

ANÁLISIS LEGAL SOBRE LA REGULACIÓN AMBIENTAL DEL CONTROL
DEL AGUA PARA EL MÉTODO DE INYECCIÓN DE AGUA PARA
DISPOSICIÓN

CRISTIAN FERNANDO GARZÓN SAAVEDRA

DAYANNA MARCELA PIRANEQUE NIÑO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2021

ANÁLISIS LEGAL SOBRE LA REGULACIÓN AMBIENTAL DEL CONTROL
DEL AGUA PARA EL MÉTODO DE INYECCIÓN DE AGUA PARA
DISPOSICIÓN

CRISTIAN FERNANDO GARZÓN SAAVEDRA

DAYANNA MARCELA PIRANEQUE NIÑO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Petróleos

Director:

Kathy Margarita Daza Brochero

Magíster en Gestión en la Industria de los Hidrocarburos

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2021

DEDICATORIA

A mis abuelos, Venancia Saavedra de Garzón y José Manuel Garzón Cruz (Q.E.P.D), porque gracias a ellos, a su crianza y valores inculcados he alcanzado un logro más, por ser esas personas que siempre han estado conmigo, me han apoyado en todo aquello que me he propuesto y están pendientes de mí. Por ser las personas más importantes en mi vida. Por asumir ese rol de madre y padre.

A mi madre Adilvia Garzón Saavedra, por su ayuda incondicional, por su apoyo y esfuerzo constante en esta etapa. Por la motivación y dedicación puesta para comenzar este logro y poder culminarlo.

A mi tía, Marlene Garzón Saavedra y su esposo Silvestre Benavides Quiroga, porque sin ellos este logro hubiese sido muy difícil de lograr, por ese voto de confianza puesto en mí.

A mi padre Luis Roberto Benavides Diaz, por su ayuda, la confianza depositada en mí para alcanzar este logro.

A mi Abuela Eva Leonilde Diaz Mosquera (Q.E.P.D), mis tías Ludy Amparo Benavides Diaz y Lucila Benavides Diaz, por su ayuda, consejos y ser ese puente de comunicación con mi familia paterna, por acogerme en sus casas y apoyo incondicional.

A Laura Lizeth Centeno Meneses, por ser esa persona que me ha acompañado durante toda esta etapa, por brindarme esas palabras de aliento en los momentos difíciles, por convertirse en esa persona tan especial para mí con la cual he vivido muchos momentos especiales.

A mi compañera Dayanna Marcela Piraneque Niño, por avanzar juntos en esta etapa, por su amistad incondicional, por apoyarme en esta vida universitaria y convertirse en una amiga con la que puedo contar en cualquier momento.

A mi familia, primos, amigos, profesores, compañeros, porque gracias a cada uno de ellos pude mejorar cada día más, por estar conmigo, apoyándome, por compartir conmigo su tiempo, sus palabras, y permitirme crecer con todos ellos.

Cristian Fernando Garzón Saavedra

DEDICATORIA

A Dios, primeramente, por mi vida, por darme fuerza en esta etapa que hoy culmina, por permitirme lograr cada una de las metas propuestas hasta el día de hoy y por siempre guiarme.

A mi madre, Ruth Niño Ayala quien ha estado junto a mí cada día y en momentos difíciles siempre ha tenido una palabra de aliento, un abrazo o un consejo para animarme y ayudarme a continuar, siempre siendo mi apoyo incondicional y la mejor amiga del mundo.

A mi padre, Gustavo Piraneque Aguilar por siempre apoyarme, escucharme y aconsejarme en momentos donde todo parecía no estar bien, gracias por sus experiencias de vida que me han hecho mejor persona cada día.

A mi tío-padrino, Fermin Niño Ayala que siempre ha sido mi inspiración y una de las personas más importantes en mi vida, quien me enseñó a ser una mujer fuerte, a lograr mis objetivos por mí misma, a soñar en grande y a cumplir un sueño más al graduarme como ingeniera.

A mi abuela, Margarita Ayala Gonzalez por siempre estar para mí, por cuidarme, enseñarme y amarme tanto, sin su ayuda y sin su amor este logro no hubiese sido posible.

A mi abuelo, Cristobal Niño Adarme quien con sus ocurrencias cada día me hace feliz, quien me ha dejado enseñanzas de lucha, amor y pasión por lo que se hace.

A mi tía Sandra Lilibiana Niño Ayala una mujer fuerte e independiente, que toda la vida me enseñó a luchar por lo que quería y por mi felicidad, por su amor incondicional y por mi primo Daniel, quien ha sido mi mayor fuerza para salir

*adelante y a quien quiero darle el mejor ejemplo, igualmente gracias a su esposo
Luis Fernando Camargo Álvarez por su apoyo durante todos estos años.*

*A mi novio, Edgar David Paredes Silva quien durante estos años ha sido el mejor
hombre, mi compañía perfecta, el mejor consejero y mi apoyo día a día, gracias a
su amor y su paciencia para no dejarme desfallecer cuando creía no poder
continuar.*

*A mi compañero de proyecto y amigo incondicional, Cristian Fernando Garzón
Saavedra por escucharme y aconsejarme dentro y fuera de la universidad y por
todos los momentos que pasamos a lo largo de estos años de amistad.*

*A mis amigas de universidad con quienes lloré, reí, tuve crisis existenciales
grupales y con quienes aprendí a disfrutar hasta de los momentos frustrantes y
tristes, conocerlas fue lo mejor que me pasó en la universidad.*

*A mi mejor amiga de toda la vida, María Alejandra Pinto Herrera por siempre
estar para mí en momentos buenos y malos, porque aún sin vernos o sin hablar
seguido, nuestra amistad siempre ha sido fuerte e incondicional y aun con la
distancia jamás dejamos de estar la una para la otra.*

*A todos y cada uno de ustedes infinitas gracias, porque sin ustedes este camino
habría sido imposible, este logro es por y para ustedes.
¡Los amo inmensamente!*

Dayanna Marcela Piraneque Niño

AGRADECIMIENTOS

A Dios principalmente por darnos la vida y por permitirnos cumplir exitosamente este logro.

A la Universidad Industrial de Santander por apoyar nuestro crecimiento académico, profesional y personal, por brindarnos espacios ideales para el fortalecimiento de nuestros conocimientos y para la adquisición de nuevos.

A la ingeniera Kathy Margarita Daza Brochero, por darnos la oportunidad de trabajar junto a ella, por su tiempo, sus consejos y por su excelente labor como docente y directora de proyecto de grado.

A nuestras familias, por su apoyo y amor incondicional, sin ellos no hubiese sido posible alcanzar este logro.

A nuestros amigos por sus consejos y compañía en momentos de preocupación, felicidad y tristeza.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	15
1. OBJETIVOS.....	16
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. ALCANCE	18
4. MARCO TEÓRICO.....	21
4.1. DECRETO LEY 2811 DE 1974.	21
4.2. DECRETO 1541 DE 1978	24
4.3. DECRETO 1594 DE 1984	28
4.4. LEY 99 DE 1993.....	31
4.5. DECRETO 3930 DE 2010	32
4.6. RESOLUCIÓN 631 DE 2015.....	35
5. MÉTODOS DE DISPOSICIÓN	39
5.1. DESCARGAS SIN CONTROL.....	39
5.1.1. Descarga sin control en superficie.....	39
5.1.2. Descarga sin control en agua dulce.	39
5.1.3. Descarga sin control en ambientes marinos costeros.....	40
5.2. DESCARGAS CONTROLADAS.....	40
5.2.1. Descarga controlada en superficie.	40
5.2.1.1. Evaporación.	40
5.2.1.2. Riego por aspersión.	43
5.2.1.3. Riego de vías.	46

5.2.2. Descarga controlada en aguas superficiales.	47
5.2.3. Descarga controlada en ambientes marinos costeros.	47
5.3. INYECCIÓN DE AGUA DE PRODUCCIÓN	48
5.3.1. Inyección de agua de producción como método de recuperación secundaria.....	48
5.3.2. Inyección de agua de producción como método de disposición.	48
5.3.2.1. Inyección en pozo poco profundo.....	49
5.3.2.2. Pozo disposal.....	49
6. PROBLEMAS ASOCIADOS A LA INYECCIÓN EN POZOS DISPOSAL...	56
6.1. CONTACTO ENTRE FLUIDOS EN EL SUBSUELO	56
6.2. ALTERACIÓN DE LA FORMACIÓN RECEPTORA.....	57
6.3. CALIDAD DEL AGUA DE PRODUCCIÓN.....	58
7. EFECTOS GENERADOS POR LOS CONTAMINANTES DEL AGUA PRODUCIDA	60
8. PANORAMA NACIONAL DE LA INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA PARA DISPOSICIÓN	83
9. PANORAMA INTERNACIONAL DE LA INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA PARA DISPOSICIÓN	92
9.1. ESTADOS UNIDOS	92
9.1.1. Programa de Agua.	95
9.1.2. Directrices y Normas para Efluentes.	116
9.1.3. Análisis comparativo con respecto a la norma Colombiana.....	128
9.2. ECUADOR	129
9.2.1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua.....	129
9.2.1.1. Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano uso doméstico, previo a su potabilización.....	130

9.2.1.2. Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.....	138
9.2.1.3. Criterios de calidad para aguas subterráneas.	142
9.2.1.4. Criterios generales para la descarga de efluentes.....	147
9.2.2. Reglamento ambiental de actividades y operaciones hidrocarburíferas.....	154
9.2.3. Análisis comparativo con respecto a la norma Colombiana.	162
9.3. MÉXICO	163
9.3.1. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.	164
9.3.2. Norma Oficial Mexicana NOM-143-SEMARNAT-2003.	174
9.3.3. Análisis comparativo con respecto a la norma Colombiana.	176
9.4. COMPARATIVA DE LÍMITES PERMISIBLES ENTRE COLOMBIA, ECUADOR Y MÉXICO.	177
10. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MÉTODO DE POZO DISPOSAL.....	193
11. ESTRATEGIAS GENERADAS A PARTIR DE LA REGULACIÓN AMBIENTAL	198
12. CONCLUSIONES	207
13. RECOMENDACIONES	209
BIBLIOGRAFÍA.....	210

LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1. Parámetros de calidad de vertimientos a un cuerpo de agua.	29
Cuadro 2. Concentraciones para el control de la carga de sustancias de interés sanitario.	29
Cuadro 3. Parámetros permisibles para el vertimiento de agua en superficie de actividades asociadas a hidrocarburos.	36
Cuadro 4. Problemas relacionados con la evaporación	41
Cuadro 5. Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión.	44
Cuadro 6. Ventajas y desventajas de la alternativa de riego en vías.	47
Cuadro 7. Parámetros técnicos operacionales generales para reinyección en pozo disposal.....	50
Cuadro 8. Datos necesarios para evaluar la viabilidad de inyección en una formación.....	53
Cuadro 9. Identificación de daños, parámetros y consecuencias.	59
Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.....	60
Cuadro 11. Indicadores de generación de vertimientos en la etapa de producción, 2015.	83
Cuadro 12. Producción de petróleo y agua producida periodo 2008-2018.	87
Cuadro 13. Cortes de agua en diversos Campos Petroleros de Colombia.	87
Cuadro 14. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados para la salud humana en Estados Unidos.	96
Cuadro 15. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados, vida acuática en Estados Unidos.	104
Cuadro 16. Factores de conversión para metales disueltos en Estados Unidos.....	107
Cuadro 17. Limitaciones de efluentes de BPT en Estados Unidos.....	118
Cuadro 18. Limitaciones de efluentes de BAT en Estados Unidos.....	119
Cuadro 19. Limitaciones de efluentes de BCT en Estados Unidos.	122
Cuadro 20. Estándares de desempeños de nuevas fuentes (NSPS) en Estados Unidos.	124

Cuadro 21. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que requieren tratamiento convencional en Ecuador.	131
Cuadro 22. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que requieran desinfección en Ecuador.	135
Cuadro 23. Criterios de calidad admisible para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas y de estuario en Ecuador.	139
Cuadro 24. Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0 - 2,5) % y de materia orgánica entre (1 - 1,0) % en Ecuador.	143
Cuadro 25. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce en Ecuador.	149
Cuadro 26. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina en Ecuador. ...	152
Cuadro 27. Límites permisibles en el punto de descarga de efluentes en Ecuador.	156
Cuadro 28. Límites permisibles en el punto de control en el cuerpo receptor en Ecuador.	158
Cuadro 29. Parámetros adicionales y límites permisibles para aguas y descargas líquidas en la exploración, producción, industrialización, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos y sus derivados Ecuador.	161
Cuadro 30. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en ríos en México.	165
Cuadro 31. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en embalses naturales y artificiales en México.	166
Cuadro 32. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en aguas costeras en México.	168
Cuadro 33. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en suelos en México.	169
Cuadro 34. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros en ríos en México.	171
Cuadro 35. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros en embalses naturales y artificiales en México.	171

Cuadro 36. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros en aguas costeras en México.	172
Cuadro 37. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros en suelo en México.	173
Cuadro 38. Límites permisibles Colombia, Ecuador y México.	179
Cuadro 39. Ventajas y desventajas del método de disposición en pozo disposal.	196
Cuadro 40. Parámetros permisibles para el vertimiento de aguas asociadas a hidrocarburos.	201

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Destino de las aguas de producción.....	84
Gráfica 2. Destino de las aguas de producción reinyectadas.....	85
Gráfica 3. Destino de las aguas de producción vertidas o dispuestas.....	85
Gráfica 4. Métodos de disposición de agua de producción en Colombia	86
Gráfica 5. Volumen de agua producida en 2007, 2012 y 2017.....	93
Gráfica 6. Prácticas de gestión del agua por porcentaje en 2017.	93
Gráfica 7. Cantidad de parámetros por país.	189
Gráfica 8. Comparación de los parámetros: Mercurio, Arsénico, Cadmio, Plomo y Cromo.	190
Gráfica 9. Comparación de los parámetros: Níquel, Cianuro total, Cobre y Solidos sedimentables.	191
Gráfica 10. Comparación de los compuestos Zinc, Aceites y grasas, Solidos suspendidos totales y Demanda bioquímica de oxígeno.	191
Gráfica 11. Porcentaje total de parámetros analizables.	205

INTRODUCCIÓN

La producción de aguas residuales asociadas a hidrocarburos representa un alto volumen en la industria petrolera y con ello un elevado costo en tratamiento y disposición. En Colombia, por cada barril de petróleo se producen aproximadamente 12,02 barriles de agua, según el informe del 2015 de la Asociación Colombiana de Petróleo, por lo tanto, la disposición de estos grandes volúmenes de agua es un tema primordial en la industria petrolera, donde el tema ambiental a lo largo de la historia ha sido bastante debatido entre industria y comunidad.

Colombia cuenta con una normativa ambiental bastante amplia desde 1974 en donde se empezó a hablar de la importancia de proteger el medio ambiente y preservar los recursos naturales con los que cuenta el país. Desde entonces se ha buscado mejorar la disposición de los desechos generados por la industria petrolera, con el fin de proteger, prevenir, controlar y mitigar los daños que puedan generarse por alguna actividad de esta industria.

Por lo tanto, la disposición de aguas de producción en Colombia es un tema a estudiar, en donde se debe tener en cuenta las condiciones ambientales para las cuales se debe tener un extremo cuidado con el fin de no generar un impacto ambiental negativo, de este modo preservando la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, siendo estas últimas una fuente potencialmente aprovechable para el futuro.

Para el desarrollo de este proyecto se empleará el término “pozo disposal” como referencia del método de inyección de agua para disposición.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar legalmente la regulación ambiental del control del agua para el método de inyección de agua para disposición.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información legal ambiental sobre el control de vertimientos del agua en el sector de hidrocarburos.
- Estructurar los métodos de disposición de agua usados en el sector de hidrocarburos a nivel nacional e internacional.
- Analizar ventajas y desventajas del método de pozo disposal que permita definir una regulación ambiental para la disposición de agua en Colombia.
- Generar estrategias a partir de la regulación ambiental de pozos disposal que permita optimizar la disposición de agua en Colombia.

2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia existen regulaciones ambientales para ayudar a la preservación del medio ambiente, prevenir, controlar y mitigar los posibles daños que una actividad pueda generar.

En la industria petrolera, una de las mayores problemáticas existentes es el uso del agua para diversos procesos dentro de la exploración y explotación de hidrocarburos y el impacto ambiental que estos procesos producen. Al analizar el panorama petrolero, son muchas las consideraciones que deben ser tenidas en cuenta en cada una de las diferentes etapas de las que la industria de los hidrocarburos dispone, por lo tanto, es necesario tener una política fuerte y clara que regule el tema socioambiental y que no permita que se presenten anomalías en los procesos que se llevan a cabo.

El destino final del agua producida en los procesos de producción de hidrocarburos es un tema de especial cuidado por la complejidad de problemas que trae consigo una incorrecta disposición del agua, por lo cual se debe analizar este tema en aspectos fundamentales de tipo ambiental, legal y operacional. En la disposición de agua de producción por el método de inyección es necesario controlar aspectos como calidad del agua, sitio de disposición, entre muchos otros.

Debido a lo expuesto anteriormente, es necesario fortalecer las leyes que permitan a la industria petrolera ampliar su visión sobre el mejor uso de las aguas de producción y su adecuada disposición, además de controlar minuciosamente el vertimiento de líquidos en el sector de hidrocarburos para generar un impacto positivo sobre la manera en cómo son consideradas las actividades petroleras.

3. ALCANCE

En el presente proyecto se plantea generar alternativas que permitan un mejor aprovechamiento de los vertimientos de agua como método de inyección de agua para disposición, con el fin de contribuir con el desarrollo sostenible y amigable hacia el ambiente.

Para esto, se tendrán en cuenta distintas leyes, decretos, acuerdos y la normativa existente, para la correcta toma de decisiones a la hora de plantear estrategias que ayuden en la comprensión de la disposición de agua, sus métodos, impactos, procesos operacionales, y parámetros de calidad y tratamiento del agua, todo esto con el fin de generar un mejor uso de las aguas de producción y a su vez una adecuada disposición.

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS LEGAL SOBRE LA REGULACIÓN AMBIENTAL DEL CONTROL DEL AGUA PARA EL MÉTODO DE INYECCIÓN DE AGUA PARA DISPOSICIÓN*

AUTORES: DAYANNA MARCELA PIRANEQUE NIÑO, CRISTIAN FERNANDO GARZÓN SAAVEDRA**

PALABRAS CLAVE: INYECCIÓN DE AGUA, VERTIMIENTO, NORMATIVA, DESARROLLO SOSTENIBLE, IMPACTO AMBIENTAL

DESCRIPCIÓN:

El trabajo de investigación realizado para este proyecto se basó en el análisis legal sobre la regulación ambiental del control del agua para el método de inyección de agua para disposición en Colombia con el propósito de contribuir a la preservación del medio ambiente, identificando las falencias o debilidades dentro de la normativa colombiana con respecto a los vertimientos, por lo tanto, es necesario conocer los métodos de disposición comúnmente usados para la eliminación de aguas residuales provenientes de la industria petrolera e identificando los problemas asociados a una operación de inyección en pozo disposal.

Se recopila información sobre el manejo actual de las aguas residuales provenientes de actividades propias de la industria del petróleo, estudiando el panorama nacional e internacional de la disposición del agua producida asociada a hidrocarburos y comparando la norma colombiana con la de otros países para identificar los puntos importantes que deben ser adoptados por la norma de nuestro país.

Por último, se destacan las ventajas y desventajas de la implementación de un proyecto de pozo disposal como método de disposición y se plantea una serie de estrategias que tiene el objetivo de fortalecer la parte legal sobre vertimientos en Colombia, buscando un impacto positivo para el medio ambiente y para la percepción que se tiene de las actividades petroleras.

* Trabajo de Grado

** Facultad Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Directora Kathy Margarita Daza Brochero, Magíster en Gestión en la Industria de los Hidrocarburos.

ABSTRACT

TITLE: LEGAL ANALYSIS ON THE ENVIRONMENTAL REGULATION OF WATER CONTROL FOR THE METHOD OF WATER INJECTION FOR DISPOSAL*

AUTHORS: DAYANNA MARCELA PIRANEQUE NIÑO, CRISTIAN FERNANDO GARZÓN SAAVEDRA**

KEY WORDS: WATER INJECTION, DUMPING, REGULATION, SUSTAINABLE DEVELOPMENT, ENVIRONMENTAL IMPACT

DESCRIPTION:

The research work carried out for this project was based on the legal analysis of the environmental regulation of water control for the method of injection of water for disposal in Colombia with the purpose of contributing to the preservation of the environment, identifying the shortcomings or weaknesses within the Colombian regulations regarding discharges, therefore, it is necessary to know the disposal methods commonly used for the elimination of wastewater from the oil industry and to identify the problems associated with a disposal well injection operation.

Information is collected on the current management of wastewater from activities of the oil industry, studying the national and international panorama of the disposal of produced water associated with hydrocarbons and comparing the Colombian standard with that of other countries to identify the important points that must be adopted by the norm of our country.

Finally, the advantages and disadvantages of implementing a disposal well project as a disposal method are highlighted and a series of strategies is proposed that has the objective of strengthening the legal part on dumping in Colombia, seeking a positive impact on the environment and for the perception of oil activities.

* Bachelor Thesis

** Physicochemical Faculty. Petroleum Engineering School. Director Kathy Margarita Daza Brochero, Master in Management in the Hydrocarbon Industry.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. DECRETO LEY 2811 DE 1974.

La Ley 23 de 1973 adoptó los principios establecidos en la Conferencia de Estocolmo sobre Medio Ambiente Humano de 1972, además facultó al Gobierno Nacional para lograr un aprovechamiento racional de los recursos naturales renovables y la conservación ambiental en el país. Es por medio de esta que se generó el Código Nacional de Recursos Naturales, el cual expide normas para regular el uso y aprovechamiento del ambiente.

El 18 de diciembre de 1974 entró en vigencia el decreto 2811 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, siendo de este modo la primera compilación sobre el medio ambiente y de recursos ambientales en Latinoamérica. Luego de la conferencia de Estocolmo en el año 1972 y con participación de Colombia en los temas tratados se llegan a una serie de acuerdos relacionados con la preservación del ambiente.

La importancia de proteger el medio ambiente y preservar los múltiples recursos naturales con los que cuenta el país fueron los motivos fundamentales para la creación del Decreto 2811 de 1974. Sarmiento (2014)¹ enunció: “Esta normativa ambiental, modificó sustancialmente la relación del hombre con la naturaleza al considerar el ambiente como un patrimonio común y un bien sujeto de protección y tutela jurídica”. De esta manera se formaron las bases necesarias para la creación de este decreto ya que anterior a ello no existía ninguna regulación de tipo legal sobre el medio ambiente y los recursos naturales. Los objetivos de este código se pueden encontrar en el artículo 2, allí se fundamentan por medio de los siguientes enfoques, la preservación y restauración del ambiente, el mejoramiento y utilización racional de los recursos renovables, la prevención y control de efectos nocivos tras operaciones de explotación de recursos y la regulación de la conducta humana.

¹ Luz Marina Sarmiento Villamizar, Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014).

Este decreto cuenta con 340 artículos distribuidos a lo largo de 2 libros, el Libro Primero: Del ambiente y el Libro Segundo: De la propiedad, uso e influencia ambiental de los recursos naturales renovables.

En cuanto al uso y disposición del recurso hídrico, este decreto establece en el artículo 86 que toda persona tiene derecho a hacer uso de las aguas de dominio público para satisfacer sus necesidades elementales, las de su familia y las de sus animales, siempre que con ello no cause perjuicios a terceros. El uso deberá hacerse sin establecer derivaciones, ni emplear máquina ni aparato, ni detener o desviar el curso de las aguas, ni deteriorar el cauce o las márgenes de la corriente, ni alterar o contaminar aguas de forma que se imposibilite su aprovechamiento por terceros.

Por otra parte, los artículos 88 y 89 hacen énfasis a la obligación de adquirir una concesión para el uso o aprovechamiento de aguas, la cual estará sujeta a las disponibilidades del recurso y a las necesidades que imponga el objeto para el cual se destine.

Además de ser necesaria la concesión de aguas, se debe solicitar autorización para la construcción de obras que ocupen el cauce de una corriente o depósito de agua. El artículo 120 expresa que el usuario a quien se haya otorgado una concesión de aguas y el dueño de aguas privadas estarán obligados a presentar, para su estudio y aprobación, los planos de las obras necesarias para captar, controlar, conducir, almacenar o distribuir el caudal.

Para garantizar el adecuado aprovechamiento de una concesión de aguas el artículo 132 ordena que, sin permiso, no se podrán alterar los cauces, ni el régimen y la calidad de las aguas, ni interferir su uso legítimo y se negará el permiso cuando la obra implique peligro para la colectividad, o para los recursos naturales, la seguridad interior o exterior, o la soberanía Nacional.

Si los procesos industriales generan vertimientos de aguas hacia corrientes receptoras, su temperatura deberá estar dentro del intervalo permisible para su adecuado vertimiento.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado las industrias solo podrán realizar sus vertimientos en el sistema de alcantarillado público cuando las condiciones que se establezcan sean cumplidas. Además, no se permitirá la descarga de efluentes industriales o domésticos en los sistemas colectores de aguas lluvias.

Cuando el vertimiento de aguas no pueda ser directamente destinado a un sistema de alcantarillado público, el artículo 145 establece que las aguas servidas requieren tener tratamiento previo de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos, la flora o la fauna. Las obras deberán ser previamente aprobadas. Garantizando el cuidado y la preservación del ambiente.

Para usos mineros, el decreto establece que las concesiones de agua para la explotación de minerales deben cumplir con las normas directamente relacionadas con la minería, además de las siguientes condiciones:

- a) Mantener limpios los cauces donde se arroje los desechos del laboreo para que las aguas no se represen, no se desborden o se contaminen.
- b) No perjudicar la navegación.
- c) No dañar los recursos hidrobiológicos.

Al hacer referencia a las aguas subterráneas el artículo 152 manifiesta que al comprobarse que las aguas del subsuelo de una cuenca o de una zona se encuentran en peligro de agotamiento o de contaminación, o en merma progresiva y sustancial en cantidad o calidad, se suspenderá definitiva o temporalmente el otorgamiento de nuevas concesiones en la cuenca o zona. Dependiendo de la situación que se presente se podrá decretar la caducidad de las concesiones ya otorgadas o limitarse el uso, o ejecutarse, por cuenta de los usuarios, obras y trabajos necesarios siempre que el usuario esté de acuerdo con los términos establecidos, y si esto no fuere posible, mediante la ejecución de la obra por el sistema de valorización.

En 1976 se reforma el instituto nacional para el desarrollo de los recursos naturales renovables fundado en 1968 con el fin de complementar su función

luego de la implementación del decreto 2811, de este modo pasó a llamarse Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente (INDERENA).

4.2. DECRETO 1541 DE 1978

Colombia continúa con su lucha a favor de la protección del ambiente y del agua, de este modo el 26 de julio de 1978 se expidió el decreto 1541 “de las aguas no marítimas” para la protección y adecuado uso del agua. Todo empieza en base al Decreto - Ley 2811 de 1974, en este se hace evidente que el agua, como recurso vital, necesita una mayor protección del estado, de este modo es desarrollado este decreto que trata de ofrecer la mayor protección y abarcar todos los temas concernientes al agua.

Se empieza a trabajar el tema realizando la división entre aguas de dominio público y privado, este se había realizado anteriormente en los artículos 80 y 82 del decreto-ley 2811 de 1974. En esta ocasión se amplía más el concepto y la diferencia entre las dos, se otorgan facultades y derechos sobre las aguas públicas, en tanto protección y usos se refiere.

A partir del artículo 28 se habla sobre las concesiones de agua, permisos necesarios para desarrollar actividades que involucren el aprovechamiento del recurso hídrico. En este punto aparecen aclaraciones directas sobre la industria del petróleo, se dividen los conceptos de explotación minera y explotación petrolera, trabajándolos por aparte en sus respectivas secciones.

En el artículo 41, se establece un orden de prioridad según la actividad a realizar para otorgar concesiones de agua, dicha lista de prioridad es la siguiente:

- a) Utilización para el consumo humano, colectivo o comunitario, sea urbano o rural.
- b) Utilización para necesidades domésticas individuales.

- c) Usos agropecuarios comunitarios, comprendidas la acuicultura y la pesca.
- d) Usos agropecuarios individuales, comprendidos la acuicultura y la pesca.
- e) Generación de energía hidroeléctrica.
- f) Usos industriales o manufactureros.
- g) Usos mineros.
- h) Usos recreativos comunitarios.
- i) Usos recreativos individuales.

Este orden de prioridad puede variar dependiendo de ciertas condiciones ambientales, económicas y sociales, el encargado de determinar las modificaciones de prioridad para otorgar concesiones es el INDERENA.

Cada actividad, al representar diferentes sectores, puede tener características especiales al momento de otorgar concesiones, por tal motivo este decreto divide varios sectores los cuales requieren de estas consideraciones especiales; en la sección 5 del capítulo 4 se pueden encontrar las características especiales para las concesiones relacionadas con usos mineros y petroleros.

El artículo 82 habla acerca de la inyección de agua como método de recuperación secundaria de petróleo o gas, expresa que para realizar esta práctica es necesaria una concesión especial del INDERENA, además de que el uso del agua está también condicionado por lo expuesto en los códigos de minas y petróleos. Se hace la salvedad que en caso de que por cuestiones ambientales no se puede suplir el caudal estipulado el gobierno no es responsable de dicho percance, pero no se puede exceder el caudal de aprovechamiento, aunque el ambiente pueda suplirlo.

Al hablar de categorías especiales de agua se encuentran los casos de aguas lluvia y aguas subterráneas, en cuanto a esta última, se realiza una división en 3 secciones para aclarar y definir diferentes consideraciones de vital importancia. En este caso igualmente se requiere obtener los permisos

necesarios para la exploración y perforación. Al término de las actividades exploratorias se debe presentar un informe con resultados obtenidos tras la perforación de los diferentes pozos desarrollados. Se debe agregar información de las actividades, estado de la perforación, y análisis del agua. Ya en la etapa de producción, en el artículo 162 se hace la aclaración que, en actividades de explotación minera o petrolera, el agua extraída es de total uso de quien haya realizado las perforaciones, aunque pueden ser otorgadas a terceros siempre y cuando no se afecte la actividad minera o petrolera.

Para la conservación y preservación de las aguas y sus cauces en el artículo 205 se formula la clasificación de las aguas con respecto a los vertimientos teniendo en cuenta la aplicación del artículo 134 del Decreto – Ley 2811 de 1974, en donde, la Clase I hace referencia a los cuerpos de agua que no admiten vertimientos mientras que la Clase II trata sobre los cuerpos de agua que admiten vertimientos con algún tratamiento.

Pertenecen a la Clase I:

- a) Las cabeceras de las fuentes de agua
- b) Las aguas subterráneas
- c) Los cuerpos de aguas o zonas costeras, utilizadas actualmente para recreación
- d) Un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable, en extensión que determinará el INDERENA, en conjunto con el Ministerio de Salud.
- e) Aquellos que declare el INDERENA como especialmente protegidos de acuerdo con lo dispuesto por los artículos 70 y 137 del Decreto – Ley 2811 de 1974.

Los demás cuerpos de agua no incluidos en la Clase I, pertenecerán a la Clase II.

El título IX, capítulo II del decreto bajo estudio, trata sobre la preservación de las aguas y la sección I hace énfasis en el control de vertimientos, en donde, se prohíbe cualquier tipo de vertimiento sin tratamiento previo que pueda

contaminar o eutrofizar las aguas, causar daño o poner en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna, o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos. El nivel de tratamiento de cada vertimiento dependerá de la destinación de los tramos o cuerpos de aguas, de los efectos para la salud y de las implicaciones ecológicas y económicas.

A su vez, si después de realizados los tratamientos necesarios, el vertimiento puede ocasionar contaminación de tal forma que el cuerpo de agua o tramo no pueda ser utilizado para los usos o destinación previstos por el INDERENA, éste podrá denegar o declarar la caducidad de la concesión de aguas o del permiso de vertimiento.

El permiso de vertimiento podrá ser adquirido ante el INDERENA presentando una solicitud con la siguiente documentación:

- a) Nombre, dirección e identificación del peticionario, y razón social si se trata de una persona jurídica.
- b) Localización del predio, planta industrial, central eléctrica, explotación minera y características de la fuente que originará el vertimiento.
- c) Indicación de la corriente o depósito de agua que habrá de recibir el vertimiento.
- d) Clase, calidad y cantidad de desagües, sistema de tratamiento que se adoptará y estado final previsto para el vertimiento.
- e) Forma y caudal de la descarga expresada en litros por segundo, e indicación de si se hará en flujo continuo o intermitente.
- f) Declaración de Efecto Ambiental y la demás información que el INDERENA considere necesarios.

Además, se deberá anexar a la anterior documentación un proyecto elaborado por un ingeniero o firma especializada e inscrita al INDERENA y al Ministerio de Salud, en el cual se detalle el proceso de tratamiento que se pretende adoptar para el efluente, teniendo en cuenta las normas legales vigentes.

Por otra parte, el artículo 215 expresa que el INDERENA junto con el Ministerio de Salud, realizará visitas oculares sobre el área y en conjunto con

profesionales especializados se harán los análisis en la corriente receptora con el fin de determinar si se trata de una corriente no reglamentada o cuyos vertimientos aún no están reglamentados. La duración del permiso de vertimiento dependerá de la naturaleza de cada caso, sin exceder los cinco (5) años y podrá ser prorrogado, salvo razones de conveniencia pública.

4.3. DECRETO 1594 DE 1984

Al finalizar una actividad en la cual se generan residuos líquidos, estos son liberados al medio ambiente sin control directo alguno, por tal motivo el 26 de junio de 1984 entra en vigencia el decreto 1594 en cuanto a usos de agua y residuos líquidos; con este decreto se refuerza lo ya reglamentado en la ley 9 de 1979 y el decreto-ley 2811 de 1974. De esta manera se profundiza de manera legal sobre el uso directo del recurso hídrico y las diferentes disposiciones que pueden acarrear el manejo de residuos en estado líquido.

En este decreto se establecen los criterios de calidad admisibles del agua con fines de consumo humano y doméstico, uso agrícola, uso pecuario, fines recreativos de contacto primario y secundario, para la preservación de flora y fauna en diferentes locaciones de agua. Con el artículo 61 se prohíbe la inyección de residuos líquidos a un acuífero, pero en actividades petroleras es permitida la reinyección de las aguas producidas con la aclaración de que esto no afecte negativamente el acuífero.

Los artículos 72, 74 y 75 ajustan parámetros que deben cumplir los vertimientos a un cuerpo de agua, teniendo en cuenta las concentraciones para el control de las cargas de las sustancias de interés sanitario, además se formulan dos ecuaciones para el cálculo de las cargas permitidas. De este modo se protege la integridad de los cuerpos de agua existentes. En Los Cuadros 1 y 2 se presentan los artículos 72 y 74 de este decreto.

Cuadro 1. Parámetros de calidad de vertimientos a un cuerpo de agua.

Referencia	Usuario Existente	Usuario Nuevo
pH	5-9 unidades	5-9 unidades
Temperatura	< 40°C	< 40°C
Material Flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción > 80% en carga	Remoción > 80% en carga
Sólidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción > 50% en carga	Remoción > 80% en carga
Demanda bioquímica de oxígeno:		
Para desechos domésticos	Remoción > 30% en carga	Remoción > 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción > 20% en carga	Remoción > 80% en carga

Fuente: Decreto 1594 de 1984, artículo 72.

Cuadro 2. Concentraciones para el control de la carga de sustancias de interés sanitario.

Sustancia	Expresada como	Concentración (mg/L)
Arsénico	As	0,5
Bario	Ba	5,0
Cadmio	Cd	0,1
Cobre	Cu	3,0
Cromo	Cr ⁺⁶	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	0,2
Mercurio	Hg	0,02
Níquel	Ni	2,0
Plata	Ag	0,5
Plomo	Pb	0,5
Selenio	Se	0,5
Cianuro	CN-	1,0

Cuadro 2. Concentraciones para el control de la carga de sustancias de interés sanitario. (Continuación)

Sustancia	Expresada como	Concentración (mg/l)
Difenil Policlorados	Concentración de agente activos	No detectable
Mercurio orgánico	Hg	No detectable
Tricloroetileno	Tricloroetileno	1,0
Cloroformo	Extracto Carbón Cloroformo (ECC)	1,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	1,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	1,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	1,0
Otros compuestos organoclorados, cada variedad	Concentración de agente activo	0,05
Otros compuestos organofosforados, cada variedad	Concentración de agente activo	0,1
Carbamatos		0,1

Fuente: Decreto 1594 de 1984, artículo 74.

A su vez, la carga de control de un vertimiento que contenga las sustancias anteriormente mencionadas se calculará mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$A = (Q)(CDC)(0,0864)$$

$$B = (Q)(CV)(0,0864)$$

Donde:

A: Carga de control, kg/día.

Q: Caudal promedio del vertimiento, l/seg.

B: Carga en el vertimiento, kg/día.

CDC: Concentración de control, mg/l.

CV: Concentración en el vertimiento, mg/l.

0,0864: Factor de conversión.

Para que una entidad pueda realizar vertimientos es necesario que esta disponga de permisos especiales para vertimiento y registrar cada movimiento ante la EMAR correspondiente, estos vertimientos deben cumplir con las especificaciones declaradas en este decreto.

Los usuarios que dispongan de procesos relacionados con hidrocarburos o sustancias nocivas para la salud deben tener un plan de contingencia aprobado por la EMAR y el ministerio de salud o entidad delegada, esto esta expresado en el artículo 96. Si se presentan vertimientos accidentales de hidrocarburos y otras sustancias, el ministerio de salud junto a la EMAR coordinarán los procesos para controlar el derrame.

4.4. LEY 99 DE 1993

La ley 99 de 1993 entra en vigencia a partir del 22 de diciembre de 1993. Con esta ley se crea el ministerio del medio ambiente, se organiza el SINA, además de reordenar el sector público para la gestión y preservación del medio ambiente y los recursos naturales. La ley 99 se crea gracias a la cumbre de tierra realizada en Rio de Janeiro en el año 1992 y para cumplir los requisitos ambientales estipulados en la constitución de 1991.

Esta ley se rige bajo 14 principios generales ambientales declarados en el artículo 1, de los cuales se puede resumir, que, para este caso, se dirigen hacia la protección a la biodiversidad, protección de zonas de recarga de acuíferos y nacimientos de agua, y prioridad del consumo humano en los recursos hídricos.

En esta ley se habla sobre el ministerio del medio ambiente y del sistema nacional ambiental, se expresan las funciones de cada organismo, especificando el lugar de acción de cada entidad. Se establece un sistema jerárquico para el control y manejo de los temas ambientales regionales, este sistema está encabezado por el ministerio de medio ambiente, en segunda instancia se encuentran las corporaciones autónomas regionales y luego de estas se encuentran las entidades territoriales.

4.5. DECRETO 3930 DE 2010

Este decreto busca ampliar la información sobre Ordenamiento del Recurso Hídrico e implementar nuevos ajustes al procedimiento de otorgamiento de los permisos de vertimiento además de establecer la reglamentación de los vertimientos y reajustar el registro de vertimientos previstos en el Decreto 1594 de 1984.

Le corresponde al Estado velar por la calidad del agua para consumo humano y para las demás actividades en las cuales su uso sea preciso. Por otra parte, es obligación del Estado estar al pendiente de la regulación y clasificación de las aguas, así como también controlar los vertimientos de las mismas en aguas superficiales o subterráneas, interiores o marinas, con el fin de no convertirlas en focos de contaminación que puedan poner en riesgo el ecosistema y por ende el ciclo biológico.

Por lo mencionado anteriormente se desarrolla integralmente la figura del Ordenamiento de Recurso Hídrico y se establece en el artículo 4, que la Autoridad Ambiental competente deberá realizar el Ordenamiento del Recurso Hídrico con el fin de realizar la clasificación de las aguas superficiales, subterráneas y marinas, además de priorizar el Ordenamiento del Recurso Hídrico de su jurisdicción.

Los usos del agua para este decreto están estipulados en el artículo 9 de la siguiente forma:

- a) Consumo humano y doméstico.
- b) Preservación de flora y fauna.
- c) Agrícola.
- d) Pecuario.
- e) Recreativo.
- f) Industrial.
- g) Estético.
- h) Pesca, Maricultura y Acuicultura.
- i) Navegación y Transporte Acuático.

Por otra parte, el Capítulo V, hace énfasis en el control de calidad de la destinación del recurso, resaltando que es deber del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial definir los criterios de calidad para el uso de las aguas superficiales, subterráneas y marinas.

Los vertimientos deben ser controlados por las entidades Ambientales Competentes o en su defecto por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, siendo este último el ente encargado de fijar los parámetros y los límites máximos permisibles de los vertimientos a las aguas superficiales, marinas, a los sistemas de alcantarillado público y al suelo. Por efectos de control y prevención no se admiten vertimientos en cabeceras de fuentes de agua, acuíferos, cuerpos de agua destinados para la recreación, aguas arriba de las bocatomas para agua potable, cuerpos de agua que la autoridad ambiental competente declare parcialmente protegidos, entre otras prohibiciones establecidas en el artículo 24.

En la industria petrolera es necesario mover altos volúmenes de agua existentes en las cuencas, dado esto el artículo 27 expone que solo se permite la reinyección de las aguas que provengan de la exploración y explotación petrolífera, de gas natural y recursos geotérmicos, siempre y cuando no se impida el uso actual o potencial del acuífero. En este caso es necesario evaluar el Estudio de Impacto Ambiental para el otorgamiento de la licencia ambiental

para las actividades de exploración y explotación con el fin de prever la afectación que pueda llegar a tener el acuífero.

El artículo 35 constituye que debe existir un Plan de Contingencia para el Manejo de Derrames Hidrocarburos o Sustancias Nocivas. Por lo tanto, Los usuarios que exploren, exploten, manufacturen, refinen, transformen, procesen, transporten o almacenen hidrocarburos o sustancias nocivas para la salud y para los recursos hidrobiológicos, deberán estar provistos de un plan de contingencia y control de derrames, el cual deberá contar con la aprobación de la autoridad ambiental competente.

También se debe tener en cuenta el control de contaminación por agroquímicos, el cual está sujeto a medidas establecidas por la autoridad ambiental competente con el único fin de controlar la posible contaminación del agua por el uso y disposición inadecuada de agroquímicos. Para que una persona natural o jurídica pueda realizar una actividad que genere vertimientos deberá solicitar y tramitar ante la autoridad ambiental competente, el respectivo permiso de vertimientos.

Para el otorgamiento del permiso de vertimiento, la autoridad ambiental competente se basará en la clasificación de aguas y en las deducciones de los aspectos evaluados en las visitas técnicas practicadas, por lo tanto y siguiendo estas pautas será la autoridad ambiental competente quien otorgue o no el permiso de vertimiento. En caso de otorgar el permiso de vertimiento este tendrá un tiempo de vencimiento no mayor a diez (10) años.

Para modificación del permiso de vertimiento, se deberá dar aviso inmediato y por escrito a la autoridad ambiental competente con el tipo de modificación y la información adicional necesaria para dicha modificación. A su vez el artículo 50 indica que para la renovación de un permiso de vertimiento es necesario realizar la solicitud de renovación ante la autoridad ambiental competente, dentro del primer trimestre del último año de vigencia del permiso.

Serán motivos de sanción cualquier tipo de incumplimiento de los términos, condiciones y obligaciones concertadas en el permiso de vertimiento, plan de

cumplimiento o plan de saneamiento y manejo de vertimientos, según el artículo 59. Para la visita técnica y estudio de reglamentación de vertimientos se menciona en el artículo 68 que se deben tener en cuenta por lo menos los siguientes aspectos:

- a) Revisión y actualización de la información contenida en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico.
- b) Revisión y actualización de la georreferenciación de los vertimientos en cartografía oficial.
- c) Inventario y descripción de las obras hidráulicas.
- d) Caracterización de los vertimientos.
- e) Incidencia de los vertimientos en la calidad del cuerpo de agua en función de los sus usos actuales y potenciales.
- f) Análisis de la capacidad asimilativa del tramo o cuerpo de agua a reglamentar teniendo en consideración el Ordenamiento del Recurso Hídrico correspondiente.

Este decreto rige a partir de la fecha de su publicación, el 25 de octubre de 2010. El último artículo del decreto, el artículo 79, deroga las disposiciones que sean contrarias del decreto 1541 de 1978 y el decreto 1594 de 1984, excepto los artículos 20 y 21 de este último.

4.6. RESOLUCIÓN 631 DE 2015

El 17 de marzo de 2015 entró en vigencia la resolución 0631 de 2015, en la cual, y por medio de la Constitución Política se establece que es un servicio público del Estado el saneamiento ambiental, además de que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el ente regulador de las condiciones generales del saneamiento del medio ambiente y del control y reducción de la contaminación hídrica en el territorio nacional.

Para el vertimiento puntual con sustancias radioactivas o radioisótopos, se define en el artículo 4 que será regido por la Resolución 180005 de 2010 del

Ministerio de Minas y Energía. Por otra parte, el valor máximo de temperatura para vertimientos puntuales de aguas residuales será de 40,0 °C.

En los artículos 9, 10 y 11 se establece los valores máximos permitidos en los vertimientos de aguas residuales no domésticas a cuerpos de agua superficiales de actividades asociadas con ganadería, minería e hidrocarburos respectivamente. En El Cuadro 3 se presentan los parámetros permisibles para el vertimiento de agua en superficie de actividades asociadas a hidrocarburos.

Cuadro 3. Parámetros permisibles para el vertimiento de agua en superficie de actividades asociadas a hidrocarburos.

Parámetro	Unidades	Valor máximo permisible
Generales		
pH	Unidades de pH	6,00 – 9,00
Demanda química de oxígeno	Mg/L O ₂	180,00
Demanda de oxígeno DBO	Mg/L O ₂	60,00
Sólidos suspendidos totales SST	Mg/L	50,00
Sólidos sedimentables SSED	Mg/L	1
Grasas y aceites	Mg/L	15,00
Fenoles	Mg/L	0,20
Sustancias activas al azul de metileno	Mg/L	Análisis y reporte
Hidrocarburos		
Hidrocarburos totales HTP	Mg/L	Análisis y reporte
Aromáticos policíclicos HAP	Mg/L	Análisis y reporte

Cuadro 3. Parámetros permisibles para el vertimiento de agua en superficie de actividades asociadas a hidrocarburos. (Continuación)

Parámetro	Unidades	Valor máximo permisible
BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno)	Mg/L	Análisis y reporte
Compuestos orgánicos halogenados absorbibles AOX	Mg/L	Análisis y reporte
Compuesto de fosforo		Análisis y reporte
Fosforo total P	Mg/L	Análisis y reporte
Ortofosfatos P-PO ₄ 3	Mg/L	Análisis y reporte
Compuestos de nitrógeno	Mg/L	Análisis y reporte
Nitratos N-NO ₃	Mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno amoniacal N-NH ₃	Mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno total N	Mg/L	Análisis y reporte
Iones		
Cianuro total CN	Mg/L	1,00
Cloruros Cl	Mg/L	1200,00
Fluoruros F	Mg/L	Análisis y reporte
Sulfatos SO ₄ 2	Mg/L	300,00
Sulfuros S ₂	Mg/L	1,00
Metales y Metaloides		
Arsénico AS	Mg/L	0,10
Bario BA	Mg/L	Análisis y reporte
Cadmio Cd	Mg/L	0,10
Cinc Zn	Mg/L	3,00
Cobre Cu	Mg/L	1,00

Cuadro 3. Parámetros permisibles para el vertimiento de agua en superficie de actividades asociadas a hidrocarburos. (Continuación)

Parámetro	Unidades	Valor máximo permisible
Cromo	Mg/L	0,50
Hierro Fe	Mg/L	3,00
Mercurio Hg	Mg/L	0,01
Níquel Ni	Mg/L	0,50
Plata Ag	Mg/L	Análisis y reporte
Plomo Pb	Mg/L	0,20
Selenio Se	Mg/L	0,20
Vanadio V	Mg/L	1,00

Fuente: Resolución 631 de 2015, artículo 11.

En los anexos de la resolución se explica muy detalladamente tanto acrónimos como las actividades que se derivan de las diferentes actividades industriales, comerciales o de servicios públicos en los diferentes sectores, tales como ganadería, minería, hidrocarburos, elaboración de productos alimenticios y bebidas, entre otros.

5. MÉTODOS DE DISPOSICIÓN

A continuación, se muestran los tipos de disposición final de agua proveniente del proceso de explotación petrolera.

5.1. DESCARGAS SIN CONTROL

Las descargas sin control hacen referencia a los vertimientos realizados antes de la creación de una normativa legal en cuanto a vertimientos para la disposición final de aguas de producción. Estas malas prácticas fueron empleadas debido a que para la fecha no existía una regulación ambiental que exigiera un adecuado control a la disposición final del agua producida evitando así que se generaran daños irreparables al medio ambiente. Con la publicación del decreto 1541 de 1978 las descargas sin control quedaron prohibidas logrando de este modo que cualquier vertimiento que se fuera a realizar cumpliera con unas condiciones mínimas de calidad para evitar la contaminación de la fuente receptora.

5.1.1. Descarga sin control en superficie. El agua de producción original era descargada directamente a la superficie sin ninguna clase de tratamiento previo y por lo tanto sin considerar la cantidad contaminantes presentes en el agua, lo que generó la contaminación de las capas freáticas superficiales, el agua potable, además, la acumulación de grandes cantidades de sal en el suelo volviéndolo inutilizable.²

5.1.2. Descarga sin control en agua dulce. Este tipo de vertimiento se realizaba sin tratamiento previo del agua producida a cuerpos de agua dulce, entre estos, ríos, arroyos y lagos que generalmente estaban cerca al punto de explotación petrolífera ocasionando la destrucción de estos cuerpos de agua, la muerte de especies acuáticas y la generación de paisajes deplorables. A su vez, estas corrientes lograban conducir la contaminación a otras fuentes de agua potable.

² ARPEL, Guía para la disposición y el tratamiento de agua producida. p. 25.

5.1.3. Descarga sin control en ambientes marinos costeros. Esta descarga ha sido común debido a la ubicación de muchos campos (estuarinos) de petróleo. Esto ha llevado a la concentración de metales y aceites pesados en la vida marina y a la contaminación costera.³

5.2. DESCARGAS CONTROLADAS

A partir de la creación del decreto 1541 de 1978, todo vertimiento debe registrarse por las especificaciones establecidas en la norma en cuanto a los parámetros mínimos de calidad que debe cumplir el agua para su vertimiento ya sea en la superficie, en ambientes marinos o en aguas superficiales.

5.2.1. Descarga controlada en superficie. En este tipo de vertimiento el agua producida se usa para humedecer los caminos en el invierno aprovechando su contenido salino para derretir la nieve y el hielo a temperaturas cercanas al punto de congelamiento. Esta descarga en superficie también es empleada en algunas zonas áridas del mundo en donde el agua es rociada sobre los caminos para controlar al polvo.⁴ Existen varios tipos de descargas en superficie como:

5.2.1.1. Evaporación. La alternativa de evaporación consiste en la separación de una mezcla mediante el paso a la fase vapor del componente más volátil, en este caso agua. El propósito último es gestionar un residuo de menor volumen, conformado por los compuestos menos volátiles.⁵

En zonas áridas, donde las tasas de evaporación suelen ser muy altas, el agua producida debe ser colocada en fosas o piletas, en donde se dejará para que se evapore. En una pileta, es muy común que se puedan colocar hasta 100 barriles/mes por cada instalación, siempre y cuando dicha pileta sea lo suficientemente grande e impermeable para almacenar el agua de posibles

³ ARPEL. Ibid., p. 26.

⁴ ARPEL. Ibid., p. 26.

⁵ MUÑOZ PRADO, Angélica. Evaluación técnica y ambiental de una unidad de evaporación como alternativa de tratamiento de aguas de producción de la fase de explotación de hidrocarburos. Universidad Libre. Especialización en Gerencia Ambiental. 2011. p. 62.

lluvias y así dar paso a la evaporación.⁶ Con la evaporación el agua se purifica, sin embargo, las sales y sólidos disueltos quedarán en la fosa de evaporación y luego se procederá a disponer de estos sólidos en forma segura.

Este método de eliminación se hace poco práctico debido a las restricciones de volumen, excepto para aquellos casos en los que se generan volúmenes de producción y de agua muy bajos, donde se pasaría a considerar los factores económicos y viables del proyecto, sobre la utilización de la evaporación como método de disposición o el abandono del pozo. La evaporación puede ser también usada en sitios donde la precipitación exceda considerablemente los valores de evapotranspiración anual y en donde los vientos puedan contribuir al secado.

Para implementar este método de disposición es importante tener en cuenta los posibles problemas que se puedan presentar.

A continuación, en El Cuadro 4 se encuentran algunos de ellos:

Cuadro 4. Problemas relacionados con la evaporación

Problema	Efecto
Mala utilización del terreno	No es recomendable cuando se requieren grandes extensiones para evaporar volúmenes considerables del agua producida. En la mayoría de los casos la tierra que se utiliza es tan pobre que generalmente no tiene otro uso.

⁶ SÁNCHEZ URIBE, Javier. Tratamiento y disposición final del agua producida en yacimientos petroleros. Universidad Nacional Autónoma de México. Proyecto de grado. 2013. p. 111.

Cuadro 4. Problemas relacionados con la evaporación. (Continuación)

Problema	Efecto
Contaminación de la superficie	Muchas de las zonas apropiadas tienen un promedio bajo de precipitación, pero presentan lluvias muy intensas de corta duración. Se deben construir piletas de evaporación para contener el agua producida y la precipitación más alta previsible. Los datos meteorológicos sugieren que se utilicen los datos de la tormenta máxima de los últimos 100 años como base para el diseño de dichas instalaciones.
Contaminación de aguas subterráneas	Constituye probablemente la preocupación más importante. Esta puede aliviarse asegurando que las instalaciones de evaporación y retención sean impermeables (se deberá considerar el uso de piletas con doble revestimiento y control de la zona entre los revestimientos) estableciendo las instalaciones de evaporación en zonas de descarga de aguas subterráneas.
Mortandad de la fauna nativa	Es un problema obvio, en zonas donde cae poca lluvia, y donde aquella que cae se evapora rápidamente, los animales salvajes se encontrarán atraídos por las zonas de evaporación. Todas las instalaciones de evaporación deberán ser protegidas por alambrados. Se recomienda una altura mínima de 10 pies o 3 m y el alambrado deberá ser inspeccionado por lo menos semanalmente.

Cuadro 4. Problemas relacionados con la evaporación. (Continuación)

Problema	Efecto
Intervención humana	Los problemas relacionados con la población que habita en la zona deben ser considerados. Generalmente son de poca trascendencia pues las zonas que cumplen con las condiciones de evapotranspiración mencionadas son casi siempre desérticas y poco pobladas.

Fuente: Modificado de SÁNCHEZ URIBE, Javier. Tratamiento y disposición final del agua producida en yacimientos petroleros. Universidad Nacional Autónoma de México. Proyecto de grado. 2013.

5.2.1.2. Riego por aspersión. Este método de disposición consiste en un riego mecánico o presurizado el cual usa mecanismos para generar presión y mover el agua. De esta forma se crea una lluvia artificial que es expulsada del sistema de tuberías a través de las boquillas del aspersor.

En este sistema el agua residual es aplicada al suelo en forma de lluvia utilizando aspersores que generan un chorro de agua pulverizada, el agua cae al suelo y forma una delgada película, de la cual una parte se infiltra y la otra, se evapora por efecto de la evapotranspiración.⁷

El método de riego por aspersión distribuye de manera completa y uniforme sobre toda el área de aplicación representando una ventaja al evitar el encharcamiento en el suelo. Por otra parte, Muñoz afirma que las ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión están establecidas como se muestra en El Cuadro 5.

⁷ GEOINGENIERÍA S.A-PETROMINERALES COLOMBIA LTD. Estudio de Impacto ambiental para la modificación de la licencia 2466 de 2006. Área de perforación exploratoria Casimena. Citado por: MUÑOZ PRADO, Angélica. Evaluación técnica y ambiental de una unidad de evaporación como alternativa de tratamiento de aguas de producción de la fase de explotación de hidrocarburos. Universidad Libre. Especialización en Gerencia Ambiental. 2011. p. 63.

Cuadro 5. Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión.

Ventajas	Desventajas
Disposición de altos volúmenes de aguas residuales.	Problemas de aplicación del agua de manera uniforme, en áreas con vientos de moderados a fuertes.
Permite riego de suelos que por sus limitaciones topográficas no pueden ser regados por superficie, como pendientes superiores a 8%.	Alto costo de inversión inicial en materiales y equipos.
Posibilita el riego de suelos muy delgados que no son posibles de nivelar.	Altos requerimientos de energía para su operación, debido principalmente a las alturas de elevación y a las altas presiones requeridas por los aspersores para su funcionamiento. Los costos por este concepto son mayores cuando se trata de motores a combustión, en comparación con motores eléctricos.
Se aprovechan con mayor eficiencia los pequeños caudales de agua, debido a que un sistema de aspersores bien diseñado distribuye mejor el agua que otros métodos.	Posibilidad de saturación de los suelos en épocas con altas precipitaciones
No requiere nivelación de suelos.	Los costos de funcionamiento y mantenimiento suelen ser elevados...
Útil para suelos permeables.	Requerimiento de área.
Se adapta a todo tipo de terreno, desde ondulados a muy ondulados.	Si las aguas residuales tratadas a disponer no cumplen con las normas de vertimiento, existe riesgo de contaminación de acuíferos.

Cuadro 5. Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión.
(Continuación).

Ventajas	Desventajas
Disminuye la mano de obra ocupada. Solo necesaria en instalación. Puede automatizarse.	Se presentan limitaciones respecto a la calidad del agua, si éstas tienen elevados contenidos salinos, disminuye la vida útil de los componentes.
La eficiencia del riego por aspersión es 80% frente al 50 % en los riegos por inundación tradicional o gravitacional.	Requiere un alto nivel de tecnificación en el diseño, instalación y operación del sistema, para lo cual se requiere de un profesional competente en la materia.
Especialmente útil para distintas clases de suelos ya que permite riegos frecuentes y poco abundantes.	Dependencia de equipos mecánicos, los cuales están propensos a múltiples fallas como producto del uso forzado e intensivo a que están sometidos durante cortos periodos de tiempo.
Especialmente útil para distintas clases de suelos ya que permite riegos frecuentes y poco abundantes.	Dependencia de equipos mecánicos, los cuales están propensos a múltiples fallas como producto del uso forzado e intensivo a que están sometidos durante cortos periodos de tiempo.
	No es recomendable en suelos arcillosos de muy baja velocidad de infiltración (menos que 0,4 cm/h), debido a que los prolongados tiempos de riego encarecen excesivamente los equipos, al

Cuadro 5. Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión.
(Continuación)

Ventajas	Desventajas
	aumentar el número de aspersores por postura y disminuir el número de posturas diarias.

Fuente: MUÑOZ PRADO, Angélica. Evaluación técnica y ambiental de una unidad de evaporación como alternativa de tratamiento de aguas de producción de la fase de explotación de hidrocarburos. Universidad Libre. Especialización en Gerencia Ambiental. 2011.

5.2.1.3. Riego de vías. Es un método de disposición de aguas residuales tratadas empleado en la industria petrolera que contribuye al control de las emisiones de material particulado como el polvo por el constante transporte de vehículos de operación en las vías del área de influencia de los campos petroleros. Además, es un proceso que se emplea en temporadas secas.

En este método se hace uso de carrotanques para la disposición de agua con un sistema de flauta, que consiste en una tubería con salidas múltiples para la distribución del agua de la cisterna del carrotanque a los puntos de trabajo, esto con el fin de lograr un riego uniforme evitando los encharcamientos.

La disposición debe realizarse de manera controlada para evitar la saturación del terreno, siempre respetando que la tasa de aplicación de dichas aguas no exceda la capacidad de infiltración del suelo.⁸

Generalmente el riego en vías se realiza bajo la concertación con las comunidades del área de influencia de los campos petroleros a salvedad de no causar daños en terrenos o semovientes cercanos a las vías.⁹ En El Cuadro 6 se muestran las ventajas y desventajas de la alternativa de riego en vías.

⁸ MUÑOZ PRADO. Op. Cit., p. 65.

⁹ RUIZ GIRÓN, Luis. Propuesta de mejoramiento para las facilidades de tratamiento del agua de producción y disposición por sistema de inyección para el campo Cabiona. Universidad Industrial de Santander. Especialización en producción de hidrocarburos. 2015. p. 81.

Cuadro 6. Ventajas y desventajas de la alternativa de riego en vías.

Ventajas	Desventajas
Facilidad de operación	Solo es posible disponer las aguas residuales en épocas de sequía.
Útil para controlar la emisión de material particulado	Depende de la capacidad de infiltración de los suelos
	Posibles conflictos con comunidades cercanas por la disposición de aguas residuales sobre las vías.
	Si el agua residual a disponer no cumple con las normas de vertimiento del Decreto 1594 de 1984, existe riesgo de contaminación de cuerpos de agua superficiales cercanos por la escorrentía de estas aguas hacia los drenajes.

Fuente: MUÑOZ PRADO, Angélica. Evaluación técnica y ambiental de una unidad de evaporación como alternativa de tratamiento de aguas de producción de la fase de explotación de hidrocarburos. Universidad Libre. Especialización en Gerencia Ambiental. 2011.

5.2.2. Descarga controlada en aguas superficiales. Para este tipo de descargas en aguas dulces superficiales, en algunas zonas proceden a controlar la concentración de sales disueltas en el agua para darle uso agropecuario o doméstico.

5.2.3. Descarga controlada en ambientes marinos costeros. Estas descargas comprenden principalmente un control del contenido del petróleo y del punto de descarga, por lo cual, los objetivos principales son evitar las aguas muertas o estancadas y las zonas pesqueras. En Colombia, este tipo de descargas está sujeto a controles de nivel de aceites y grasas contenidos en el

agua, en donde el máximo permisible de estas es de 15 mg/L, mientras que, en México, el máximo permisible varía entre 15 mg/L y 25 mg/L.¹⁰

5.3. INYECCIÓN DE AGUA DE PRODUCCIÓN

La inyección de agua de producción puede llevarse a cabo de dos diferentes métodos, como método de disposición o como método de recuperación secundaria.

5.3.1. Inyección de agua de producción como método de recuperación secundaria. La producción de hidrocarburos trae consigo la disminución de energía propia de los yacimientos petrolíferos, hasta convertirse en un proyecto inviable económicamente. La inyección de agua de producción se convierte en un método de recuperación secundaria proporcionando energía adicional al yacimiento, manteniendo o aumentando la producción de hidrocarburos.

El agua se inyecta en el lugar donde se encuentra el crudo, siendo usado este método en yacimientos con poca inclinación y con un área extensa. Esto trae como consecuencia que los fluidos existentes en el yacimiento sean desplazados hasta el pozo productor.¹¹

La inyección de agua al yacimiento puede hacerse en dos zonas, en el acuífero como mantenimiento de presión o en toda la zona para barrer el petróleo hacia los pozos productores, siendo conocido como inundación de agua o waterflooding.

5.3.2. Inyección de agua de producción como método de disposición. La inyección de agua de producción como método de disposición es la eliminación de aguas residuales por medio de un pozo de inyección, a través del cual se lleva el fluido bajo tierra a formaciones geológicas porosas aisladas de fuentes de agua subterránea, donde se almacena permanentemente con el fin de eliminar una parte de los grandes volúmenes de agua producida por la extracción de hidrocarburos, evitando causar daños ambientales por vertimientos en suelos o efluentes.

¹⁰ SÁNCHEZ URIBE. Op. Cit., p. 122.

¹¹ RUIZ GIRÓN. Op. Cit., p. 83.

5.3.2.1. Inyección en pozo poco profundo. Este tipo de inyección se realiza por el espacio anular del pozo, entre la tubería de revestimiento y la tubería de producción, a una profundidad por debajo de los 600 m o de los 2000 pies. El fluido inyectado se dirige a la primera zona permeable debajo de la primera tubería de revestimiento, sin embargo, la cementación de la primera tubería no es la adecuada para la disposición de agua y el riesgo de contaminación de las capas freáticas poco profundas y del agua potable subterránea aumenta a medida que disminuye la profundidad de inyección. Se deben tener en cuenta factores de tiempo de perforado el pozo, desgaste de la tubería, entre otros.¹²

El uso de pozos sin una separación mecánica entre la zona de inyección y cualquier arena con potencial de contener agua, no puede considerarse como una zona viable para la disposición de agua debido a que muchos pozos de poca profundidad nunca fueron destinados a ser pozos de inyección, en donde algunos resultaron ser pozos secos o pozos de exploración abandonados que cuentan con una tubería de poca longitud, lo cual ocasiona una incertidumbre acerca de a dónde va el agua de disposición, representando un problema debido a la posible comunicación entre una fuente de agua potable y una arena de agua dulce.

No obstante, existen pozos con una buena terminación que consiste en tubería superficial de revestimiento, tubería de revestimiento para producción, tubería de producción y un espacio anular aislado. Esto, junto con un estudio completo de cualquier arena dentro de la zona inmediata y siempre que la zona en donde se realiza la inyección no se encuentre en comunicación con cualquier arena en la dirección de flujo de la capa acuífera, se considera una zona de disposición aceptable.¹³

5.3.2.2. Pozo disposal. Los pozos disposal son pozos de inyección para disposición de aguas de producción o residuales, también conocidos como método de confinamiento en yacimientos no productivos. Este tipo de pozos tiene como objetivos:

¹² ARPEL. Op. Cit., p. 35.

¹³ PARKER, D.H., *et al.* Oil Production and Water Management in Oman, SPE-23322-MS, 1991.

- Gestionar y almacenar de una manera adecuada el agua producida en yacimientos de petróleo.
- Controlar los problemas asociados a la cantidad de agua producida.
- Garantizar una reducción de los costos de tratamiento y separación de fluidos.
- Mitigar el impacto ambiental en los cuerpos de agua superficiales.

El método de pozo disposal consiste en inyectar el agua producida a una formación subterránea profunda mayor de 2000 pies (600 metros). Es preferible que el pozo empleado para hacer la inyección sea la conversión de un pozo productor inactivo para reducir costos de perforación.

Estos pozos tienen la función de garantizar que el fluido inyectado no entre en contacto con otras zonas de interés como acuíferos someros o el pozo productor, asegurando la integridad de los pozos inyectores controlando y monitoreando la calidad del agua inyectada. Por lo tanto, se deben adelantar tratamientos de acuerdo con las normas establecidas en el país para luego proceder a la inyección de agua producida.

En El Cuadro 7, se presentan los parámetros técnicos generales para el adecuado funcionamiento de un pozo con el objetivo disposal¹⁴.

Cuadro 7. Parámetros técnicos operacionales generales para reinyección en pozo disposal.

Norma	Tipo de análisis	Parámetro	Límite de referencia	Objetivo/ observaciones
Referencia NACE	Análisis físicoquímico "insitu"	Conductividad	-	Debe tener una conductividad similar de las aguas de formación.

¹⁴ ACOSTA, Diego, JACOBS, Juan. Diseño conceptual de un sistema de tratamiento de aguas de producción para reinyección en pozo disposal en un campo de la cuenca de los llanos orientales. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado. 2017. p. 38.

Cuadro 7. Parámetros técnicos operacionales generales para reinyección en pozo disposal. (Continuación)

Norma	Tipo de análisis	Parámetro	Límite de referencia	Objetivo/ observaciones
		pH	6,5 – 8,5	Preferiblemente un pH por debajo de 8 lo cual evita la tendencia a incrustaciones.
		Fe^{2+}	<1,0 mg/L	Prevención de la corrosión de la tubería y evita la formación de precipitados.
Referencia NACE	Análisis fisicoquímicos “insitu”	H_2S	0,0 mg/L	Prevención corrosión. Prevención “agriamiento” de la formación
		CO_2	<10 ppm	Prevención corrosión
		O_2	<1 ppb	Prevención corrosión
		Turbidez	< 2 NTU	Indica la presencia de solidos suspendidos.
NACE TMO 273-05	Calidad del agua	Pendiente (caudal vs. Volumen)	< 0,99	Garantiza que no se excede la capacidad del acuífero.

Cuadro 7. Parámetros técnicos operacionales generales para reinyección en pozo disposal. (Continuación)

Norma	Tipo de análisis	Parámetro	Límite de referencia	Objetivo/ observaciones
ASTM 4412-02	Bacteriológico	BSR	$< 10^4 \text{ ucf} / \text{mL}$	Evita la producción de H ₂ S
Referencia NACE		Grasas y Aceites	<5 mg/L	Previene la obstrucción de los filtros en la Superficie Evita reducir la permeabilidad de la formación
-	Análisis fisicoquímicos en el laboratorio	Cationes, Aniones	-	Previene la formación de sales y compuestos insolubles que forman incrustaciones y obstrucciones en el sistema de inyección.
		Densidad	-	Preferible que la densidad del fluido a inyectar sea superior que la densidad del líquido de la formación, para que haya mayor dispersión.

Fuente: ARPEL. Guía para la disposición y tratamiento de agua producida.

El desarrollo de pozos disposal requiere como mínimo el cálculo de parámetros y conocimiento de datos antes de la inyección¹⁵. Los datos necesarios para evaluar la viabilidad de inyección en una formación se contemplan en El Cuadro 8.

Cuadro 8. Datos necesarios para evaluar la viabilidad de inyección en una formación.

Datos de las formaciones almacén y sellantes	Formación almacén	Litología y composición, porosidad, permeabilidad, presión, temperatura, condiciones hidrogeológicas y parámetros hidráulicos, riesgo sísmico, continuidad lateral, espesores, estructuras geológicas, presión de fractura y volumen disponible para el almacenamiento.
	Formaciones sello	Grado de impermeabilidad, continuidad, litología, composición, estructuras geológicas, presión de fractura y sísmica existente.
Datos de los fluidos implicados en la inyección	Fluido contenido en la formación receptora	Composición y características fisicoquímicas (PH, Eh, turbidez, densidad, dureza, solubilidad, adsorción alcalinidad, poder de corrosión, temperatura, composición, elementos traza, aniones, cationes, TSD, gases disueltos, etc...)

¹⁵ ORDOÑEZ, Daniela, ACEVEDO, Norehidy. Desarrollo del esquema ambiental para implementar pozos disposal para agua de producción. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de Grado. 2019. p. 40.

Cuadro 8. Datos necesarios para evaluar la viabilidad de inyección en una formación. (Continuación).

Datos de los fluidos implicados en la inyección	Fluido a inyectar	Composición y características fisicoquímicas (pH, Eh, turbidez, densidad, dureza, solubilidad, adsorción alcalinidad, poder de corrosión, temperatura, composición, elementos traza, aniones, cationes, TSD, gases disueltos, etc...) características biológicas y pruebas de inyección en caso de ser residuos orgánicos.
---	-------------------	--

Fuente: BERRETEAGA, Ana., *et al.* Manual de buenas prácticas: inyección profunda de rechazos de desalación.

Comúnmente en este tipo de pozos el agua producida es inyectada como método de disposición final en las formaciones almacenadoras, generando de esta forma que el fluido no pueda ser reutilizado como método de recobro secundario o de cualquier otra forma en superficie.

Condiciones para la disposición de agua en pozo disposal

Se deben tener en cuenta las siguientes condiciones importantes a la hora de realizar un proyecto de pozo disposal:¹⁶

- El pozo disposal debe funcionar como canal para la disposición del agua de producción de un acuífero confinado.
- Garantizar la integridad de los pozos inyectoros controlando y monitoreando la calidad del agua inyectada.
- Garantizar que el fluido inyectado no entre en contacto con zonas de interés como formaciones productoras o acuíferos de agua fresca que

¹⁶ ACOSTA. Op. Cit., p. 37.

sean utilizados o potencialmente aprovechables para el consumo humano.

- Descartar la reutilización del agua en recobro secundario o un reúso en superficie.

Criterios para implementación de pozo disposal

Para la implementación de pozos disposal es fundamental conocer ciertas características del sector donde se llevará a cabo el proyecto con el fin de asegurar que está completamente aislado de las zonas de interés para dicho proceso. Entre los criterios a tener en cuenta se pueden encontrar:¹⁷

- Suficiente extensión horizontal.
- La geología del pozo, de la zona y de la región donde se planea desarrollar el pozo disposal.
- Espesor adecuado.
- Uniformidad del yacimiento.
- Alta permeabilidad y porosidad.
- Baja presión de inyección.
- Compatibilidad entre el fluido inyectado y la zona receptora.
- Aislamiento de pozos vecinos y de acuíferos de agua fresca.
- Formaciones con mayor preferencia a acuíferos de agua salada.

¹⁷ CANOSA, Gustavo, JAIMES, Clara. Efectos asociados a las operaciones de pozos de inyección para disposición de aguas residuales sobre fuentes hídricas subterráneas. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado. 2017. p. 23.

6. PROBLEMAS ASOCIADOS A LA INYECCIÓN EN POZOS DISPOSAL

Generalmente los problemas ocurridos en la disposición de agua por inyección en pozos disposal, resultan de la incompatibilidad existente entre la formación receptora y el agua inyectada. Por otra parte, la presión de inyección juega un papel fundamental debido a que un mal control de esta puede generar un fracturamiento en la zona de inyección o a su vez prolongar las fracturas ya existentes con efectos imprevistos sin un estudio geomecánico de la formación.

Los parámetros de evaluación a tener en cuenta para valorar los posibles efectos negativos producidos en la implementación del método de pozo disposal, son:¹⁸

- Presión de inyección del fluido.
- Compatibilidad entre el fluido inyectado y la formación receptora.
- Calidad del agua producida.
- Volumen del líquido inyectado.
- Numero de perforaciones realizadas para pozos disposal.

Las posibles consecuencias e impactos negativos relacionados con la implementación del método de pozo disposal se presentan a continuación:

6.1. CONTACTO ENTRE FLUIDOS EN EL SUBSUELO

El método de disposición de agua en pozo disposal consiste en el confinamiento por inyección de aguas de producción previamente tratadas en una formación donde un estudio preliminar de propiedades y condiciones de esta arroje resultados favorables que demuestren la compatibilidad existente entre la formación y el fluido a inyectar. Todo esto con el fin de evitar problemas tales como comunicación del agua inyectada con acuíferos aledaños, fracturamiento del estrato confinante por exceder los límites de presión de la formación creando canales de comunicación con fuentes de agua

¹⁸ CANOSA. Op. Cit., p. 52.

o contaminación por contacto entre el fluido inyectado y una fuente hídrica. Por otra parte, existen efectos geológicos o tectónicos presentes en la formación como fallas no sellantes que facilitarían la migración del agua inyectada a formaciones cercanas generando la contaminación de estas.

6.2. ALTERACIÓN DE LA FORMACIÓN RECEPTORA

La implementación del método de pozo disposal aprovecha el uso de pozos en estado de abandono o reacondiciona pozos que dejaron de ser económicamente viables, para la inyección de las aguas residuales de producción. El agua inyectada para su disposición puede ocasionar daños en la geología de la formación receptora, esto puede ser causado por diversos factores como la incompatibilidad del fluido inyectado con la formación y con los tipos de roca presentes en esta.

Por otra parte, la incompatibilidad de las aguas presentes en el pozo receptor con las inyectadas genera el taponamiento del área de aplicación de la inyección disposal; lo que conlleva a reacciones fisicoquímicas perjudiciales para el proceso, y en consecuencia desencadenan diversos problemas operativos. De ocurrir este tipo de impacto o daño en la formación receptora, el agua inyectada podría migrar hacia la superficie y alcanzar acuíferos superiores, ocasionando el consecuente daño ecológico. Otro causante del taponamiento del área puede ser el caudal y la presión del líquido inyectado, así como la calidad del fluido a disponerse en la formación receptora, los cuales deberán ser controlados permanentemente, a fin de prevenir el taponamiento del área donde se dispone el agua de producción¹⁹.

A su vez, es indispensable evaluar que la capacidad de almacenamiento de la formación sea mucho mayor que el volumen de agua a inyectar durante el periodo que pueda durar el proyecto.

¹⁹ CANOSA. Op. Cit., p. 58.

²⁰ CANOSA. Op. Cit., p. 59.

6.3. CALIDAD DEL AGUA DE PRODUCCIÓN

El agua para disposición debe ser primeramente tratada de modo que cumpla con unos parámetros mínimos de calidad antes de ser inyectada para su disposición final. El objetivo de este tratamiento es que el agua adquiera ciertas características para evitar que se presenten problemas como incompatibilidad con los fluidos ya presentes en el pozo disposal o taponamientos de la formación o de una fracción del tamaño del medio poroso debida una gran cantidad de sólidos presentes en el agua.

Adicionalmente, una calidad pobre del agua dispuesta a inyectarse puede generar problemas en los pozos; los cuales requerirán de constantes trabajos con costos elevados, de reacondicionamiento tales como: achicamiento, limpieza, acidificación y fracturamiento, con el fin de mantener un nivel aceptable de inyectividad²⁰.

Para la determinación del tipo correcto de tratamiento del agua residual, es necesario hacer un análisis de los datos de caracterización de la formación receptora, de la calidad del agua, de núcleos y por último de los resultados de pruebas de pozo.

Para evitar problemas como la reducción de la tasa de inyección o taponamientos se deben tener en cuenta medidas de regulación tales como la información de la calidad del agua y su análisis antes y después de ser tratada, para su continuo monitoreo a fin de que cumpla con los estándares adecuados al momento de su inyección.

El Cuadro 9 resume los posibles daños en una operación de inyección de agua para disposición, el parámetro que ocasiona el daño y las consecuencias generadas por el daño.

Cuadro 9. Identificación de daños, parámetros y consecuencias.

Daño	Parámetro Asociado	Consecuencias
Contacto Entre Fluidos en el Subsuelo	Sobrepaso en los límites de presión de inyección del líquido (Agua de Producción).	Fracturamiento del estrato confinante.
		Contacto entre el líquido inyectado y el agua situada en los acuíferos aledaños.
		Contaminación del agua fresca presente en fuentes hídricas subterráneas.
Alteración de la Formación Receptora	Incompatibilidad del fluido inyectado con la formación receptora y tipos de roca presentes en esta.	Taponamiento del área de aplicación de la inyección disposal.
		Desplazamiento del agua inyectada hacia acuíferos cercanos o la superficie.
Calidad del Agua de Producción	Calidad y caracterización del agua producida.	Reducción de la tasa de inyección del líquido debido al taponamiento de la formación receptora a causa de la presencia de sólidos en el agua de producción inyectada.
	Monitoreo y control del líquido inyectado.	Problemas de reacondicionamiento de pozos.

Fuente: CANOSA, Gustavo, JAIMES, Clara. Efectos asociados a las operaciones de pozos de inyección para disposición de aguas residuales sobre fuentes hídricas subterráneas. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado. 2017.

7. EFECTOS GENERADOS POR LOS CONTAMINANTES DEL AGUA PRODUCIDA

Las aguas residuales pueden contener un alto contenido de sustancias nocivas tanto para el medio ambiente como para los humanos, por lo cual, es importante evitar contaminar fuentes de agua dulce, que son usadas para consumo doméstico o fuentes de agua subterráneas que podrán tener este mismo uso a futuro. La experiencia ha demostrado que los mayores contribuyentes al impacto ambiental son el aceite disperso, los compuestos aromáticos volátiles y pesados, los fenoles, los productos químicos añadidos y los metales²¹. En El Cuadro 10, se resumen los principales efectos de algunos componentes del agua producida tanto en la salud humana como en los ecosistemas:

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
BENCENO	La ingestión de alimentos o bebidas que contienen niveles altos de benceno puede producir vómitos, irritación del estómago, mareo, somnolencia, convulsiones,	En animales, la exposición a través de alimentos o agua contaminada con benceno puede alterar	El DHHS, la IARC y la EPA han determinado que el benceno es carcinogénico en seres humanos.	La EPA estima que la exposición de por vida a 0,01 mg/L en el agua podría causar 1 caso de

²¹ GRINI, P.G., et al. Choosing Produced Water Treatment Technologies Based on Environmental Impact Reduction. SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Kuala Lumpur, Malaysia, [en línea] 2002. SPE-74002-MS. Disponible en One Petro.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
	aceleración del latido del corazón, coma y la muerte. Los efectos del consumo de alimentos o líquidos que contienen niveles bajos de benceno no se conocen.	elementos de la sangre y el sistema inmunitario. Además, puede producir cáncer.		cáncer por cada 100000 personas. Recomienda que los niños no se expongan a más de 0,2 mg/L en el agua.
ETILBENCENO	No hay datos fiables sobre los efectos causados en los seres humanos por beber etilbenceno.	Las ratas que ingirieron cantidades altas de etilbenceno sufrieron daño grave del oído interno.	La IARC ha determinado que el etilbenceno es posiblemente carcinogénico en seres humanos.	La EPA recomienda a no ingerir pescados ni agua de cuerpos de agua con contenido mayor a 0,53 mg/L.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
TOLUENO	El tolueno es absorbido fácilmente por el cuerpo luego de su ingestión, produciendo depresión del sistema nervioso central. Síntomas como irritación pulmonar severa, daño al tejido pulmonar y la muerte pueden resultar luego de ingerir tolueno.	Los efectos del tolueno en animales son similares a los observados en seres humanos. El efecto principal es sobre el cerebro y el sistema nervioso, pero cantidades moderadas o altas de tolueno también pueden experimentar efectos adversos en hígado, riñones, pulmones y sistema inmunitario.	La IARC determinó que el tolueno no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos. La EPA determinó que no hay información adecuada para evaluar la carcinogenicidad del tolueno.	La EPA ha establecido un nivel de contaminación máximo en el agua potable de 1 mg/L.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
XILENO	La exposición a niveles altos durante períodos breves o prolongados puede producir dolores de cabeza, falta de coordinación muscular, mareo, confusión y alteraciones del equilibrio. La exposición breve a niveles altos también puede causar irritación de la garganta; problemas pulmonares; alteraciones de la memoria; malestar estomacal; alteraciones del hígado y los.	En animales la exposición a grandes cantidades de xileno puede producir alteraciones del hígado, los riñones, los pulmones, el corazón y el sistema nervioso. La exposición breve a concentraciones muy altas produce espasmos musculares, incoordinación, sordera,	Tanto la IARC como la EPA han determinado que no hay suficiente información para determinar si el xileno es carcinogénico y lo consideran no clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.	La EPA ha establecido un NMC de 10 mg/L en agua suministrada a todo usuario de sistemas públicos de agua.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
	riñones. La exposición a niveles muy altos puede causar pérdida del conocimiento y la muerte	alteraciones del comportamiento, alteraciones del peso de algunos órganos y también la muerte.		
FENOLES	La ingestión de concentraciones altas de fenol ha producido daño intestinal grave, quemaduras internas y la muerte.	Algunos animales que tomaron agua con concentraciones muy altas de fenol sufrieron temblores musculares, dificultad para caminar y la muerte.	La IARC y la EPA han determinado que el fenol no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.	La FDA ha determinado que la concentración en el agua en botella no debe exceder 0,001 mg/L.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS	Los estudios realizados en los seres humanos demuestran que en ciertas circunstancias las personas pueden contraer cáncer. También se podrían presentar problemas reproductivos.	Varios HAP, han causado tumores en los animales de laboratorio. Las ratonas durante el embarazo tuvieron problemas reproductivos, así como sus crías tuvieron defectos congénitos y disminución del peso corporal. También pueden causar efectos dañinos en	El DHHS ha determinado que algunos HAP son reconocidos carcinógenos animales y es razonable pre- decir que son carcinogénicos en seres humanos. La IARC y la EPA han determinado que son posibles carcinógenos humanos.	La OMS ha establecido que el agua potable no debe contener más de 0,0007 mg/L.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
		la piel, los fluidos corporales y el sistema que utiliza el cuerpo para combatir las enfermedades después de exposiciones tanto a corto como a largo plazo.		
CADMIO	Ingerir niveles de cadmio muy altos produce irritación grave del estómago causando vómitos y diarrea. La exposición prolongada a niveles más bajos produce	Las vacas pueden tener grandes cantidades de Cadmio en sus riñones. Las lombrices y otros animales	El DHHS y la IARC han determinado que el cadmio y los compuestos de cadmio son carcinogénicos en seres humanos. La	La EPA autoriza sólo 0,005 mg/L en el agua para consumo humano. La FDA ha determinado que la

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
	acumulación en los riñones y posiblemente enfermedad renal. a Otros efectos pueden ser daño del pulmón y fragilidad de los huesos, fallos en la reproducción y posible infertilidad, daño al sistema nervioso central y al sistema inmune, desordenes psicológicos, posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.	esenciales para el suelo son extremadamente sensibles al envenenamiento por Cadmio y pueden morir a muy bajas concentraciones. El Cadmio se puede bioacumular en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces.	EPA también determinó que es probablemente carcinogénico en seres humanos.	concentración de cadmio en agua embotellada para beber no debe exceder 0,005 mg/L.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
ARSÉNICO	Niveles bajos de arsénico pueden producir náuseas y vómitos, disminución del número de glóbulos rojos y blancos, ritmo cardíaco anormal, fragilidad capilar y sensación de hormigueo en las extremidades. Puede causar cambios en la piel e irritación de los pulmones y el estómago. Altas concentraciones pueden causar	En las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de arsénico y mueren como resultado del envenenamiento por arsénico como	El DHHS y la EPA han determinado que el arsénico inorgánico es un elemento reconocido como carcinogénico en seres humanos. La IARC ha determinado que el arsénico inorgánico es carcinogénico en seres humanos.	La EPA redujo el límite en el agua potable de 0,05 a 0,01 mg/L.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
	infertilidad y abortos, pérdida de las defensas y daño del cerebro.	consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos.		
BARIO	La ingestión durante un período breve de cantidades relativamente altas puede producir vómitos, calambres estomacales, diarrea, dificultad para respirar, aumento o disminución de la presión sanguínea, adormecimiento de la cara y debilidad muscular. La	Algunos animales que ingirieron bario durante mucho tiempo sufrieron daño del riñón, pérdida de peso y algunos fallecieron. Cuando peces y otros	El DHHS y la IARC no han clasificado al bario en cuanto a carcinogenicidad. La EPA ha determinado que es improbable que la ingestión de bario produzca cáncer en seres humanos.	La EPA ha determinado que el agua potable no debe contener más de 2 mg/L.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
	ingestión de cantidades muy altas de compuestos de bario puede alterar el ritmo del corazón y producir parálisis y posiblemente la muerte.	organismos acuáticos absorben los compuestos del Bario, éste se acumula en sus cuerpos.		
COBRE	La ingestión de niveles altos de cobre puede producir náuseas, vómitos y diarrea. Cantidades muy altas de cobre pueden dañar el hígado y los riñones y pueden aún causar la muerte.	Los animales pueden absorber concentraciones de que dañan su salud. Las ovejas sufren un gran efecto por envenenamiento, debido a que los	La EPA ha determinado que el cobre no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.	La EPA ha establecido que el agua potable no contenga más de 1,3 mg/L.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
		efectos del Cobre se manifiestan a bajas concentraciones.		
NÍQUEL	Tras la ingestión de bajas cantidades algunas personas sufren dolores de estómago y efectos adversos en la sangre y los riñones. Altas cantidades traen consecuencias como elevadas probabilidades de desarrollar cáncer	Ha producido enfermedad del pulmón en perros y ratas. Ha afectado el estómago, la sangre, el hígado, los riñones y el sistema	El DHHS ha determinado que es razonable predecir que el níquel y los compuestos de níquel son sustancias reconocidas como carcinogénicas. La IARC ha determinado que algunos compuestos	La EPA recomienda a que los niveles en el agua potable no excedan 0,1 mg/L.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
	de pulmón, nariz, laringe y próstata, embolia de pulmón, fallos respiratorios defectos de nacimiento, asma, bronquitis crónica y desordenes del corazón.	inmunitario en ratas y ratones, como también la reproducción y el desarrollo. Altas concentraciones en suelos pueden dañar las plantas y en aguas superficiales puede disminuir el rango de crecimiento de las algas.	de níquel son carcinogénicos en seres humanos.	
CROMO	La toma elevada de cromo puede causar efectos	Los efectos principales en	El DHHS, la IARC y la EPA han	La EPA Ha

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
	como erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón y muerte.	Animales son irritación, úlceras tanto en el estómago como en el intestino delgado y anemia. Se han observado daños de los espermatozoides y del sistema reproductivo. Puede causar problemas respiratorios y formación de tumores.	determinado que los compuestos de cromo son carcinogénicos en seres humanos.	establecido un NMC de 0,1 mg/L para la cantidad total de cromo en el agua potable. La FDA ha determinado que en el agua en botella no deben exceder 0,1 mg/L.
PLATA	La exposición a altos niveles de plata por un período largo	Estudios en animales han demostrado	La EPA ha determinado que la plata no es	La EPA recomienda que la

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
	puede producir una condición llamada argiria, que es un descoloramiento azul-grisáceo de la piel y otros tejidos. Algunos efectos de la ingestión pueden ser: molestias estomacales, náuseas, vómitos, diarrea, narcosis y anormalidades cardíacas.	que produce depósitos de plata en la piel. La sobre exposición crónica tiene efectos como: daños renales, oculares, pulmonares, hepáticos, cerebrales y anemia.	clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.	concentración de la plata en el agua potable no exceda 0,10 mg/L para evitar que el descoloramiento de la piel ocurra.
VANADIO	Personas que han ingerido vanadio han sufrido diarrea leve y calambres estomacales. Otros efectos son irritación de pulmones, garganta, ojos y	En animales se han descrito efectos como disminución del número de glóbulos rojos, aumento de	La IARC lo ha clasificado como posiblemente carcinogénico en seres humanos basado en evidencia de cáncer de	La EPA ha decidido que consumir menos de 0,009 mg de pentóxido de vanadio por

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

	cavidades nasales, daño cardíaco y vascular, daño en el sistema nervioso, sangrado del hígado y riñones, irritación de la piel, temblores severos, parálisis, sangrado de la nariz, dolor de cabeza, mareos y cambios de comportamiento.	la presión sanguínea y leves efectos neurológicos . También puede causar desordenes respiratorios , daño en el sistema reproductivo de los machos, alteraciones en el ADN, parálisis y efectos negativos en el hígado y los riñones.	pulmón en ratones. El DHHS y la EPA no han clasificado al vanadio en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.	kilogramo de su peso corporal, no es riesgoso.
PLOMO	El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. Puede	El Plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y	El DHHS ha determinado que el plomo y los compuestos	La EPA limita la cantidad de plomo en el agua potable a

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
	producir debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos, un pequeño aumento de la presión sanguínea y anemia. La exposición a niveles altos de plomo puede dañar seriamente el cerebro y los riñones, producir abortos, alterar la producción de espermatozoides y causar la muerte. El Plomo también puede causar perturbación del sistema nervioso y daño al cerebro.	del suelo, que experimentan efectos en su salud por envenenamiento por Plomo. Los efectos sobre la salud de los crustáceos pueden tener lugar incluso sólo en pequeñas concentraciones.	de plomo son carcinogénicos en seres humanos. La EPA ha determinado que es probablemente carcinogénico en seres humanos. La IARC ha determinado que el plomo inorgánico probablemente es carcinogénico, pero no se ha determinado si los compuestos orgánicos de plomo pueden producir cáncer en seres humanos.	0,015 mg/L.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
CINC	La ingestión de grandes cantidades brevemente puede causar calambres estomacales, náusea y vómitos. Si se ingieren grandes cantidades durante un período más prolongado pueden causar anemia y disminución de que es beneficioso. Altos niveles también pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis.	La administración de grandes cantidades de cinc a ratas las hizo estériles. Algunos peces pueden acumular Zinc en sus cuerpos y es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria. Puede ser una amenaza para el ganado y para las plantas.	El DHHS y la IARC no han clasificado al cinc en cuanto a carcinogenicidad. Basado en información incompleta de estudios en seres humanos y en animales, la EPA ha determinado que el cinc no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.	Los niveles que producen efectos adversos son más altos de 11 mg/día para hombres y 8 mg/día para mujeres. La EPA recomienda que el agua potable contenga menos de 5 mg/L.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
MERCURIO	El sistema nervioso es muy susceptible al mercurio. Puede dañar de forma permanente los riñones y el cerebro. Los efectos pueden ser: irritabilidad, timidez, temblores, alteraciones a la vista o la audición y problemas de la memoria. También puede causar daños en el ADN y cromosomas (causa mongolismo), la reproducción, el esperma, defectos de nacimiento y	El Mercurio en los animales puede provocar daños en los riñones e intestinos, trastornos en el estómago, fallos en la reproducción y alteración del ADN.	La EPA ha determinado que el cloruro mercúrico y el metilmercurio son posiblemente carcinogénicos en seres humanos.	La EPA ha establecido un NMC de 0,002 mg/L en el agua potable y recomienda que en ríos, lagos y arroyos no exceda 0,000144 mg/L. La FDA confisca pescados, mariscos y semillas que contengan más de 1 mg/L de metilmercurio.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
	abortos. Además, puede causar otros efectos como cansancio, dolor de cabeza, irritación de los pulmones, los ojos, reacciones en la piel, vómitos y diarreas.			
RADIO	Se ha demostrado que el radio produce efectos en la sangre (anemia) y los ojos (cataratas). También afecta los dientes, produciendo fractura de los dientes y aumento de caries. Cuando la exposición es larga puede incluso causar	El radio puede encontrarse en peces y otros organismos acuáticos por lo cual se da la biomagnificación en la cadena trófica.	La EPA y el Comité de Efectos Biológicos de la Radiación ionizante de la Academia Nacional de Ciencias han manifestado que el radio es un carcinógeno reconocido en seres	La EPA ha establecido un límite en agua potable de 0,185 bq/L para el radio ²²⁶ y el radio ²²⁸ (combinados).

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
	cáncer y puede eventualmente producir la muerte.		humanos.	
URANIO	La ingestión de compuestos de uranio solubles en agua causa efectos en el riñón. Puede provocar enfermedades del hígado, efectos en la reproducción humana y hay posibilidades de desarrollar cáncer.	En ratas y ratones macho, la exposición al uranio disminuye la fertilidad. Las plantas absorben uranio a través de sus raíces y lo almacenan allí.	Ni el NTP, ni la IARC o la EPA han clasificado al uranio en cuanto a cáncer.	La EPA ha establecido un NMC de 0,03 mg/L para uranio en el agua potable, sin embargo, el objetivo es que el agua potable no contenga uranio.
SULFATOS	Niveles elevados de sulfato pueden provocar diarrea y deshidratación.	En animales jóvenes, altos niveles pueden estar asociados	No hay información disponible sobre una clasificación de los	Como precaución, aguas con un nivel de sulfatos

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

Compuesto	Efectos en la salud humana	Efectos en el ecosistema	Potencial cancerígeno	Límites de toxicidad
		con diarrea crónica y grave, y en algunos casos, la muerte.	sulfatos en cuanto a carcinogenicidad.	superior a 400 mg/L no deben ser usadas en la preparación de alimentos.
CLORUROS	Niveles bajos pueden producir irritación de la nariz, la garganta y los ojos. Niveles más altos puede producir tos, alteraciones del ritmo respiratorio y daño de los pulmones. También irrita la piel y el sistema respiratorio.	Es especialmente dañino para organismos que viven en el agua y el suelo.	El DHHS, la IARC y la EPA no han clasificado al cloro en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.	La EPA ha establecido un NMC de 4 mg/L para cloro libre en el agua potable.

Cuadro 10. Efectos generados por los contaminantes del agua producida.
(Continuación).

SODIO	Un exceso de sodio puede dañar los riñones e incrementar las posibilidades de hipertensión. Exposiciones muy severas pueden causar dificultad para respirar, tos y bronquitis química.	En ecosistemas acuáticos puede afectar especies como el pez mosquito y el pez sol.	No hay información disponible sobre una clasificación de los sulfatos en cuanto a carcinogenicidad.	El límite Medio de Tolerancia para el pez mosquito es 125 mg/L en 96 horas y para el pez sol es 88 mg/L en 48 horas.
DHHS = Departamento de Salud y Servicios Humanos. IARC = Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. EPA = Agencia de Protección del Medio Ambiente. HAP = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. OMS = Organización Mundial de la Salud. NMC = Nivel máximo de contaminación. FDA = Agencia de Alimentos y Medicamentos. NTP = Programa de Toxicología Nacional.				

Fuente: MORALES, María, REVELO, Astrid. Desempeño técnico y ambiental de las tecnologías convencionales y modernas de tratamiento de agua producida. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado 2016.

8. PANORAMA NACIONAL DE LA INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA PARA DISPOSICIÓN

Según el Informe de Desempeño Ambiental del 2015, presentado por la Asociación Colombiana del Petróleo, ACP, en Colombia se tiene que por cada barril de crudo producido se generan 12,02 barriles de agua. Esta alta producción de agua debe ser manejada dentro de las distintas formas para su correcta disposición.

Posterior a la obtención de los permisos necesarios, las opciones de disposición incluyen: reinyección para generar recobro mejorado o para mantener la presión del yacimiento, reinyección para disposición final de dichas aguas y reinyección en una formación distinta a la original, que debe tener las propiedades de almacenamiento y confinación identificadas, evaluadas y autorizadas²².

Antes de realizar cualquier tipo de vertimiento, las aguas de producción deben tener un previo proceso de tratamiento que garantice la remoción de sustancias no compatibles con las propiedades de la formación o del medio ambiente hasta alcanzar los niveles establecidos por la autoridad ambiental.

La disposición de aguas de producción se encuentra establecida en El Cuadro 11 y en las gráficas 1, 2 y 3.

Cuadro 11. Indicadores de generación de vertimientos en la etapa de producción, 2015.

Indicador	Aguas de producción	Total de agua dispuesta por método	Unidad
Reinyección para recobro mejorado		449'991.757,58	Bbl

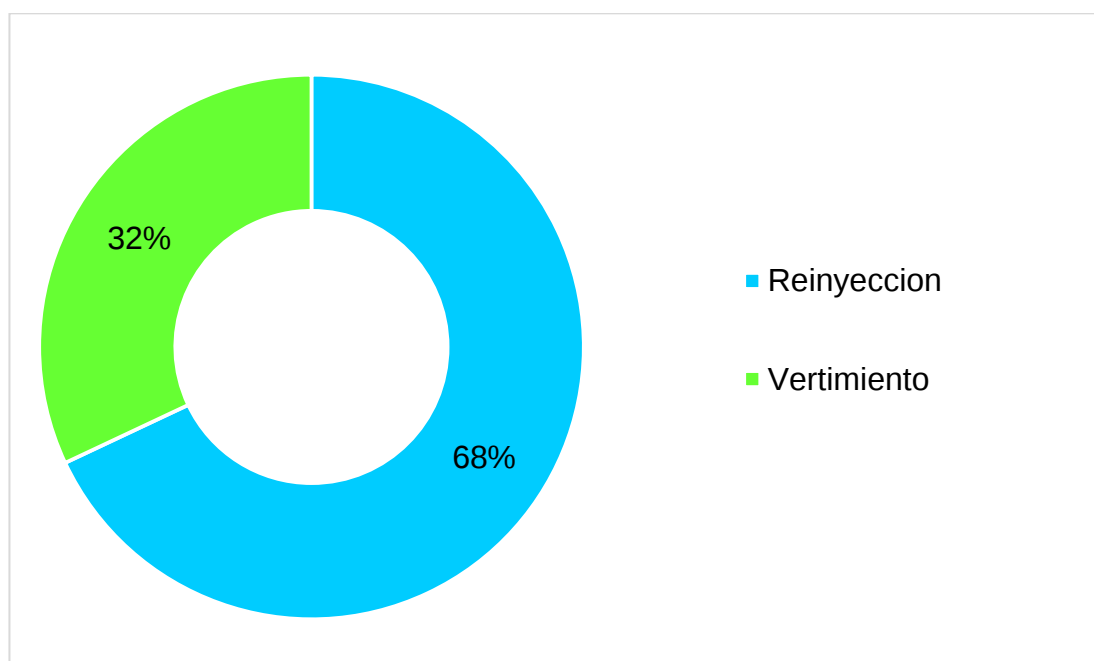
²² ACP, Informe de Desempeño Ambiental, 2015. p. 25.

Cuadro 11. Indicadores de generación de vertimientos en la etapa de producción, 2015. (Continuación).

Indicador	Aguas de producción	Total de agua dispuesta por método	Unidad
Inyección como disposición final	4.411'683.897,87	2.483'778.034,5	Bbl
Vertimiento a cuerpos de agua		1.345'563.588,85	Bbl
Riego en vías		8'823.367,8	Bbl
Aspersión		1'499.972,53	Bbl
Vertimiento entregado a terceros		2'117.608,27	Bbl
Vertimiento reutilizado para riego y otras actividades		25'146.598,22	Bbl

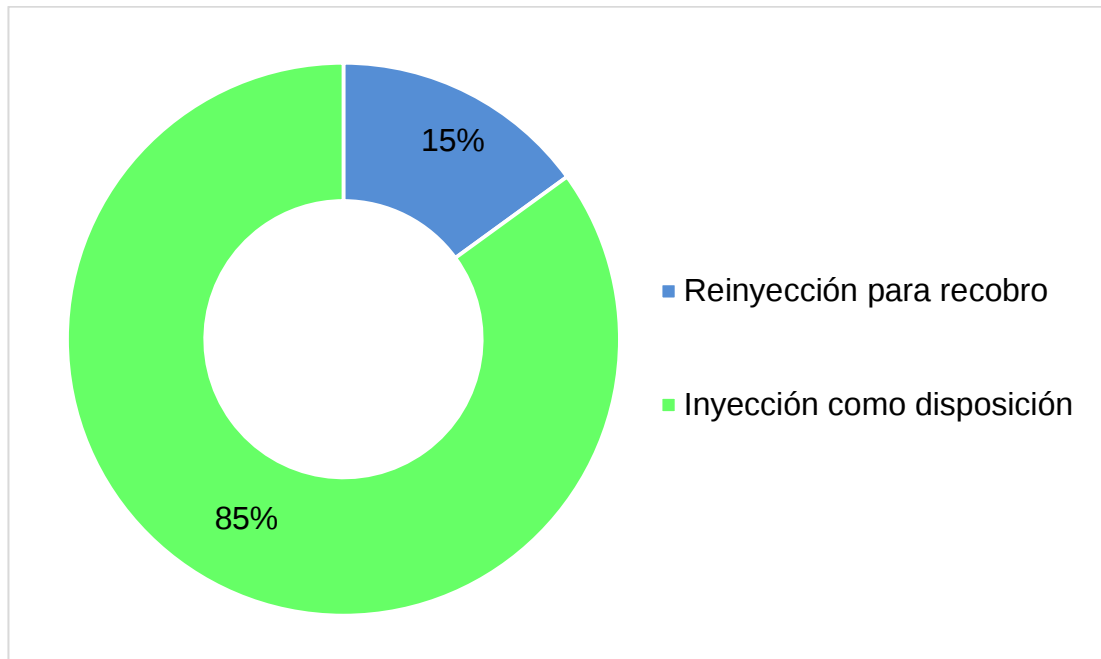
Fuente: Modificado de la ACP, Informe de Desempeño Ambiental, 2015.

Gráfica 1. Destino de las aguas de producción



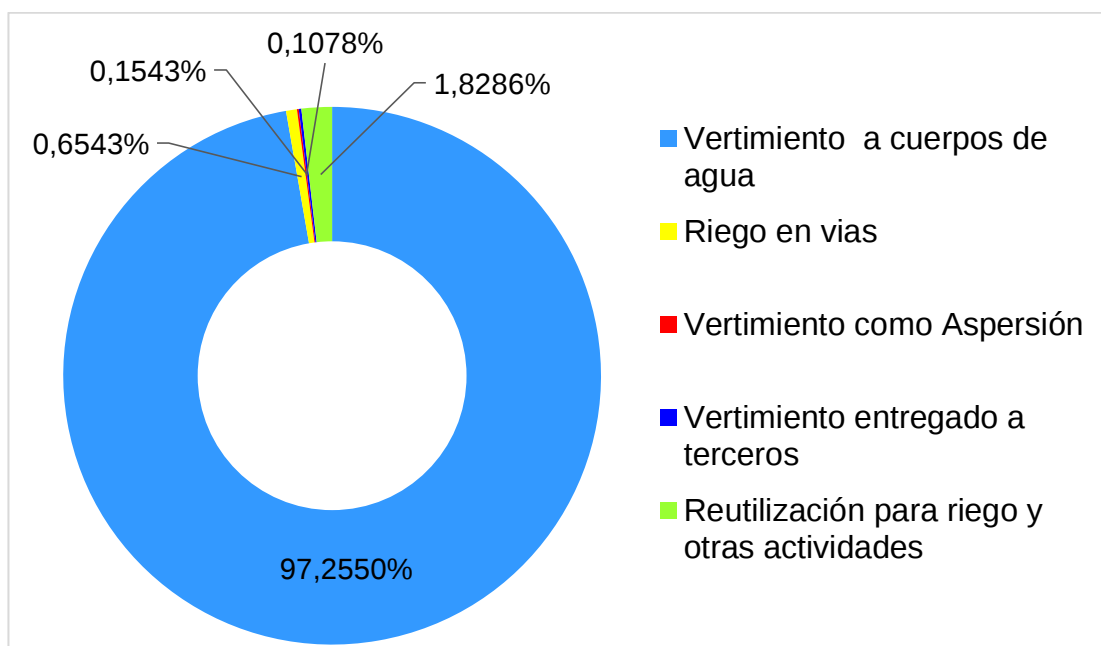
Fuente: Modificado de la ACP, Informe de Desempeño Ambiental, 2015.

Gráfica 2. Destino de las aguas de producción reinyectadas



Fuente: Modificado de la ACP, Informe de Desempeño Ambiental, 2015.

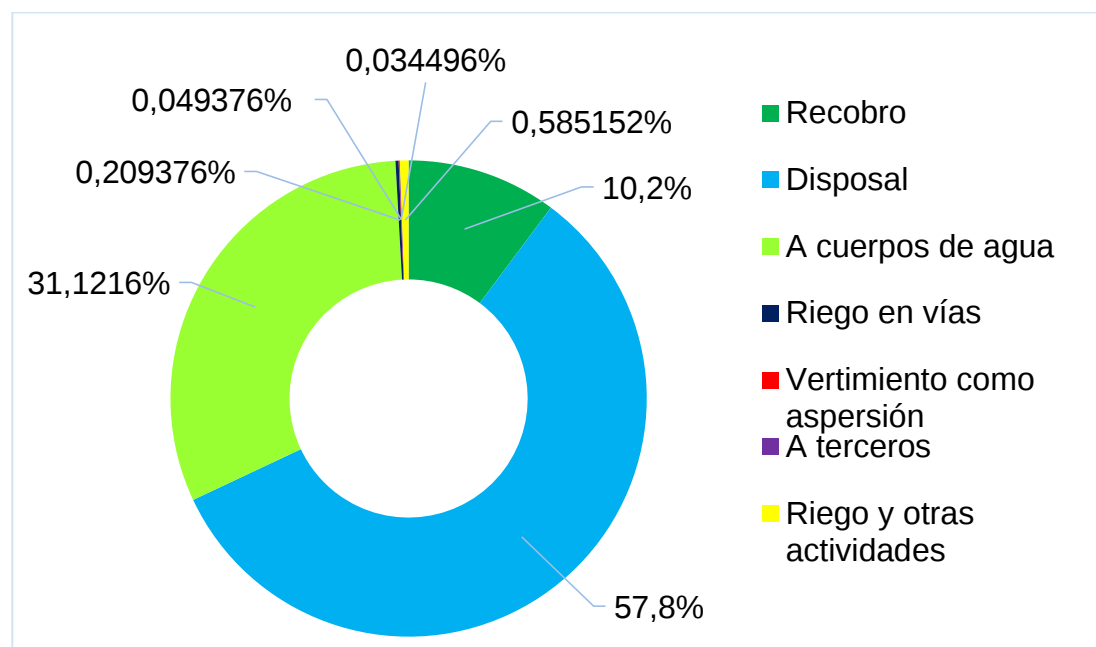
Gráfica 3. Destino de las aguas de producción vertidas o dispuestas



Fuente: Modificado de la ACP, Informe de Desempeño Ambiental, 2015.

En Colombia, según el Informe de Desempeño Ambiental del ACP para el año 2015, la mayor parte del agua de producción fue destinada a reinyección con un 68% y en menor proporción a vertimientos con un 32%. En cuanto al agua de producción reinyectada, el 85% corresponde a la inyección de agua para disposición final, siendo este el método más empleado en Colombia.

Gráfica 4. Métodos de disposición de agua de producción en Colombia



Fuente: Modificado de la ACP, Informe de Desempeño Ambiental, 2015.

En la gráfica 4, se aprecia la distribución del agua de producción para cada método de disposición final, donde el método más usado es la inyección de agua en pozo disposal.

A continuación, en El Cuadro 12, se muestra el volumen anual aproximado de agua producida de 2008 a 2018, calculado a partir de la producción anual de crudo y asumiendo una relación de agua-petróleo de 12:1²³

²³ RIAL, A, GONZÁLEZ, A. Reúso del agua de producción de hidrocarburos: reto y oportunidad. Gestión y Ambiente. 2020. p. 4.

Cuadro 12. Producción de petróleo y agua producida periodo 2008-2018.

Año	Producción de petróleo (BPA)	Producción de agua (BPA)
2018	311'400.000	3.767'940.000
2017	306'990.000	3.714'579.000
2016	318'810.000	3.857'601.000
2015	361'170.000	4.370'157.000
2014	356'370.000	4.312'077.000
2013	362'010.000	4.380'321.000
2012	339'840.000	4.112'064.000
2011	329'370.000	3.985'377.000
2010	282'870.000	3.422'727.000
2009	241'380.000	2.920'698.000
2008	211'560.000	2.559'876.000
Promedio	311'070.000	3.763'947.000

Fuente: RIAL, A., GONZÁLEZ, A. Reúso del agua de producción de hidrocarburos: reto y oportunidad. Gestión y Ambiente. 2020. (BPA = Barriles por Año).

La producción de crudo en Colombia trae consigo un alto corte de agua que puede ser observado en El Cuadro 13, en donde se encuentran algunos de los campos colombianos más destacados del país con su respectiva producción de crudo y corte de agua. Los campos más representativos de inyección en pozo disposal son Campo Rubiales y Campo Castilla, esto se debe a la alta producción de fluidos que a su vez influye en la gran cantidad de agua producida presente en estos campos.

Cuadro 13. Cortes de agua en diversos Campos Petroleros de Colombia.

Campo	Producción de Crudo (BPD)	Corte de Agua (%)
Caño-Limón	21.463	99%
Casabe	13.127	87%

Cuadro 13. Cortes de agua en diversos Campos Petroleros de Colombia.
(Continuación)

Campo	Producción de Crudo (BPD)	Corte de Agua (%)
Castilla	71.216	83%
Chichimene	50.849	40%
Cira-Infantas	38.077	94%
Cusiana	2.098	75%
Rubiales	113.931	80%

Fuente: CANOSA, Gustavo, JAIMES, Clara. Efectos asociados a las operaciones de pozos de inyección para disposición de aguas residuales sobre fuentes hídricas subterráneas. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado. 2017.

La información necesaria para obtener el permiso de proyectos de inyección de agua para disposición en Colombia se encuentra en el documento de Estudio de Impacto Ambiental para Proyectos de Explotación de Hidrocarburos HI-TER-1-03, el cual requiere²⁴:

- Presentar la autorización del Ministerio de Minas y Energía donde se pueda constatar la formación receptora de las aguas residuales de producción o industriales tratadas, el caudal y la presión de inyección o reinyección.
- Realizar una caracterización completa de la composición de las aguas residuales de producción o industriales tratadas, previo al vertimiento, a fin de determinar cuáles son los parámetros más representativos que deberán ser incluidos, dentro de la caracterización de las aguas superficiales y subterráneas.

²⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Estudio de impacto ambiental para proyectos de explotación de hidrocarburos HI-TER-1-03. 2010. p. 30.

- Efectuar muestreos de los pozos profundos y aljibes cercanos al pozo inyector, a fin de contar con una línea base de las condiciones ambientales en las que se encontraban los mismos antes de iniciar las actividades de reinyección y controlar que no se presenten alteraciones significativas en la calidad y usos de dichas aguas. Se deberán presentar los criterios de selección de los sitios escogidos, en los que se deben incluir además de la cercanía a las actividades realizadas, las condiciones de interconexión de las unidades hidrogeológicas identificadas.
- Comparar la presión estimada de inyección o reinyección, arrojadas por las pruebas de inyektividad autorizadas por el Ministerio de Minas y Energía, con las características de la formación receptora, y analizar si se pudiesen presentar afectaciones por dicha presión.
- Presentar la descripción técnica del pozo inyector, ubicación georreferenciada y diseño del pozo.
- Efectuar la descripción y especificaciones de la infraestructura y equipos a instalar en superficie para llevar a cabo la inyección o reinyección.
- Describir la estratigrafía y condiciones hidráulicas de la(s) unidad(es) receptora(s). Columna estratigráfica del(los) pozo(s) inyector(es) con sus respectivos espesores e interpretación geológica.
- Realizar las consideraciones técnicas efectuadas a partir de la información estructural que permitan evaluar si la inyección o reinyección de las aguas de formación afectará o no los acuíferos superiores y/o las aguas subterráneas.
- Interpretar y correlacionar la formación receptora con pozos aledaños.

- Describir de las características de porosidad, permeabilidad y capacidad de recepción de las unidades receptoras.
- Presentar un programa de pruebas de integridad del sistema de inyección o reinyección que incluya actividades para aislamiento de los horizontes de inyección o reinyección (todas las alternativas estimadas) para asegurar que no se presenten fugas de agua del sistema de inyección o reinyección.
- Efectuar monitoreos de la calidad fisicoquímica de los cuerpos de agua superficiales, pozos profundos empleados por la comunidad, aljibes y nacederos, ubicados en cercanías de cada pozo inyector, para contar con una línea base que de manera posterior sirva para confirmar que los sellos arcillosos no estén siendo modificados con el desarrollo de la inyección o reinyección en el campo.
- Todos los monitoreos deberán efectuarse de manera simultánea, de tal manera que reflejen el comportamiento de los diferentes recursos bajo unas mismas condiciones climáticas. Además, todos los monitoreos de calidad de agua deberán realizarse a través de laboratorios acreditados por el IDEAM, tanto para la toma de muestras como el análisis de parámetros.
- Caracterizar las aguas de la formación receptora, en caso de contar con acceso a las mismas (pozos exploratorios o de desarrollo que se adecúen como inyectores).
- Definir los controles que efectuará para verificar que las aguas de inyección o reinyección no estén afectando las unidades hidrogeológicas ubicadas en las formaciones suprayacentes (v.gr. trazadores ópticos).

- Presentar las medidas de contingencia que se aplicarán en caso de presentarse un afloramiento (v.gr. por influjo de las aguas inyectadas).
- Determinar y presentar con detalle cuáles serían las condiciones que se deben conjugar para que la Empresa decida abandonar los pozos inyectoros y las actividades de control que se efectuarán de manera posterior al abandono de los pozos, en aras de evitar impactos significativos por el afloramiento o movimiento de las aguas inyectadas.
- Evaluar el riesgo de contaminación de acuíferos.

9. PANORAMA INTERNACIONAL DE LA INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA PARA DISPOSICIÓN

9.1. ESTADOS UNIDOS

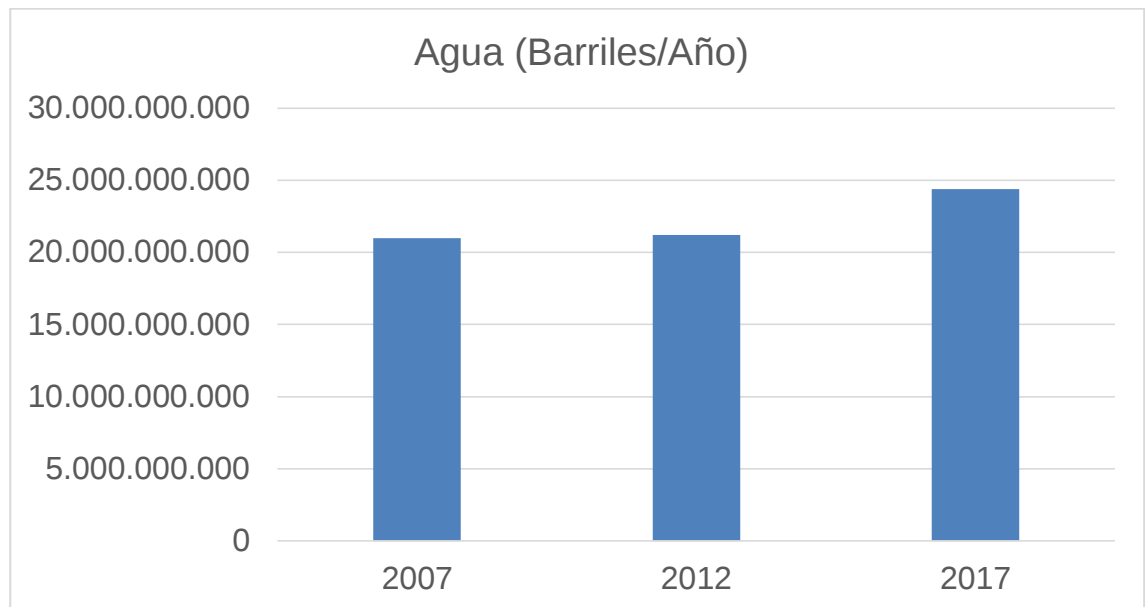
Estados Unidos como uno de los mayores productores de hidrocarburos del mundo, posee ciertas leyes que regulan todas las operaciones involucradas con la industria petrolera del país. En cuanto al manejo de aguas producidas EE.UU. cuenta con una estricta regulación legal para el tratamiento, reutilización y disposición de estas aguas. Esto es necesario por los grandes volúmenes de agua producidos durante la producción de petróleo y gas.

En 2020, el Consejo de Protección de Aguas Subterráneas (GWPC), en su reporte volúmenes de agua producida y prácticas de gestión en EE. UU en 2017, estima un volumen de crudo producido de 3,4 mil millones de barriles de crudo por año y un volumen total de agua producida de 24,4 mil millones de barriles de agua por año, de los cuales 23,8 mil millones de barriles de agua producida son generados por pozos onshore y 576 millones de barriles de agua son producidos en pozos offshore.

Para el intervalo de 2012 a 2017, la producción de petróleo y gas de EE.UU. aumentó en un 50,4% y 17,7%, respectivamente, durante esos años. La producción de agua de EE.UU. aumentó un 15,2% entre 2012 y 2017. Analizando un período de 10 años desde 2007 hasta 2017, la producción de petróleo y gas en EE.UU. aumentó un 94,6% y un 43,6%, respectivamente, durante esos años junto con el aumento del 16,2% en la producción de agua de EE.UU. durante el mismo período²⁵.

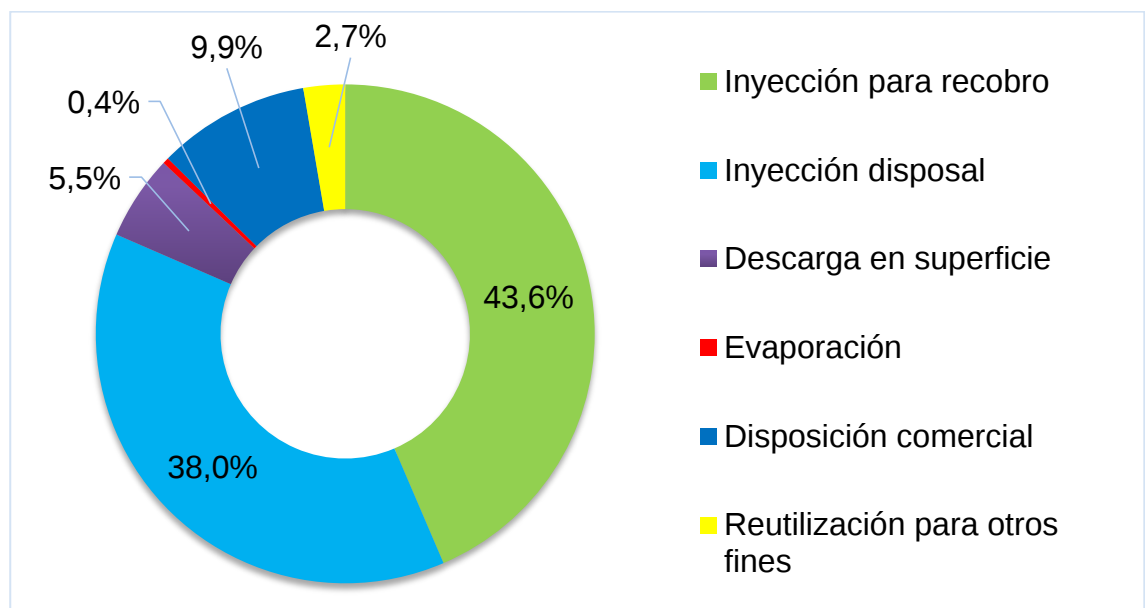
²⁵ GWPC, U.S. Produced Water Volumes and Management Practices in 2017, 2020. p. 5.

Gráfica 5. Volumen de agua producida en 2007, 2012 y 2017.



Fuente: GWPC, U.S. Produced Water Volumes and Management Practices in 2017, 2020.

Gráfica 6. Prácticas de gestión del agua por porcentaje en 2017.



Fuente: GWPC, U.S. Produced Water Volumes and Management Practices in 2017, 2020.

El reporte del GWPC muestra cómo se gestionó el agua producida en 2017, en donde:

- Se inyectó el 91,5% del agua producida, del cual el 43,6% se inyectó para la recuperación mejorada de petróleo (EOR), el 38,0% se inyectó en pozos de disposición no comerciales y el 9,9% se inyectó en instalaciones de disposición comercial fuera del sitio.
- El 0,4% se evaporó, principalmente en varios estados áridos del oeste, de estanques y pozos en el sitio y en varias instalaciones comerciales de eliminación.
- El 5,5% se vertió en aguas superficiales.
- El 1,4% se reutilizó en la industria del petróleo y el gas para fines distintos de la inyección para una recuperación mejorada, siendo reutilizada para fluidos de perforación y fluidos de fracturamiento en pozos nuevos ubicados en los mismos campos.
- El 1,3% se reutilizó en aplicaciones fuera de la industria del petróleo y el gas. Los ejemplos incluyen el riego y el control del polvo y el hielo en las carreteras.

El Código de Regulaciones Federales (CFR.) es la compilación de las normas y regulaciones generales y permanentes que son publicadas en el Registro Federal. El CFR. se encuentra dividido en 50 títulos que comprenden amplias áreas sujetas a la regulación federal.

El título 40 CFR, es el encargado de la protección del medio ambiente. En este título, se recopilan todas las leyes que controlan y monitorean la integridad del medio ambiente, y en cuyo Capítulo I llamado Agencia de Protección Ambiental, se encuentran los subcapítulos D y N, llamados “Programa de Agua” y “Directrices y Normas para Efluentes” respectivamente, los cuales

están orientados a proteger el recurso hídrico (aguas continentales, superficiales y subterráneas, aguas marinas, entre otras).

Además, dentro del 40 CFR se encuentra La Ley de Agua Limpia (CWA por sus siglas en inglés) la cual, es la primera ley federal que rige la contaminación del agua en Estados Unidos. A través de los numerosos ajustes de la CWA, se hacen evidentes dos enfoques principales:²⁶

- Las regulaciones de protección de calidad del agua, las cuales se basan en establecer estándares que aplican a la condición química, física y biológica de los cuerpos de agua de la superficie.
- Las medidas de protección que se basan en requisitos tecnológicos de tratamiento para las instalaciones que descargan efluentes, contaminantes, desechos u otras sustancias en los cuerpos de agua.

Por otra parte, las regulaciones de esta ley son principalmente administradas por la Agencia de Protección de los Estados Unidos (EPA) junto con los gobiernos estatales.

9.1.1. Programa de Agua. En la parte 130.0 del subtítulo D, del 40 CFR, se establecen las políticas y los requisitos del programa para la planificación, gestión e implementación de la calidad del agua según la CWA. El proceso de Gestión de la Calidad del Agua (WQM) descrito en la CWA proporciona la autoridad para un enfoque nacional consistente para mantener, mejorar y proteger la calidad del agua mientras permite a los Estados implementar los programas individuales más efectivos.

A su vez, los estándares de calidad del agua (WQS) son los objetivos del Estado para los cuerpos de agua individuales y proporcionan la base legal para las decisiones de control bajo la CWA. Las actividades de monitoreo de la calidad del agua proporcionan los datos químicos, físicos y biológicos necesarios para determinar la calidad actual de las aguas de un Estado e identificar las fuentes de contaminantes en esas aguas.

²⁶ EPA, Introducción a la Ley de Agua Limpia, en línea: <https://cfpub.epa.gov/watertrain/>

Lo anteriormente mencionado se encuentra en la parte 130.0 incisos (a) y (b).

En la sección 304 inciso (a) de la Ley de Agua Limpia se proporcionan criterios para la calidad del agua superficial que reflejan con precisión los últimos conocimientos científicos sobre los impactos de los contaminantes en la salud humana y el medio ambiente. La EPA es la entidad encargada de desarrollar estos criterios para determinar cuándo el agua se ha vuelto insegura para las personas y la vida silvestre. Estos criterios son recomendaciones generales que los gobiernos estatales y tribales pueden utilizar como guía para desarrollar los suyos propios.

En El Cuadro 14, se mencionan los criterios de calidad del agua para la salud humana, estos valores representan niveles máximos específicos de sustancias químicas en un cuerpo de agua que no se espera que causen efectos adversos para la salud humana.

Cuadro 14. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados para la salud humana en Estados Unidos.

Contaminante	Salud humana por consumo de Agua + Organismo (mg/L)	Salud humana solo para el consumo de organismos (mg/L)	Año de Publicación
Acenafteno	70	90	2015
Acrolína	3	400	2015
Acrilonitrilo	0,061	7,0	2015
Aldrin	0,00000077	0,00000077	2015
Alfa-hexaclorociclohexano (HCH)	0,00036	0,00039	2015
Alfa-endosulfán (P)	20	30	2015
Antraceno	300	400	2015
Antimonio (P)	5,6	640	1980

Cuadro 14. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados para la salud humana en Estados Unidos. (Continuación)

Contaminante	Salud humana por consumo de Agua + Organismo (mg/L)	Salud humana solo para el consumo de organismos (mg/L)	Año de Publicación
Arsénico	0,018	0,14	1992
Aminato (P)	7 millones de fibras/L	-	1991
Bario	1,000	-	1986
Benceno (P)	0,58-2,1	16-58	2015
Bencidina (P)	0,00014	0,011	2015
Benzo (a) antraceno (P)	0,0012	0,0013	2015
Benzo (a) pireno(P)	0,00012	0,00013	2015
Benzo (b) fluoranteno (P)	0,0012	0,0013	2015
Benzo (k) fluoranteno (P)	0,012	0,013	2015
Berilio (P)	-	-	-
Beta-hexaclorociclohexano (HCH)	0,0080	0,014	2015
Beta-endosulfán (P)	20	40	2015
Bis (2-cloro-1-metiletil) éter (P)	200	4000	2015
Bis (2-cloroetil) éter (P)	0,030	2,2	2015
Ftalato de bis (2-etilhexilo)	0,32	0,37	2015
Bis (clorometil) éter	0,00015	0,017	2015
Bromoformo (P)	7,0	120	2015
Ftalato de butilbencilo (P)	0,10	0,10	2015
Cadmio (P)	-	-	-

Cuadro 14. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados para la salud humana en Estados Unidos. (Continuación)

Contaminante	Salud humana por consumo de Agua + Organismo (mg/L)	Salud humana solo para el consumo de organismos (mg/L)	Año de Publicación
Tetracloruro de carbono (P)	0,4	5	2015
Clordano (P)	0,00031	0,00032	2015
Clorobenceno (P)	100	800	2015
Clorodibromometano (P)	0,80	21	2015
Cloroformo (P)	60	2,000	2015
Herbicida clorofenoxi (2,4-D)	1300	12,000	2015
Herbicida clorofenoxi (2,4,5-TP) (Silvex)	100	400	2015
Cromo (III) (P)	Total	-	-
Cromo (VI) (P)	Total	-	-
Criseno (P)	0,12	0,13	2015
Cobre (P)	1300	-	1992
Cianuro (P)	4	400	2015
Dibenzo (a, h) antraceno (P)	0,00012	0,00013	2015
Diclorobromometano (P)	0,95	27	2015
Dieldrín (P)	0,0000012	0,0000012	2015
Ftalato de dietilo (P)	600	600	2015
Ftalato de dietilo (P)	600	600	2015
Ftalato de dimetilo (P)	2,000	2,00	2015
Ftalato de di-n-butilo (P)	20	30	2015

Cuadro 14. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados para la salud humana en Estados Unidos. (Continuación)

Contaminante	Salud humana por consumo de Agua + Organismo (mg/L)	Salud humana solo para el consumo de organismos (mg/L)	Año de Publicación
Dinitrofenoles	10	1,000	2015
sulfato de endosulfán (P)	20	40	2015
Endrina (P)	0,03	0,03	2015
Aldehído de endrina (P)	1	1	2015
Etilbenceno (P)	68	130	2015
Fluoranteno (P)	20	20	2015
Fluoreo (P)	50	70	2015
Gamma-Hexaclorociclohexano (HCH) (lindano) (P)	4,2	4,4	2015
Heptacloro (P)	0,0000059	0,0000059	2015
Epóxido de heptacloro (P)	0,000032	0,000032	2015
Hexaclorobenceno (P)	0,000079	0,000079	2015
Hexaclorobutadieno (P)	0,01	0,01	2015
Hexaclorociclohexano (HCH) - Técnico	0,0066	0,010	2015
Hexaclorociclopentadieno (P)	4	4	2015
Hexacloroetano (P)	0,1	0,1	2015
Indeno (1,2,3-cd) pireno (P)	0,0012	0,0013	2015
Isoforona (P)	34	1,800	2015
Manganeso	50	100	1993

Cuadro 14. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados para la salud humana en Estados Unidos. (Continuación)

Contaminante	Salud humana por consumo de Agua + Organismo (mg/L)	Salud humana solo para el consumo de organismos (mg/L)	Año de Publicación
Metilmercurio (P)	-	0,3 mg/kg	2001
Metoxicloro	0,02	0,02	2015
Bromuro de metilo (P)	100	10,000	2015
Cloruro de metileno (P)	20	1,00	2015
Níquel (P)	610	4,600	1998
Nitratos	10,000	-	1986
Nitrobenceno (P)	10	600	2015
Nitrosaminas	0,0008	1,24	1980
Nitrosodibutilamina	0,0063	0,022	2002
Nitrosodietilamina	0,0008	1,24	2002
Nitrosopirrolidina	0,016	34	2002
N-nitrosodimetilamina (P)	0,00069	3,0	2002
N-nitrosodi-n-propilamina (P)	0,0050	0,51	2002
N-nitrosodifenilamina (P)	3,3	6,0	2002
Indicadores de patógenos y patógenos	-	-	2012
Pentaclorobenceno	0,1	0,1	2015
Pentaclorofenol (P)	0,03	0,04	2015
pH	5-9	-	1986
Fenol (P)	4000	300000	2015
Bifenilos policlorados (PCB) (P)	0,000064	0,000064	2002

Cuadro 14. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados para la salud humana en Estados Unidos. (Continuación)

Contaminante	Salud humana por consumo de Agua + Organismo (mg/L)	Salud humana solo para el consumo de organismos (mg/L)	Año de Publicación
Pirineo (P)	20	30	2015
Selenio (P)	170	4200	2002
Sólidos disueltos y salinidad	250,000	-	1986
Tetracloroetileno (P)	10	29	2015
Talio (P)	0,24	0,47	2003
Tolueno (P)	57	520	2015
Toxafeno (P)	0,00070	0,00071	2015
Tricloroetileno (P)	0,6	7	2015
Cloruro de vinilo (P)	0,022	1,6	2015
Zinc (P)	7,400	26,000	2002
1,1,1-tricloroetano (P)	10,000	200,000	2015
1,1,2,2-tetracloroetano (P)	0,2	3	2015
1,1,2-tricloroetano (P)	0,55	8,9	2015
1,1-dicloroetileno (P)	300	20,000	2015
1,2,4,5-tetraclorobenceno	0,03	0,03	2015
1,2,4-triclorobenceno (P)	0,071	0,076	2015
1,2-diclorobenceno (P)	1,000	3000	2015
1,2-dicloroetano (P)	9,9	650	2015
1,2-dicloropropano (P)	0,90	31	2015
1,2-difenilhidracina (P)	0,03	0,2	2015
Trans-1,2-dicloroetileno (P)	100	4000	2015

Cuadro 14. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados para la salud humana en Estados Unidos. (Continuación)

Contaminante	Salud humana por consumo de Agua + Organismo (mg/L)	Salud humana solo para el consumo de organismos (mg/L)	Año de Publicación
1,3-diclorobenceno (P)	7	10	2015
1,3-dicloropropeno (P)	0,27	12	2015
1,4-diclorobenceno (P)	300	900	2015
2,3,7,8-TCDD (dioxina) (P)	5,0E-9	5,1E-9	2002
2,4,5-triclorofenol	300	600	2015
2,4,6-triclorofenol (P)	1,5	2,8	2015
2,4-diclorofenol (P)	10	60	2015
2,4-dimetilfenol (P)	100	3000	2015
2,4-dinitrofenol (P)	10	300	2015
2,4-dinitrotolueno (P)	0,049	1,7	2015
2-Cloronaftaleno (P)	800	1,00	2015
2-clorofenol (P)	30	800	2015
2-metil-4,6-dinitrofenol (P)	2	30	2015
3,3'-diclorobencidina (P)	0,049	0,15	2015
3-metil-4-clorofenol (P)	500	2,000	2015
p, p'-diclorodifenildicloroetano (DDD) (P)	0,00012	0,00012	2015
p, p'-diclorodifenildicloroetileno (DDE) (P)	0,000018	0,000018	2015

Cuadro 14. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados para la salud humana en Estados Unidos. (Continuación)

Contaminante	Salud humana por consumo de Agua + Organismo (mg/L)	Salud humana solo para el consumo de organismos (mg/L)	Año de Publicación
p, p'-diclorodifeniltricloroetano (DDT) (P)	0,000030	0,000030	2015
Nota: (P) = Contaminante prioritario			

Fuente: EPA, Criterios de calidad del agua, en línea: <https://www.epa.gov/wqc>

Los criterios de vida acuática para los productos químicos tóxicos son la concentración más alta de contaminantes específicos o parámetros en el agua que no se espera que representen un riesgo significativo para la mayoría de las especies en un ambiente dado. La EPA, basa los criterios de vida acuática en la cantidad de una sustancia química que puede estar presente en el agua superficial antes de que sea probable que dañe la vida vegetal y animal, además, diseña criterios de vida acuática para proteger los organismos de agua dulce y salada de la exposición a corto y largo plazo. Los Cuadros 15 y 16, especifican los criterios de vida acuática y los factores de conversión para metales disueltos recomendados por la EPA, respectivamente.²⁷

²⁷ EPA, Criterios de calidad del agua, en línea: <https://www.epa.gov/wqc>

Cuadro 15. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados, vida acuática en Estados Unidos.

Contaminante	CMC agua dulce (µg/L)	CCC agua dulce (µg/L)	CMC agua salada (µg/L)	CCC agua salada (µg/L)	Año publicación
Acroleína (P)	3	3	-	-	2009
Cualidades estéticas	-	-	-	-	1986
Aldrin (P)	3	-	1,3	-	1980
Alcalinidad	-	20000	-	-	1986
Alpha- endosulfan (P)	0,22	0,056	0,034	0,0087	1980
Aluminio pH 5.0- 10.5	-	-	-	-	2018
Amoniaco	-	-	-	-	2013, dulce 1989, salada
Arsénico	340	150	69	36	1995
Bacterias	-	-	-	-	1986
Beta- endosulfan (P)	0,22	0,056	0,034	0,0087	1980
Boro	-	-	-	-	1986
Cadmio (P)	1,8	0,72	33	7,9	2016
Carbarilo	2,1	2,1	1.6	-	2012
Clordano (P)	2,4	0,0043	0,09	0,004	1980
Cloruro	860000	230000	-	-	1988
Cloro	19	11	13	7,5	1986
Clorpirifos	0,083	0,041	0,011	0,0056	1986
Cromo (III) (P)	570	74	-	-	1995
Cromo (VI) (P)	16	11	1.1	50	1995

Cuadro 15. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados, vida acuática en Estados Unidos. (Continuación)

Contaminante	CMC agua dulce (µg/L)	CCC agua dulce (µg/L)	CMC agua salada (µg/L)	CCC agua salada (µg/L)	Año publicación
Color	-	-	-	-	1986
Cobre (P)	-	-	4,8	3,1	2007
Cianuro (P)	22	5,2	1	1	1985
Demeton	-	0,1	-	0,1	1985
Diazinón	0,17	0,17	0,82	0,82	2005
Dieldrín (P)	0,24	0,056	0,71	0,0019	1995
Endrina (P)	0,086	0,036	0,037	0,0023	1995
Gamma-BHC (lindano) (P)	0,95	-	0,16	-	1995
Gases, total disuelto	-	-	-	-	1986
Gutión	-	0,01	-	0,01	1986
Dureza	-	-	-	-	1986
Heptacloro (P)	0,52	0,0038	0,053	0,0036	1980
Epóxido de heptacloro (P)	0,52	0,0038	0,053	0,0036	1981
Hierro	-	1000	-	-	1986
Plomo (P)	65	2,5	140	5,6	1984
Malatión	-	0,1	-	0,1	1986
Mercurio (P)	1,4	0,77	1,8	0,94	1995
Metoxicloro	-	0,03	-	0,03	1986
Mirex	-	0.001	-	0,001	1986
Níquel (P)	470	52	74	8,2	1995
Nonifenol	28	6.6	7	1,7	2005

Cuadro 15. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados, vida acuática en Estados Unidos. (Continuación)

Contaminante	CMC agua dulce (µg/L)	CCC agua dulce (µg/L)	CMC agua salada (µg/L)	CCC agua salada (µg/L)	Año publicación
Nutrientes	-	-	-	-	-
Aceite y grasa	-	-	-	-	1986
Oxígeno	-	-	-	-	1986
Paratión	0,065	0,013	-	-	1995
Pentaclorofenol (P)	19	15	13	7,9	1995
pH	-	6,5 - 9	-	6,5-8,5	1986
Fosforo elemental	-	-	-	-	1986
Bifenilos policlorados (PCB) (P)	-	0,014	-	0,03	-
Selenio (P)	-	-	290	71	2016 dulce 1999 salada
Plata (P)	3,2	-	1,9	-	1980
Sólidos en suspensión y turbidez	-	-	-	-	1986
Sulfuro-sulfuro de hidrogeno	-	2,0	-	2,0	1986
Sustancias contaminantes	-	-	-	-	1986
Temperatura	-	-	-	-	1986
Toxafeno (P)	0,73	0,0002	0,21	0,0002	1986

Cuadro 15. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados, vida acuática en Estados Unidos. (Continuación)

Contaminante	CMC agua dulce (µg/L)	CCC agua dulce (µg/L)	CMC agua salada (µg/L)	CCC agua salada (µg/L)	Año publicación
Tributilestaño (TBT)	0,46	0,072	0,42	0,074	2004
Zinc (P)	120	120	90	81	1995
4.4'-DDT	1,1	0,001	0,13	0,001	1980
Nota: CMC = Criterio de concentración máxima. CCC = Criterio de concentración continua.					

Fuente: EPA, Criterios de calidad del agua, en línea: <https://www.epa.gov/wqc>

Cuadro 16. Factores de conversión para metales disueltos en Estados Unidos.

Metal	CMC agua dulce	CCC agua dulce	CMC agua salada	CCC agua salada
Arsénico	1	1	1	1
Cadmio	1,136672 - [(en dureza) (0,041838)]	1,101672 - [(en dureza) (0,041838)]	0,994	0,994
Cromo III	0,316	0,860	-	-
Cromo VI	0,982	0,962	0,993	0,993
Cobre	0,960	0,960	0,83	0,83
Plomo	1,46203 - [(en dureza) (0,145712)]	1,46203 - [(en dureza) (0,145712)]	0,951	0,951
Mercurio	0,85	0,85	0,85	0,85
Níquel	0,998	0,997	0,990	0,990
Selenio	-	-	0,998	0,998

Cuadro 16. Factores de conversión para metales disueltos en Estados Unidos.
(Continuación)

Metal	CMC agua dulce	CCC agua dulce	CMC agua salada	CCC agua salada
Plata	0,85	-	0,85	-
Zinc	0,978	0,986	0,946	0,946
Nota: CMC = Criterio de concentración máxima CCC = Criterio de concentración continua.				

Fuente: EPA, Criterios de calidad del agua, en línea: <https://www.epa.gov/wqc>

El inciso (b) de la parte 130.4 del 40 CFR menciona el programa de monitoreo de agua en el que cada Estado incluirá la recolección y análisis de datos físicos, químicos y biológicos y programas de aseguramiento y control de calidad para asegurar datos científicamente válidos. Los usos de estos datos incluyen:

- La determinación de prioridades de reducción y control de contaminantes en el agua.
- Desarrollar y revisar estándares de calidad del agua, cargas diarias máximas totales, asignaciones de carga de desechos y asignaciones de carga.
- Evaluar el cumplimiento de los permisos del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes (NPDES) por parte de los descargadores.
- Reportar información al público a través del informe de la sección 305 (b) y revisar los esfuerzos de monitoreo específicos del sitio.

Las cargas diarias máximas totales (TMDL) son el resultado del proceso de cuantificar cargas contaminantes existentes y de calcular las reducciones de carga necesarias para alcanzar los estándares de calidad del agua, es decir, un TMDL es la cantidad de un contaminante específico que un cuerpo de agua puede recibir y aun así cumplir con los WQS. Los estados, los territorios y las tribus tienen libertad de repartir entre las fuentes de cualquier manera que

crean conveniente, siempre y cuando la suma de todas las asignaciones no sea mayor que la carga aceptable. Sin embargo, cuando se piensa en cambiar la porción de cargas permitidas entre las fuentes, es importante darse cuenta de que, en los segmentos de todos los cuerpos de agua, salvo los muy pequeños, la ubicación de la carga es importante. En muchos casos, cuanto más lejos de la zona de impacto ingrese un contaminante en el sistema del cuerpo de agua, menor efecto tendrá la carga en la zona con calidad de agua deteriorada²⁸. Los TMDL se pueden expresar en términos de masa por tiempo, toxicidad u otra medida apropiada.

La sección 144 del 40 CFR establece los requisitos para el programa de Control de Inyecciones Subterráneas (UIC). Esta sección se encuentra dividida en subpartes en donde:

- La Subparte A describe los elementos generales del programa, incluidas las definiciones y clasificaciones.
- La Subparte B establece los requisitos generales del programa, incluidas las normas de desempeño aplicables a todas las actividades de inyección y los elementos básicos que deben contener todos los programas de UIC.
- La Subparte C establece los requisitos para los pozos autorizados por la norma.
- La Subparte D establece los procedimientos para obtener los permisos necesarios.
- La Subparte E establece condiciones específicas, o tipos de condiciones, que deben incluirse como mínimo en todos los permisos.

²⁸ EPA, Introducción a la Ley de Agua Limpia, en línea: <https://cfpub.epa.gov/watertrain/>

- La Subparte F establece los requisitos de responsabilidad financiera para los propietarios y operadores de todos los pozos de inyección de desechos peligrosos Clase I nuevos y existentes.
- La Subparte G establece los requisitos para los propietarios y operadores de pozos de inyección de Clase V.

Clasificación de pozos

En Estados Unidos los pozos de inyección se clasifican según la sección 144.6 del 40 CFR de la siguiente manera:

- Clase I
 - Pozos utilizados por generadores de desechos peligrosos o propietarios u operadores de instalaciones de manejo de desechos peligrosos para inyectar desechos peligrosos debajo de la formación más baja que contiene, dentro de un cuarto de milla del pozo, una fuente subterránea de agua potable.
 - Otros pozos de eliminación industriales y municipales que inyectan fluidos debajo de la formación más baja que contiene, dentro de un cuarto de milla del pozo, una fuente subterránea de agua potable.
 - Pozos de eliminación de desechos radiactivos que inyectan fluidos debajo de la formación más baja que contiene una fuente subterránea de agua potable dentro de un cuarto de milla del pozo.
- Clase II. Pozos que inyectan fluidos:
 - Que se traen a la superficie en relación con las operaciones de almacenamiento de gas natural, o la producción convencional de petróleo o gas natural y pueden mezclarse con aguas residuales de plantas de gas que forman parte integral de las operaciones de

producción, a menos que esas aguas estén clasificadas como Residuos peligrosos en el momento de la inyección.

- Para una mejor recuperación de petróleo o gas natural.
- Para el almacenamiento de hidrocarburos líquidos a temperatura y presión estándar.
- Clase III. Pozos de inyección para la extracción de minerales que incluyen:
 - Extracción de azufre mediante el proceso Frasch.
 - Producción in situ de uranio u otros metales; esta categoría incluye solo la producción in situ a partir de yacimientos minerales que no se han extraído de forma convencional. La minería en solución de minas convencionales, como la lixiviación por tajos, se incluye en la Clase V.
 - Minería en solución de sales o potasa.
- Clase IV
 - Pozos utilizados por generadores de desechos peligrosos o de desechos radiactivos, por propietarios u operadores de instalaciones de manejo de desechos peligrosos, o por propietarios u operadores de sitios de disposición de desechos radioactivos para eliminar desechos peligrosos o desechos radioactivos en una formación que dentro de un cuarto (1/4) de milla del pozo contiene una fuente subterránea de agua potable.

- Pozos utilizados por generadores de desechos peligrosos o de desechos radiactivos, por propietarios u operadores de instalaciones de manejo de desechos peligrosos, o por propietarios u operadores de sitios de disposición de desechos radioactivos para eliminar desechos peligrosos o desechos radioactivos sobre una formación que dentro de un cuarto (1/4) de milla del pozo contiene una fuente subterránea de agua potable.
- Pozos utilizados por los generadores de residuos peligrosos o propietarios u operadores de residuos peligrosos de gestión de instalaciones para disponer de residuos peligrosos, que no puede ser clasificado en Clase I.
- Clase V
 - Pozos de inyección no incluidos en las Clases I, II, III, IV o VI.
- Clase VI
 - Pozos que no son de naturaleza experimental que se utilizan para el secuestro geológico de dióxido de carbono debajo de la formación más baja que contiene una fuente subterránea de agua potable o pozos utilizados para el secuestro geológico de dióxido de carbono a los que se les haya otorgado una exención de los requisitos de profundidad de inyección o, pozos utilizados para el secuestro geológico de dióxido de carbono que han recibido una expansión en la extensión del área de una exención de acuífero de recuperación mejorada de petróleo o recuperación mejorada de gas de Clase II existente.

En Estados Unidos los pozos disposal se encuentran dentro de los pozos Clase II y son aquellos que se utilizan para eliminar los fluidos asociados con la producción de petróleo y gas, más comúnmente conocidos como pozos de

eliminación de agua. Según McCurdy²⁹, para el 2020 había aproximadamente 144.000 pozos de inyección de Clase II, de los cuales alrededor del 80% son utilizados para la recuperación mejorada de petróleo (EOR) y el 20% restante son aquellos pozos para disposición de fluidos de producción de petróleo y gas.

Dentro de los requisitos operativos para los pozos Clase II contemplados en la sección 144.28 del 40 CFR se destacan:

- Se prohíbe la inyección entre el revestimiento más externo que protege las fuentes subterráneas de agua potable y el pozo.
- Presión de inyección:
 - El propietario u operado no deberá exceder una presión máxima de inyección en la boca del pozo que se calculará de manera que se asegure que la presión durante la inyección no inicie nuevas fracturas ni propague las fracturas existentes en la zona de confinamiento adyacente a las fuentes subterráneas de agua potable.
 - El propietario u operador no inyectará a una presión que provoque el movimiento de los fluidos de inyección o formación en una fuente subterránea de agua potable.

En cuanto a los requisitos de seguimiento de los pozos Clase II, estos se encuentran especificados en la misma sección mencionada anteriormente y dentro de ellos se destaca lo siguiente:

- El propietario u operador deberá monitorear la naturaleza de los fluidos inyectados con suficiente frecuencia para producir datos representativos de sus características.

²⁹ MCCURDY, Rick. Underground injection wells for produced water disposal. 2020. p. 30.

- El propietario u operador deberá observar y registrar la presión de inyección, el caudal y el volumen acumulado al menos con las siguientes frecuencias:
 - Semanalmente para las operaciones de eliminación de fluidos producidos.
 - Mensual para operaciones de recuperación mejoradas.
 - Diariamente durante la inyección de hidrocarburos líquidos e inyección para extracción de hidrocarburos almacenados.
 - Diariamente durante la fase de inyección de las operaciones cíclicas de vapor.

El 40 CFR en las secciones 146.22 y 146.23 menciona sobre los pozos Clase II, los requisitos de construcción y los requisitos operativos, de seguimiento y de presentación de informes respectivamente. Por otra parte, en la sección 146.24 se presenta la información a ser considerada por el director o la entidad encargada de autorizar el permiso para la operación de un pozo Clase II existente o la construcción o conversión de un nuevo pozo Clase II. Entre la información requerida se debe considerar lo siguiente:

- Un mapa que muestre el pozo de inyección o el área del proyecto para el que se solicita un permiso y el área de revisión correspondiente, en donde se debe mostrar el número o nombre y ubicación de todos los pozos productores, pozos de inyección, pozos abandonados, pozos secos y pozos de agua existentes. El mapa también puede mostrar masas de agua superficiales, minas (superficiales y subterráneas), canteras y otras características superficiales pertinentes, incluidas residencias y carreteras, y fallas si se conocen.

- Una tabulación de datos disponibles de registros públicos o conocidos por el solicitante de todos los pozos dentro del área de revisión. Dichos datos deben incluir una descripción de cada pozo, tipo, construcción, fecha de perforación, ubicación, profundidad, registro de taponamiento y completamiento, y cualquier información adicional que el director pueda requerir.
- Datos operativos propuestos:
 - Tasa diaria promedio y máxima y volumen de líquidos a inyectar.
 - Presión de inyección media y máxima.
 - Fuente y análisis adecuado de las características químicas y físicas del fluido de inyección.
- Datos geológicos apropiados sobre la zona de inyección y la zona de confinamiento, incluida la descripción litológica, el nombre geológico, el espesor y la profundidad.
- Nombre geológico y profundidad hasta el fondo de todas las fuentes subterráneas de agua potable que puedan verse afectadas por la inyección.
- Dibujos esquemáticos u otros planos apropiados de los detalles de construcción de la superficie y el subsuelo del pozo.
- Programa de formación propuesto para obtener información sobre presión de fluido, presión de fractura estimada y características físicas y químicas de la zona de inyección.
- Programa de estimulación propuesto.

- Programa de Inyección propuesto.
- Planes de contingencia para hacer frente a las fallas de los pozos a fin de evitar la migración de fluidos contaminantes a una fuente subterránea de agua potable.
- Planes para cumplir con los requisitos de monitoreo.
- Todos los datos del programa de prueba y registro disponibles en el pozo.
- Una demostración de integridad mecánica.
- La presión máxima anticipada y la tasa de flujo a la que operará el interesado en obtener el permiso.
- Los resultados del programa de prueba de formación.
- El procesamiento de inyección real.
- Para pozos nuevos, el estado de acción correctiva en pozos defectuosos en el área de revisión.

9.1.2. Directrices y Normas para Efluentes. El objetivo de la sección 435 está en evitar que las instalaciones de petróleo y gas, para las cuales han promulgado pautas y estándares de limitaciones de efluentes, estándares de desempeño de nuevas fuentes o estándares de pretratamiento bajo esta parte, eludan los lineamientos y estándares de limitaciones de efluentes aplicables a esas instalaciones al mover el efluente producido de una subcategoría a otra subcategoría para su eliminación bajo requisitos menos estrictos que los

previstos en esta parte. Las limitaciones y normas de efluentes aplicables a una instalación de petróleo y gas se determinarán de dos formas.

Si el operador, agente o contratista de una instalación de petróleo y gas mueve sus aguas residuales de una instalación ubicada en una subcategoría a otra, para su tratamiento y finalmente las devuelve a un lugar dentro de la subcategoría original para su eliminación, le serán aplicadas las pautas de limitaciones de efluentes, los estándares de desempeño de nuevas fuentes o los estándares de pretratamiento para la subcategoría original.

Por otra parte, si el operador, agente o contratista de una instalación de petróleo y gas mueve sus aguas residuales de una instalación ubicada en una subcategoría a otra, para su disposición o tratamiento y disposición, se le aplicaran las pautas de limitaciones de efluentes más estrictas, así como los estándares de desempeño de nuevas fuentes o los estándares de pretratamiento entre las subcategorías involucradas.

Las subcategorías existentes son:

- Offshore

La sección 435 subparte A del 40 CFR indica que las disposiciones de esta parte son aplicables a aquellas instalaciones dedicadas a la exploración de campo, perforación, producción de pozos y tratamiento de pozos en la industria del petróleo y el gas que están ubicadas en aguas que están mar adentro del límite interior de los mares territoriales, costa afuera.

El Cuadro 17 expone las pautas de limitaciones de efluentes que representan el grado de reducción de efluentes que se puede lograr mediante la aplicación de la mejor tecnología de control practicable actualmente disponible (BPT).

Cuadro 17. Limitaciones de efluentes de BPT en Estados Unidos.

Fuentes de desechos de parámetros contaminantes	Límite máximo por un día	Promedio de los valores durante 30 días consecutivos no excederá	Mínimo de cloro residual por 1 día
Agua producida	72	48	N/A
Drenaje de cubierta	(1)	(1)	N/A
Basado en agua			
Fluidos de perforación	(1)	(1)	N/A
Cortes de taladro	(1)	(1)	N/A
No acuoso			
Fluidos de perforación	Sin descarga	Sin descarga	N/A
Cortes de taladro	(1)	(1)	N/A
Fluidos de tratamiento de pozo	(1)	(1)	N/A
Sanitario			
M10	N/A	N/A	(2) (1)
M9IM	N/A	N/A	N/A
Doméstico	N/A	N/A	N/A
Nota: (1): Sin descarga de aceite libre. (2): Mínimo de mg/l y manteniendo lo más cerca posible de esta concentración. M10: Las instalaciones en alta mar con dotación permanente por diez (10) o más personas. M9IM: Las instalaciones en alta mar con dotación permanente por nueve (9) personas o menos, o sólo de manera intermitente atendidos por cualquier número de personas.			

Fuente: CFR, Código electrónico de regulaciones federales e-CFR, Titulo 40 sección 435, en línea: <https://www.ecfr.gov/>.

En El Cuadro 18 se aprecian las pautas de limitaciones de efluentes que representan el grado de reducción de efluentes que se puede lograr mediante la aplicación de la mejor tecnología disponible económicamente alcanzable (BAT).

Cuadro 18. Limitaciones de efluentes de BAT en Estados Unidos.

Fuente de residuos	Parámetro contaminante	Limitación de efluentes BAT
Agua producida	Aceite y grasa	El máximo para un día no excederá de 42 mg/L; el promedio de los valores diarios durante 30 días consecutivos no excederá de 29 mg/L.
Fluidos de perforación y recortes de perforación		
Para instalaciones ubicadas a menos de 3 millas de la costa		Sin descarga
Para instalaciones ubicadas a más de 3 millas de la costa		
Fluidos de perforación a base de agua y cortes de perforación asociados	Toxicidad SPP	LC50 mínimo 96 horas. Del ensayo de toxicidad SPP será del 3% en volumen.
	Aceite libre	Sin descarga (3)
	Diesel	Sin descarga
	Mercurio	1 mg/Kg de peso seco máximo en un stock de barita.
	Cadmio	3 mg/Kg de peso seco máximo en un stock de barita.

Cuadro 18. Limitaciones de efluentes de BAT en Estados Unidos.
(Continuación)

Fuente de residuos	Parámetro contaminante	Limitación de efluentes BAT
Fluidos de perforación no acuosos (NAF)		Sin descarga
Recortes de perforación asociados con fluidos de perforación no acuosos		
Limitaciones de stock (olefina interna C16-C18)	Mercurio	1 mg/Kg de peso seco máximo en un stock de barita.
	Cadmio	3 mg/Kg de peso seco máximo en un stock de barita.
	Hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH)	La relación de masa de PAH no excederá de 1×10^{-5}
	Toxicidad de sedimentos	El índice de toxicidad del sedimento del fluido base no debe exceder 1.0
	Tasa de biodegradación	La tasa de biodegradación no excederá de 1.0
Limitaciones de descarga	Diesel	Sin descarga

Cuadro 18. Limitaciones de efluentes de BAT en Estados Unidos.
(Continuación)

Fuente de residuos	Parámetro contaminante	Limitación de efluentes BAT
	Toxicidad SPP	LC50 mínimo de 96 horas del ensayo de toxicidad SPP será del 3% en volumen.
	Toxicidad de sedimentos	El índice de toxicidad de sedimentos de fluido de perforación no debe exceder 1.0
	Aceite de formación	Sin descarga
	Líquido base retenido en esquejes	Para los NAF que cumplen con las limitaciones de existencias (olefina interna C16- C18) en esta Cuadro, la relación de masa máxima ponderada promediada sobre todas las secciones del pozo NAF será de 6.9 g-NAF fluido base/100 g-cortes de perforación húmedos
Fluidos de tratamiento, terminación y reparación de pozos	Aceite y grasa	El máximo para un día no excederá de 42 mg/L; el promedio de los valores diarios durante 30 días consecutivos no excederá de 29 mg/L.
Drenaje de cubierta	Aceite libre	Sin descarga
Arena producida		Sin descarga.
Desperdicio doméstico	Espuma	Sin descarga.

Fuente: CFR, Código electrónico de regulaciones federales e-CFR, Título 40 sección 435, en línea: <https://www.ecfr.gov/>.

El Cuadro 19 expone las pautas de limitaciones de efluentes que representan el grado de reducción de efluentes que se puede lograr mediante la aplicación de la mejor tecnología convencional de control de contaminantes.

Cuadro 19. Limitaciones de efluentes de BCT en Estados Unidos.

Fuente de residuos	Parámetro contaminante	Limitaciones de efluentes BCT
Agua producida	Aceite y grasa	El máximo para un día no excederá de 72 mg/L; la media de los valores durante 30 días consecutivos no excederá de 48 mg/L.
Fluidos de perforación y recortes de perforación		
Para instalaciones ubicadas a menos de 3 millas de la costa		Sin descarga
Para instalaciones ubicadas a más de 3 millas de la costa		
Fluidos de perforación a base de agua y cortes de perforación asociados	Aceite libre	Sin descarga
Fluidos de perforación no acuosos		Sin descarga
Recortes de perforación asociados a fluidos de perforación no acuosos	Aceite libre	Sin descarga

Cuadro 19. Limitaciones de efluentes de BCT en Estados Unidos.
(Continuación)

Fuente de residuos	Parámetro contaminante	Limitaciones de efluentes BCT
Fluidos de tratamiento, terminación y reacondicionamiento de pozos	Aceite libre	Sin descarga
Drenaje de cubierta	Aceite libre	Sin descarga
Arena producida		Sin descarga
Sanitario M10	Cloro residual	Mínimo de 1 mg/L y manteniendo lo más cerca posible de esta concentración.
Sanitario M9IM	Sólidos flotantes	Sin descarga
Desperdicio doméstico	Sólidos flotantes	Sin descarga
	Todos los demás residuos domésticos	Ver 33 CFR parte 151
Nota: M10: Las instalaciones en alta mar con dotación permanente por diez (10) o más personas. M9IM: Las instalaciones en alta mar con dotación permanente por nueve (9) personas o menos, o sólo de manera intermitente atendidos por cualquier número de personas.		

Fuente: CFR, Código electrónico de regulaciones federales e-CFR, Título 40 sección 435, en línea: <https://www.ecfr.gov/>.

Por último, en El Cuadro 20 se encuentra que cualquier fuente nueva está sujeta a alcanzar los estándares de desempeño para nuevas fuentes.

Cuadro 20. Estándares de desempeños de nuevas fuentes (NSPS) en Estados Unidos.

Fuente de residuos	Parámetro contaminante	Limitación de efluentes BAT
Agua producida	Aceite y grasa	El máximo para un día no excederá de 42 mg/L; el promedio de los valores diarios durante 30 días consecutivos no excederá de 29 mg/L.
Fluidos de perforación y recortes de perforación		
Para instalaciones ubicadas a menos de 3 millas de la costa		Sin descarga
Para instalaciones ubicadas a más de 3 millas de la costa		
Fluidos de perforación a base de agua y cortes de perforación asociados	Toxicidad SPP	LC50 mínimo 96 horas del ensayo de toxicidad SPP será del 3% en volumen.
	Aceite libre	Sin descarga (3)
	Diesel	Sin descarga
	Mercurio	1 mg/Kg de peso seco máximo en un stock de barita.
	Cadmio	3 mg/Kg de peso seco máximo en un stock de barita.
Fluidos de perforación no acuosos		Sin descarga

Cuadro 20. Estándares de desempeños de nuevas fuentes (NSPS) en Estados Unidos. (Continuación)

Fuente de residuos	Parámetro contaminante	Limitación de efluentes BAT
Recortes de perforación asociados con fluidos de perforación no acuosos		
Limitaciones de stock (olefina interna C16-C18)	Mercurio	1 mg/Kg de peso seco máximo en un stock de barita.
	Cadmio	3 mg/Kg de peso seco máximo en un stock de barita.
	Hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH)	La relación de masa de PAH no excederá de $1 \cdot 10^{-5}$
	Toxicidad de sedimentos	El índice de toxicidad del sedimento del fluido base no debe exceder 1.0
	Tasa de biodegradación	La tasa de biodegradación no excederá de 1.0
Limitaciones de descarga	Diesel	Sin descarga
	Toxicidad SPP	LC50 mínimo de 96 horas del ensayo de toxicidad SPP será del 3% en volumen.
	Toxicidad de sedimentos	El índice de toxicidad de sedimentos de fluido de perforación no debe exceder 1.0

Cuadro 20. Estándares de desempeños de nuevas fuentes (NSPS) en Estados Unidos. (Continuación)

Fuente de residuos	Parámetro contaminante	Limitación de efluentes BAT
	Aceite de formación	Sin descarga
	Líquido base retenido en esquejes	Para los NAF que cumplen con las limitaciones de existencias (olefina interna C16- C18) en esta Cuadro, la relación de masa máxima ponderada promediada sobre todas las secciones del pozo NAF será de 6.9 g-NAF fluido base/100 g-cortes de perforación húmedos.
Fluidos de tratamiento, terminación y reparación de pozos	Aceite y grasa	El máximo para un día no excederá de 42 mg/L; el promedio de los valores diarios durante 30 días consecutivos no excederá de 29 mg/L.
Drenaje de cubierta	Aceite libre	Sin descarga
Arena producida		Sin descarga.
Sanitario M10	Cloro residual	Mínimo de 1 mg/L y manteniendo lo más cerca posible de este valor.
Sanitario M9IM	Sólidos flotantes	Sin descarga.

Cuadro 20. Estándares de desempeños de nuevas fuentes (NSPS) en Estados Unidos. (Continuación)

Fuente de residuos	Parámetro contaminante	Limitación de efluentes BAT
Desperdicio doméstico	Sólidos flotantes	Sin descarga.
	Espuma	
	Todos los demás desechos domésticos	Ver 33 CFR parte 151.

Fuente: CFR, Código electrónico de regulaciones federales e-CFR, Título 40 sección 435, en línea: <https://www.ecfr.gov/>.

- Onshore

La sección 435 subparte C del 40 CFR indica que aquellas instalaciones dedicadas a la producción, exploración de campo, perforación, terminación de pozos y tratamiento de pozos en la industria de extracción de petróleo y gas que están ubicadas en tierra hasta el límite interior de los mares territoriales deberá alcanzar los límites de efluentes BPT en donde no habrá vertido de aguas residuales contaminantes (agua producida, lodos de perforación, detritos de perforación y arena producida) en aguas navegables de cualquier fuente asociada a las operaciones anteriormente mencionadas.

- Costeras

La sección 435 subparte D del 40 CFR define el término costero como cualquier lugar en o sobre un agua de los Estados Unidos tierra adentro del límite interior de los mares territoriales, además esta subparte es aplicable a dichas instalaciones ubicadas en la zona costera y comprometidas en exploración de campo, perforación, producción y tratamiento en la industria del petróleo y gas, en donde, las descargas de agua producida se encuentran prohibidas, a excepción de los pozos ubicados en Cook Inlet en

Alaska, los cuales, deben cumplir con las normas aplicables en offshore para sus vertimientos.

9.1.3. Análisis comparativo con respecto a la norma Colombiana. En EE. UU existe una página web dirigida por La Oficina del Registro Federal (OFR), conocida como Código Electrónico de Regulaciones Federales (e-CFR), la cual, es una versión actualizada diariamente del Código de Regulaciones Federales (CFR), este código electrónico no es una edición oficial, sin embargo, se basa en la versión física oficial del CFR que compila las normas Estadounidenses.

La estructura en la que se presenta el e-CFR facilita al público la búsqueda de las diversas codificaciones de las regulaciones generales, debido a que se encuentra dividido en títulos que abarcan todas las áreas temáticas de EE. UU y que a su vez estos poseen gran variedad de capítulos en los que se encuentra toda la información referente a cada título.

Un inconveniente que puede demorar la búsqueda de algunas leyes dentro del e-CFR, se basa en que la ley puede estar dividida subcapítulos no consecutivos.

Con respecto a la inyección en pozo disposal dentro de la norma Estadounidense se encuentran parámetros claves a tener en cuenta para una óptima inyección, tales como:

- Prohibir la inyección entre el revestimiento más externo.
- La presión de inyección
- Monitoreos frecuentes de los fluidos inyectados.
- Reportes periódicos de presión de inyección, caudal y volumen acumulado.
- Requisitos de construcción, de operación y de seguimiento de presentación de informes de los pozos de inyección de agua.

- Información requerida para obtener la autorización del permiso para la operación de un pozo de inyección, nuevo o reacondicionado.

Los vertimientos en aguas superficiales en EE. UU puede llevarse a cabo en tres zonas, onshore, offshore y costeras, en donde para cada zona existe un control que regula el límite máximo de un compuesto en la descarga (ver Cuadros 17, 18, 19 y 20).

Por otra parte, para la disposición de aguas residuales, la norma Estadounidense establece que, al mover el agua residual asociada a hidrocarburos de una zona a otra para su disposición o tratamiento y disposición, esta se regirá por las pautas de limitaciones de efluentes más estrictas entre las zonas involucradas.

9.2. ECUADOR

En el reporte anual Statistical Review of World Energy de 2020 suministrado por la compañía British Petroleum (BP) la producción de petróleo para el 2019 en Ecuador fue de 531 mil barriles por día, esto representa aproximadamente 193,8 millones de barriles de petróleo por año. Según Reyes y Ajamil, 2005, Ecuador reportaba una producción de petróleo con un corte de agua del 75%, es decir, que por cada barril de petróleo se estaban produciendo 3 barriles de agua³⁰.

9.2.1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Esta norma técnica ambiental es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio Ecuatoriano, tiene como objetivo la prevención y el control de la contaminación ambiental en lo relativo al recurso agua, además de proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, los ecosistemas y del ambiente en general, también se encarga de

³⁰ REYES, Fernando. AJAMIL, Cesar. Petróleo, Amazonía y Capital. Ecuador. 2005.

preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua, estableciendo los siguientes parámetros:

- Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado.
- Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos
- Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

Por otra parte, la sección 3.2 de la misma norma da a conocer los criterios generales para la descarga de efluentes:

- Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
- Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
- Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce o de agua marina.

9.2.1.1. Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano uso doméstico, previo a su potabilización. En los Cuadros 21 y 22 se muestran los límites máximos permisibles de algunos elementos o compuestos, para determinar la calidad del agua para consumo humano y uso doméstico, que será empleada en actividades como bebida y preparación de alimentos para consumo, fabricación o procesamiento de alimentos en general y satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas.

El Cuadro 21 muestra los criterios de calidad del agua requeridos tras un proceso de tratamiento convencional, mientras que el Cuadro 22 presenta los criterios de calidad del agua que únicamente requieran de desinfección.

Cuadro 21. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que requieren tratamiento convencional en Ecuador.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Aluminio	Al	mg/L	0,2
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/L	1,0
Amonio	NH_4	mg/L	0,05
Arsénico (total)	As	mg/L	0,05
Bario	Ba	mg/L	1,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,01
Cianuro (total)	CN^-	mg/L	0,1
Cloruro	Cl	mg/L	250
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Coliformes totales	nmp/100 ml		3000
Coliformes fecales	nmp/100 ml		600
Color	Color real	Unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,002
Cromo hexavalente	Cr^{+6}	mg/L	0,05
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO_5	mg/L	2,0
Dureza	$CaCO_3$	mg/L	500
Bifenilo	Concentración de PCBs totales	µg/L	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/L	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/L	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/L	0,1

Cuadro 21. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que requieren tratamiento convencional en Ecuador. (Continuación)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,001
Nitrato	n-Nitrato	mg/L	10,0
Nitrito	n-Nitrito	mg/L	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O. D	mg/L	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/L
Plata (total)	Ag	mg/L	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/L	0,05
Potencial de hidrogeno	pH		6 - 9
Selenio (total)	Se	mg/L	0,01
Sodio	Na	mg/L	200
Solidos disueltos totales		mg/L	1000
Sulfatos	SO_4^{-2}	mg/L	400

Cuadro 21. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que requieren tratamiento convencional en Ecuador. (Continuación)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Temperatura		°C	Condición natural ±3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/L	5,0
*productos para la desinfección		mg/L	0,1
Hidrocarburos aromáticos			
Benceno	C_6H_6	µg/L	10,0
Benzo(a) pireno		µg/L	0,01
Etilbenceno		µg/L	700
Estireno		µg/L	100
Tolueno		µg/L	1000
Xilenos (totales)		µg/L	10000
Pesticidas y herbicidas			
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/L	0,1
Dibromocloropropano (DBCP)	Concentración total de DBCP	µg/L	0,2

Cuadro 21. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que requieren tratamiento convencional en Ecuador. (Continuación)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Organoclorados totales	Concentración de Organoclorados totales	mg/L	0,01
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/L	0,1
Dibromoetileno (DBE)	Concentración total de DBE	µg/L	0,05
Dicloropropano (1,2)	Concentración total de dicloropropano	µg/L	5
Diquat		µg/L	70
Glifosato		µg/L	200
Toxafeno		µg/L	5
Compuestos halogenados			
Tetracloruro de carbono		µg/L	3
Dicloroetano (1,2-)		µg/L	10
Dicloroetileno (1,1-)		µg/L	0,3
Dicloroetileno (1,2-cis)		µg/L	70
Dicloroetileno (1,2-trans)		µg/L	100

Cuadro 21. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que requieren tratamiento convencional en Ecuador. (Continuación)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Diclorometano		µg/L	50
Tetracloroetileno		µg/L	10
Tricloroetano (1,1,1-)		µg/L	200
Tricloroetileno		µg/L	30
Clorobenceno		µg/L	100
Diclorobenceno (1,2-)		µg/L	200
Diclorobenceno (1,4-)		µg/L	5
Hexaclorobenceno		µg/L	0,01
Bromoximil		µg/L	5
Diclorometano		µg/L	50
Tribrometano		µg/L	2
Nota: * Productos para la desinfección: Cloroformo, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano y Bromoformo.			

Fuente: Ministerio de Ambiente y Agua, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Ecuador, 2015.

Cuadro 22. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que requieran desinfección en Ecuador.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Aluminio total	Al	mg/L	0,1

Cuadro 22. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que requieran desinfección en Ecuador. (Continuación)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/L	1,0
Arsénico (total)	As	mg/L	0,05
Bario	Ba	mg/L	1,0
Berilio	Be	mg/L	0,1
Boro (total)	Bo	mg/L	0,75
Cadmio	Cd	mg/L	0,001
Cianuro (total)	CN^-	mg/L	0,01
Cobalto	Co	mg/L	0,2
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Color	Color real	Unidades de color	20
Coliformes totales	nmp/100 ml		50*
Cloruro	Cl^-	mg/L	250
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,002
Cromo hexavalente	Cr^{+6}	mg/L	0,05
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO_5	mg/L	2,0
Dureza	$CaCO_3$	mg/L	500
Estaño	Sn	mg/L	2,0
Fluoruros	F	mg/L	Menor a 1,4
Hierro (total)	Fe	mg/L	0,3
Litio	Li	mg/L	2,5
Manganeso (total)	Mn	mg/L	0,1
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,001
Níquel	Ni	mg/L	0,025
Nitrato	n-Nitrato	mg/L	10,0

Cuadro 22. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que requieran desinfección en Ecuador. (Continuación)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrito	n-Nitrito	mg/L	1,0
Olor y sabor			Ausencia
Oxígeno disuelto	O. D	mg/L	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/L
Plata (total)	Ag	mg/L	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/L	0,05
Potencial de hidrogeno	pH		6 - 9
Selenio (total)	Se	mg/L	0,01
Sodio	Na	mg/L	200
Sulfatos	SO_4^{-2}	mg/L	250
Solidos disueltos totales		mg/L	500
Temperatura		°C	Condición natural ± 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Turbiedad		UTN	10
Uranio total		mg/L	0,02
Vanadio	V	mg/L	0,1
Zinc	Zn	mg/L	5,0
Hidrocarburos aromáticos			

Cuadro 22. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que requieran desinfección en Ecuador. (Continuación)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Benceno	C_6H_6	mg/L	0,01
Benzo(a) pireno		mg/L	0,00001
Pesticidas y herbicidas			
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/L	0,01
Organofosforados y carbamatos	Concentración de organofosforados y carbamatos totales	mg/L	0,1
Toxafeno		µg/L	0,01
Compuestos halogenados			
Tetracloruro de carbono		mg/L	0,003
Dicloroetano (1,2-)		mg/L	0,01
Tricloroetano (1,1,1-)		mg/L	0,3
Nota: * Cuando se observe que más del 40% de las bacterias coliformes representadas por el Índice NMP, pertenecen al grupo coliforme fecal, se aplicará tratamiento convencional al agua a emplearse para el consumo humano y doméstico.			

Fuente: Ministerio de Ambiente y Agua, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Ecuador, 2015.

9.2.1.2. Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios. La norma ecuatoriana establece que el agua para preservación de flora y fauna se emplea en actividades destinadas a mantener la vida natural de los

ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura. En El Cuadro 23 se encuentran los límites máximos permisibles en la calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, aguas marinas y de estuario.

Cuadro 23. Criterios de calidad admisible para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas y de estuario en Ecuador.

Parámetros	Expresados como	Und.	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y estuario
Clorofenoles		mg/L	0,5	0,5	
Bifenilos policlorados / PCBs	Concentración total de PCBs	mg/L	0,001	0,001	
Oxígeno disuelto	O. D	mg/L	No menor al 80% y no menor a 6 mg/L	No menor al 60% y no menor a 5 mg/L	No menor al 60% y no menor a 5 mg/L
Potencial de hidrógeno	pH	mg/L	6,5 – 9	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Sulfuro de hidrógeno ionizado	H ₂ S	mg/L	0,0002	0,0002	0,0002
Amoniaco	NH ₃	mg/L	0,02	0,02	0,4
Aluminio	Al	mg/L	0,1	0,1	1,5
Arsénico	As	mg/L	0,05	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/L	1,0	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/L	0,1	0,1	1,5
Boro	B	mg/L	0,75	0,75	5,0

Cuadro 23. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas y de estuario en Ecuador. (Continuación).

Parámetros	Expresados como	Und.	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y estuario
Cadmio	Cd	mg/L	0,001	0,001	0,005
Cianuro libre	CN ⁻	mg/L	0,01	0,01	0,01
Zinc	Zn	mg/L	0,18	0,18	0,17
Cloro residual	Cl	mg/L	0,01	0,1	0,01
Estaño	Sn	mg/L	0,2	0,2	2,00
Cobalto	Co	mg/L	0,2	0,2	0,2
Plomo	Pb	mg/L	0,2	0,2	0,01
Cobre	Cu	mg/L	0,02	0,02	0,05
Cromo total	Cr	mg/L	0,05	0,05	0,05
Fenoles monohídricos	Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3	0,3	0,3
Hierro	Fe	mg/L	0,3	0,3	0,3
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	Concentración total de HAPs	mg/L	0,0003	0,0003	0,0003
Manganeso	Mn	mg/L	0,1	0,1	0,1
Materia flotante	Visible	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Cuadro 23. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas y de estuario en Ecuador. (Continuación).

Parámetros	Expresados como	Und.	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y estuario
Mercurio	Hg	mg/L	0,0002	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/L	0,025	0,025	0,1
Plaguicidas organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/L	10,0	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/L	10,0	10,0	10,0
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/L	0,05	0,05	0,05
Plata	Ag	mg/L	0,01	0,01	0,005
Selenio	Se	mg/L	0,01	0,01	0,01
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5	0,5	0,5
Temperatura	°C		Condiciones naturales + 3 máxima 20	Condiciones naturales + 3 máxima 32	Condiciones naturales + 3 máxima 32
Coliformes fecales	nmp/100 ml		200	200	200

Fuente: Ministerio de Ambiente y Agua, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Ecuador, 2015.

9.2.1.3. Criterios de calidad para aguas subterráneas. Para el empleo de las aguas subterráneas la norma ecuatoriana dispone que todos los proyectos que impliquen la implementación de procesos de alto riesgo ambiental, como: petroquímicos, carboquímicos, cloroquímicos, usinas nucleares, y cualquier otra fuente de gran impacto, peligrosidad y riesgo para las aguas subterráneas cuando principalmente involucren almacenamiento superficial o subterráneo, deberán contener un informe detallado de las características hidrogeológicas de la zona donde se implantará el proyecto, que permita evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos, así como una descripción detallada de las medidas de protección a ser adoptadas.

Por otra parte, la autorización para realizar la perforación de pozos tubulares (uso del agua) será otorgada por el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), previo a la presentación por parte del interesado, de la siguiente información:

- Localización del pozo en coordenadas geográficas.
- Uso pretendido o actual del agua.
- Datos técnicos de los pozos de monitoreo para la calidad del agua y remediación.

Además, los responsables por pozos tubulares estarán obligados a proporcionar al CNRH, al inicio de la captación de las aguas subterráneas o en cualquier época, la siguiente información:

- Copia del perfil geológico y características técnicas del pozo.
- Localización del pozo en coordenadas geográficas.
- Uso pretendido y actual del agua

- Análisis fisicoquímico y bacteriológico, efectuado en los últimos seis meses del agua extraída del pozo, realizado por un laboratorio acreditado.

Los responsables de pozos tubulares estarán obligados a reportar al CNRH, la desactivación temporal o definitiva del pozo. Asimismo, todo pozo deberá ser técnica y ambientalmente abandonado. En caso de existir alteración comprobada de la calidad de agua de un pozo, el responsable, deberá ejecutar las obras necesarias para remediar las aguas subterráneas contaminadas y el suelo afectado. El Cuadro 24 muestra el límite máximo permisible de calidad para las aguas subterráneas.

Cuadro 24. Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0 - 2,5) % y de materia orgánica entre (1 - 1,0) % en Ecuador.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Arsénico (total)	As	µg/l	35
Bario	Ba	µg/l	338
Cadmio	Cd	µg/l	3,2
Cianuro (total)	CN ⁻	µg/l	753
Cobalto	Co	µg/l	60
Cobre	Cu	µg/l	45
Cromo total	Cr	µg/l	16
Molibdeno	Mo	µg/l	153
Mercurio (total)	Hg	µg/l	0,18
Níquel	Ni	µg/l	45
Plomo	Pb	µg/l	45
Zinc	Zn	µg/l	433
Compuestos aromáticos			
Benceno	C ₆ H ₆	µg/l	15

Cuadro 24. Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0 - 2,5) % y de materia orgánica entre (1 - 1,0) % en Ecuador. (Continuación).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Tolueno		µg/l	500
Estireno		µg/l	150
Etilbenceno		µg/l	75
Xileno (suma) ¹		µg/l	35
Fenol		µg/l	1000
Cresol ²		µg/l	100
Hidroquinona		µg/l	400
Hidrocarburos aromáticos policíclicos			
Naftaleno		µg/l	35
Fenantreno		µg/l	2,5
Antraceno		µg/l	2,5
Fluoranteno		µg/l	0,5
Benzo(a)antraceno		µg/l	0,25
Criseno		µg/l	0,026
Benzo(k)fluoranteno		µg/l	0,026
Benzo(a)pireno		µg/l	0,026
Benzo(ghi)perileno		µg/l	0,025
Indenol (1,2,3 cd) pireno		µg/l	0,025
Hidrocarburos clorados			
Diclorometano		µg/l	500
Triclorometano		µg/l	200

Cuadro 24. Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0 - 2,5) % y de materia orgánica entre (1 - 1,0) % en Ecuador. (Continuación).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Tetraclorometano		µg/l	5,0
1,1-dicloroetano		µg/l	1300
1,2-dicloroetano		µg/l	200
1,1,1- tricloroetano		µg/l	275
1,1,2-tricloroetano		µg/l	750
Vinilclorado		µg/l	0,35
Cis-1,2- dicloeteno		µg/l	650
Tricloroeteno		µg/l	250
Tetracloroeteno		µg/l	20
Monoclorobenceno		µg/l	90
Diclorobenceno (suma)		µg/l	25
Triclorobenceno (suma)		µg/l	5
Tetraclorobenceno (suma)			1,26
Pentaclorobenceno		µg/l	0,5
Hexaclorobenceno		µg/l	0,26
Monoclorofenol (suma)		µg/l	50
Diclorofenol (suma)		µg/l	15
Triclorofenol (suma)		µg/l	5
Tetraclorofenol		µg/l	5
Pentaclofenol		µg/l	1,5
Cloronaftaleno		µg/l	3

Cuadro 24. Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0 - 2,5) % y de materia orgánica entre (1 - 1,0) % en Ecuador. (Continuación).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
PCBs (suma)		µg/l	0,01
Pesticidas organoclorados			
DDD, DDE, DDT, (suma)		µg/l	0,005
Drins (suma)		µg/l	0,05
HCJ-Compuestos (suma) ⁶		µg/l	0,5
Carbamatos			
Carbaril		µg/l	0,06
Carbofuran		µg/l	0,06
Maneb		µg/l	0,05
Organonitrogenados			
Atrazina		µg/l	0,05
Compuestos remanentes			
Ciclohexanos		µg/l	7500
Ftalatos (suma)		µg/l	2,75
Hidrocarburos totales de petróleo		µg/l	325
Piridina		µg/l	1,75
Tetrahidrofurano		µg/l	0,75
Tetrahidrotiofeno		µg/l	15

Fuente: Ministerio de Ambiente y Agua, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Ecuador, 2015.

9.2.1.4. Criterios generales para la descarga de efluentes.

9.2.1.4.1. Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua. El regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismos, identificando el cuerpo receptor. Es mandatorio que el caudal reportado de los efluentes generados sea respaldado con datos de producción³¹.

En esta norma se establecen los parámetros de descarga hacia el sistema de alcantarillado y cuerpos de agua (dulce y marina), los valores de los límites máximos permisibles corresponden a promedios diarios. La Entidad Ambiental que controla las descargas de efluentes deberá establecer una normativa complementaria que permita determinar si el regulado cumple o no con los límites permisibles fijados en la presente normativa para descargas a sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua, para lo cual es necesaria la siguiente información:

- La frecuencia de monitoreo
- El tipo de muestra (simple o compuesta)
- El número de muestras a tomar
- La interpretación estadística de los resultados

Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, con los parámetros establecidos de descarga en esta Norma, deberán ser tratadas mediante tratamiento convencional, sea cual fuere su origen: público o privado.

³¹ ECUADOR. MINISTERIO DE AMBIENTE Y AGUA. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, 2015, p. 37.

Se debe garantizar que las descargas de sustancias o desechos peligrosos (líquidos-sólidos-semisólidos) se encuentren dentro de los estándares permitidos, de lo contrario se prohíbe su descarga hacia el cuerpo receptor, sistema de alcantarillado y sistema de aguas lluvias. De igual modo, se prohíbe la infiltración al suelo, de efluentes industriales tratados y no tratados, sin permiso de la Entidad Ambiental de Control.

Para el caso de las aguas provenientes de la explotación petrolífera y de gas natural, estas podrán ser reinyectadas de acuerdo a lo establecido en las leyes, reglamentos y normas específicas, que se encuentren en vigencia, para el sector hidrocarburífero.

Se debe hacer uso de sistemas apropiados para la medición de caudales, ubicados a la salida de las descargas de los efluentes tratados y de los no tratados.

Cuando las descargas reguladas, aun cumpliendo con las normas de descarga, produzcan concentraciones en el cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado, que excedan los criterios de calidad para el uso o los usos asignados al agua, la Entidad Ambiental de Control podrá exigirles valores más restrictivos en la descarga, previo a los estudios técnicos realizados por la Entidad Ambiental de Control, justificando esta decisión.

9.2.1.4.2. Normas generales para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: agua dulce y agua marina. La norma establece que se prohíbe todo tipo de descarga en:

- Las cabeceras de las fuentes de agua.
- Aguas arriba de la captación para agua potable de empresas o juntas administradoras, en la extensión que determinará el CNRH, Consejo Provincial o Municipio Local.

- Todos aquellos cuerpos de agua que el Municipio Local, Ministerio del Ambiente, CNRH o Consejo Provincial declaren total o parcialmente protegidos.

Por otra parte, los regulados que exploren, exploten, refinen, transformen, procesen, transporten o almacenen hidrocarburos o sustancias peligrosas susceptibles de contaminar cuerpos de agua deberá contar y aplicar un plan de contingencia para la prevención y control de derrames, el cual deberá ser aprobado y verificado por la Entidad Ambiental de Control.

Los Cuadros 25 y 26, muestran los límites permisibles que deberá cumplir toda descarga a un cuerpo de agua dulce o marina, respectivamente, según la norma.

Cuadro 25. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce en Ecuador.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aldehídos		mg/L	2,0
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/L	0,1
Cloro activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1

Cuadro 25. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce en Ecuador.
(Continuación).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Cloruros	Cl^-	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes	Nmp/100 ml	mg/L	*Remoción > al 99,9%
Color real	Color real	Unidades de color	**Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr^{+6}	mg/L	0,5
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	$D.B.O_5$	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	$Q.Q.O$	mg/L	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/L	1,0
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fosforo total	P	mg/L	10
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	20,0
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Materia flotante	Visibles	mg/L	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0.005
Níquel	Ni	mg/L	2,0

Cuadro 25. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce en Ecuador.
(Continuación).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitratos + nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/L	10,0
Nitrógeno total kjeldah	N	mg/L	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados	mg/L	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2
Potencial de hidrogeno	pH	mg/L	5 – 9
Selenio	Se	mg/L	0,1
Solidos sedimentables		mg/L	1,0
Solidos suspendidos totales		mg/L	100
Solidos totales		mg/L	1600
Sulfatos	SO_4^{-2}	mg/L	1000
Sulfitos	SO_3	mg/L	2,0
Sulfuros	S	mg/L	0,5
Temperatura	°C	mg/L	<35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0

Cuadro 25. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce en Ecuador.
(Continuación).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/L	1,0
Vanadio	V	mg/L	5,0
Zinc	Zn	mg/L	5,0
Nota: * Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o igual a 3000, quedan exentos de tratamiento. ** La apreciación de color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.			

Fuente: Ministerio de Ambiente y Agua, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Ecuador, 2015.

Cuadro 26. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina en Ecuador.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas		mg/L	0,3
Arsénico total	As	mg/L	0,5
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Bario	Ba	mg/L	5,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,2
Cianuro total	CN ⁻	mg/L	0,2
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes fecales	Nmp/100 ml	mg/L	*Remoción > al 99,9%
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2

Cuadro 26. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina en Ecuador.
(Continuación).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Color real	Color real	Unidades de color	**Inapreciable en dilución: 1/20
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	<i>D.B.O₅</i>	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	<i>Q.Q.O</i>	mg/L	250
Fosforo total	P	mg/L	10
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	20,0
Materia flotante	Visibles	mg/L	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,01
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno total kjeldahl	N	mg/L	40
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,5
Potencial de hidrogeno	pH	mg/L	6 - 9
Selenio	Se	mg/L	0,2
Solidos suspendidos totales		mg/L	100
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/L	0,05
Carbamatos totales		mg/L	0,25
Temperatura	°C	mg/L	<35

Cuadro 26. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina en Ecuador. (Continuación).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Zinc	Zn	mg/L	10
Nota: * Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o igual a 3000, quedan exentos de tratamiento. ** La apreciación de color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.			

Fuente: Ministerio de Ambiente y Agua, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Ecuador, 2015.

9.2.2. Reglamento ambiental de actividades y operaciones hidrocarburíferas. En Ecuador existe, el Reglamento ambiental de actividades hidrocarburíferas y el Reglamento ambiental de operaciones hidrocarburíferas. Estos dos reglamentos son los encargados de manejar todo aquello relacionado con las operaciones y actividades petroleras del país, entre las cuales encontramos las etapas de exploración, explotación, perforación, producción, tratamiento, disposición de residuos, transporte, refinación y comercialización.

Mediante estos reglamentos se regulan las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, así como las actividades relacionadas a este ámbito. El control de las disposiciones de estos reglamentos estará a cargo de la Autoridad Nacional Ambiental y de los Gobiernos Autónomos Descentralizados de Ecuador de acuerdo a sus competencias.

Teniendo en cuenta el enfoque hacia la disposición de residuos líquidos, el artículo 12 del Reglamento ambiental de actividades hidrocarburíferas trata sobre el monitoreo ambiental de las emisiones atmosféricas, descargas líquidas

y sólidas, así como la remediación de suelos y/o piscinas contaminadas. En donde, la Dirección Nacional de Protección Ambiental Hidrocarburíferas aprobará o establecerá los puntos de monitoreo, frecuencias de monitoreo y cantidad de reportes a presentar de acuerdo a la etapa a la cual se esté monitoreando.

El artículo 62 del Reglamento ambiental de operaciones hidrocarburíferas de Ecuador, proporciona las siguientes condiciones para ejecutar el monitoreo ambiental:

- La toma de muestras en los puntos de monitoreo aprobados de: aire, emisiones a la atmósfera, ruido ambiente, aguas superficiales y subterráneas, descargas líquidas, suelo, sedimentos será realizado por entes acreditados ante la autoridad competente o mediante equipos que cuenten con la certificación del fabricante respecto de las condiciones de diseño y uso previsto hasta que se logre su acreditación.
- Los análisis serán realizados con laboratorios acreditados ante la autoridad competente, en todo los parámetros físicos - químicos y microbiológicos a reportarse, cuyo límite de detección, del método de análisis, debe ser menor al límite máximo permisible establecido en las normas técnicas.
- Los puntos de muestreo deberán cumplir con las características y normas técnicas establecidas en la normativa vigente para el efecto.
- El muestro de descargas líquidas debe incluir los datos de medición del caudal de descarga.
- La ejecución del monitoreo biótico se realizará por profesionales en los grupos evaluados flora y fauna (terrestre, acuática, marina), según sea el caso.

La periodicidad del monitoreo en la entrega de reportes se encuentra descrita en el artículo 63 del Reglamento ambiental de operaciones, en donde resaltamos que, para aguas subterráneas, el monitoreo en las áreas de pozos o almacenamiento de productos limpios será trimestral en los puntos establecidos en la red piezométrica del área circundante a los pozos de desarrollo, inyección y reinyección y de los sitios de almacenamiento de productos limpios. El análisis de los resultados se presentará en el informe de monitoreo, estos se realizarán conforme a los lineamientos de la norma técnica establecida para el efecto.

Los análisis de dichos monitoreos se reportarán a la Subsecretaría de Protección Ambiental del Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección Nacional de Protección Ambiental Hidrocarburífera.

El artículo 29 del Reglamento ambiental de actividades hidrocarburíferas presenta el manejo y tratamiento de descargas líquidas, de igual forma este mismo artículo es presentado en el Reglamento ambiental de operaciones hidrocarburíferas en el artículo 40.

Todo efluente líquido, proveniente de las diferentes fases de operación, que deba ser descargado al entorno, deberá cumplir antes de la descarga con los límites permisibles establecidos en El Cuadro No. 4 del Anexo 2 del Reglamento (Ver Cuadros 27 y 28).

Cuadro 27. Límites permisibles en el punto de descarga de efluentes en Ecuador.

EFLUENTE (punto de descarga)					
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor permisible (1)	Promedio anual (2)	Destino de descarga
Potencial hidrogeno	pH	---	$5 < \text{pH} < 9$	$5 < \text{pH} < 9$	Todos

Cuadro 27. Límites permisibles en el punto de descarga de efluentes en Ecuador. (Continuación).

EFLUENTE (punto de descarga)					
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor permisible (1)	Promedio anual (2)	Destino de descarga
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	< 2500	< 2000	Continente
Hidrocarburos totales	TPH	mg/L	< 20	< 15	Continente
Hidrocarburos totales	TPH	mg/L	< 30	< 20	Mar abierto
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	< 120	< 80	Continente
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	< 350	< 300	Mar abierto
Sólidos totales	ST	mg/L	< 1700	< 1500	Todos
Bario	Ba	mg/L	< 5	< 3	Todos
Cromo (total)	Cr	mg/L	< 0,5	< 0,4	Todos
Plomo	Pb	mg/L	< 0,5	< 0,4	Todos
Vanadio	V	mg/L	< 1	< 0,8	Todos
Nitrógeno global (incluye N orgánico, amoniacal y óxidos) (3)	NH_4N	mg/L	< 20	< 15	Todos
Fenoles (3)		mg/L	< 0,15	< 0,10	Todos

Cuadro 27. Límites permisibles en el punto de descarga de efluentes en Ecuador. (Continuación).

Nota:

- 1) En cualquier momento.
- 2) Promedio de las determinaciones realizadas en un año conforme a la frecuencia de monitoreo establecida en el artículo 11 de este reglamento.
- 3) Parámetro exigido únicamente para refinerías dentro del programa de monitoreo ambiental interno rutinario.

Fuente: Reglamento ambiental para actividades hidrocarburíferas en el Ecuador, Anexo 2, Ecuador, 2010.

Cuadro 28. Límites permisibles en el punto de control en el cuerpo receptor en Ecuador.

INMISIÓN (punto de control en el cuerpo receptor)					
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible (1)	Promedio anual (2)	Aplicación
Temperatura (4)		°C	+3°C		General
Potencial hidrógeno (5)	pH	---	6 < pH < 8	6 < pH < 8	General
Conectividad eléctrica (6)	CE	μS/cm	< 170	< 120	Continente
Hidrocarburos totales	TPH	mg/L	< 0,5	< 0,3	General
Demanda química de oxígeno (7)	DQO	mg/L	< 30	< 20	General

Cuadro 28. Límites permisibles en el punto de control en el cuerpo receptor en Ecuador. (Continuación).

INMISIÓN (punto de control en el cuerpo receptor)					
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible (1)	Promedio anual (2)	Aplicación
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/L	< 0,003	< 0,0002	General
Nota: 1) En cualquier momento. 2) Promedio de las determinaciones realizadas en un año conforme a la frecuencia de monitoreo establecida en el artículo 11 de este reglamento. 4) A una distancia o en un radio de 3000 metros, comparado con un punto representativo en el cuerpo receptor aguas arriba a la entrada del efluente. 5) De presentar el cuerpo receptor un pH natural menor a los límites establecidos, se pueden disminuir los valores hasta este nivel, siempre que se haya comprobado estadísticamente a través de un monitoreo del cuerpo receptor en un punto aguas arriba a la entrada del efluente. 6) De presentar el cuerpo receptor una conductividad eléctrica natural superior a los límites establecidos, se pueden incrementar los valores hasta este nivel, siempre que se haya comprobado estadísticamente a través de un monitoreo del cuerpo receptor en un punto aguas arriba a la entrada del efluente. 7) De presentar el cuerpo receptor una DQO natural superior a los límites establecidos, se pueden incrementar los valores hasta este nivel, siempre que se haya comprobado estadísticamente a través de un monitoreo del cuerpo receptor en un punto aguas arriba a la entrada del efluente.					

Fuente: Reglamento ambiental para actividades hidrocarburíferas en el Ecuador, Anexo 2, Ecuador, 2010.

Para la reinyección de aguas y desechos líquidos el Reglamento ambiental de actividades hidrocarburíferas del Ecuador establece que cualquier empresa para disponer de desechos líquidos por medio de inyección en una formación porosa tradicionalmente no productora de petróleo, gas o recursos geotérmicos, deberá contar con el estudio aprobado por la Subsecretaría de Protección Ambiental del Ministerio de Energía y Minas que identifique la formación receptora y demuestre técnicamente:

- Que la formación receptora está separada de formaciones de agua dulce por estratos impermeables que brindarán adecuada protección a estas formaciones.
- Que el uso de tal formación no pondrá en peligro capas de agua dulce en el área.
- Que las formaciones a ser usadas para la disposición no contienen agua dulce.
- Que la formación seleccionada no es fuente de agua dulce para consumo humano ni riego, esto es que contenga sólidos totales disueltos mayor a 5000 (cinco mil) ppm.

Si estos fluidos se dispusieren en otra forma que no sea a cuerpos de agua ni mediante inyección, en el Plan de Manejo Ambiental se establecerán los métodos, alternativas y técnicas que se utilizarán para su disposición con indicación de su justificación técnica y ambiental; los parámetros a cumplir serán los aprobados en el Plan de Manejo Ambiental.

Los parámetros y límites permisibles establecidos en El Cuadro No. 10 del Anexo 3 (ver Cuadro 29) del Reglamento se aplicarán en los casos que el monitoreo rutinario especificado en el presente Reglamento indique anomalías en las descargas para profundizar la información previa a la toma de acciones correctivas, o cuando la Subsecretaría de Protección Ambiental lo requiera, así como cada seis meses para una caracterización completa de los efluentes.

Cuadro 29. Parámetros adicionales y límites permisibles para aguas y descargas líquidas en la exploración, producción, industrialización, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos y sus derivados Ecuador.

Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible
Cloruros	Cl^-	mg/L	< 2500
Sulfatos	SO_4^{2-}	mg/L	< 1200
Fluoruros	F^-	mg/L	< 5,0
Cadmio	Cd	mg/L	< 0,1
Mercurio	Hg	mg/L	< 0,01
Níquel	Ni	mg/L	< 2,0
Selenio	Se	mg/L	< 0,5
Cianuros libres	CN^-	mg/L	< 0,05
Sulfuro de hidrogeno	H_2S	mg/L	< 0,0002
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO_5	mg/L	< 40
Fenoles		mg/L	< 0,15

Fuente: Reglamento ambiental para actividades hidrocarburíferas en el Ecuador, Anexo 2, Ecuador, 2010.

En el caso de descargas de aguas de producción por el método de inyección, el artículo 57 del Reglamento ambiental para actividades hidrocarburíferas en el Ecuador establece que, para la inyección y disposición de desechos líquidos, se reacondicionarán aquellos pozos que han dejado de ser económicamente productivos o que estén abandonados y, cuando sea estrictamente necesario y ambientalmente justificable se perforarán otros adicionales para la inyección.

De esta manera, para el reacondicionamiento de pozos, las operadoras dispondrán de las facilidades necesarias para el almacenamiento, tratamiento y

disposición de los fluidos de reacondicionamiento; esto está contemplado en el artículo 60 del presente reglamento.

9.2.3. Análisis comparativo con respecto a la norma Colombiana. La norma Ecuatoriana en cuanto a los vertimientos de aguas en zonas de captación de agua para potabilizar establece dos límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, uno para aquellas que requieran tratamiento convencional y otro para las que requieran únicamente desinfección.

Por otra parte, Ecuador permite de una manera legal el aprovechamiento de las fuentes de agua subterránea, sin embargo, para la perforación de pozos de captación de aguas subterráneas se requiere de una autorización otorgada por el Consejo Nacional de Recursos Hídricos. En caso de que durante alguna operación se contamine una fuente de agua subterránea, el responsable deberá hacerse cargo del tratamiento para remediar las aguas subterráneas contaminadas y cumplir con los estándares de calidad de aguas subterráneas (ver Cuadro 24).

Los vertimientos en aguas superficiales se dividen dependiendo de la zona receptora en cuerpos de agua dulce o en cuerpos de agua marina, en donde cada cuerpo de agua posee sus propios límites máximos permisibles para descargas (ver Cuadros 25 y 26). Además, Ecuador establece dos Cuadros de límites permisibles para descarga de aguas residuales, una para el punto de descarga y la otra para el punto de control del cuerpo receptor (ver Cuadros 27 y 28). Únicamente para actividades petroleras como exploración, producción, industrialización, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos y sus derivados, se debe cumplir con unos límites permisibles de unos parámetros adicionales establecidos en El Cuadro 29.

El reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas del Ecuador establece que la reinyección de aguas y desechos líquidos se identifique la formación receptora y se demuestre técnicamente lo siguiente:

- Que la formación receptora está separada de formaciones de agua dulce por estratos impermeables que brindarán adecuada protección a estas formaciones.
- Que el uso de tal formación no pondrá en peligro capas de agua dulce en el área.
- Que las formaciones a ser usadas para la disposición no contienen agua dulce.
- Que la formación seleccionada no es fuente de agua dulce para consumo humano ni riego, esto es que contenga sólidos totales disueltos mayor a 5000 (cinco mil) ppm.

El Reglamento Ambiental Ecuatoriano prioriza el reacondicionamiento de pozos que han dejado de ser económicamente productivos o que estén abandonados, para convertirlos en pozos de reinyección de aguas de producción y que la perforación de pozos adicionales para inyección sea únicamente cuando sea necesario y ambientalmente justificable.

9.3. MÉXICO

En 2019, la compañía petrolera estatal mexicana, Petróleos Mexicanos (PEMEX) reportó un volumen de producción de petróleo de 1,9 millones de barriles de petróleo por día, lo que anualmente sería una producción aproximada de 700 millones de barriles³². Junto con la producción de hidrocarburos se encuentra la producción de agua congénita o agua de formación, que debe ser separada del crudo para su posterior disposición.

La empresa estatal PEMEX realiza la desalación y deshidratación del crudo, proceso que genera un efluente de agua congénita. La disposición de este

³² British Petroleum, Statistical Review of World Energy 2020, p. 16.

fluido es difícil por los peligros de salificación de los cuerpos receptores (agua o suelo) y por la presencia de compuestos tóxicos, por lo tanto, para prevenir impactos negativos al medio ambiente, se requiere de la implementación de sistemas de tratamiento³³.

Por lo mencionado anteriormente, México cuenta con una amplia normativa para el recurso hídrico. Una de las leyes más importantes en este país es La Ley de Aguas Nacionales en donde se establece que todas las disposiciones de esta Ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo. Estas disposiciones también son aplicables a los bienes nacionales que Ley señala junto con las aguas de zonas marinas mexicanas en tanto a la conservación y control de su calidad, sin menoscabo de la jurisdicción o concesión que las pudiere regir. En el primer artículo se menciona que la Ley de Aguas Nacionales reglamentaria el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales, donde instituye que esta Ley es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

Por otra parte, se encuentran las Normas Oficiales Mexicanas, entre las cuales se encuentran los parámetros de calidad para el vertimiento de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, y las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos.

9.3.1. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Esta norma fue publicada en el Diario Oficial de la Federación y establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Dentro de la norma se establece que el rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades y el número más probable

³³ MIJAYLOVA NACHEVA, Petia, et al. Tratamiento de aguas de la desalación del petróleo para su aprovechamiento en inyección al subsuelo. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2007. p. 1.

(NMP) de coliformes fecales por cada 100ml es de 1000 y 2000 para el promedio mensual y diario, respectivamente.

Las especificaciones de la norma constituyen la concentración máxima permisible de contaminantes básicos para descargas de aguas residuales en ríos, embalses naturales y artificiales, aguas costeras y suelos (ver Cuadros 30, 31, 32, 33).

Cuadro 30. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en ríos en México.

Parámetros	Ríos					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40
Grasas y aceites (mg/L) (2)	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (mg/L) (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables (ml/L)	1	2	1	2	1	2
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	150	200	75	125	40	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	150	200	75	150	30	60

Cuadro 30. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en ríos en México. (Continuación).

Parámetros	Ríos					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Nitrógeno Total (mg/L)	40	60	40	60	15	25
Fosforo Total (mg/L)	20	30	20	30	5	10
Nota: (1) Instantáneo. (2) Muestra simple promedio ponderado. (3) Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006. P.D.= Promedio Diario. P.M.= Promedio Mensual. (A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos.						

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Norma oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT, 1996, México.

Cuadro 31. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en embalses naturales y artificiales en México.

Parámetros	Embalses naturales y artificiales			
	Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	40	40	40	40
Grasas y aceites (mg/L) (2)	15	25	15	25
Materia Flotante (mg/L) (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Cuadro 31. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en embalses naturales y artificiales en México. (Continuación).

Parámetros	Embalses naturales y artificiales			
	Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Sólidos Sedimentables (ml/L)	1	2	1	2
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	75	125	40	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	75	150	30	60
Nitrógeno Total (mg/L)	40	60	15	25
Fosforo Total (mg/L)	20	30	5	10
Nota: (1) Instantáneo. (2) Muestra simple promedio ponderado. (3) Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006. P.D.= Promedio Diario. P.M.= Promedio Mensual. (A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos.				

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Norma oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT, 1996, México.

Cuadro 32.Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en aguas costeras en México.

Parámetros	Aguas Costeras					
	Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	40	40	40	40	40	40
Grasas y aceites (mg/L) (2)	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (mg/L) (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Solidos Sedimentables (ml/L)	1	2	1	2	1	2
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	150	200	75	125	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	150	200	75	150	75	150
Nitrógeno Total (mg/L)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25
Fosforo Total (mg/L)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10

Cuadro 32. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en aguas costeras en México. (Continuación)

Nota:
(1) Instantáneo.
(2) Muestra simple promedio ponderado.
(3) Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006.
P.D.= Promedio Diario.
P.M.= Promedio Mensual.
(A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos.

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Norma oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT, 1996, México.

Cuadro 33. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en suelos en México.

Parámetros	Suelo			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y aceites (mg/L) (2)	15	25	15	25
Materia Flotante (mg/L) (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Solidos Sedimentables (ml/L)	N.A.	N.A.	1	2
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	N.A.	N.A.	75	125

Cuadro 33. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en suelos en México. (Continuación)

Parámetros	Suelo			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total (mg/L)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fosforo Total (mg/L)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Nota: (1) Instantáneo. (2) Muestra simple promedio ponderado. (3) Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006. P.D.= Promedio Diario. P.M.= Promedio Mensual. (A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos.				

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Norma oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT, 1996, México.

Además, en la presente norma también se encuentran especificadas las concentraciones máximas permisibles de metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a ríos, embalses naturales y artificiales, aguas costeras y suelos (ver Cuadros 34, 35, 36 y 37).

Cuadro 34. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros en ríos en México.

Parámetros (mg/L) (*)	Ríos					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2
Cadmio	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2
Cianuro	1,0	3,0	1,0	2,0	1,0	2,0
Cobre	4,0	6,0	4,0	6,0	4,0	6,0
Cromo	1	1,5	0,5	1,0	0,5	1,0
Mercurio	0,01	0,02	0,005	0,01	0,005	0,01
Níquel	2	4	2	4	2	4
Plomo	0,5	1	0,2	0,4	0,2	0,4
Zinc	10	20	10	20	10	20
Nota: (*) Medidos de manera total. P.D.= Promedio Diario. P.M.= Promedio Mensual. (A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos.						

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Norma oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT, 1996, México.

Cuadro 35. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros en embalses naturales y artificiales en México.

Parámetros (mg/L) (*)	Embalses naturales y artificiales			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0,2	0,4	0,1	0,2
Cadmio	0,2	0,4	0,1	0,2
Cianuro	2,0	3,0	1,0	2,0

Cuadro 35. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros en embalses naturales y artificiales en México. (Continuación).

Cobre	4,0	6,0	4	6,0
Cromo	1	1,5	0,5	1,0
Mercurio	0,01	0,02	0,005	0,01
Níquel	2	4	2	4
Plomo	0,5	1	0,2	0,4
Zinc	10	20	10	20
Nota: (*) Medidos de manera total. P.D.= Promedio Diario. P.M.= Promedio Mensual. (A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos.				

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Norma oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT, 1996, México.

Cuadro 36. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros en aguas costeras en México.

Parámetros (mg/L) (*)	Aguas costeras					
	Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2
Cadmio	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2
Cianuro	1,0	1,0	1,0	3,0	1,0	2,0
Cobre	4	6,0	4,0	6,0	4,0	6,0
Cromo	0,5	1,0	1	1,5	0,5	1,0
Mercurio	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02

Cuadro 36. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros en aguas costeras en México. (Continuación).

Níquel	2	4	2	4	2	4
Plomo	0,2	0,4	0,5	1	0,2	0,4
Zinc	10	20	10	20	10	20
Nota: (*) Medidos de manera total. P.D.= Promedio Diario. P.M.= Promedio Mensual. (A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos.						

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Norma oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT, 1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, México, 1997.

Cuadro 37. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros en suelo en México.

Parámetros (mg/L) (*)	Suelo			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0,2	0,4	0,1	0,2
Cadmio	0,05	0,1	0,1	0,2
Cianuro	2,0	3,0	1,0	2,0
Cobre	4	6,0	4,0	6,0
Cromo	0,5	1,0	0,5	1,0
Mercurio	0,005	0,01	0,005	0,01
Níquel	2	4	2	4
Plomo	5	10	0,2	0,4
Zinc	10	20	10	20

Cuadro 37. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros en suelo en México. (Continuación)

Nota:

(*) Medidos de manera total.

P.D.= Promedio Diario.

P.M.= Promedio Mensual.

(A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos.

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Norma oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT, 1996, México.

Por otra parte, La Comisión Nacional del Agua será la encargada de llevar a cabo muestreos y análisis de las descargas de aguas residuales, de manera periódica o aleatoria, con el objetivo de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para los parámetros señalados anteriormente.

9.3.2. Norma Oficial Mexicana NOM-143-SEMARNAT-2003. La Norma Oficial Mexicana NOM-143-SEMARNAT-2003 publicada en el Diario Oficial de la Federación, establece las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos. Se hizo necesaria la elaboración y expedición de esta norma debido a que la producción del agua congénita representa ciertos riesgos ambientales si no se tiene una adecuada disposición. La tendencia mundial coincide en que las opciones óptimas para la disposición del agua congénita asociada a la producción de hidrocarburos es su inyección en formaciones receptoras subterráneas, o su disposición en el mar.

Por lo tanto, el objetivo de esta norma es establecer tanto especificaciones en materia ambiental para el manejo e inyección en formaciones receptoras del agua congénita que se asocia a hidrocarburos como constituir los límites máximos permisibles de los parámetros para su descarga a cuerpos receptores.

Para el manejo del agua congénita, la norma dice que debe ser dispuesta en cuerpos receptores o en formaciones receptoras en el subsuelo y que de presentarse derrames o infiltraciones al suelo durante el manejo del agua congénita debe atenderse a lo dispuesto en la normatividad vigente en materia de restauración de suelos y saneamiento de acuíferos.

Dentro de la norma se establecen los límites máximos permisibles de parámetros para la descarga del agua congénita a un cuerpo receptor, en donde, el límite máximo permisible de hidrocarburos para la descarga de agua congénita en cuerpos receptores de agua dulce es de 15 mg/l, y en aguas costeras y zonas marinas es de 40 mg/l. Además, el límite máximo permisible de sólidos disueltos totales (SDT) para la descarga de agua congénita en cuerpos receptores de agua dulce es de 500 mg/l y en aguas costeras es de 32,000 mg/l, teniendo en cuenta que su descarga debe ser a una distancia que sobrepase los 2 km mar adentro y que en las ocasiones en que las concentraciones de SDT sobrepasen las del cuerpo al que se descarga, su descarga se tiene que efectuar través de difusores que permitan la dispersión y asimilación inmediata.

Por otra parte, los pozos petroleros que se utilicen para la inyección de agua congénita (sean pozos productores de crudo reacondicionados para inyección de agua congénita o no), deben cumplir con lo siguiente:

- No debe existir comunicación entre los acuíferos y los pozos; para ello, la tubería de revestimiento debe ir cementada desde la superficie del suelo hasta la formación receptora.
- Se debe contar con equipos que permitan medir la hermeticidad de los pozos mediante el registro diario de la presión y el flujo de inyección. En caso de pérdida de hermeticidad se debe suspender de inmediato la inyección.
- La formación receptora se debe localizar debajo de un estrato impermeable.

En cuanto a las especificaciones para la inyección de agua congénita, esta sólo podrá realizarse toda vez que en su manejo no se incorporen sustancias diferentes a los desincrustantes, inhibidores de corrosión y secuestrantes de oxígeno, desemulsificantes, biocidas y en general, las sustancias necesarias para proteger el pozo y realizar un manejo seguro de dicha agua congénita. Cuando se le añadan sustancias adicionales al agua congénita a inyectar, ésta debe tratarse para restaurarle sus características previas a la adición de dichas sustancias.

Para el abandono del sitio, los pozos de inyección de agua congénita que ya no se vayan a utilizar para ese u otro fin, deben taponarse como lo establece la NOM-004-CNA-1996 y el abandono del sitio, debe hacerse conforme a la NOM-115-SEMARNAT-2003 o la regulación aplicable para el lugar donde se encuentre el pozo.

Por último, el monitoreo será conforme a lo estipulado en la presente norma, por lo tanto, cuando el agua congénita sea inyectada, se debe contar con bitácoras o registros de presiones y volúmenes inyectados y cuando el agua congénita se descargue a cuerpos receptores, se deben llevar a cabo monitoreos semestrales de las descargas.

9.3.3. Análisis comparativo con respecto a la norma Colombiana. La norma Mexicana clasifica los contaminantes para aguas residuales en dos tipos, contaminantes básicos y contaminantes de metales pesados y cianuros, en donde para cada contaminante se establece el límite máximo permisible dependiendo del cuerpo receptor. Las aguas superficiales se encuentran divididas en ríos, embalses naturales y artificiales y aguas costeras, donde a su vez estas aguas se subdividen dependiendo de su uso. Los ríos se dividen en uso en riego agrícola, uso público urbano y protección de vida acuática, los embalses naturales y artificiales se dividen en uso agrícola y uso público, por último, las aguas costeras se dividen en recreación, estuarios y explotación pesquera, navegación y otros usos.

Por otra parte, se establece que los pozos petroleros que se utilicen para la inyección de agua congénita deben cumplir con lo siguiente:

- No debe existir comunicación entre los acuíferos y los pozos; para ello, la tubería de revestimiento debe ir cementada desde la superficie del suelo hasta la formación receptora.
- Se debe contar con equipos que permitan medir la hermeticidad de los pozos mediante el registro diario de la presión y el flujo de inyección. En caso de pérdida de hermeticidad se debe suspender de inmediato la inyección.
- La formación receptora se debe localizar debajo de un estrato impermeable.

Al finalizar el proyecto de inyección de agua congénita y cuando el pozo y el sitio vayan a abandonarse se debe hacer bajo los parámetros de la NOM-004-CNA-1996 y de la NOM-115-SEMARNAT-2003 respectivamente, o bajo la regulación aplicable para el lugar donde se encuentre el pozo.

9.4. COMPARATIVA DE LÍMITES PERMISIBLES ENTRE COLOMBIA, ECUADOR Y MÉXICO.

En El Cuadro 38 se muestran los parámetros que son analizados en cada país para los vertimientos de aguas residuales asociadas a hidrocarburos, recopilando así los parámetros de la norma Colombiana, Ecuatoriana y Mexicana, sin tener en cuenta la normatividad Estadounidense debido a que allí cada Estado cuenta con sus propias normas para vertimientos lo que hace que exista gran variedad de valores en cuanto a un mismo parámetro dependiendo del Estado en el que se realice el vertimiento.

La normativa Ecuatoriana además de dividir sus fuentes receptoras para realizar vertimientos, en aguas dulces y aguas marinas, también analiza

muchos más parámetros que Colombia a la hora de realizar cualquier vertimiento de aguas residuales asociadas a hidrocarburos.

En la normativa Colombiana, el Bario, los Fluoruros, el Fósforo total, los hidrocarburos totales, el Nitrógeno total y la Plata, son parámetros que no poseen un valor establecido, únicamente se exige que sean analizados y reportados, sin embargo, en Ecuador todos estos parámetros tienen un valor como límite máximo permisible excepto el Nitrógeno total, para el cual ellos poseen una división en Nitritos y Nitratos, Nitrógeno global y Nitrógeno kjeldahl.

Por otra parte, Colombia tiene parámetros como: Aromáticos policíclicos HAP, BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno), compuesto de Fósforo, compuestos de Nitrógeno, compuestos orgánicos halogenados absorbibles AOX, Nitratos N-NO₃, Nitrógeno amoniacal N-NH₃, Ortofosfatos P-PO₄³⁻ y sustancias activas al azul de metileno, en donde se hace un análisis y un reporte de estos, pero en México y en Ecuador la norma de cada uno de ellos no presenta valores ni acciones con respecto a estos parámetros.

A su vez, México y Ecuador tienen parámetros que no se miden en Colombia tales como: Aldehídos, Alkil mercurio, Aluminio, Boro total, Carbamatos totales, Cianuros libres, Cloro activo, Cloroformo, Cobalto, Coliformes, Coliformes fecales, color real, Compuestos fenólicos, Conductividad eléctrica, Cromo hexavalente, Dicloroetileno, estaño, manganeso total, materia flotante, Nitratos + Nitritos, Nitrógeno global (incluye N orgánico, amoniacal y óxidos), Nitrógeno total kjeldahl, Organoclorados totales, Organofosforados totales, Sólidos totales, Sulfitos, Sulfuro de Hidrógeno, Temperatura, Tensoactivos, Tetracloruro de Carbono y Tricloroetileno, sin embargo, es importante resaltar que Colombia mide de otra forma el Nitrógeno.

Cuadro 38. Límites permisibles Colombia, Ecuador y México.

Parámetro	Unidades	COLOMBIA	ECUADOR		MÉXICO					
		Valor máximo permisible	Valor máximo permisible		Valor máximo permisible					
			Agua Dulce	Agua Marina	Ríos			Aguas Costeras		
					Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios
Aceites y grasas	mg/L	15	0,3	0,3	25	25	25	25	25	25
Arsénico	mg/L	0,1	0,1	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2
Cadmio	mg/L	0,1	0,02	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2
Cianuro total	mg/L	1	0,1	0,2	3	2	2	1	3	2
Cloruros	mg/L	1200	1000	-	-	-	-	-	-	-
Cobre	mg/L	1	1	1	6	6	6	6	6	6
Cromo	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	1,5	1	1	1	1,5	1
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	60	100	100	200	150	60	200	150	150
Demanda química de oxígeno	mg/L	180	250	250	-	-	-	-	-	-

Cuadro 38. Límites permisibles Colombia, Ecuador y México. (Continuación)

Parámetro	Unidades	COLOMBIA	ECUADOR		MÉXICO					
		Valor máximo permisible	Valor máximo permisible		Valor máximo permisible					
			Agua Dulce	Agua Marina	Ríos			Aguas Costeras		
					Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios
Fenoles	mg/L	0,2	<0,15	<0,15	-	-	-	-	-	-
Hierro	mg/L	3	10	-	-	-	-	-	-	-
Mercurio	mg/L	0,01	0,005	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Níquel	mg/L	0,5	2	2	4	4	4	4	4	4
pH	Unidades de pH	6 - 9	5 - 9	6 - 9	-	-	-	-	-	-
Plomo	mg/L	0,2	0,2	0,5	1	0,4	0,4	0,4	1	0,4
Selenio	mg/L	0,2	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables SSED	mg/L	1	1	-	2	2	2	2	2	2

Cuadro 38. Límites permisibles Colombia, Ecuador y México. (Continuación)

Parámetro	Unidades	COLOMBIA	ECUADOR		MÉXICO					
		Valor máximo permisible	Valor máximo permisible		Valor máximo permisible					
			Agua Dulce	Agua Marina	Ríos			Aguas Costeras		
					Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios
Sólidos suspendidos totales SST	mg/L	50	100	100	200	125	60	200	125	125
Sulfatos SO ₄ 2	mg/L	300	1000	-	-	-	-	-	-	-
Sulfuros	mg/L	1	0,5	-	-	-	-	-	-	-
Vanadio	mg/L	1	<1	<1	-	-	-	-	-	-
Zinc	mg/L	3	5	10	20	20	20	20	20	20
Aromáticos policíclicos HAP	mg/L	Análisis y reporte			-	-	-	-	-	-
Bario	mg/L	Análisis y reporte	2	5	-	-	-	-	-	-

Cuadro 38. Límites permisibles Colombia, Ecuador y México. (Continuación)

Parámetro	Unidades	COLOMBIA	ECUADOR		MÉXICO					
		Valor máximo permisible	Valor máximo permisible		Valor máximo permisible					
			Agua Dulce	Agua Marina	Ríos			Aguas Costeras		
					Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios
BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno)	mg/L	Análisis y reporte	-	-	-	-	-	-	-	-
Compuesto de fosforo		Análisis y reporte	-	-	-	-	-	-	-	-
Compuestos de nitrógeno	mg/L	Análisis y reporte	-	-	-	-	-	-	-	-
Compuestos orgánicos halogenados absorbibles AOX	mg/L	Análisis y reporte	-	-	-	-	-	-	-	-

Cuadro 38. Límites permisibles Colombia, Ecuador y México. (Continuación)

Parámetro	Unidades	COLOMBIA	ECUADOR		MÉXICO					
		Valor máximo permisible	Valor máximo permisible		Valor máximo permisible					
			Agua Dulce	Agua Marina	Ríos			Aguas Costeras		
					Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios
Fluoruros	mg/L	Análisis y reporte	5	5	-	-	-	-	-	-
Fosforo total	mg/L	Análisis y reporte	10	10	30	30	10	N.A.	N.A.	10
Hidrocarburos totales HTP	mg/L	Análisis y reporte	20	30	-	-	-	-	-	-
Nitratos N-NO3	mg/L	Análisis y reporte	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno amoniacal N-NH3	mg/L	Análisis y reporte	-	-	-	-	-	-	-	-

Cuadro 38. Límites permisibles Colombia, Ecuador y México. (Continuación)

Parámetro	Unidades	COLOMBIA	ECUADOR		MÉXICO					
		Valor máximo permisible	Valor máximo permisible		Valor máximo permisible					
			Agua Dulce	Agua Marina	Ríos			Aguas Costeras		
					Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios
Nitrógeno total	mg/L	Análisis y reporte	-	-	60	60	25	N.A.	N.A.	25
Ortofosfatos P-PO4 3	mg/L	Análisis y reporte	-	-	-	-	-	-	-	-
Plata	mg/L	Análisis y reporte	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-
Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	Análisis y reporte	-	-	-	-	-	-	-	-
Aldehídos	mg/L		2	-	-	-	-	-	-	-
Alkil mercurio	mg/L		No detectable	No detectable	-	-	-	-	-	-

Cuadro 38. Límites permisibles Colombia, Ecuador y México. (Continuación)

Parámetro	Unidades	COLOMBIA	ECUADOR		MÉXICO					
		Valor máximo permisible	Valor máximo permisible		Valor máximo permisible					
			Agua Dulce	Agua Marina	Ríos			Aguas Costeras		
					Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios
Aluminio	mg/L		5	5	-	-	-	-	-	-
Boro total	mg/L		2	-	-	-	-	-	-	-
Carbamatos totales	mg/L			0,25	-	-	-	-	-	-
Cianuros libres	mg/L		<0.05	<0.05	-	-	-	-	-	-
Cloro activo	mg/L		0,5	-	-	-	-	-	-	-
Cloroformo	mg/L		0,1	-	-	-	-	-	-	-
Cobalto	mg/L		0,5	0,5	-	-	-	-	-	-
Coliformes	mg/L		Remoción > al 99.9%	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes fecales	mg/L		-	Remoción > al 99.9%	-	-	-	-	-	-

Cuadro 38. Límites permisibles Colombia, Ecuador y México. (Continuación)

Parámetro	Unidades	COLOMBIA	ECUADOR		MÉXICO					
		Valor máximo permisible	Valor máximo permisible		Valor máximo permisible					
			Agua Dulce	Agua Marina	Ríos			Aguas Costeras		
					Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios
Color real	Unidades de color		Inapreciable en dilución: 1/20	Inapreciable en dilución: 1/20	-	-	-	-	-	-
Compuestos fenólicos	mg/L		0,2	0,2	-	-	-	-	-	-
Conductividad eléctrica	µS/cm		<2000	-	-	-	-	-	-	-
Cromo hexavalente	mg/L		0,5	0,5	-	-	-	-	-	-
Dicloroetileno	mg/L		1	-	-	-	-	-	-	-
Estaño	mg/L		5	-	-	-	-	-	-	-
Manganeso total	mg/L		2	-	-	-	-	-	-	-
Materia flotante	mg/L		Ausencia	Ausencia	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Cuadro 38. Límites permisibles Colombia, Ecuador y México. (Continuación)

Parámetro	Unidades	COLOMBIA	ECUADOR		MÉXICO					
		Valor máximo permisible	Valor máximo permisible		Valor máximo permisible					
			Agua Dulce	Agua Marina	Ríos			Aguas Costeras		
					Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios
Nitratos + nitritos	mg/L		10	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno global (incluye N orgánico, amoniacal y óxidos) (3)	mg/L		<20	<20	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno total kjedahl	mg/L		15	40	-	-	-	-	-	-
Organoclorados totales	mg/L		0,05	0,05	-	-	-	-	-	-
Organofosforados totales	mg/L		0,1	0,1	-	-	-	-	-	-

Cuadro 38. Límites permisibles Colombia, Ecuador y México. (Continuación)

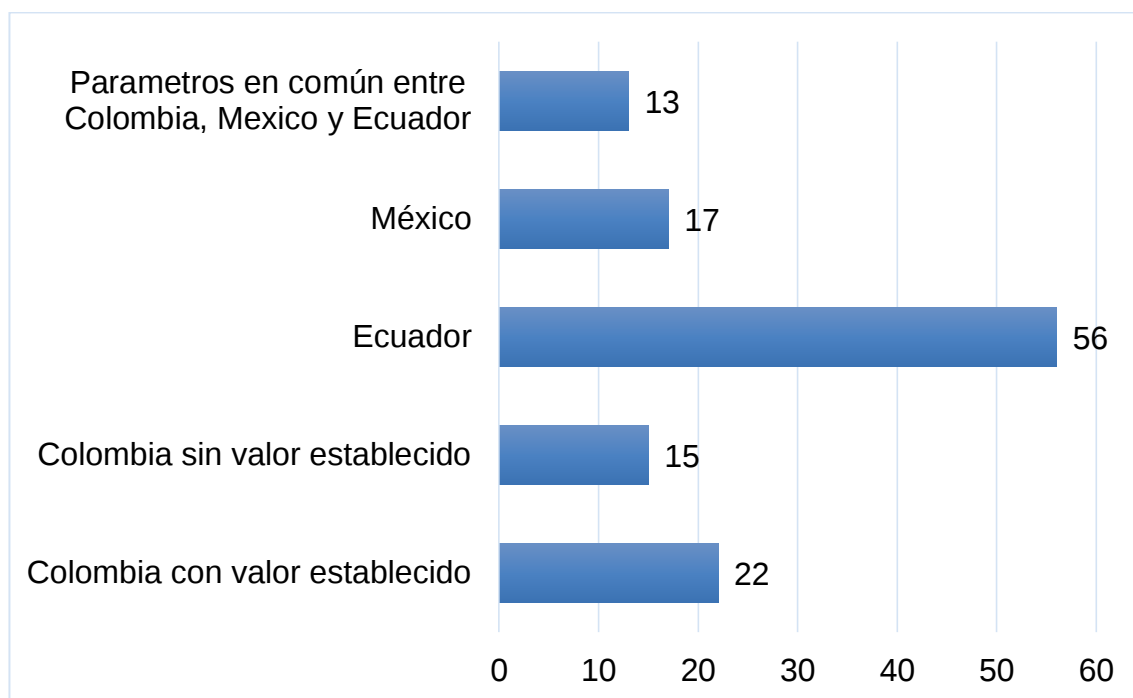
Parámetro	Unidades	COLOMBIA	ECUADOR		MÉXICO					
		Valor máximo permisible	Valor máximo permisible		Valor máximo permisible					
			Agua Dulce	Agua Marina	Ríos			Aguas Costeras		
					Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios
Sólidos totales	mg/L		1600	-	-	-	-	-	-	-
Sulfitos	mg/L		2	-	-	-	-	-	-	-
Sulfuro de hidrógeno	mg/L		<0,0002	<0,0002	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C		<35	<35	N.A.	40	40	40	40	40
Tensoactivos	mg/L		0,5	0,5	-	-	-	-	-	-
Tetracloruro de carbono	mg/L		1	-	-	-	-	-	-	-
Tricloroetileno	mg/L		1	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Colombia cuenta con 37 parámetros establecidos dentro de la normativa de vertimientos, de los cuales 15 no cuentan con un valor como límite máximo permisible, únicamente se analizan y se reportan. A su vez, Ecuador y México poseen 56 y 17 parámetros respectivamente, todos con un valor establecido como máximo límite permisible. México tiene un valor determinado para cada una de las categorías en las que se encuentran divididas las aguas en el territorio mexicano (Ver Grafica 7).

Dentro de los parámetros que son analizados en las normas de cada país, encontramos 13 parámetros en común entre Colombia, Ecuador y México, entre los cuales están: Aceites y grasas, arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo, demanda bioquímica de oxígeno, mercurio, níquel, plomo, solidos sedimentables, solidos suspendidos totales y zinc.

Gráfica 7. Cantidad de parámetros por país.



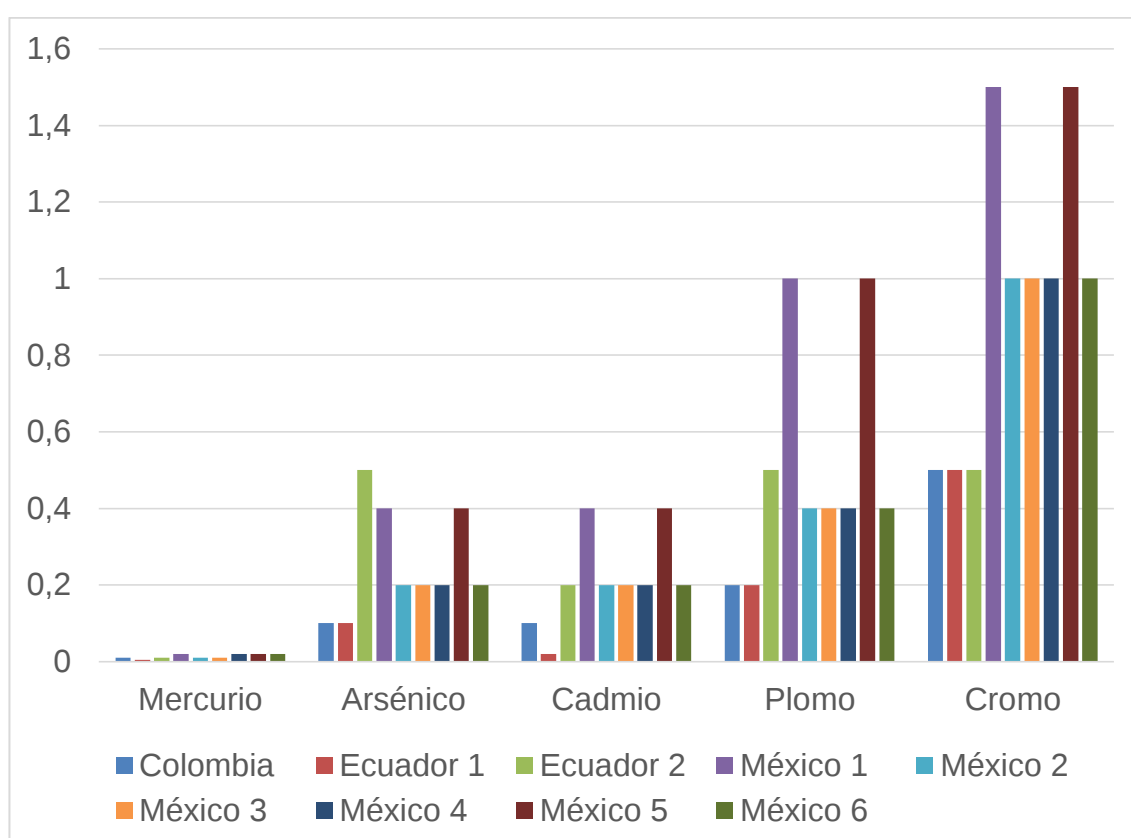
Fuente: Elaboración propia de los autores.

Para las Gráficas 8, 9 y 10, se tiene que:

- Ecuador 1: Agua dulce.
- Ecuador 2: Agua marina.

- México 1: Uso en riego agrícola.
- México 2: Uso público urbano.
- México 3: Protección de vida acuática.
- México 4: Explotación pesquera, navegación y otros usos.
- México 5: Recreación.
- México 6: Estuarios.

Gráfica 8. Comparación de los parámetros: Mercurio, Arsénico, Cadmio, Plomo y Cromo.

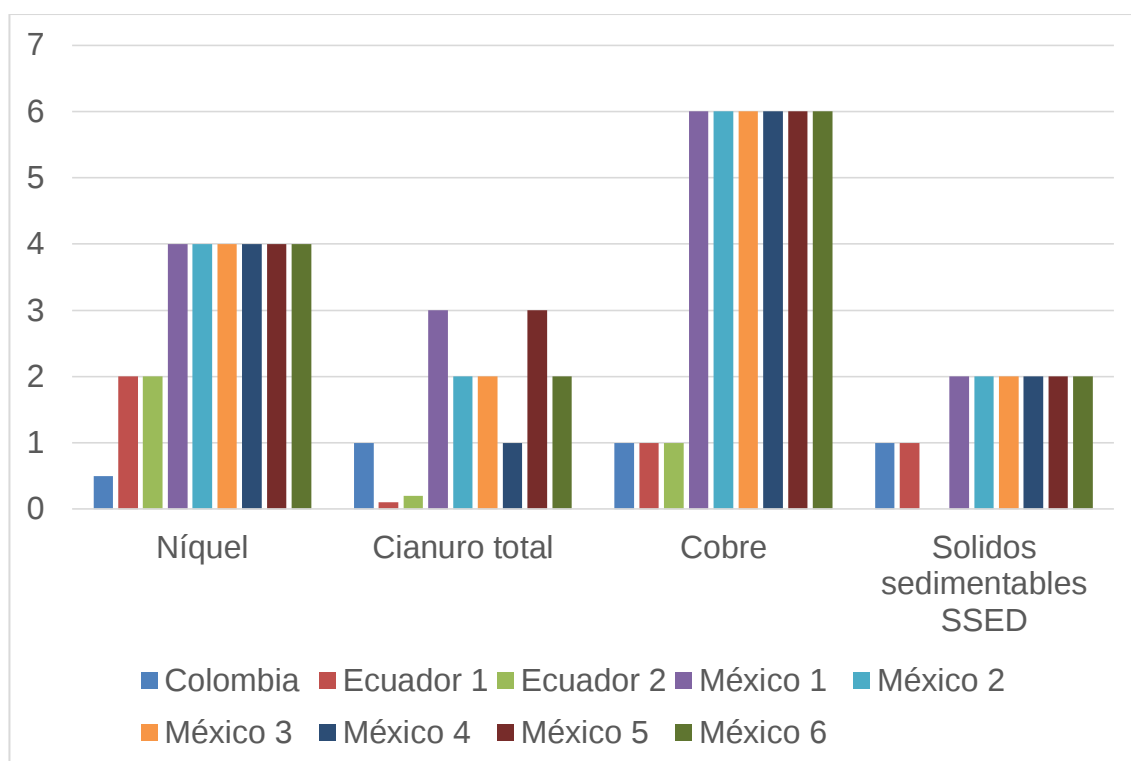


Fuente: Elaboración propia de los autores.

La Gráfica 8, representa la comparación entre los parámetros Mercurio, Arsénico, Cadmio, Plomo y Cromo, en donde, se puede observar que Colombia tiene límites máximos permisibles semejantes a los de Ecuador, a excepción del Cadmio, en donde Colombia tiene un valor de 0,1 mg/L y Ecuador un 0,02 mg/L y un 0,2 mg/L para aguas dulces y para aguas marinas respectivamente. Con respecto a estos 5 parámetros, México cuenta con límites máximos permisibles más altos que los de Colombia.

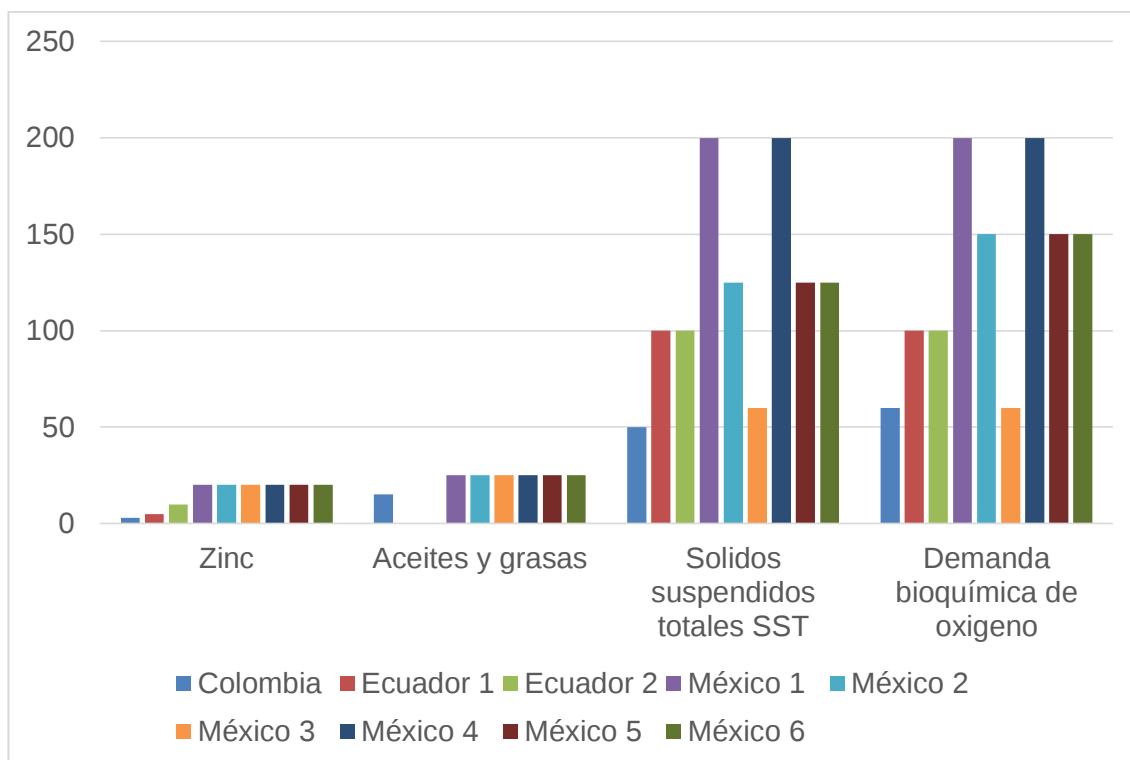
Por otra parte, la Grafica 9 compara los límites máximos permisibles de los parámetros Níquel, Cianuro total, Cobre y Solidos sedimentables, en donde, para solidos sedimentables Ecuador no cuenta con un valor específico para las aguas marinas. En la restricción del cianuro total se presenta una gran variación entre los valores límite, donde Ecuador establece los valores más bajos, en cuanto al Níquel y al Cobre, México tiene los valores límites más elevados de los tres países y el valor más bajo para Níquel se encuentra en la norma Colombiana.

Gráfica 9. Comparación de los parámetros: Níquel, Cianuro total, Cobre y Solidos sedimentables.



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Gráfica 10. Comparación de los compuestos Zinc, Aceites y grasas, Solidos suspendidos totales y Demanda bioquímica de oxígeno.



Por último, la Grafica 10 compara los parámetros Zinc, Aceites y grasas, Solidos suspendidos totales y Demanda bioquímica de oxígeno, en donde se puede observar que Ecuador establece valores muy bajos para el parámetro aceites y grasas, 0,3 mg/L para aguas dulces y aguas marinas, por lo cual se hace casi invisible en la gráfica debido a que Colombia y México tienen valores de 15 mg/L y 25 mg/L respectivamente. Los parámetros de solidos suspendidos totales y Demanda bioquímica de oxígeno presentan valores muy variados entre los tres países y dentro de las categorías de aguas de México y Ecuador. Colombia presenta el valor más bajo de los tres países en el parámetro de Zinc.

10. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MÉTODO DE POZO DISPOSAL

Actualmente existen numerosas formas de eliminar las aguas residuales asociadas a la producción de hidrocarburos, sin embargo, a nivel mundial el uso del método de inyección en pozo disposal es bastante alto. La inyección en pozos disposal ofrece gran variedad de ventajas tanto económicas como ambientales sobre algunos de los otros métodos de disposición de aguas de producción. Un argumento a favor del método de pozo disposal es que, al realizarlo correctamente, no representa una amenaza para las aguas superficiales o subterráneas.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) realizó un estudio de 1989 a 1991 sobre los riesgos para la salud comparando otras tecnologías de eliminación comunes y probadas con pozos disposal que inyectan desechos. La EPA concluyó que la práctica actual de inyección en pozos disposal es segura y eficaz y presenta un riesgo aceptablemente bajo para el medio ambiente. En 2000 y 2001, otros estudios de la Universidad de Miami y la EPA, respectivamente, sugirieron que los pozos de inyección tenían el menor potencial de impacto en la salud humana en comparación con los vertimientos oceánicos y las descargas superficiales³⁴.

A partir de la información recopilada sobre el método de disposición en pozo disposal encontramos las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- Disminución en el volumen de aguas de producción vertidas o dispuestas en otros métodos de disposición, logrando eliminar de esta manera la mayor cantidad de agua residual de forma segura y evitando la contaminación de fuentes hídricas como ríos o cualquier efluente superficial. Frente a la descarga de aguas residuales en corrientes de

³⁴ Magazine WateAdvantage. Wastewater Deep injection Wells for wastewater disposal industries tap a unique resource, 2018.

agua superficiales, el método de pozo disposal ayuda a disminuir el caudal y el volumen en las fuentes de agua receptora y de esta forma no aumentar la posibilidad de inundaciones en zonas rivereñas especialmente en épocas de invierno. A su vez, la disminución en los volúmenes de agua vertidos en ríos disminuye los efectos adversos que se pueden producir al consumir aguas contaminadas, en los seres humanos y la población animal y vegetal que aprovechan estas fuentes hídricas, evitando de esta manera las multas por aumento de los niveles de contaminación y posibles daños a la población.

- Elimina rápidamente grandes volúmenes de agua de producción, debido a que las formaciones en donde se inyecta esta agua previamente tratada cuentan con una gran capacidad de almacenamiento.
- Al tratarse de una eliminación subterránea, esta agua inyectada no entra en el ciclo hidrológico, por lo tanto, no puede contaminar las diferentes zonas por donde se traslade el ciclo del agua procedente de la zona receptora de aguas residuales.
- No tiene limitaciones por requerimiento de área, lo que significa que el tamaño de las instalaciones para la inyección de aguas residuales no es significativamente grande, por lo cual no ocupa un espacio considerable en superficie.
- Este método de disposición es muy usado y aceptado mundialmente, representando una opción ambiental y económicamente viable, como en el caso de Estados Unidos y Colombia en donde representa aproximadamente un 38,0% y un valor superior al 50%, respectivamente, del uso del agua producida asociada a hidrocarburos.
- No requiere de la perforación de pozos adicionales, ya que se pueden reacondicionar los pozos productores secos o en estado de abandono

para que funcionen como pozos inyectores. Esto disminuye la inversión en áreas donde se tienen pozos perforados en forma irregular o donde el espaciamiento de los pozos es muy grande. La transformación de un pozo exploratorio, abandonado o seco para convertirlo en un pozo inyector de agua para disposición representa un costo menos elevado que la perforación y completamiento de un pozo totalmente nuevo para realizar la actividad de disposición.

- Los estudios realizados para la perforación de pozos con fines de exploración o producción sirven totalmente para la evaluación de zonas receptoras de aguas de producción.
- Genera una solución económicamente aceptable, con bajos costos continuos de operación y mantenimiento.

Desventajas

- En caso de que se requiera la construcción de un nuevo pozo para la disposición de agua, esto representaría un costo elevando debido a las operaciones de perforación y completamiento. Adicional a esto se incluirían los costos de los estudios pertinentes para la designación de la zona de perforación que posteriormente será usada para la disposición de agua residual.
- Se deben realizar previamente pruebas de inyektividad, con el fin de determinar las formaciones objetivo para realizar la reinyección y la capacidad de adsorción de dichas formaciones. Esto debe estar acompañado de un riguroso estudio donde se resalten las ubicaciones exactas de las fuentes de agua potable subterráneas y una caracterización de la estratigrafía determinando fallas, fracturas naturales, entre otras para definir los límites de la zona de inyección.

- Presencia de posibles problemas técnicos y operacionales durante el proceso de reinyección debido a una incorrecta práctica esta. En el caso de presentarse problemas técnicos los posibles daños que se pueden generar representan un gran problema ambiental a corto, mediano o largo plazo. La contaminación de una fuente de agua subterránea podría representar el no aprovechamiento de esta fuente a futuro.
- Generación de fracturas por la acción de la inyección al superar la presión de fractura de la formación. Esto puede presentarse debido a la errónea determinación de la ventana de presiones de la formación. Estas fracturas crearían canales de comunicación con fuentes de aguas subterráneas y generarían su contaminación.

En El Cuadro 39 se encuentra un breve resumen de las ventajas y desventajas de emplear el método de pozo disposal como método de disposición final del agua de producción.

Cuadro 39. Ventajas y desventajas del método de disposición en pozo disposal.

Ventajas	Desventajas
Disminución de volúmenes de agua dispuestos en otros métodos de disposición.	Costos por perforación, completamiento y estudios pertinentes para construcción de pozos nuevos.
Eliminación rápida de grandes volúmenes de agua.	Pruebas de inyektividad.
El agua inyectada no entra en el ciclo hidrológico del agua.	Problemas técnicos y operacionales durante la inyección.
Sin limitaciones por requerimiento de área.	Generación de fracturas en la formación receptora.
Método muy usado y aceptado mundialmente.	

Cuadro 39. Ventajas y desventajas del método de disposición en pozo disposal.
(Continuación).

Ventajas	Desventajas
Se puede lograr por medio del reacondicionamiento de pozos si estos cumplen con los requisitos para ser pozos disposal.	
Bajos costos continuos de operación y mantenimiento.	

Fuente: Elaboración propia de los autores.

11. ESTRATEGIAS GENERADAS A PARTIR DE LA REGULACIÓN AMBIENTAL

Partiendo de la investigación realizada para este proyecto en cuanto a métodos de disposición y analizando las normas colombianas, estadounidenses, ecuatorianas y mexicanas podemos plantear que para optimizar la disposición de aguas de producción Colombia puede adoptar ciertas medidas empleadas en otros países.

- Priorizar el reacondicionamiento de pozos para disposición de aguas de producción por inyección.

Así como en Ecuador la ley establece que se debe dar prioridad al reacondicionamiento de pozos y que únicamente se harán perforaciones cuando sea estrictamente necesario y ambientalmente justificable, Colombia debería adoptar esta práctica y anexarla a la normativa colombiana debido a las grandes ventajas no solo económicas sino también ambientales que se pueden obtener con la realización de estas prácticas, todo esto con el fin de que pozos exploratorios, abandonados o secos tengan una nueva función en la disposición de aguas de producción, teniendo en cuenta las condiciones necesarias con las que debe cumplir un pozo para su adecuado reacondicionamiento.

- Creación de un programa de control de inyecciones subterráneas dentro de la normativa Colombiana.

Estados Unidos posee una normativa bastante detallada sobre los requisitos operacionales para los pozos de inyección de fluidos provenientes de la industria petrolera, lo que genera un mayor control de las inyecciones, además de contar con el programa de Control de Inyecciones Subterráneas, en donde se especifican criterios propios de una operación de inyección como lo son:

- Prohibir las inyecciones entre el revestimiento más externo que protege las fuentes subterráneas de agua potable y el pozo.
- Presión de inyección, la cual no debe ser mayor a la presión de fractura de la formación para evitar nuevas fracturas o la propagación de fracturas existentes, de igual forma el operador no debe exceder una presión que provoque el movimiento de fluidos de inyección o de formación a una fuente subterránea de agua.
- Requisitos de construcción de pozos para inyección de aguas producidas y los requerimientos operativos, de seguimientos y de presentación de informes.

Estos criterios deben incluirse dentro de la norma Colombiana con el fin de controlar de una forma más eficiente las inyecciones subterráneas de aguas producidas, evitando caer en errores operacionales que puedan afectar el medio ambiente alrededor del pozo o contaminar alguna fuente subterránea de agua aprovechable en el futuro.

- Nuevos requisitos para solicitar permisos de disposición de aguas por inyección.

Al realizar una comparación entre los requisitos para solicitar permisos para disposición de aguas por inyección entre Estados Unidos y Colombia, se pudo determinar que Colombia cuenta con una lista de requisitos muy completa que abarca todos los escenarios involucrados en la operación de inyección detallando claramente y correlacionando varios requisitos de forma que se evite algún error operacional por falta de información. Sin embargo, Estados Unidos cuenta con ciertos requisitos expresados a continuación, que podrían incluirse dentro de los requisitos existentes en Colombia para la solicitud de permisos.

- Un mapa que muestre el pozo de inyección o el área del proyecto para el que se solicita un permiso y el área de revisión

correspondiente, en donde se debe mostrar el número o nombre y ubicación de todos los pozos productores, pozos de inyección, pozos abandonados, pozos secos y pozos de agua existentes. El mapa también puede mostrar masas de agua superficiales, minas (superficiales y subterráneas), canteras y otras características superficiales pertinentes, incluidas residencias y carreteras, y fallas si se conocen.

- Un informe de datos disponibles de registros públicos de todos los pozos dentro del área de revisión, donde se debe incluir una descripción de cada pozo, tipo, construcción, fecha de perforación, ubicación, profundidad, registro de taponamiento y completamiento, y cualquier información adicional que la entidad encargada de otorgar el permiso pueda requerir.
- Informe con nombre geológico y profundidad hasta el fondo de todas las fuentes subterráneas de agua que puedan verse afectadas por la inyección.
- Pruebas de integridad mecánica del pozo.
- Planes de contingencia para hacer frente a las fallas de los pozos a fin de evitar la migración de fluidos contaminantes a una fuente subterránea de agua.

Por otra parte, además de tener en cuenta estos requisitos junto con los ya existentes en Colombia para solicitar permisos de disposición de aguas por inyección, se propone que todos los requisitos sean incluidos dentro de la normativa para vertimientos, con el fin de dar claridad sobre permisos para la inyección de aguas producidas y que sea de fácil acceso para todas las personas interesadas.

- Nuevos parámetros de límites máximos permisibles para el vertimiento de aguas asociadas a hidrocarburos.

Después de la comparativa de parámetros para vertimientos de aguas asociadas a hidrocarburos entre Colombia, Ecuador y México (ver Cuadro 38), se propone la inclusión de nuevos parámetros de estudio sobre dichas aguas para su posterior disposición, con el objetivo de buscar un mejor control sobre los contaminantes que puedan estar presentes en las aguas vertidas y evitar daños al medio ambiente, a la salud humana y animal de aquellos que se benefician de las mismas fuentes receptoras. Con respecto a estos nuevos parámetros, se deberán realizar estudios para determinar los valores máximos permisibles para vertimientos.

Cuadro 40. Parámetros permisibles para el vertimiento de aguas asociadas a hidrocarburos.

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	mg/L	15	Ortofosfatos P-PO4 3	mg/L	Análisis y reporte
Arsénico	mg/L	0,1	Plata	mg/L	*
Cadmio	mg/L	0,1	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	Análisis y reporte
Cianuro total	mg/L	1	Aldehídos	mg/L	**
Cloruros	mg/L	1200	Alkil mercurio	mg/L	**
Cobre	mg/L	1	Aluminio	mg/L	**
Cromo	mg/L	0,5	Boro total	mg/L	**
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	60	Carbamatos totales	mg/L	**

Cuadro 40. Parámetros permisibles para el vertimiento de aguas asociadas a hidrocarburos. (Continuación).

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda química de oxígeno	mg/L	180	Cianuros libres	mg/L	**
Fenoles	mg/L	0,2	Cloro activo	mg/L	**
Hierro	mg/L	3	Cloroformo	mg/L	**
Mercurio	mg/L	0,01	Cobalto	mg/L	**
Níquel	mg/L	0,5	Coliformes	mg/L	**
pH	Unidades de pH	6 - 9	Coliformes fecales	mg/L	**
Plomo	mg/L	0,2	Color real	Unidades de color	**
Selenio	mg/L	0,2	Compuestos fenólicos	mg/L	**
Sólidos sedimentables SSED	mg/L	1	Conductividad eléctrica	µS/cm	**
Sólidos suspendidos totales SST	mg/L	50	Cromo hexavalente	mg/L	**
Sulfatos SO ₄ 2	mg/L	300	Dicloroetileno	mg/L	**
Sulfuros	mg/L	1	Estaño	mg/L	**
Vanadio	mg/L	1	Manganeso total	mg/L	**

Cuadro 40. Parámetros permisibles para el vertimiento de aguas asociadas a hidrocarburos. (Continuación).

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible
Zinc	mg/L	3	Materia flotante	mg/L	**
Aromáticos policíclicos HAP	mg/L	Análisis y reporte	Nitratos + nitritos	mg/L	**
Bario	mg/L	*	Nitrógeno global (incluye N orgánico, amoniacal y óxidos)	mg/L	**
BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno)	mg/L	Análisis y reporte	Nitrógeno total kjedahl	mg/L	**
Compuesto de fosforo		Análisis y reporte	Organoclorados totales	mg/L	**
Compuestos de nitrógeno	mg/L	Análisis y reporte	Organofosforados totales	mg/L	**
Compuestos orgánicos halogenados absorbibles AOX	mg/L	Análisis y reporte	Solidos totales	mg/L	**
Fluoruros	mg/L	*	Sulfitos	mg/L	**
Fosforo total	mg/L	*	Sulfuro de hidrogeno	mg/L	**

Cuadro 40. Parámetros permisibles para el vertimiento de aguas asociadas a hidrocarburos. (Continuación).

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible
Nitratos N-NO ₃	mg/L	Análisis y reporte	Tensoactivos	mg/L	**
Nitrógeno amoniacal N-NH ₃	mg/L	Análisis y reporte	Tetracloruro de carbono	mg/L	**
Nitrógeno total	mg/L	*	Tricloroetileno	mg/L	**
Hidrocarburos totales HTP	mg/L	*	Temperatura	°C	**

Fuente: Elaboración propia de los autores.

En donde:

(*) Son parámetros analizados y reportados en Colombia, sin valor establecido, por lo tanto, es necesario realizar un estudio para determinar un valor máximo permisible para su vertimiento.

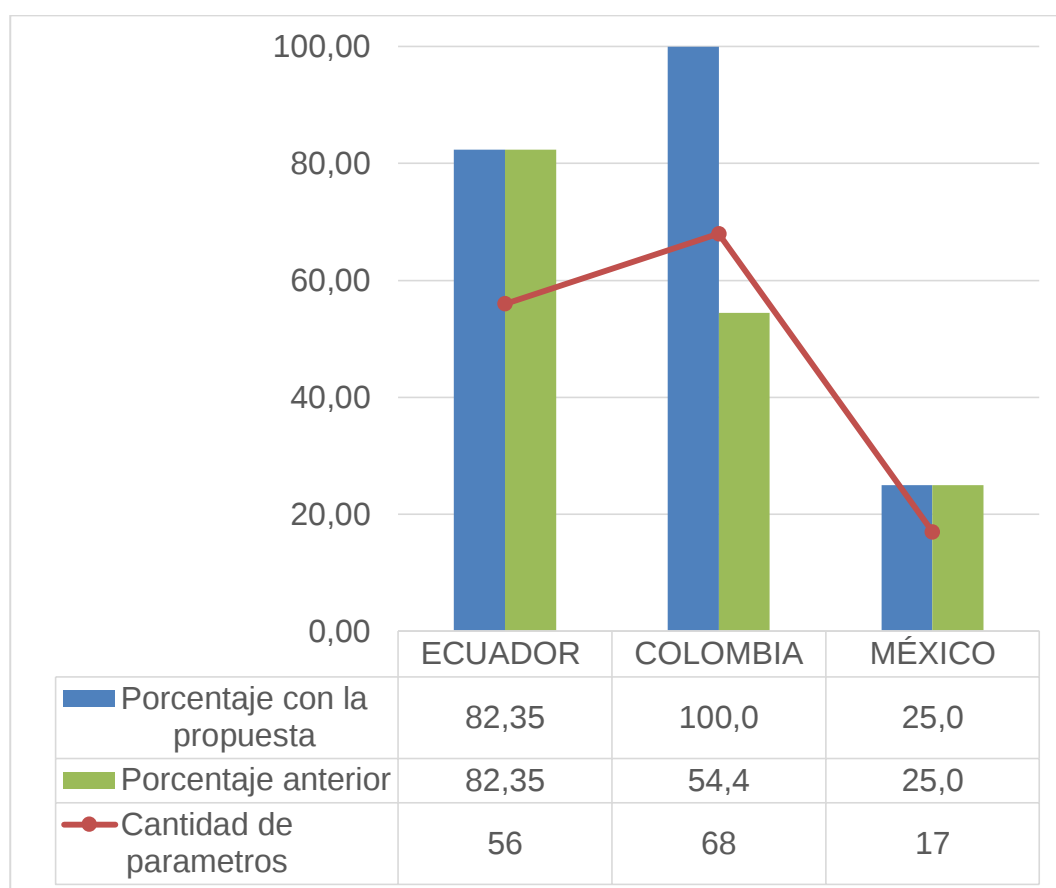
(**) Son parámetros nuevos para incluir dentro de la norma Colombiana, por lo tanto, se debe realizar un estudio para determinar un valor máximo permisible para su vertimiento.

Dichos estudios deberán ser realizados por laboratorios acreditados por el IDEAM, además de ser aprobados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y por el Ministerio de Salud y Protección Social.

Antes de la inclusión de estos nuevos parámetros, en la norma Colombiana estaban incluidos 37 parámetros frente a los 56 parámetros presentes en la norma Ecuatoriana y los 17 de la norma Mexicana. Luego del análisis de los parámetros de los tres países se evidencio que existen 68 parámetros analizables en las aguas residuales, es decir, que antes de la inclusión de

los parámetros sugeridos en este proyecto Colombia analizaba el 54,4% de estos parámetros, por lo tanto, con la implementación de estos nuevos parámetros Colombia analizaría todos los posibles parámetros existentes dentro de las tres normativas. Logrando un mayor control y una mejor calidad del agua producida a ser vertida.

Gráfica 11. Porcentaje total de parámetros analizables.



Fuente: Elaboración propia de los autores.

- Recopilación de normas ambientales Colombianas asociadas a hidrocarburos

Estados Unidos presenta sus leyes de forma organizada por medio de una plataforma virtual mencionada anteriormente como Código Electrónico de Regulaciones Federales (e-CFR), la cual facilita la búsqueda de cualquier tipo de ley ambiental que exista en el territorio Estadounidense. Por este motivo la creación de una página web que recopile la información legal

ambiental asociada hidrocarburos en Colombia, representará una evolución en la presentación de las normas debía a que:

- Facilitará la búsqueda de las normas a todas aquellas personas interesadas en obtener este tipo de información.
- Se encontraría información actualizada sobre todas las normas publicadas por los ministerios, con el fin de evitar consultar artículos derogados.
- Un solo tema quedaría expuesto en una misma sección de la página web y no por medio de diferentes normas distribuidas en diferentes documentos

12.CONCLUSIONES

La normativa Colombiana cuenta con una buena regulación ambiental distribuida en distintos decretos o resoluciones que a su vez manejan varios temas dificultando la búsqueda del tema de interés, sin embargo, todas las actividades relacionadas con los vertimientos se encuentran contempladas en la Ley Colombiana.

La producción de hidrocarburos trae consigo una gran producción de agua residual que actualmente representa un problema ambiental debido al gran volumen de agua y a la cantidad de contaminantes existentes en esta. Por esto, es importante emplear un método de disposición de aguas producidas que sea ambiental y económicamente viable para la comunidad y para las empresas petroleras. A su vez, las condiciones ambientales, operacionales y la producción de crudo y de agua, serán los factores que determinen cuál de los métodos de disposición de agua producida será el más factible para emplear.

El método de disposición de agua producida por inyección o más conocido como método de pozo disposal es mundialmente empleado en la actualidad debido a que representa un muy bajo impacto ambiental ya que los fluidos inyectados no entraran en contacto con zonas de aguas frescas que son consideradas potencialmente aprovechables para el consumo humano, además, el agua producida que es inyectada por el método de pozo disposal, se inyectará en una zona previamente estudiada, en la cual está totalmente descartada una actividad futura para recobro secundario o para reúso en cualquier actividad en superficie.

La implementación de pozos disposal y la obtención de su permiso de operación requieren de un buen estudio que contenga información sobre las características y propiedades de la formación receptora, caracterización completa de la composición de las aguas a inyectar y las fuentes de aguas superficiales y subterráneas cercanas, la caracterización geológica y

estratigráfica, los pozos cercanos a la zona de inyección y los estudios realizados en estos, entre otras.

Para mejorar la disposición de agua en Colombia, es necesario, implementar nuevos aspectos y parámetros o fortalecer las medidas actuales de forma que nos permitan regular de una mejor manera la disposición del agua producida y a su vez la percepción social de las distintas prácticas de disposición de aguas en la industria petrolera.

El daño ambiental que se pueda generar por la inyección de agua para disposición final no está directamente relacionado con el método de pozo disposal sino con los posibles problemas operacionales que se puedan generar al realizar la inyección, entre los cuales se pueden encontrar, la presión de inyección del fluido, compatibilidad entre el fluido inyectado y la formación receptora y calidad del agua inyectada.

13.RECOMENDACIONES

Generar un plan de manejo de normas Colombianas, en donde por medio electrónico se pueda crear un código para la recopilación de información de todos los decretos o resoluciones que tengan en cuenta el mismo tema de interés y se pueda poner a disposición del público en general, con el fin de evitar errores en la manipulación de normas u omisión referente al tema del que se quiere investigar.

Realizar un estudio de los parámetros nuevos propuestos en este proyecto de investigación, para obtener valores específicos de cada uno de ellos de acuerdo a las condiciones ambientales de nuestro país. Esto con el objetivo de mejorar la calidad de las aguas vertidas y evitar la contaminación a fuentes hídricas en general debido a que algunas de ellas pueden ser aprovechables para consumo humano o animal.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Diego, JACOBS, Juan. Diseño conceptual de un sistema de tratamiento de aguas de producción para reinyección en pozo disposal en un campo de la cuenca de los llanos orientales. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado. 2017.

ACP, Informe de Desempeño Ambiental, 2015.

ARPEL, Guía para la disposición y el tratamiento de agua producida.

British Petroleum, Statistical Review of World Energy 2020.

CANOSA, Gustavo, JAIMES, Clara. Efectos asociados a las operaciones de pozos de inyección para disposición de aguas residuales sobre fuentes hídricas subterráneas. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado. 2017.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE Ley N° 99. (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Bogotá, 1993.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto N° 1541. (26, julio, 1978). Por el cual se reglamenta la Parte III del

Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973. Bogotá, 1978.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto N° 1594. (26, junio, 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá, 1984.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto N° 2811. (18, diciembre, 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Bogotá, 1974.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto N° 3930. (25, octubre, 2010). Por lo cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III – Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá, 2010.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución N° 0631. (17, marzo, 2015). Por la cual 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. Bogotá, 2015.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Estudio de impacto ambiental para proyectos de explotación de hidrocarburos HI-TER-1-03. 2010.

ECUADOR. MINISTERIO DE AMBIENTE Y AGUA. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, Ecuador, 2015.

EPA, Criterios de calidad del agua, en línea: <https://www.epa.gov/wqc>

EPA, Introducción a la Ley de Agua Limpia, en línea: <https://cfpub.epa.gov/watertrain/>

GEOINGENIERÍA S.A-PETROMINERALES COLOMBIA LTD. Estudio de Impacto ambiental para la modificación de la licencia 2466 de 2006. Área de perforación exploratoria Casimena. Citado por: MUÑOZ PRADO, Angélica. Evaluación técnica y ambiental de una unidad de evaporación como alternativa de tratamiento de aguas de producción de la fase de explotación de hidrocarburos. Universidad Libre. Especialización en Gerencia Ambiental. 2011.

GRINI, P.G., et al. Choosing Produced Water Treatment Technologies Based on Environmental Impact Reduction. SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Kuala Lumpur, Malaysia, [en línea] 2002. SPE-74002-MS. Disponible en One Petro.

GWPC, U.S. Produced Water Volumes and Management Practices in 2017, 2020.

Luz Marina Sarmiento Villamizar, Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014).

Magazine WateAdvantage. Wastewater Deep injection Wells for wastewater disposal industries tap a unique resource, 2018.

MCCURDY, Rick. Underground injection wells for produced water disposal. 2020.

MIJAYLOVA NACHEVA, Petia, et al. Tratamiento de aguas de la desalación del petróleo para su aprovechamiento en inyección al subsuelo. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2007.

MUÑOZ PRADO, Angélica. Evaluación técnica y ambiental de una unidad de evaporación como alternativa de tratamiento de aguas de producción de la fase de explotación de hidrocarburos. Universidad Libre. Especialización en Gerencia Ambiental. 2011.

ORDOÑEZ, Daniela, ACEVEDO, Norehidy. Desarrollo del esquema ambiental para implementar pozos disposal para agua de producción. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de Grado. 2019.

PARKER, D.H., *et al.* Oil Production and Water Management in Oman, SPE-23322-MS, 1991.

REYES, Fernando. AJAMIL, Cesar. Petróleo, Amazonía y Capital. Ecuador. 2005.

RIAL, A, GONZÁLEZ, A. Reúso del agua de producción de hidrocarburos: reto y oportunidad. Gestión y Ambiente. 2020.

RODRÍGUEZ BECERRA, Manuel. (2004). El Código de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente: el conservacionismo utilitarista y el ambientalismo. Retrieved 1 December 2019, from <http://www.manuelrodriguezbecerra.org/bajar/codigo.pdf>

RUIZ GIRÓN, Luis. Propuesta de mejoramiento para las facilidades de tratamiento del agua de producción y disposición por sistema de inyección para el campo Cabiona. Universidad Industrial de Santander. Especialización en producción de hidrocarburos. 2015.

SÁNCHEZ URIBE, Javier. Tratamiento y disposición final del agua producida en yacimientos petroleros. Universidad Nacional Autónoma de México. Proyecto de grado. 2013.

VILLALOBOS, Camila. (2016). Resumen de la Ley 99 de 1993: Ley General Ambiental de Colombia - Justicia Ambiental. Retrieved 1 December 2019, from <https://justiciaambientalcolombia.org/resumen-de-la-ley-99-ambiental-colombiana/#:~:targetText=A%20trav%C3%A9s%20de%20esta%20norma,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones>.