

# Contaminación de las aguas subterráneas por actividades agrícolas y su regulación en Colombia

---

Lina Maria Cabrales Villalba<sup>1</sup>

## Resumen

La influencia ejercida por las actividades humanas en las fuentes hídricas superficiales no solo causa la contaminación de estas, sino que adicionalmente, se ven implicadas y en proporciones aún no conocidas las aguas subterráneas. En este sentido y en el presente capítulo, se pretende analizar la vulnerabilidad que tiene el agua subterránea al ser contaminada debido a los aportes provenientes de la actividad agrícola en Colombia. Para lograrlo se establecen cuatro categorías conceptuales para su análisis: (1) aguas superficiales y subterráneas, (2) contaminación de las aguas subterráneas, (3) actividades agrícolas, y (4) contaminación de las aguas subterráneas por actividades agrícolas y su regulación en Colombia. En cuanto a las aguas superficiales y subterráneas, se conceptualiza y describe la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación, para definir de una mejor manera los usos del suelo adecuados que no generen contaminación. Igualmente, se analiza la contaminación de las aguas subterráneas como problema ambiental derivado de la materia orgánica en descomposición y por sustancias químicas de origen industrial y agrícola. Así mismo, se realiza un análisis sobre las actividades agrícolas de las cuales deriva el uso extensivo de fertilizantes y pesticidas para obtener campos de cosecha, el uso de estos químicos puede contaminar el agua subterránea, así como el estiércol, la engorda y concentraciones de los residuos animales son otras posibles fuentes de contaminación. Se busca que esta información permita finalmente realizar

---

<sup>1</sup> Administradora de Empresas, Universidad Militar Nueva Granada. Magister en Educación, Universidad Militar Nueva Granada. Actualmente se desempeña como docente del programa de Administración Financiera y de Sistemas de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia.

una apropiada gestión del uso del suelo y del recurso hídrico, así como también describir qué regulaciones existen en Colombia para controlar este problema ambiental.

**Palabras clave:** aguas subterráneas, contaminación, actividades agrícolas, regulación en Colombia.



Aleksandarlittlewolf - Freepik.com. (2023). Ecologist expert taking water samples to examine pollution and contamination of waste water coming out of city sewage to the river [Licencia premium (Uso ilimitado sin obligación de atribuir)]. Recuperado de [https://www.freepik.com/free-vector/ecologist-expert-taking-water-samples-to-examine-pollution-and-contamination-of-waste-water-coming-out-of-city-sewage-to-the-river\\_11138120.htm](https://www.freepik.com/free-vector/ecologist-expert-taking-water-samples-to-examine-pollution-and-contamination-of-waste-water-coming-out-of-city-sewage-to-the-river_11138120.htm)

## ► Introducción

El agua subterránea o freática es fuente vital para el consumo humano y el uso agrícola, sin embargo, es fácil de agotar, ya que se renueva muy lentamente (Lanz, 1997). El agua subterránea compone el 97 % del agua dulce del mundo y es fuente indispensable para consumo doméstico en muchos territorios (Schmoll & World Health Organization., 2006). Así mismo, la contaminación a la cual se ve expuesto este recurso, sumado a la contaminación del suelo, se ha venido identificando como un problema ambiental notable en los últimos años (Schnoor, 1996).

El problema ambiental que afronta un recurso natural tan importante como lo es el agua subterránea, hace necesario apreciar el riesgo que tiene de ser contaminada, para definir claramente las acciones necesarias para proteger su calidad; análisis que debe convertirse en un componente fundamental de las buenas prácticas ambientales (Foster et al., 2004).

En relación con el sector agrícola, el cual se basa en el uso generalizado de fertilizantes y pesticidas para obtener grandes parcelas

de cosecha, el uso de estos químicos puede contaminar el agua subterránea. El estiércol, la engorda y concentraciones de los residuos animales son otras fuentes de contaminación (Bouwer, 1978). Usualmente, estas son aguas a las que no se les realiza ningún tipo de tratamiento ni monitoreo medioambiental, los cuales contengan análisis fisicoquímicos y microbiológicos, por lo que se convierten en fuentes de patógenos que causan enfermedades gastrointestinales en la población consumidora (Vence Márquez et al., 2012).

Por lo anterior y como objetivo del presente artículo, se establece la necesidad de efectuar un análisis descriptivo de la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación derivada del sector agrícola, para definir de una mejor manera los usos de suelo adecuados y la regulación de dicho problema ambiental en Colombia.

## Referente teórico

Considerando la importancia de la contaminación de las aguas subterráneas como problema ambiental, se definen y relacionan las categorías conceptuales ya establecidas para la búsqueda: (1) aguas superficiales y subterráneas, (2) contaminación de las aguas subterráneas, (3) actividades agrícolas y (4) contaminación de las aguas subterráneas por actividades agrícolas y su regulación en Colombia.

### Aguas superficiales y subterráneas

El agua subterránea como fuente principal para el consumo humano y agrícola, quienes hacen uso de este recurso natural, es utilizada para el abastecimiento de agua potable, el cual se agota de manera rápida como consecuencia de su explotación acelerada y renovación lenta. Comparada con las aguas superficiales, las aguas subterráneas cuando se contaminan son de difícil depuración natural, puesto que presentan flujos lentos y bajos niveles de oxígeno, dificultando la biodegradación. Mediante el paso del agua subterránea a través de las distintas capas terrestres se depura de microorganismos patógenos y partículas, que regularmente llegan al acuífero por contaminación derivada por actividades agrícolas como la infiltración de nitratos y otros abonos químicos usados en

la agricultura, así como actividades humanas como las fosas sépticas (Vence et al., 2012).

Una de las características que hace útil el agua subterránea para el consumo humano, es la reducida contaminación a la que está expuesta y su capacidad de filtración del suelo que la hace generalmente más pura que las aguas superficiales. Se estima que más de la mitad de la población mundial depende del agua subterránea como fuente de agua potable, su explotación acelerada ha causado muchos problemas en muchos lugares de la tierra, trayendo consigo problemas de subsistencia (Vélez-Otálvaro, 1999)

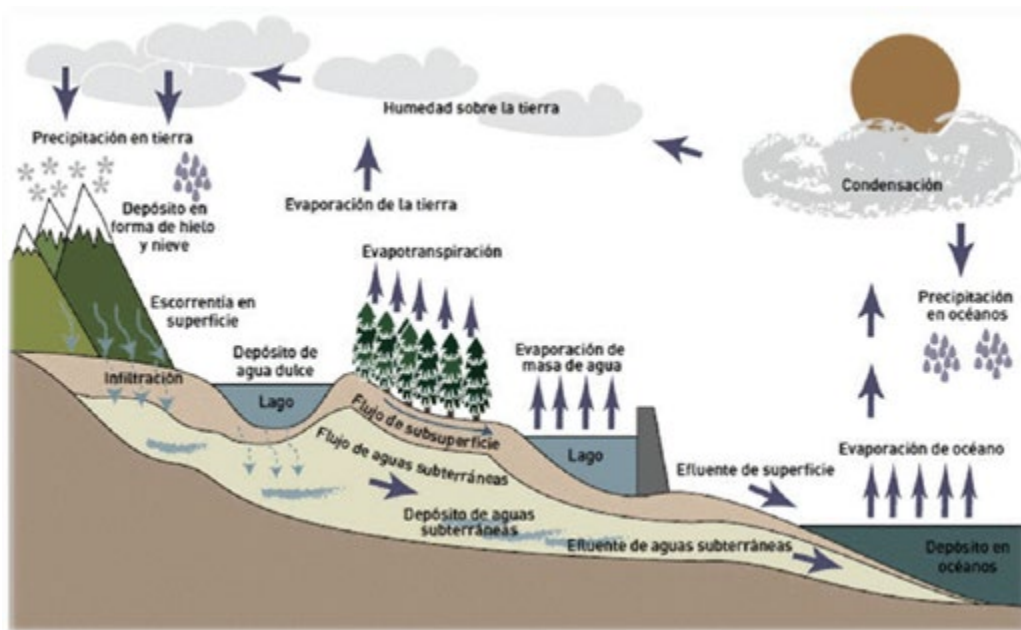
Las aguas subterráneas constituyen un recurso natural de gran importancia para el hombre debido a su abundancia con respecto a las aguas superficiales, la regularidad de los caudales debido a las características de su almacenamiento natural, su protección contra las pérdidas por evaporación y su protección contra la polución superficial a la cual están constantemente sometidas las aguas de ríos y lagos (Vélez, 2011).

A fin de ampliar la información de las aguas superficiales y subterráneas, a continuación, se describe el ciclo hidrológico: el agua encontrada en la atmósfera en forma de vapor se condensa en nubes, las cuales originan las precipitaciones en forma de nieve, granizo o lluvia. Gran parte de las precipitaciones se evapora de nuevo antes de llegar a la superficie del suelo y la otra cae al suelo por la gravedad. De esta última, una parte es interceptada por la vegetación o por otras superficies y posteriormente, se evapora igualmente y la otra entra en contacto directo con el suelo o con cuerpos de agua como lagos, mares, etc. Aquella que cae al suelo puede alimentar la red hidrográfica directamente

(escorrentía superficial), almacenarse en algunas partes de la superficie (almacenamiento superficial) o penetrar en el suelo y subsuelo (infiltración), para de esta manera alimentar las reservas de las capas acuíferas. La energía proveniente del sol evapora parte del agua que está en las superficies libres (lagos, mares, etc.), en la red hidrográfica y en la superficie del suelo. Así mismo, una parte del agua que está en la zona no-saturada del suelo se evapora directamente o se absorbe por las plantas, quienes a su vez la devuelven a la atmósfera

en forma de vapor mediante el mecanismo de transpiración. En cuanto al agua que se ha infiltrado en las zonas más profundas de la corteza terrestre y que alimenta las capas acuíferas, puede alcanzar más profundidad, o pasar a alimentar el flujo de los ríos, o regresar directamente a los mares a causa de la percolación, donde inicia nuevamente el ciclo. En el desarrollo de estos procesos el agua se encuentra en diferentes estados y en distintos almacenamientos (Vélez, 1999), como se puede observar a continuación:

FIGURA 1.  
Ciclo hidrológico



Nota: Tomada de Vélez-Otalvaro (2011)

El abastecimiento de agua potable que utilice aguas subterráneas puede salir más económico que el abastecimiento con aguas superficiales. De esta manera, es necesario

considerar los pros y los contras de las aguas superficiales y subterráneas. Estos se pueden resumir de acuerdo con la siguiente figura (figura 2).

FIGURA 2.  
Comparación entre aguas superficiales y subterráneas (ventajas y desventajas)

SUPERFICIALES	SUBTERRANEAS
Dificultades en encontrar sitios disponibles	Muchos sitios disponibles sin necesidad de ocupar áreas superficiales.
Perdidas altas por evaporación	Prácticamente no hay pérdidas
Pueden fallar subitamente	No hay riesgo de falla
El agua debe ser transportada	Usualmente tienen fallas puras, aunque puede ocurrir contaminación
El agua puede fluir por gravedad	El sistema permite el transporte de agua sin necesidad de tubos y canales
Usos múltiples	El agua debe ser bombeada
Agua poco mineralizada	Usada solo para almacenamiento y transporte
Grandes caudales	El agua puede tener gran porcentaje de minerales
Relativamente fáciles de investigar y manejar	Caudales limitados
	Costosos y difíciles de manejar e investigar
Recarga depende de la precipitación	Recarga depende de la infiltración

Nota: Tomada de Vélez-Otalvaro (2011)

## Contaminación de las aguas subterráneas

En las aguas subterráneas tanto la calidad como la cantidad de este recurso son importantes. Para determinar la contaminación de las aguas es necesario realizar análisis de las características fisicoquímicas (determinación de concentraciones de desechos inorgánicos, pH, temperatura, color, turbiedad, y sabor) y bacteriológicas (establece la presencia de coliformes), estas determinan su uso para el consumo doméstico, industrial y agrícola, cabe aclarar que todos los contaminantes son potencialmente dañinos para la salud humana y usualmente los niveles de tolerancia son reducidos (Vélez-Otalvaro, 2011).

La composición de las aguas subterráneas depende de la meteorización y descomposición de las rocas con las cuales está en contacto, de esta manera, sus estudios geoquímicos pueden mostrar diferencias en la calidad de los diferentes acuíferos, que sirven para establecer el buen uso de este recurso natural. Adicionalmente, existen otros parámetros que pueden determinar la calidad del agua como: (1) las sustancias minerales que se disocian en forma de partículas cargadas eléctricamente, llamadas iones, los más comunes en el agua subterránea son: cationes (calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro) y aniones (bicarbonato, sulfatos,

cloruros, nitratos, flúor, silicatos); (2) la conductividad que se determina por el flujo de electrones de acuerdo a la cantidad de iones presentes en el recurso; (3) los sólidos disueltos totales, que es la concentración total de iones y si su valor es elevado el agua puede presentar problemas en el sabor, olor y sus condiciones estéticas; (4) la dureza, que mide la capacidad del agua de consumir jabón o producir incrustaciones y se relaciona directamente con la alcalinidad y presencia de espuma en el agua (Vélez-Otalvaro, 1999).

Las fuentes de contaminación se determinan por (1) la localización, que puede ser puntual (que presenta contaminación por el escape de un tanque, relleno sanitario o laguna) o difusa (en la cual la contaminación deriva del uso de pesticidas, fertilizantes, herbicidas, etc.), (2) inyección del contaminante que puede ser constante o intermitente, y (3) el tipo de contaminante que puede ser una sustancia radioactiva, sustancias orgánicas e inorgánicas, biológico, metales y nutrientes (Vélez-Otalvaro, 2011).

## Actividades Agrícolas

Los productos agrícolas en Colombia, considerados fundamentales por su aporte a la seguridad alimentaria del país, están representados en la siguiente figura (figura 3), con su rendimiento promedio 1990 - 2013 y qué constituyen la principal producción agrícola del país.

FIGURA 3.  
Rendimiento promedio de los principales productos agrícolas en Colombia 1990 - 2013

RENDIMIENTO	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2013
<b>TRANSITORIOS</b>					
Arroz	4,74	4,98	5,45	5,51	4,83
Hortalizas	14,5	11,02	16,57	15,97	17,34
Maiz	1,53	1,67	2,33	2,7	3,24
Papa	15,58	11,44	15,02	16,76	18,31
Sorgo	2,98	2,99	3,27	3,7	5,43
Soya	1,99	2,24	2,22	2,87	2,77
Trigo	1,9	1,76	1,74	1,85	1,79
<b>PERMANENTES</b>					
Banano de Explotación	34,46	35,07	33,85	36,57	37,54
Cacao	0,46	0,48	0,45	0,41	0,41
Café	0,99	0,83	0,94	0,85	0,65
Caña de Azucar	123,1	107,44	118,27	138,09	130,4
Azucar (crudo)	14,55	13,82	14,54	15,36	13,49
Flores	31,28	32,89	33,08	34,11	42,29
Frutales	16,79	17,35	14,05	13,93	14,59
Palma Africana (aceite crudo)	2,81	3,58	3,91	3,75	3,22
Platano	6,9	6,9	7,51	7,87	0,08
Platano de Exportación	8,14	9,37	8,68	7,51	7,72

Nota: Tomada de Informe de la misión para la transformación del campo. DNP. (2015).



Como se muestra anteriormente, la apertura económica trajo consigo el aumento de la productividad de la tierra cultivada, el arroz, la papa, el banano de exportación, la caña de azúcar, la palma africana y el plátano aumentaron solo marginalmente su productividad, mientras que el trigo, cacao, café, azúcar cruda, frutales y plátano de exportación son menos productivos ahora que al principio de la década de 1990. Los que más aumentaron sus rendimientos fueron el maíz y las flores, también lo hicieron la soya y el sorgo, pero su participación en la producción es actualmente marginal (DNP, 2015).

La alta producción agrícola del país se traduce en el uso masivo de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas), sustancias químicas que son nocivas para el ecosistema tropical de Colombia. A continuación, se conceptualiza y relaciona el uso de estos en la mayoría de las plantaciones anteriormente mencionadas, con la contaminación de las aguas subterráneas.

**Fertilizantes / Abono.** Sustancia orgánica o inorgánica que contiene nutrientes para incrementar el contenido de estos elementos en el suelo, mejorar la calidad a nivel nutricional y mejorar el crecimiento de las plantas que incide en el nivel de productividad de los cultivos. Aportando elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro, zinc, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, cobalto y cloro (Pérez, 2014). Elementos que, gracias a la capacidad de retención del suelo, llegan a la capa freática por infiltración, sufriendo cambios en su calidad debido al entorno geológico del ambiente facilitando el arrastre a las aguas subterráneas (Pacheco y Cabrera, 1996).

**Plaguicidas.** Sustancia química diseñada para ser tóxica ante organismos como maleza (herbicida), hongo (fungicida), nematodo (nematicida) o insecto (insecticida). Potencialmente contaminante de aguas superficiales y subterráneas, entre otros. En cuanto a la estabilidad química de un compuesto, se considera que puede presentar un riesgo potencial para el ambiente, mientras la molécula esté en su forma activa dicho compuesto continuará expresando su acción biológica. El problema de esto radica en que un compuesto, después de su aplicación, no permanece solamente en el sitio objeto de control, sino que empieza a desplazarse a diferentes compartimientos ambientales, por esta razón se han encontrado residuos de plaguicidas con una solubilidad en agua muy baja pero altamente persistente (Alfonso y Toro, 2010).

Cabe aclarar que tanto las plagas como las necesidades nutricionales de cada cultivo son diferentes, y en este orden de ideas, el manejo y mantenimiento, físico, químico y biológico del suelo, tipo de aplicación de abonos, dosis y frecuencia de aplicación, plaga capaz de causar daños en el cultivo, métodos de control, etc. difieren de la plantación del producto agrícola, pero su aplicación en cualquiera de los casos puede causar contaminación y daños en la calidad de las aguas subterráneas por absorción.

### Contaminación de las aguas subterráneas por actividades agrícolas y su Regulación en Colombia

De acuerdo al decreto 3930 de 2010 en Colombia, se creó el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (INDERENA) y se dispuso a las

corporaciones autónomas regionales la función de fijar en el área de su jurisdicción, los límites permisibles de descarga, transporte o depósito de sustancias, productos, compuestos o cualquier otra materia que pueda afectar el ambiente o los recursos naturales renovables y prohibir, restringir o regular la fabricación, distribución, uso, disposición o vertimiento de sustancias causantes de degradación ambiental, que en ningún caso podrán ser menos estrictos que los definidos por el Ministerio de medio Ambiente, en sus funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua y el suelo. Así como también se clasifican las aguas y fija las zonas en las cuales se prohíbe o condiciona la descarga de aguas residuales o residuos industriales urbanos y rurales en las aguas superficiales o subterráneas. En el artículo 40 se dispone que para efectos del control de la contaminación del agua por aplicación de agroquímicos se prohíbe: (1) la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de tres 3 metros, medida desde las orillas de todo cuerpo de agua y (2) la aplicación aérea de agroquímicos dentro de una franja de treinta 30 metros, medida desde las orillas de todo cuerpo de agua como explica Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Decreto 3930, 2010).

En cuanto al uso y manejo de plaguicidas, se dispone en el Decreto Número 1843 de 1991, la reglamentación y medidas para el uso, almacenamiento, manejo, comercialización, clasificación, etiquetado y empaque, transporte, aplicación, etc., tanto para la aplicación aérea como terrestre. Esta pretende cuidar las fuentes de agua, entre otros, para la protección de los recursos naturales y en el cual se establece que los residuos de plaguicidas en productos para consumo humano o animal no deberán sobrepasar los valores de tolerancia establecidos oficialmente.

De esta manera y de acuerdo al decreto 1575 de 2007, el agua potable o agua para consumo humano, es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, reglamentadas en las normas de calidad de agua en Colombia, es apta para consumo humano y relacionan los parámetros de mayor relevancia y control en el monitoreo de la calidad de agua para cumplir con las condiciones y características que permite ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud, según la Resolución 2115 de 2007, de acuerdo a la siguiente figura (figura 4):

FIGURA 4.  
Normas de calidad del agua potable

<b>CARACTERISTICAS FISICAS</b>	<b>VALOR MAXIMO ACEPTABLE</b>
Color aparente	15
Olor y sabor	Aceptable
Turbiedad	2
<b>CARACTERISTICAS QUIMICAS</b>	<b>VALOR MAXIMO ACEPTABLE</b>
Cloro residual	0,3 a 2,0
Ph	6,5 q 9,0
Crbono Organico total	5
Nitritos	0,1
Nitratos	10
Alcalinidad Total	200
Cloruros	250
Aluminio	0,2
Dureza total	300
Hierro total	0,3
Manganeso	0,1
Sulfatos	250
Coliformes totales	0 UFC /100 cm3
Coliformes fecales	0 UFC /100 cm3
Mercurio	0,001
Cianuro libre y disociable	0,05
Caracteristicas Microbiologicas	VALOR MAXIMO ACEPTABLE
Coliformes totales	0
Escherichiacoli	0
Mesofilos	<100

Nota: Tomado de Grupo EPM S.A. Resolución 2115 de 2007.

De acuerdo al decreto 1449 de 1977, se reglamenta que los propietarios de predios rurales deberán: (1) no incorporar a las aguas cualquier tóxico, (2) observar las normas que establezcan el INDERENA y el ICA para proteger la calidad los recursos en cuanto a aplicación de agroquímicos se refieren, (3) no provocar la alteración del flujo natural de las aguas, (4) conservar en buen estado de limpieza los cauces y depósitos de aguas naturales o artificiales que existan en sus predios, controlar los residuos de fertilizantes, con el fin de mantener el flujo normal de las aguas y evitar el crecimiento excesivo de la flora acuática, entre otros.

## ► Conclusiones

Los problemas ambientales actualmente son de atención prioritaria por parte de los gobiernos, por consiguiente, es necesario que las iniciativas desarrolladas desde la estructura gubernamental busquen integrar las políticas públicas en conjunto con las organizaciones y la población en general, en busca del desarrollo sostenible, en miras de mantener la calidad de los recursos naturales y su subsistencia en la actualidad y generaciones futuras.

La aplicación de agroquímicos es un punto crítico al cual no se le da mucha relevancia en la realidad, haciéndose necesario divulgar información clara, coherente y pertinente dirigida a los agricultores quienes aplican estos productos en sus cultivos.

Se debe generar en Colombia más investigación en cuanto a efectos adversos y estimación de riesgos derivados de la contaminación de recursos naturales, que pueda afectar el medio ambiente y

la salud de la población por exposición a compuestos que puedan producir desordenes en el ecosistema al ser humano. Investigar a profundidad en el análisis de riesgos relacionándolo con estudios epidemiológicos que permitan correlacionar causa-efecto. Si para los casos registrados de malformaciones, se determina el nivel de exposición a los plaguicidas comúnmente usados en la zona, en aguas, sedimentos, peces y alimentos, lo cual podría contribuir a clarificar los indicadores de riesgos.

Como gestión social, se deben comunicar los resultados de análisis de riesgos entre el gobierno, la industria, aplicadores y distribuidores de las empresas y personas involucradas en el ciclo de vida de los agroquímicos. En esto radica el éxito de poder elaborar y ejecutar planes a fin de prevenir y minimizar efectos adversos.

Es necesario controlar la dosis y los ciclos de aplicación de los fertilizantes en tierras de uso agrícola, con la finalidad de establecer correlaciones que sirvan para el planteamiento de estrategias administrativas inclinados a reducir los efectos de los nutrientes en la calidad del agua subterránea.

## ► Referencias

- Alfonso, F. y Toro, I. (2010). Riesgo ambiental por el uso de agroquímicos. Recuperado de: <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/19>
- Bouwer, H. (1978). Groundwater hydrology. Phoenix: McGraw-Hill, 1978
- Decreto 1449 de 1977. Por el cual se reglamentan parcialmente el inciso 1 del numeral 5

- del artículo 56 de la Ley 135 de 1961 y el Decreto Ley No. 2811 de 1974 (Junio 27 de 1977) [https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Decretos/dec\\_1449\\_270677.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Decretos/dec_1449_270677.pdf)
- Decreto 1575 de 2007 Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Human (mayo 9 de 2007) <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/decreto-1575-de-2007.pdf>
- Decreto 3930 de 2010. 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 del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones (Octubre 25 de 2010) [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion\\_del\\_agua/Decreto\\_3930\\_octubre\\_de\\_2010.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion_del_agua/Decreto_3930_octubre_de_2010.pdf)
- Decreto Número 1843 de 1991 . Por el cual se reglamentan parcialmente los títulos iii, v,vi, vii y xi de la ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas. (Julio 22 de 1991) <https://www.dssa.gov.co/index.php/descargas/1011-decreto-1843-1991/file>
- Departamento Nacional de Planeación. (2015). Informe de la misión para la transformación del campo. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Agriculturapecuarioforestal%20y%20pesca/El%20CAMPO%20COLOMBIANO%20UN%20CAMINIO%20HACIA%20EL%20BIENESTAR%20Y%20LA%20PAZ%20MTC.pdf>
- EPM S.A. Preguntas frecuentes sobre la calidad del agua en los sistemas operados por aguas regionales EPM S.A E.S.P. Recuperado de: <https://www.grupo-epm.com/site/portals/23/documentos/Boletines/ABC-%20Calidad%20de%20Agua.pdf>
- Foster, S., Garduño, H., Kemper, K., Tuinhof, A., Nanni, M., & Dumars, C. (2004). Groundwater Quality Protection-defining strategy and setting priorities. The World Bank. Briefing Note Series, 8, 1–7. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3249.4168>
- Lanz, K. (1997). El libro del agua. Ed. Greenpace España. Madrid, España :Temas de dibale SA.
- Pacheco, J. y Cabrera, A. (1996). Efecto del uso de fertilizantes en la calidad del agua subterránea en el estado de Yucatán. Recuperado de: [www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/767/725](http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/767/725)
- Perez, J. (2014). Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola. (Tesis Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/39459/1/71782231.2014.pdf>
- Resolución 2115 de 2007 Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (22 de junio de 2007) [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n\\_2115\\_de\\_2007.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n_2115_de_2007.pdf)
- Schmoll, Oliver., & World Health Organization. (2006). Protecting groundwater for health : managing the quality of drinking-water sources. IWA Pub.
- Schnoor, J. L. (1996). Environmental Modeling: Fate and Transport of Pollutants in Water, Air, and Soil . Wiley-Interscience.

Velez- Otalvaro, M. (2011). Hidraulica de aguas subterraneas (3<sup>a</sup> ed). Universidad Nacional-Facultad de Minas: Medellin  
Recuperado de: <https://minas.medicin.unal.edu.co/centro-editorial/libros/hidraulica-de-aguas-subterraneas>

Vélez-Otálvaro, M. (1999). Hidráulica de Aguas Subterraneas (2<sup>a</sup> ed.). Medellín: Universidad Nacional - Medellín

Vence Márquez, L., Rivera González, M., Osorio Bayter, Y., & Castillo Sarabia, A. B. (2012). Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 3(2), 27. <https://doi.org/10.22490/21456453.953>