.

Las industrias con mayor consumo hídrico nacional son la agricultura posicionándose como número uno con más de 12000 Mm<sup>3</sup> anuales y la bovina en segundo lugar con más de 1000Mm<sup>3</sup>, aunque la diferencia de estas dos industrias es significativa el impacto ambiental que genera la industria bovina es de gran magnitud, la cual representa un 60% de la deforestación en el país.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

### **Recomendaciones**

Basados en información de países con características muy similares al territorio Colombiano, realizar una comparación más específica teniendo en cuenta el número de pozos, áreas delimitantes y tipos de formaciones designadas para el aprovechamiento de los yacimientos no convencionales por medio del método de FHPH.

Ampliar el estudio del consumo de agua de la industria petrolera teniendo en cuenta los proyectos piloto ejecutados durante el año 2021 y compararlo con el gasto hídrico de otras industrias distribuyéndolo por departamentos, obteniendo así una mayor cantidad de variables de comparación.

En la matriz se logró evidenciar el gran gasto de agua necesaria para la producción industrial, se recomienda la realización de estudios e investigaciones que estén enfocados en la reducción del consumo de agua en las industrias del país.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

**Referencias**

Acevedo Andrés (2020). Huella hídrica azul del sector petrolero en Colombia y su relación con otros sectores económicos (tesis de especialización gestión ambiental). Fundación Universitaria de América. Bogotá D.C.

ACIPET. Yacimientos no convencionales, una oportunidad para Colombia, informe económico. Disponible en: <https://n9.cl/837qi>

ACP (2015). Meta, Casanare y Santander, principales motores del PIB petróleo en Colombia. Análisis del PIB departamental.

Agencia Nacional de Hidrocarburos [ANH] (2020). Funciones. <https://www.anh.gov.co/la-anh/sobre-la-anh/funciones>

Alcaldía Mayor de Bogotá (s.f.). <https://n9.cl/qbh4p>

Alltech (2013). La importancia del agua en producción porcina. Porcicultura.com.

Arévalo Diego (2012). Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica. Huella hídrica colombiana. Reporte Colombia.

Autoridad Nacional de Licencias ambientales [ANLA], (2021). <https://onx.la/c1076>

Barnger. D (2009). “Construcción y análisis de datos”. Cap. 2.

Bohórquez Víctor (2014). Perspectiva de la producción avícola en Colombia (Especialización en alta gerencia). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C.

Calatrava Javier (2015). Agricultura y medioambiente: los costes ocultos de la agricultura industrial. Institute of Agricultura Research and Training. IFAPA. Paper conference

Calderón, M, (2013). Shale Gas: Experiencias y Oportunidades. <https://n9.cl/tdqupe>

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Camargo Lyan (2012). Influencia del consumo de agua en los costos de producción en la planta de beneficio avidesa Mac pollo SA (tesis de pregrado zootecnia). Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña.

Candellero, Mauro Sergio Ariel Delgado, Mariela Vanina. Reutilización de agua de flowback en fracturas no convencionales (tesis de pregrado ingeniería de petróleos), Universidad Nacional del Comahue.

Cardona Claudia, Congote Bernardo (2013). La huella hídrica, un indicador de impacto en el uso del agua. Revista Tecno gestión. Pp. 20-25. Volumen 10. Número 1.

Casas Rodríguez, Sahirys, & Guerra Casas, Luis Domingo. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. Revista de Producción Animal, 32(3), 87-102. Epub 12 de diciembre de 2020. <https://n9.cl/iqz7w>

Censo nacional agrario (2016). Hay campo para todos. La mayor operación estadística del campo colombiano en los últimos 45 años. Tomo 2. Resultados. Ministerio de Agricultura. DANE

Centro de recursos para el aprendizaje y la investigación, CRAI-USTA (2020). “Análisis del método de Leopold y el EPM-Arboleda. Universidad Santo Tomas. Bucaramanga.

Coltubos Steel (s.f.). Casing y Tubing. <https://www.coltubossteel.com.co/casing.html>

Congreso de la república (1982). Decreto 2278 de 1982. “por el cual se reglamenta parcialmente el título V de la ley 09 de 1979. Bogotá. El congreso

Congreso Español de Tratamiento del Agua 2020. (2015, 8 julio). Evaluación de Posibles Impactos por Fracturación Hidráulica “Fracking” en los Recursos Hídricos

CPU, Cape Breton University & Verschuren Centre for Sustainability in Energy and Environment. (2015, octubre). Discussion Paper: Hydraulic Fracturing - Understanding the General Regulatory Issues. Recuperado en marzo 21, 2018

Cubillos Reinaldo (2019). 2018, año de récord para el sector porcino colombiano. 3tres3.com, comunidad profesional porcina

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

DANE (2003). Ficha técnica del censo de la actividad porcícola tecnificada en Colombia. Sisac. Disponible en: PRESENTACION (dane.gov.co).

DANE (2012). La estructura de la producción de carne bovina en Colombia. Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Núm. 4

DANE (2013). Levante y ceba de cerdos: etapas de una industria en continuo crecimiento. Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Núm. 18.

DANE (2015). Censo Nacional Agropecuario 2014. Inventario agropecuario en las unidades de producción agropecuaria (UPA). <https://onx.la/39f55>

DANE (2015). El pollo de engorde (*Gallus domesticus*), fuente proteica de excelente calidad en la alimentación y nutrición humana. Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Núm. 36.

DANE (2020). Boletín técnico. Encuesta nacional agropecuaria (ENA) 2019. Bogotá.

DANE (2021). Encuesta de sacrificio de ganado (ESAG). Información I trimestre 2021

DANE (2021). Entidades adscritas al DANE. <https://n9.cl/hfm96>

Departamento Administrativo nacional de Estadísticas. DANE (2020). Boletín técnico, Producto interno bruto (PIB). Disponible en: <https://acortar.link/2UUam>

Departamento de Edafología y Química Agrícola Universidad de Granada [UGR], (s.f). [http://edafologia.ugr.es/programas\\_suelos/practprop/comun/estruct.htm](http://edafologia.ugr.es/programas_suelos/practprop/comun/estruct.htm)

Dirección de educación agraria. Manual de avicultura. 2° año ciclo básico agrario. Versión preliminar. Dirección provincial de educación técnico profesional.

EADIC (2017). “Impacto ambiental de la minería”. Disponible <https://acortar.link/Wfpin>

Ecopetrol. (2020). Actualización plan de negocios 2020-2022.

Ecopetrol. 2020, secretaria general y soporte a presidencia.

Ecopetrol. Reporte integrado de gestión sostenible 2020.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Effects of hydraulic stimulation (fracking) on water resources: implications in the Colombian context”. Universidad Militar Nueva Granada. 2017.

El sitio porcino (2019). Cifra récord en producción porcina en Colombia.

Enríquez, P. & Pérez, M. L (2014). Planteamiento de un marco regulatorio en las actividades de exploración y extracción de Lutitas: análisis costo-beneficio de los diferentes tipos de agua. Universidad Iberoamericana Ciudad de México.

EPA, Assessment of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing for Oil and Gas on Drinking Water Resources - Executive Summary, External Review Draft | EPA/600/R-15/047c, June 2015, [www.epa.gov/hfstudy](http://www.epa.gov/hfstudy).

FEDEGAN. Ganadería Colombiana, hoja de ruta 2018-2022. Disponible en: [Hoja\\_de\\_ruta\\_Fedegan.pdf](#) ([co.s3.amazonaws.com](http://co.s3.amazonaws.com))

FINAGRO (2020) Ficha de inteligencia porcicultura. Disponible en: [Ficha Porcicultura\\_281220](#) ([finagro.com.co](http://finagro.com.co)).

Fracturamiento Hidráulico Multietapa en Perforación Horizontal (fracking) de ECOPETROL S.A. (Magíster en Administración de Negocios – MBA). Universidad EAN. Bogotá D.C

Fundación BBVA (2009). Conceptos y técnicas en ecología Fluvial. Editores. Arturo Elosegí & Sergi Sabater. España

Gallegos, T. J., B. A. Varela, S. S. Haines, and M. A. Engle (2015), Hydraulic-fracturing water use variability in the United States and potential environmental implications, *Water Resour. Res.*, 51, 5839– 5845, doi: 10.1002/2015WR017278

Garzón Paula (2017). Afectación de acuíferos subterráneos por el fluido de fracturamiento (Especialización en gestión ambiental). Fundación Universitaria de América. Bogotá D.C.

Gonzales C, Saldarriaga G, Jaramillo O (2010). Estimación de la demanda de agua, conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. Cap. 5. IDEAM

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Gonzales Jizeth (2019). Estado del arte de la medición de la huella hídrica en el sector avícola (tesis pregrado ingeniería ambiental). Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Bogotá D.C

González Ximena (2019). El sector porcícola colombiano mueve al año \$2.6 billones en términos de producción. Agro negocios

González. M, Saldarriaga. G, Jaramillo. O (2010). Estimación de la demanda de agua, conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. Cap. 5. IDEAM.

Guevara Carlos (2017). Proyección financiera de una porcícola tecnificada de ciclo completo en la vereda Rio Blanco Fómeque (Cundinamarca). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá D.C.

Gut Microbiota for Health, (2021). <https://n9.cl/2s0g8>

Hoeksema, Nolen Richard. (2013). Elementos de Fracturamiento, definición del concepto de fracturamiento hidráulico volumen 25, no 2 Hidráulico.

ICA. Instituto colombiano agropecuario. Sacrificio sanitario, Censo pecuario. Minagricultura. El campo es de todos

IDEAM (2014). Estudio nacional del agua. Disponible en Estudio nacional del agua ([ideam.gov.co](http://ideam.gov.co)).

IDEAM (s.f.). Estudio nacional del agua. Ministerio del medio ambiente. República de Colombia.

INVIMA (2021). Quienes somos. <https://www.invima.gov.co/quienes-somos>

J. Hernández. Academia. Antecedentes fracturamiento hidráulico

Jhans, Wilter, Claudia (2021). Propuesta de estrategia integral de comunicaciones y relacionamiento para mejorar la percepción de la opinión pública sobre la técnica.

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Lozano, Sabogal, Arévalo (2018). Estudio nacional de huella hídrica colombiana sector agrícola. Sostenibilidad tecnología y humanismo

Luis Alberto Pacheco-Gutiérrez\*, María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa. Uso del agua en la industria minera. Parte 2: Estudio de opciones para reciclar el agua de proceso. Ciencia Ed. (IMIQ) vol. 22 núm. 15-29, 2007.

Martínez Édmer (2019). Minería bien hecha, una joya para la economía colombiana. Portafolio.

Método Battelle-Columbus. Disponible en: <https://acortar.link/OuVAy>

Métodos de valoración cuantitativos. Disponible en: <https://acortar.link/XYExw>

Minagricultura (2020). Cadena cárnica bovina. Dirección de cadenas pecuarias pesqueras y acuícolas.

Minagricultura. Cadena avícola. Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas. Segundo trimestre 2020.

MinAmbiente (2021). <https://www.minambiente.gov.co/>

Ministerio de Agricultura. Cadena cárnica porcina. Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas enero 2020.

Ministerio de Agricultura. Minagricultura (2020). El sector agropecuario creció 6,8% e impulso la economía colombiana en el primer trimestre de 2020.

Ministerio de Ambiente, Minambiente. Estudio nacional del agua (2018). ENA. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM. Marzo 2019.

Naciones unidas (2006). “la ganadería produce más gases contaminantes que el transporte”.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura [ FAO], (2013). Afrontar la escasez de agua: Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria <http://www.fao.org/3/i3015s/i3015s.pdf>

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Pérez, Aníbal José. (2018). Efectos de la estimulación hidráulica (fracking) en el recurso hídrico: Implicaciones en el contexto colombiano. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 28.

Perfetti, Balcázar, Hernández Leibovich (2013). Políticas para el desarrollo de la agricultura. FEDESARROLLO.

Pineda José. “impacto ambiental de la agricultura”. En Colombia. Disponible en: <https://acortar.link/oyRXO>.

PorcineWS (2020). Manejo de subproductos líquidos y sólidos en granjas porcícola. Disponible en: <https://onx.la/5a02b>.

Porkcolombia (2018). Presupuesto de ingresos y gastos de funcionamiento e inversión. Fondo nacional de la porcicultura. Versión definitiva.

PorkColombia (2021). <https://n9.cl/2e68l>

Ramos Amílcar (2004). “Metodologías matriciales de evaluación ambiental para países en desarrollo” (tesis de pregrado). Pg. 65. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Real Académica Española [RAE], 2020. Antrópico. <https://dle.rae.es/antr%C3%B3pico>

Richard Nolen-Hoeksema. Definición del concepto de fracturamiento hidráulico.

Rico Guillermo (2017). “Colombia: la ganadería extensiva está acabando con los bosques”. MONGABAY periodismo ambiental independiente en Latinoamérica.

Riva Luis (2015). “Construcción de la matriz metodológica”. Cap. 11. Instituto Politécnico nacional.

Rockstro J, Karlberg L. Barron J (20109). Manejo del agua en agricultura de secano, ka necesidad de un cambio de paradigma. Artículo.

Rodríguez Luz. Porkcolombia-alimentando la vida. Pontificia Universidad Javeriana

## ANÁLISIS CONSUMO DE AGUA DE ALGUNAS INDUSTRIAS.

Sánchez Pool (2016).” Evaluación de las medidas de manejo ambiental en las actividades avícolas de la granja inversiones JABRINI import S.A.C” (Tesis de pregrado). Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Perú

SICEX (2019). Crece el sector cárnico en Colombia y en la región.

SICEX promoting global trade. Crece el sector cárnico en Colombia y en la región. Disponible en: Crece el sector cárnico en Colombia y en la región - SICEX - Investigación de Mercados.

Sociedad de agricultores de Colombia, SAC (2002). “Guía ambiental para el subsector porcícola”. Ministerio del medioambiente.

Solimán M.Y. y Dusterhoft Ron. (2016). Fracturing Horizontal Wells. Usa: McGraw-Hill Education

Tanya J. Gallegos, Brian A. Varela, Seth S. Haines, and Mark A. Engle. AGUPUBLICATIONS. Water resources Research. Hydraulic fracturing water use variability in the United States and potential environmental implications. Tecnichnical reporst: Data. 10.1002/2015WR017278. JULIO 24, 2015

Thompson Randhy (2014). “Guía para la implementación de adecuadas prácticas empresariales en gestión ambiental relacionada con las obras de infraestructura vial en Colombia” (tesis de maestría gestión ambiental). Pontificia Universidad Javeriana

Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2019. <https://onx.la/ccff6>

USGS. Servicio geológico de los Estados Unidos. Water Use in the United States.

Vargas Katherine (2016). La agricultura colombiana en el contexto de la globalización. El campesino.

WordReference (s.f) Anaerobiosis. <https://n9.cl/gpl64>