

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE
CONTAMINANTES EMERGENTES EN FUENTES HÍDRICAS

MARITZA MÉNDEZ ANGARITA
DIANA MARCELA SISSA GÓMEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA

2015

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE
CONTAMINANTES EMERGENTES EN FUENTES HÍDRICAS

MARITZA MÉNDEZ ANGARITA
DIANA MARCELA SISSA GÓMEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Especialista en Ingeniería Ambiental

Director
Ricardo Restrepo
Biólogo Esp. en Química Ambiental

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA

2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios por habernos dado la vida, la salud, por cada una de las capacidades brindadas y por las personas con las que ha rodeado nuestras vidas quienes han realizado un gran aporte en nuestro crecimiento personal y profesional.

A nuestras familias por brindarnos su apoyo constante y regalarnos su amor y consejo en situaciones de alegría y dificultad.

A nuestros maestros y educadores quienes nos aportaron e instruyeron en la academia con el fin de permitirnos lograr nuestras metas y objetivos.

Al Biólogo Ricardo Restrepo por su disponibilidad, apoyo e instrucción durante el desarrollo de este trabajo.

A nuestros amigos y compañeros quienes nos han brindado su compañía y apoyo durante el proceso de formación y fuera de él.

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL



Universidad
Industrial de
Santander

ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA MONOGRAFIA

Título: "ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN FUENTES HÍDRICAS"

Autor: MARITZA MENDEZ ANGARITA
Código: 2148925

Autor: DIANA MARCELA SISSA GÓMEZ
Código: 2148933

Estudiantes de: ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Fecha: Noviembre 06 de 2015

Hora: 5:40 p.m.

Director: 
Prof. RICARDO RESTREPO MANRIQUE

Evaluador: 
Prof. CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA

Concepto: APROBADO NO APROBADO


CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA
Coordinador, Especialización en Ingeniería Ambiental





ENTREGA DE TRABAJOS DE GRADO, TRABAJOS DE INVESTIGACION O TESIS Y AUTORIZACIÓN DE SU USO A FAVOR DE LA UIS

Yo, Maritza Méndez Angarita, mayor de edad, vecino de Bucaramanga, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 1098640307 de Bucaramanga, actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de grado denominado:

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN FUENTES HÍDRICAS,

hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD o DVD) y autorizo a LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento. PARÁGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, uso en red, Internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR – ESTUDIANTE, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad sobre la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL AUTOR / ESTUDIANTE, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Bucaramanga, a los 10 días del mes de Noviembre de Dos MilQuince 2015.

EL AUTOR /ESTUDIANTE:

Maritza Méndez Angarita
C.C. 1098640307 de Bucaramanga



ENTREGA DE TRABAJOS DE GRADO, TRABAJOS DE INVESTIGACION O TESIS Y AUTORIZACIÓN DE SU USO A FAVOR DE LA UIS

Yo, Diana Marcela Sissa Gómez, mayor de edad, vecino de Bucaramanga, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 1098635010 de Bucaramanga, actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de grado, del trabajo de investigación, o de la tesis denominada(o):

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN FUENTES HÍDRICAS,

hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD o DVD) y autorizo a LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento. PARÁGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, uso en red, Internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR – ESTUDIANTE, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad sobre la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL AUTOR / ESTUDIANTE, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Bucaramanga, a los 10 días del mes de Noviembre de Dos Mil Quince 2015.

EL AUTOR / ESTUDIANTE:


DIANA MARCELASSISA GÓMEZ

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO.....	17
2. TIPOS DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN EL AGUA	20
2.1. Productos farmacéuticos.....	20
2.2. Pesticidas y plaguicidas	22
2.3. Drogas ilícitas.....	24
2.4. Productos de cuidado personal.....	24
2.5. Surfactantes	27
2.6. Retardantes de llama	27
3. TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES.....	29
3.1. Tratamientos fisicoquímicos.....	29
3.2. Procesos biológicos	30
3.3. Procesos avanzados.....	31
4. MARCO LEGAL	33
5. FOCOS DE CONTAMINACIÓN	42
6. METODOLOGÍA.....	44
6.1. Identificación	44
6.2. Monitoreo	45
6.3. Sistemas de tratamiento	45
CONCLUSIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Listado de contaminantes detectados en aguas subterráneas y de riego, divididos en las clases: fármacos, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), pesticidas, contaminantes orgánicos volátiles (COV) y retardantes de llama.	19
Tabla 2. Compuestos plaguicidas listados en el censo Europeo de Disruptores Endocrinos.....	23
Tabla 3. Metabolitos de productos de cuidado personal	25
Tabla 4. Puntaje del Riesgo	34
Tabla 5. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse	35
Tabla 6. Parámetros químicos de seguimiento Europeo que no se tienen en cuenta en la normatividad Colombiana.....	36
Tabla 7. Parámetros indicadores de seguimiento Europeo que no se tienen en cuenta en la normatividad Colombiana.....	37
Tabla 8. Parámetros microbiológicos de seguimiento Europeo que no se tienen en cuenta en la normatividad Colombiana.....	37
Tabla 9. Categorías y descriptores de presión por subzona hidrográfica, clasificados de acuerdo con los percentiles asignados al cociente carga (ton/año)/oferta total (MMC).....	38
Tabla 10. Vertimientos realizados en el 2012 por los sectores industrial, cafetero y doméstico.	39
Tabla 11. Vertimientos realizados en el 2012 por uso de mercurio en minería, uso de agroquímicos en cultivos de coca y en el sector agrícola.	39
Tabla 12. Legislación de la Unión Europea del agua	40
Tabla 13. Descriptores para presentar el aplicativo del ICA.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del agua.	18
Figura 2. Información de Ecotoxicidad EC50 ($n \geq 5$) reportados de un mínimo de tres diferentes tipos de especies con cajas mostrando rango y media intercuartil y bigotes mostrando el rango; los valores atípicos son también mostrados.	21
Figura 3. Orígenes y destino de los Productos de cuidado personal en el ambiente.	25
Figura 4. Transformación del diazepam durante el tratamiento de lodos activados.	31
Figura 5. Cargas contaminantes potencialmente vertidas a los sistemas hídricos (t/año) 2012.....	43
Figura 6. Esquema general de un sistema de tratamiento de agua residual.	45
Figura 7. Esquema general de un sistema de potabilización de agua.	46

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE LAS METODOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN FUENTES HÍDRICAS

AUTORES: MARITZA MÉNDEZ ANGARITA, DIANA MARCELA SISSA GOMEZ

PALABRAS CLAVES: Contaminantes emergentes, CEs, sistemas de tratamiento de agua, procesos de oxidación avanzada.

El desarrollo industrial y tecnológico han hecho más fácil la vida del hombre. No obstante, es importante reconocer que ese desarrollo ha traído consigo la síntesis de sustancias químicas fuentes de contaminación de diversos ecosistemas, adicionalmente muchas de ellas han dado origen a los denominados contaminantes emergentes (CEs), los cuales han generado una creciente preocupación debido a sus potenciales efectos en el ambiente y la salud humana.

Los CEs son compuestos de distinto origen y naturaleza química cuya presencia en el ambiente o las posibles consecuencias al mismo no se consideran significativas en términos de distribución y/o concentración. Este tipo de compuestos no necesitan estar constantemente en el ambiente para causar afectación, puesto que sus altas tasas de transformación/remoción se pueden compensar por su introducción continua en el ambiente. Estos contaminantes pueden ser clasificados según su origen en productos farmacéuticos, pesticidas, drogas ilícitas, productos de cuidado personal, surfactantes y retardantes de llama [16].

Estos compuestos y sus metabolitos se han encontrado en aguas superficiales y subterráneas en donde estudios han evidenciado que en su gran mayoría no son removidos y/o eliminados por los sistemas de tratamiento de agua convencionales, esto ha llevado al estudio de nuevas alternativas de tratamiento como los procesos de oxidación avanzada (POA) y procesos membranarios.

En Colombia el uso y disposición de los compuestos precursores de los CEs aún no han sido estudiados, por tanto no son contemplados en la legislación como parámetros a regular en fuentes hídricas. Sin embargo, teniendo en cuenta estudios realizados en otros países, se plantea la necesidad de complementar los sistemas de tratamiento de agua convencionales con tratamientos como los Procesos de Oxidación Avanzada (POA) que presenta alta eficiencia en la remoción de diversos CEs y comparado con otros tratamientos genera baja cantidad de residuos adicionales aportados al ambiente.

*Trabajo de grado

**Facultad de ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental.

Director trabajo de grado Ricardo Restrepo

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF EMERGING CONTAMINANTS TREATMENT METHODOLOGIES ON WATER SOURCES.

AUTHORS: MARITZA MÉNDEZ ANGARITA, DIANA MARCELA SISSA GOMEZ

KEY WORDS: Emerging contaminants, ECs, water treatment systems, advanced oxidation processes.

Over time, industrial and technological development has made life easier for humanity. Nevertheless it's important to recognize that this development has led to the synthesis of chemicals which have been sources of pollution of several ecosystems. On the other hand, many of them have risen to so-called emerging contaminants (ECs), which have generated a growing concern due to their potential environmental and human health effects.

The ECs are compounds of different origins and chemical natures present in the environment, their possible consequences aren't considered significant in terms of distribution and / or concentration, this is why they have passed undetected. These compounds don't need to be constantly in the environment to cause its affectation; given their high rates of transformation / removal can be compensated for their continued introduction into the environment. They can be classified according to their origin in pharmaceuticals, pesticides, illicit drugs, personal care products, surfactants and flame retardants [16].

In some studies, ECs and their metabolites found in surface and groundwater have shown that the vast majority of them aren't removed and / or eliminated by conventional treatment systems. This has led to the study of new treatment alternatives such as advanced oxidation (AOP) and membranous processes.

In Colombia the use and disposition of precursor compounds of ECs hasn't been studied, they are not included in the legislation as to parameters to regulate in the different water sources. However, considering studies conducted in other countries, it is proposed the need to complement conventional systems of water treatment with treatments such as AOP which have a high efficiency in the removal of several CEs and compared with other treatments produces low amount of additional waste delivered to the environment.

*Degree Project

**Physical-Chemical school of Engineering. Environmental engineering specialization
Director degree project Ricardo Restrepo

INTRODUCCIÓN

Desde mediados del siglo XX la población mundial ha aumentado de manera exponencial, de tal forma que en los últimos años su crecimiento ha sido tal a como lo había hecho en toda la historia [3]. Con ese crecimiento exponencial la demanda de alimentos y energía será mucho mayor, recursos naturales como el agua disminuirán y la afectación del cambio climático será cada vez más significativo sobre la eficiencia de procesos vitales como la agricultura.

Ante la necesidad de conservación del recurso hídrico como factor limitante en el desarrollo social y económico de la humanidad y, teniendo en cuenta el deterioro que le han generado las diferentes actividades económicas, tras el desarrollo de una sociedad cada vez más consumista de artículos de vida útil corta y de características más contaminantes, diversas comunidades científicas alrededor del mundo han aunado esfuerzos en pro de la conservación de este medio transversal en la vida de seres y organismos vivientes. Tras la preocupación de las comunidades científicas, el aumento de enfermedades en humanos y cambios en el comportamiento animal, es notoria la necesidad de profundizar en el estudio de la fuente causante de muchos de estos cambios, el agua.

El ciclo del agua define el recurso como inagotable pero el aumento de su contaminación es incalculable debido a la cantidad de contaminantes dispuestos a diario en actividades domésticas, industriales, agropecuarias y recreativas; por consiguiente, la dificultad de su tratamiento es cada vez mayor y costoso y el acceso al recurso más difícil.

Adicional a los contaminantes conocidos, regulados y en muchos casos tratados, existe un número incalculable de contaminantes dispuestos a diario de los que se desconocen consecuencias ambientales y, por consiguiente consecuencias en la humanidad; dentro de este grupo se encuentran los contaminantes emergentes, que son una serie de compuestos y sus transformaciones vertidos directa o indirectamente a fuentes hídricas, que no han sido completamente estudiados y entendidos en cuanto a ocurrencias, peligros y efectos y de los cuales en algunos casos se conocen afectaciones severas en diversos ecosistemas, a diferencia de otros en los que sólo son sospechadas sus consecuencias.

Los contaminantes emergentes (CEs) incluyen diversos tipos de compuestos de uso común como fármacos, pesticidas, drogas ilícitas y cuidado personal en los que en algunos casos son productos recientemente sintetizados y en otros que se

han encontrado durante un tiempo largo de la historia pero que hasta ahora se están detectando sus impactos. El uso, disposición y posterior consumo a través de los sistemas de tratamiento de agua potable de los CEs aún no ha sido estudiado en Colombia y por consiguiente su contemplación en la legislación es nula. En este documento se pondrán a consideración este tipo de compuestos, se realizará un bosquejo de sus principales fuentes de generación y las formas de disposición, se identificarán los principales focos de contaminación, estudios y métodos de seguimiento en Colombia y legislación regulativa y, por último se estudiarán los principales métodos de caracterización y tratamiento existentes.

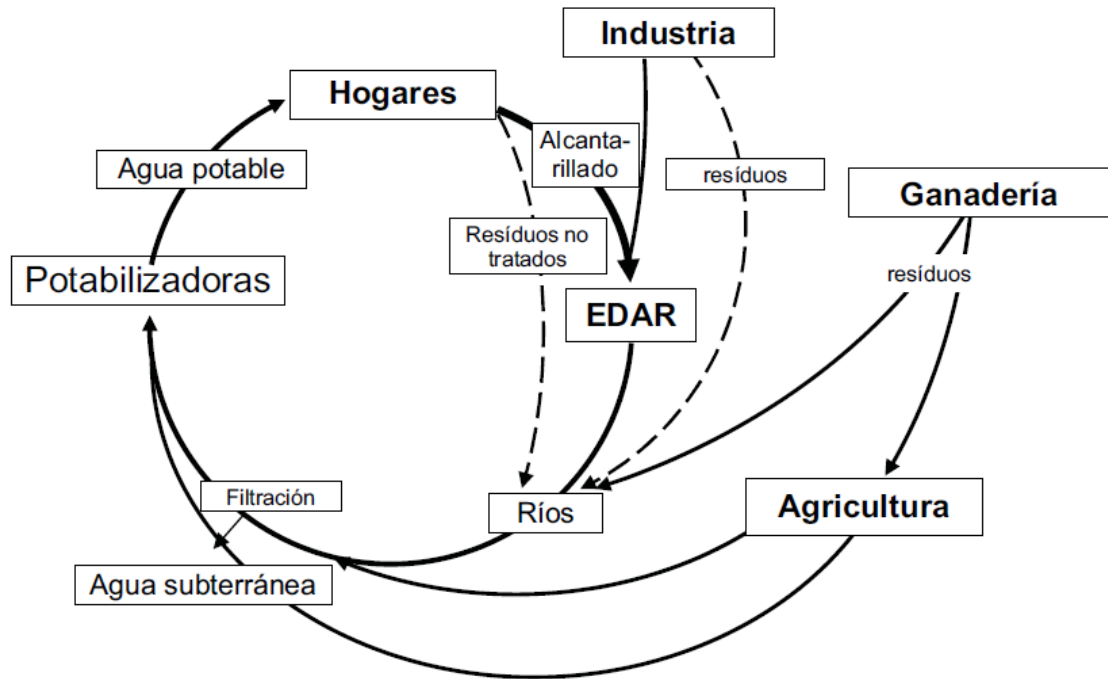
1. MARCO TEÓRICO

El agua considerada como un recurso natural indispensable para las diferentes formas de vida del planeta, está siendo afectada en gran medida por la actividad antropogénica que con el desarrollo industrial y tecnológico la ha tomado como medio de eliminación de diferentes residuos. Durante años los cauces hídricos han sido receptores de sustancias químicas que son biológicamente activas, producto de diferentes actividades industriales que han deteriorado la calidad del recurso sumándose este factor al ya existente de la escasez.

Si bien es cierto que el desarrollo industrial y tecnológico ha hecho más fácil la vida del hombre mejorando su calidad, no se debe desconocer que ese desarrollo ha traído consigo la síntesis de sustancias químicas que generan más contaminación. Debido a esto han surgido los denominados contaminantes emergentes, compuestos de distinto origen y naturaleza química cuya presencia en el medio ambiente o las posibles consecuencias al mismo no se consideran significativas en términos de distribución y/o concentración, por lo que han pasado en gran medida inadvertidos; adicionalmente, no necesitan estar constantemente en el ambiente para causar afectación, puesto que sus altas tasas de transformación/remoción se pueden compensar por su introducción continua en el ambiente y, por otra parte representan un riesgo potencial para los seres humanos y los sistemas ecológicos incluyendo alteraciones endocrinas y neurotoxicidad [9, 16].

Los contaminantes emergentes son producto de compuestos químicos, productos farmacéuticos, de cuidado personal, aditivos industriales, surfactantes, plaguicidas, plastificantes y agentes tensoactivos [14,16]. En su mayoría son contaminantes no regulados, por tanto se desconoce la incidencia, la contribución de riesgo y los datos toxicológicos; de esta forma, es difícil predecir las afectaciones al medio ambiente y la salud humana [34]. Se considera que estos contaminantes llegan a los diferentes ecosistemas producto del ciclo del agua y de la deficiencia que se tiene actualmente en los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas e incluso en los sistemas de potabilización. En la figura 1 se puede observar cómo el aporte realizado por las diferentes actividades industriales y económicas se realiza principalmente por las aguas residuales, las cuales afectan tanto a las aguas superficiales (ríos, lagos, etc.) como a las aguas subterráneas.

Figura 1. Ciclo del agua.



Fuente: Damia, L y López, M. [9].

*EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales.

Estudios realizados en una red de control de aguas subterráneas y de riego en gran canaria, evidenciaron la presencia de contaminantes emergentes provenientes de fármacos, pesticidas, retardantes de llama, entre otros. (tabla 1) [11].

Tabla 1.Listado de contaminantes detectados en aguas subterráneas y de riego, divididos en las clases: fármacos, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), pesticidas, contaminantes orgánicos volátiles (COV) y retardantes de llama.

FÁRMACOS		PESTICIDAS
Ácido Flufenámico ^x	Ketoprofeno	Oxifluorfen
Ácido Mefenámico	Lincomicina	4,4'-DDE
Antipirina	MDMA	4,4'-DDT
Atenolol	Mebendazol	Alfa-Endosulfán
Benzoilecgonina	Metadona	Atrazina
Bezafibrato	Metformina	Clorfenvinfos (A+B)
Cafeína	Miconazol	Clorfenvinfos A
Cannabidiol	Morfina	Clorfenvinfos B
Carbamazepina	Nicotina*	Clorpirifos etil*
Cimetidina	Nifuroxazida*	Diazinón
Cis-Diltiazem	Ofloxacina	Diurón
Claritromicina	Oxacilina	Gamma-HCH
Cloruro de benzalconio**x	Paracetamol	Hexaclorobenceno
Codeína	Propifenazona	Hexaclorobutadieno
Danofloxacín	Propranolol	Isoproturón
Difenidramina	Ranitidina	Metoxicloro
EDDP	Sulfadimetoxina	Pentaclorobenceno
Efedrina	Sulfametizol	Procimidona
Eritromicina ^x	Sulfametoxazol	Propazina
Estrona	Sulfapiridina	Simazina
Etilanfetamina	Teobromina**x	Terbutilazina
Fenilefrina	Teofillina	Terbutrina
Gemfibrozilo	Trimetoprima	Trifuralín
Ibuprofeno	Verde malaquita	
HAP		R. DE LLAMA
Acenaftileno	Criseno	TEP
Benzo(a)antraceno	Dibenzo(a,h)ant raceno	Tributil fosfato
Benzo(a)pireno	Fenant reno	COV
Benzo(b)fluoranteno	Fluoreno	124 TCB
Benzo(g,h,i)perileno	Indeno(1,2,3-cd)pireno	135 TCB
Benzo(k)fluoranteno	Pireno	

Fuente: Estévez, E. et al. [11]

*Detectados al menos una vez en agua subterránea a una concentración superior a 0,1 µg/L.

x: Detectados al menos una vez en agua de riego a una concentración superior a 0,1 µg/L.

2. TIPOS DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN EL AGUA

2.1. Productos farmacéuticos

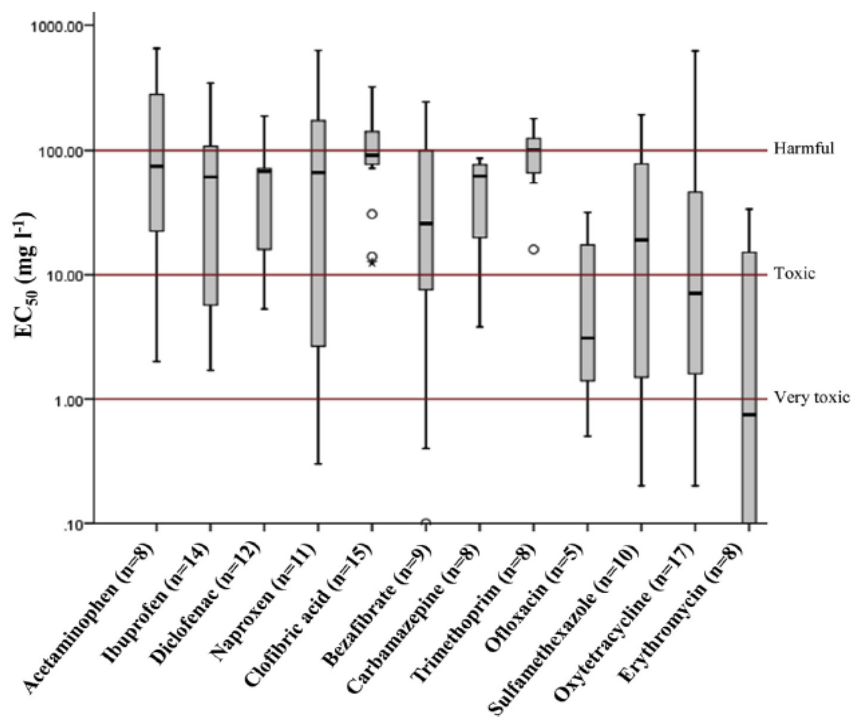
El estudio de este tipo de contaminantes es de particular interés para la comunidad científica debido a la presencia de concentraciones de diferentes medicamentos en los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento, su presencia en aguas superficiales, aguas subterráneas e incluso en agua potable. Lo anterior, debido al uso excesivo de algunos medicamentos que son excretados a través de la orina y heces por transformaciones incompletas del hígado, vertimientos de la industria farmacéutica, residuos hospitalarios, disposición inadecuada de compuestos vencidos o inutilizados y vertidos inadecuados en procesos de manufactura. La presencia de estas sustancias en los diferentes cuerpos de agua puede afectar el ecosistema y la salud humana a través de la ingesta de agua y la cadena trófica [14, 34].

En los años 70 Estados Unidos evidenció por primera vez la presencia de fármacos en aguas residuales, pero hasta los años 90 se despertó el interés por estudiar este fenómeno [9]. A nivel mundial los fármacos más usados son analgésicos, antihipertensivos y antibióticos de los cuales su presencia o sus metabolitos pueden generar afectaciones en el medio ambiente, como es el caso de los antibióticos en los que se plantea que su presencia en el ecosistema está generando que los microorganismos patógenos aumenten la resistencia a la actividad biocida del medicamento [34]. Los principales medicamentos encontrados en aguas superficiales son analgésicos antiinflamatorios no esteroides (AINES), agentes bloqueadores beta-adrenérgicos (utilizados en el tratamiento de arritmias cardíacas e hipertensión), antidepresivos, antiepilépticos y anticonceptivos [29]; generados por eliminaciones incompletas (Cerca del 40 % aproximadamente [24]) en las PTAR debido a las diferentes propiedades fisicoquímicas que presentan, su incorporación en matrices complejas que garantizan su estabilidad y preservan su actividad biológica y bajos porcentajes de sensibilidad al ataque biológico [22].

Los análisis de ecotoxicidad realizados a partir del microcrustáceo *Daphnia Magna* calculan la EC_{50} a partir de su movilidad, generando una clasificación como nocivos (10 a 100 mg/L), tóxicos (1 a 10 mg/L) y muy tóxicos (<1mg/L) para organismos acuáticos [8]. En la figura 2 se encuentra la Ecotoxicidad para algunos medicamentos clasificando a medicamentos analgésicos y antiinflamatorios como el acetaminofén, ibuprofeno, diclofenaco, naproxeno,

reguladores de lípidos como el bezafibrato, el metabolito ácido clofíbrico, la carbamazepina y la timetropima como nocivos; mientras que antibióticos como la ofloxacina, el sulfametoxazol, la oxitetraciclina y la eritromicina son clasificados dentro del rango tóxico para organismos acuáticos. Cabe señalar que la información de respuesta toxicológica recolectada sólo da una visión subjetiva de la toxicidad, ya que es altamente dependiente de las especies estudiadas en el ensayo así como los CEs pueden causar diferentes respuestas toxicológicas entre el tipo de especie [29].

Figura 2. Información de Ecotoxicidad EC₅₀ (n ≥ 5) reportados de un mínimo de tres diferentes tipos de especies con cajas mostrando rango y media intercuartil y bigotes mostrando el rango; los valores atípicos son también mostrados.



Fuente: Petrie, B et al. [29]

En países como España, Italia, Alemania, Canadá, Brasil, Grecia y Francia hay descargas al agua de aproximadamente 500 toneladas de analgésicos por año [21]. Generalmente se presentan concentraciones en el rango de ng/L a µg/L; como ejemplo se encuentran el ácido salicílico y el diclofenaco con concentraciones de 0,22µg/L y 3,02µg/L respectivamente, pero se pueden encontrar valores máximos de hasta 6,5 mg/L para el antibiótico ciprofloxacina en el reino Unido [29].

2.2. Pesticidas y plaguicidas

Los pesticidas utilizados principalmente en la industria agrícola son sustancias o mezcla de ellas destinadas a la prevención, mitigación y/o eliminación de cualquier especie de animales o plantas indeseables; la estructura química incluye compuestos organoclorados, organofosforados y compuestos inorgánicos. Debido a que son sustancias empleadas desde hace varias décadas, ya se han realizado estudios para tener conocimiento sobre los efectos de su presencia en el medio ambiente, por lo anterior son sustancias objeto de regulación. En la actualidad es de gran interés el estudio de los metabolitos, en su mayoría polares, producto de la degradación de estas sustancias y se ha evidenciado que pueden ser más tóxicos que los compuestos precursores. Investigaciones realizadas sobre los metabolitos han demostrado la presencia de éstos en aguas subterráneas en concentraciones superiores a los compuestos precursores [9, 16, 22].

Estudios realizados en Estados Unidos han llevado a incluir algunos productos de degradación del DCPA (Dimetil Tetraclorotereftalato), alacloro y de otras acetanilidas y triazinas en la lista de contaminantes candidatos (CCL por sus siglas en inglés) de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés). Por otra parte, estudios en el Reino Unido y África evidencian la presencia de metabolitos de DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano), insecticida organoclorado sintético de amplio espectro con aplicación industrial y doméstica en aguas subterráneas, cabe resaltar que esta sustancia forma parte de la lista de las doce sustancias tóxicas más utilizadas a nivel mundial [9, 16, 33].

Es importante resaltar que aunque se han adelantado estudios y tomado acciones para la regulación de éstas sustancias, aún se desconoce su efecto en los ciclos vitales del ecosistema; no obstante, se consideran altamente persistentes por lo que finalmente pueden integrarse en la cadena trófica afectando a los animales y el hombre. En la tabla 2 se listan los plaguicidas que causan afectación al sistema endocrino.

Tabla 2. Compuestos plaguicidas listados en el censo Europeo de Disruptores Endocrinos.

	Producción	Persistencia	Categoría a	Grupo b
Carbendazima	*		2	II
Aldrín		*	2	II
Clordano		*	1	I
Dieldrín		*	2	II
Endosulfán	*	*	2	II
Endrín		*	2	II
Kepona		*	1	I
Mirex		*	1	I
Toxafeno		*	1	I
Nonaclor		*	3	II
2,4 D	*		2	II
Procloraz	*		2	II
DDT		*	1	I
Dicófol	*		2	II
Iprodiona	*		2	II
Vinclozolina	*		1	I
Maneb	*		1	I
Metam sodio	*		1	I
Tiram	*		1	I
Zineb	*		1	I
Ziram	*		2	II
Lindano	*		1	I
Diuron	*		2	II
Linurón	*		1	I
Diazinón	*		2	II
Dimetoato	*		2	II
Fentión	*		3	III
Malatión	*		2	II
Paratión	*		2	II
Aminotriazol	*		1	I
Atrazina	*		1	I
Simazina	*		2	II
Triadimefón	*		2	II
Alacloro	*		1	I
Dibromoetano	*		3	III
Heptacloro	*		2	II
Bromometano	*		2	II
Nitrofeno	*		1	I
Paracuat	*		3	III
Propanil	*		2	II
HPV: Volumen de Producción superior a 1.000 Tm/Año. * Sí. a Categoría 1: Evidencia de disrupción endocrina, Categoría 2: Sospecha de disrupción endocrina, Categoría 3: Sin datos. b Grupo I: Alto nivel de exposición a animales y humanos, Grupo II: Nivel medio de exposición, Grupo III: Bajo nivel de exposición o ausencia de Datos.				

Fuente: Jiménez, C y Peñuela, G. [22]

Con el aumento de la población y el desarrollo de la sociedad, la importancia de cumplir las necesidades alimenticias de las sociedades y por consiguiente mantener producciones agrícolas más grandes, con productos de mayor tamaño, el uso de agroquímicos ha tenido un crecimiento desmesurado.

El aumento de este tipo de sustancias químicas trae consigo aumento en las concentraciones de contaminantes en las corrientes de agua superficiales y subterráneas, como se podrá observar en el numeral 4 de este documento, donde se exponen las cantidades de agroquímicos vertidos en las fuentes hídricas del país.

Adicional a su clasificación como disruptores endocrinos, los pesticidas al llegar a los cuerpos de agua por escorrentía generan eutrofización provocando disminución del oxígeno disuelto y deterioro en la fauna acuática; por otra parte, son compuestos bioacumulables que trasladan su efecto tóxico a través de toda la cadena trófica [19].

2.3. Drogas ilícitas

Las drogas de abuso o ilícitas además de ser una problemática social y ambiental desde el punto de vista agrícola, actualmente se estudian como un contaminante emergente del recurso hídrico debido a la disposición como droga inalterada a la red de aguas residuales, al aporte que se realiza de los metabolitos activos por medio de las excreciones humanas y a la disposición y eliminación de los laboratorios clandestinos que procesan la droga. Entre las drogas más estudiadas se encuentran anfetaminas y cocaína y los metabolitos sobre los cuales se tiene mayor conocimiento debido al estudio que se ha desarrollado son los de benzoilecgonina, norcocaína, metanfetamina, heroína y morfina [9, 16].

2.4. Productos de cuidado personal

Los productos de cuidado personal son sustancias químicas para uso directo sobre el cuerpo humano que no deben mostrar actividad bioquímica significativa; estos productos buscan alterar el olor, la apariencia y el tacto. Estas sustancias pueden ser introducidas continuamente en el medio acuático como mezclas complejas por medio de aguas con fines recreativos y aguas residuales domésticas, adicionalmente estudios han revelado las afectaciones que causan estos productos a las aguas superficiales y la biota presente en ellas además de

LEYENDA FIGURA 3.

1	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de los individuos (1a) y mascotas (1b): la excreción metabólica (fármaco original sin metabolizar, conjugados de matriz con las drogas, y los metabolitos bioactivos); sudor y vómito. La excreción exacerbada de medicamentos de disolución lenta. • La eliminación del medicamento no utilizados o vencidos a los sistemas de alcantarillado • Fugas del sistema de aguas residuales • Disposición de cadáveres de animales sacrificados que sirven de alimento a los carroñeros (1c)
2	<ul style="list-style-type: none"> • Liberación de residuos hospitalarios no tratados en los sistemas de aguas residuales domésticas (ponderados agudamente hacia drogas tóxicas y agentes de diagnóstico); También disposición por las farmacias, médicos, excedentes de drogas
3	<ul style="list-style-type: none"> • Lanzamiento a pozos séptico privado o campos de lixiviación (3a) • El efluente tratado de plantas depuradoras aguas residuales domésticas descargadas en aguas superficiales, re-inyecta en los acuíferos (recarga), reciclado / reutilización (riego o usos domésticos) (3b) • Desbordamiento de aguas residuales no tratadas de las tormentas y los fallos del sistema directamente a las aguas superficiales (3b)
4	<ul style="list-style-type: none"> • Transferencia de sólidos de aguas residuales ("biosólidos") a la tierra (por ejemplo, la modificación del suelo / fertilización) • "Tuberías de vertimiento directo" de los hogares (aguas residuales sin tratar se vierten directamente a las aguas superficiales) • Aporte realizado por la agricultura: derivado del riego de los cultivos de árboles (por ejemplo, antibióticos) • Estiércol de animales domésticos medicados (por ejemplo, alimentación) - CAFO (operaciones de alimentación de animales confinados)
5	<ul style="list-style-type: none"> • Liberación directa de aguas a través de lavado / baño / piscina
6	<ul style="list-style-type: none"> • Aprobación de la gestión del flujo de residuos de fabricación industrial regulado / controlado • Eliminación / liberación de los laboratorios clandestinos de drogas y el uso de drogas ilícitas
7	<ul style="list-style-type: none"> • La eliminación de los vertederos a través de los residuos domésticos, desechos médicos, y otros desechos peligrosos • Lixiviación de (mal diseñados) vertederos defectuosos y cementerios
8	<ul style="list-style-type: none"> • Release to open waters from aquaculture (medicated feed and resulting excreta) • Liberación de las aguas procedentes de la acuicultura (alimentos medicados y los excrementos resultantes) • Potencial futuro para la liberación de pharming molecular (la producción terapéutica en los cultivos)
9	<ul style="list-style-type: none"> • La liberación de fármacos que tienen una doble función como agentes de control de plagas: ejemplos: 4-aminopiridina, droga experimental esclerosis múltiple utilizado como avicida; warfarina, raticidas anticoagulantes; azacholesterol, antilipémicos aviar / roedores reproducción inhibidores productivos; ciertos antibióticos utilizados para los patógenos de la huerta; acetaminofén, el control de la serpiente marrón de árbol analgésico; la cafeína, el control de la rana coquí estimulante
10	<p>Destino final de tratamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • la mayoría de PPCPs finalmente transportados de ámbito terrestre al dominio acuoso • fototransformación (reacciones directas e indirectas a través de la luz UV) • alteración físico-química, la degradación y la mineralización • volatilización (principalmente ciertos anestésicos, fragancias) • absorción por las plantas • partículas respirables que contienen fármacos absorbidos (por ejemplo, polvos de alimentación medicada)

2.5. Surfactantes

Los surfactantes o también conocidos como tensoactivos son sustancias que se emplean para disminuir la tensión superficial entre dos fases (una continua y otra dispersa). Estas sustancias son de gran interés industrial debido a las propiedades que presentan como detergentes, agentes espumantes, emulsificantes y agentes humectantes, entre otras, que les permiten tener múltiples aplicaciones industriales como en la industria del papel y la celulosa, recubrimientos, metales, plásticos, textiles, entre otras. Se clasifican en iónicos, no iónicos y anfóteros. Los surfactantes no iónicos representan un poco menos del 40% del total de surfactantes producidos anualmente en el mundo y los surfactantes aniónicos representa alrededor del 55% del total. Estudios realizados han evidenciado la presencia de surfactantes no aniónicos en los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales y se ha demostrado que los metabolitos presentan mayor toxicidad que los tensoactivos precursores [16, 26].

2.6. Retardantes de llama

Los retardantes de llama son compuestos químicos utilizados para reducir la inflamabilidad de productos como plásticos, muebles, placas electrónicas, automóviles, tejidos, pinturas, entre otros. Entre los retardantes de llama se encuentran los basados en bromo entre los que se destacan el tetrabromobisfenol A (TBBPA), el hexabromociclododecano (HBCD) y los polibromodifeniléteres (PBDEs), los basados en organofosfatos como tris (cloro isopropil) fosfato (TCPP) y tris (2-cloro etil) fosfato (TCEP). Anualmente la producción a nivel mundial de retardantes de llama asciende a 200.000 toneladas, de las cuales 47.000 corresponden a PBDEs (polibromodifenil éteres). Pese a los beneficios que han traído estos compuestos, es de gran interés el estudio de los mismos en cuanto a las afectaciones al medio ambiente y la salud humana, producto de la alta persistencia de los PBDEs, relacionada con estudios toxicológicos que demuestran la actividad cancerígena, teratogénica, genotóxica, disrupción endocrina y efectos neurotóxicos; debido a esto, se incluyeron en la lista de nuevos contaminantes orgánicos persistentes reguladas por la convención de Estocolmo [6].

Estudios realizados han revelado niveles de PBDEs en fauna silvestre como invertebrados acuáticos, peces, aves y mamíferos marinos; de igual forma, se ha evidenciado el aumento de las concentraciones de estos compuestos a lo largo de la cadena trófica; adicionalmente, se ha demostrado que poseen gran afinidad por

la materia orgánica en suspensión que se encuentra en las fuentes hídricas [6, 16].

3. TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES

Debido a las bajas concentraciones en las que están presentes en los cauces hídricos y a la naturaleza y la complejidad de su estructura, la eliminación de los contaminantes emergentes y sus metabolitos no es eficiente con los sistemas de tratamiento convencionales debido a que están diseñados principalmente para la eliminación de materia orgánica y contaminantes especificados en las normas que aún no contemplan los contaminantes emergentes [16]. Debido a esto, se deben implementar técnicas avanzadas de tratamiento para la eliminación de dichos contaminantes del agua o disminuir las concentraciones a las cuales se están vertiendo en este recurso.

3.1. Tratamientos fisicoquímicos

Dentro de este tipo de tratamientos para la remoción de contaminantes emergentes, se encuentran tratamientos tradicionales como coagulación, flotación, cloración y otros que no son comúnmente utilizados como ultrafiltración, ozonización y adsorbentes. Análisis de aguas residuales han mostrado que los tratamientos tradicionales no remueven metabolitos de fármacos y productos de cuidado personal. Experimentos a nivel laboratorio evidencian que procesos como oxidación por ozono, adsorción con carbón activado granular y cloración presentan mayor desempeño (>90%) que la coagulación/flotación y suavización (< 20%) con cal en la remoción de metabolitos farmacéuticos. Estudios desarrollados por otros investigadores arrojaron resultados que apoyan los ya expuestos, en estos se encontraron que coagulantes de uso común en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas como el sulfato de aluminio y el sulfato férrico no fueron eficientes en la remoción de metabolitos como carbadox, sulfadimetoxina y trimetoprim [16, 36].

Otros estudios empleando carbón activado han arrojado que puede ser una alternativa eficiente para la eliminación de contaminantes emergentes debido a los altos porcentajes de remoción de los mismos (>90%) y esto debido a las interacciones hidrofóbicas con los compuestos orgánicos polares, cabe resaltar que entre las limitantes del uso del carbón activado como medio de remoción está la competencia por los sitios activos y el bloqueo de los poros por otras partículas. Un estudio comparando la eficiencia de remoción entre la coagulación y adsorción por carbón activado para la eliminación de estrógenos mostró que la adsorción es

más eficiente logrando un porcentaje de remoción superior al 90%, superando de igual forma a un sistema de nanofiltración por membranas [7, 12, 17, 36].

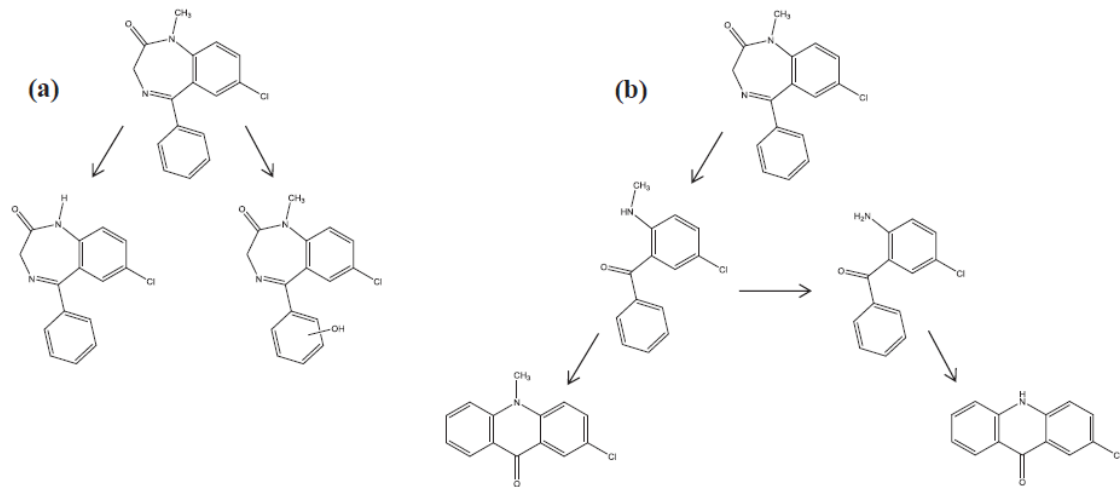
Por otra parte procesos de cloración y oxidación por ozono muestran ser una buena alternativa, aunque se debe ser cuidadoso con las reacciones de estos compuestos debido a los productos que pueden llegar a formarse y de los cuales se desconocen sus efectos. Se recomienda sean usados en aguas con baja carga de carbono orgánico disuelto [16, 18].

3.2. Procesos biológicos

El estudio de los procesos biológicos (degradación biológica con ayuda de microorganismos), como alternativa para el tratamiento de contaminantes emergentes ha sido de gran interés, debido a los resultados obtenidos para los compuestos orgánicos comúnmente tratados. Ensayos a escala laboratorio han evidenciado un porcentaje de remoción del 100% en la degradación de pesticidas como isoproturon, terbutilazina, mecoprop y metamitrona, pero empleando un largo período de tiempo en la adaptación de los lodos activados, lo anterior representa una desventaja al momento de implementar el sistema en una planta de tratamiento de agua residual, debido a que la carga del contaminantes se realiza en un período corto de tiempo y los lodos no pueden adaptarse rápidamente a las nuevas concentraciones. Otros estudios reportaron con éxito la transformación biológica de algunos productos farmacéuticos (bezafibrate, diazepam, levetiracetam, oseltamivir and valsartan) que no habían sido estudiados, utilizando espectrofotometría de masas de alta resolución. Estudios realizados en una planta de tratamiento en Suiza arrojaron una eficiencia de remoción del 69, 45 y 7% para los contaminantes diclofenaco, naproxeno y carbamazepina respectivamente [14, 29].

En la figura 4. se ilustran las vías de transformación del diazepam (Compuesto anticonvulsivo perteneciente al grupo de las benzodiazepinas) durante una investigación a escala laboratorio en un sistema de tratamiento utilizando lodos activados [29]. En comparación con estudios realizados en procesos similares de foto-transformación de diferentes benzodiazepinas, los compuestos resultantes de estas transformaciones suelen presentar mayor persistencia que sus compuestos precursores [35].

Figura 4. Transformación del diazepam durante el tratamiento de lodos activados.



(a) adaptado de Helbling et al. (2010) Cuando fue expuesto a luz solar simulada, usando espectrometría de masas de alta resolución (linear ion trap-orbitrap technology) como tecnología de identificación. (b) adaptado de West and Rowland (2012).

Fuente: Petrie, B et al. [29]

3.3. Procesos avanzados

Los procesos que se considera tienen un mejor desempeño en la eliminación de trazas de contaminantes emergentes son los procesos de oxidación avanzada (POA) y los procesos membranarios biológicos y no biológicos (osmosis inversa, ultrafiltración y nanofiltración) [14].

Los procesos de oxidación avanzada son aquellos en los cuales se forman radicales hidroxilo (OH^\cdot), los cuales actúan como fuertes agentes oxidantes capaces de oxidar compuestos químicos complejos presentes en aguas residuales. Los agentes oxidantes con mayor aplicación son el ozono (O_3) y el peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) que en algunas oportunidades son combinados con agentes catalíticos como Oxido de Titanio (TiO_2), ion de ferroso (Fe^{2+}) e ion férrico (Fe^{3+}). Estudios reportan el uso de la combinación de ozono con otros agentes oxidantes para mejorar la degradación de productos farmacéuticos como ibuprofeno y diclofenaco logrando una remoción del 90%. Adicionalmente se ha utilizado el ozono con radiación ultravioleta para tratar los metabolitos de fármacos y productos de cuidado personal [16, 30, 34].

En los procesos membranarios se cuenta con biorreactores de membrana que combinan la filtración con la degradación biológica realizando una separación física de los contaminantes como la degradación de los mismos, así como procesos de ultrafiltración y nanofiltración con tamaño de poro entre 0,1 - 0,01 μm y 0,01 - 0,001 μm respectivamente y procesos de osmosis inversa en los cuales se emplean membranas selectivas semipermeables con tamaño de poro inferior a 0.001 μm . Ensayos realizados evidenciaron una remoción superior del 90% de nonofenol y bisfenol haciendo uso de biorreactores de membrana y una unidad de ultrafiltración y adsorción por carbón activado granular [16, 30, 34].

4. MARCO LEGAL

El Estado Colombiano cuenta con un conjunto de normas que reglamentan el uso adecuado del recurso hídrico en términos de prevención y control de su contaminación y el cuidado de su calidad para el consumo humano, dentro de las que cabe resaltar cuatro:

- Ley 99 de 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. Dentro de las funciones de estas entidades se encuentra la prevención y control de contaminación de las aguas.
- Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984, conjunto de normas de regulación de vertimientos de residuos líquidos. Emitido por el Ministerio de la Agricultura. Derogado parcialmente por el decreto 3930 de 2010.
- Decreto 1575 de Mayo 9 de 2007, por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano del ministerio de la protección social. Emitido por el Ministerio de la Protección Social.
- Resolución 2115 del 22 de Junio 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. Emitido por el Ministerio de la Protección Social.
- Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 Por la cual se establecen los límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a los cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

El estado de vigilancia de calidad del agua para consumo humano en Colombia se realiza basado en el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua - IRCA y la tendencia del nivel del riesgo asociado. El IRCA es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano (Art. 12 Cap. IV, decreto 15 75 de 2007). Para el cálculo del IRCA según Res. 2115 de 2007 se asigna un puntaje de riesgo a cada una de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en dicha Resolución (tabla 5).

Tabla 4. Puntaje del Riesgo

CARACTERÍSTICA	PUNTAJE DE RIESGO
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al ³⁺)	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

Fuente: Resolución 2115 de 2007 Cap. 4 y Art. 13 Cuadro N°. 6 [25]

El valor del IRCA es cero puntos (0), sin riesgo cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características mencionadas en la tabla 6 y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple ninguna [25].

La Resolución 2115 de 2007, de la misma forma define la forma de calcular el IRCA y los rangos para la clasificación del riesgo y las acciones a realizar por muestreo y mensual (tabla 6).

Tabla 5. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse

CLASIFICACIÓN IRCA (%)	NIVEL DE RIESGO	IRCA POR MUESTRA (notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA MENSUAL (acciones)
80.1 - 100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 - 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Fuente: Resolución 2115 de 2007 Cap. 4 y Art. 13 Cuadro N°. 7 [25]

(COVE: Comité de Vigilancia Epidemiológica, SSPD: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, MPS: Ministerio de la Protección Social, INS: Instituto Nacional de Salud, MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.)

Según Informe del estado de la vigilancia de la calidad del agua para el consumo humano del año 2013, de la población total (según la población proyectada por el DANE para el año 2013), sólo el 66,66% cuenta con acceso a agua potable, 11,67% utiliza agua segura, 14,4% utiliza agua baja en tratamiento o protección y 7,6 % consume agua cruda tomada directamente de las fuentes. Por otra parte, según dicho estudio el país cuenta con un nivel de riesgo medio con un valor del 26,7%.

A pesar de que el país cuenta con diversos sistemas de seguimiento, vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano; en comparación con la normatividad Europea donde se cuenta con un sistema moderno de control y seguimiento y en donde se encuentran siete de los diez países con mejor calidad

agua potable en el mundo: Luxemburgo, Francia, Austria, Italia, Reino Unido, Suecia y Alemania [13]. Colombia no posee un sistema completo de seguimiento del recurso quedando vacíos en el seguimiento de algunos parámetros como los que se encuentran en las tablas 7, 8 y 9.

Tabla 6. Parámetros químicos de seguimiento Europeo que no se tienen en cuenta en la normatividad Colombiana.

PARÁMETRO	FÓRMULA QUÍMICA	VALOR PARAMÉTRICO (mg/L)	POSIBLES EFECTOS EN EL ORGANISMO
Acrilamida	C ₃ H ₅ NO	0,0001	Compuesto orgánico potencialmente neurotóxico y causante de cáncer
Benceno	C ₆ H ₆	0,001	Generación de metabolitos en el torrente sanguíneo; daño de la médula de los huesos en exposiciones prolongadas y cáncer (Leucemia).
Benzo(a)pireno	C ₂₀ H ₁₂	0,00001	Compuesto potencialmente carcinógeno.
Boro	B	1	Durante el consumo en estado de embarazo, puede producir defectos en el feto. Infección en estómago, riñones y cerebro.
Bromo	Br	0,01	Disfunciones del sistema nervioso, alteraciones del material genético, afectaciones en hígado, riñones pulmones y testículos y disfunciones estomacales y gastrointestinales.
1,2-dicloroetano	Cl CH ₂ CH ₂ Cl	0,003	Alteración del sistema nervioso, daño en riñón, hígado y pulmón.
Epiclorohidrin	C ₃ H ₅ OCl	0,0001	No se encuentran datos disponibles de afectación al organismo.
Fluor	F	1,5	Acumulable en el organismo. Afectaciones en tejidos y sistema nervioso central. Alteraciones en la morfología y bioquímica cerebral que afectan el desarrollo neurológico.
Tetracloroetano y tricloroetano	C ₂ Cl ₄ /C ₂ HCl ₃	0,01	Afectación del sistema nervioso central, corazón, hígado y riñones.
Cloruro de vinilo	C ₂ H ₃ Cl	0,0005	Acumulables en hígado, riñones, cerebro y tejidos adiposos. Producción de cáncer bajo exposiciones elevadas.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades ATSDR [2].

Tabla 7. Parámetros indicadores de seguimiento Europeo que no se tienen en cuenta en la normatividad Colombiana.

PARÁMETRO	FÓRMULA QUÍMICA	VALOR PARAMÉTRICO	POSIBLES EFECTOS SOBRE EN EL ORGANISMO
Amonio	NH ₄	0,50 mg/L	Medido en Colombia en términos de alcalinidad y dureza. Puede causar daño en las mucosas que recubren los pulmones, posibles afectaciones en el cerebro.
<i>Clostridium perfringens</i> (incluyendo esporas)		0/100 mL	Intoxicación alimentaria.
Oxidabilidad		5,0 ng/L O ₂	Indicador de contaminación de aguas residuales o por residuos agrícolas. Medida de la Materia orgánica oxidable al KMO ₄ .
Sodio	Na	200ng/L	Retención del agua, afectación en riñón, hígado y riñones.
Tritio	H ₃	100 Bq/L	Medida de la presencia de agua pesada. Afectaciones del pulmón y otros órganos a través del sistema circulatorio. Generación de cáncer.
Dosis total indicativa		0,10 mSv/año	Dosis efectiva por un año de ingesta de radionucleidos. Medida de la presencia de agua pesada. Afectaciones del pulmón y otros órganos a través del sistema circulatorio. Generación de cáncer.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades ATSDR [2].

Tabla 8. Parámetros microbiológicos de seguimiento Europeo que no se tienen en cuenta en la normatividad Colombiana.

PARÁMETRO	VALOR PARAMÉTRICO	EFECTO SOBRE SALUD HUMANA
<i>Enterococci</i>	0 en 250 mL	Medida de la contaminación fecal. En normatividad colombiana se regula <i>E. Coli</i> y coliformes totales. Más persistentes que <i>E. Coli</i> . Causante de un amplio rango de infecciones cutáneas y sistémicas.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0 en 250 mL	Responsable de un amplio rango de infecciones en ojos, oídos y piel.
Conteo de colonias a 22°C	100/mL	Estudio de bacterias potencialmente patógenas para el organismo.
Conteo de colonias a 37°C	20/mL	Estudio de microorganismos potencialmente patógenas para el organismo.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades ATSDR y Arcos, M et al. [2, 4].

Teniendo en cuenta el ciclo del agua, los valores de calidad del agua potable dependen de la calidad del agua de sus fuentes hídricas, que a su vez determina la complejidad de los procesos de tratamiento. Colombia cuenta con un sistema de indicadores Hídricos generados por las entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA). El IDEAM toma como base variables de oferta, demanda y calidad del agua para el cálculo de los indicadores, que asociados a las alteraciones del régimen natural describen el estado de las situaciones como línea base en la toma de decisiones en el ámbito de la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) adoptado en la “Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia (2010)” [31,32].

Los indicadores son definidos teniendo en cuenta lo expresado en la resolución 0643 de 2004 y la línea base de indicadores ambientales del 2002.

EL Indicador de Alteración potencial de la calidad del agua – IACAL es uno de los dos indicadores de intervención antrópica y hace referencia a la presión sobre las condiciones de calidad de agua en los sistemas hídricos superficiales del país con base en variables representativas (Demanda Biológica de oxígeno – DBO, Demanda Química de Oxígeno – DQO, Sólidos Suspendidos Totales – SST, Nitrógeno Total – NT y Fósforo Total). En la tabla 9 se pueden observar magnitudes que corresponden a cada categoría de presión reclasificada para el IACAL por subzona hidrográfica.

Tabla 9. Categorías y descriptores de presión por subzona hidrográfica, clasificados de acuerdo con los percentiles asignados al cociente carga (ton/año)/oferta total (MMC).

CATEGORÍA DE PRESIÓN	DESCRIPTORES DE PRESIÓN	PERCENTILES DBO	PERCENTILES DQO - DBO
0 – 0,25	MUY MALO	<0,13	<0,13
0,26 – 0,50	MALO	0,14 a 0,39	0,14 a 0,35
0,51 – 0,70	REGULAR	0,40 a 1,20	0,36 a 1,16
0,71 – 0,90	ACEPTABLE	1,21 a 4,85	1,17 a 6,77
0,91 – 1,00	BUENO	> 4,86	> 6,78
CATEGORÍA DE PRESIÓN	PERCENTILES SST	PERCENTILES NT	PERCENTILES PT
0 – 0,25	<0,3	<0,002	<0,004
0,26 – 0,50	0,40 a 0,70	0,03 a 0,05	0,005 a 0,013
0,51 – 0,70	0,80 a 1,80	0,06 a 0,13	0,014 a 0,35
0,71 – 0,90	1,90 a 7,60	0,14 a 0,55	0,036 a 0,134
0,91 – 1,00	> 7,70	> 0,56	> 0,135

Fuente: Orjuela, L. et. al. [28]

Según el Estudio Nacional del agua del 2014 y teniendo en cuenta los sectores analizados: sector industrial, cafetero y doméstico; en Colombia se vertieron durante el 2012 las cargas encontradas en la tabla 10, adicionalmente después del estudio de 175 municipios de 15 departamentos se encuentran vertimientos generados por uso de mercurio en minería, uso de agroquímicos utilizados en cultivos productores de coca y en el sector agrícola para el 2012 mostrados en la tabla 11.

Tabla 10. Vertimientos realizados en el 2012 por los sectores industrial, cafetero y doméstico.

CARACTERÍSTICA	CARGA TOTAL VERTIDA (TONELADAS/AÑO)	% REMOVIDO EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LOS SECTORES DOMÉSTICO E INDUSTRIAL ANTES DE SER VERTIDAS.*
DBO ₅	756.945	32,1
DQO	1.675.616	31,6
SST	1.135.726	26,3
NT	126.345	2,0
PT	31.915	1,7

Elaboración propia a partir de datos obtenidos en García, M. et. al. [15, 19].

* No se muestran datos de remoción de cargas para el sector cafetero.

Tabla 11. Vertimientos realizados en el 2012 por uso de mercurio en minería, uso de agroquímicos en cultivos de coca y en el sector agrícola.

SECTOR	CARACTERÍSTICA	CARGA TOTAL VERTIDA/AÑO
Minero (Oro y plata)	Mercurio	205Ton
Producción de cultivos de coca	Fertilizantes sólidos	21.050 Ton
	Fertilizantes	19.780 Ton
	Herbicidas	226Ton y 436m ³
	Plagidas	118Ton y 241m ³
	Sustancias químicas	77.426Ton (Solventes orgánicos 92,65%, bases 5,81%, ácidos 1,20% y oxidantes fuertes 0,34%)
Agricultura	Fertilizantes en presentación sólida	2.516.084Ton.
	Fertilizantes en formulaciones líquidas	2.915Ton.

Elaboración propia a partir de datos obtenidos en García, M. et. Al. [15, 19].

Teniendo en cuenta lo mostrado en las tablas 10 y 11, donde se evidencia claramente la contaminación realizada por las principales actividades económicas fuentes contaminantes, que el país no cuenta con sistemas de tratamientos de aguas residuales para todas las actividades económicas y domésticas realizadas por la sociedad y el decreto 0631 de 2015 donde se regulan los vertimientos de residuos líquidos; Colombia no cumple con ninguno de los parámetros analizados en el ENA 2014 para el cálculo del IACAL.

La unión Europea cuenta con regulaciones legislativas específicas para la conservación del recurso hídrico, parametrizando entre otros, valores máximos permisibles de diversos compuestos potencialmente contaminantes tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas. En la tabla 12 se listan algunas de las normatividades regulatorias del recurso hídrico en Europa.

Tabla 12. Legislación de la Unión Europea del agua.

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
S.I. No. 722 of 2003	Se establece un marco de actuación comunitaria en el ámbito de la política de aguas
S.I. 122 of 2014	Regulación UE para agua potable
S.I. No. 272 de 2009	Regulación de aguas superficiales.
S.I. No. 9 of 2010	Regulación de aguas subterráneas.
S.I. No. 610 of 2010	Buenas prácticas agrícolas para la preservación de las aguas.
S.I. No. 489 de 2011	Especificaciones técnicas para el análisis químico y del seguimiento del estado del agua.

Fuente: Elaboración propia a partir de página oficial EPA [23].

El indicador de uso de calidad de agua ICA es el indicador restante de la intervención antrópica que define el grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano sin tomar en cuenta su uso. EL ICA es un número entre 0 y 1 que genera una perspectiva de la contaminación del cuerpo hídrico a través de sus condiciones físicas y químicas como temperatura, oxígeno disponible, materia orgánica, sólidos, mineralización y acidez, y en algunos casos microbiológicas [20]. Para el estudio Nacional del agua de 2014 se calcula el ICA a través de una sumatoria aritmética equiponderada de seis parámetros físico-químicos básicos, oxígeno disuelto (porcentaje de saturación de OD), conductividad eléctrica C.E., demanda química de oxígeno DQO, sólidos totales en suspensión SST, pH y la relación NT/PT (Nitrógeno Total/Fósforo Total). La clasificación del agua definida mediante el ICA es la mostrada en la tabla 13.

Tabla 13. Descriptores para presentar el aplicativo del ICA.

ÁMBITO NUMÉRICO	DESCRIPTORES
0 – 0,25	MUY MALO
0,26 – 0,50	MALO
0,51 – 0,70	REGULAR
0,71 – 0,90	ACEPTABLE
0,91 – 1,00	BUENO

Fuente: Orjuela, L. et. al. [28].

Según Estudio Nacional del agua de 2014 no se cuenta con descriptor del ICA muy malo para ninguno de los puntos monitoreados, sin embargo se cuenta con alrededor de 29 estaciones con descriptor ICA promedio Malo de las 199 estaciones monitoreadas y con alrededor de 50 estaciones con descriptor ICA valor mínimo Malo.

Según el ENA 2014 y las fuentes hídricas estudiadas, Colombia cuenta con altos porcentajes de calidad de agua con descriptores clasificados en los rangos de regular y malo.

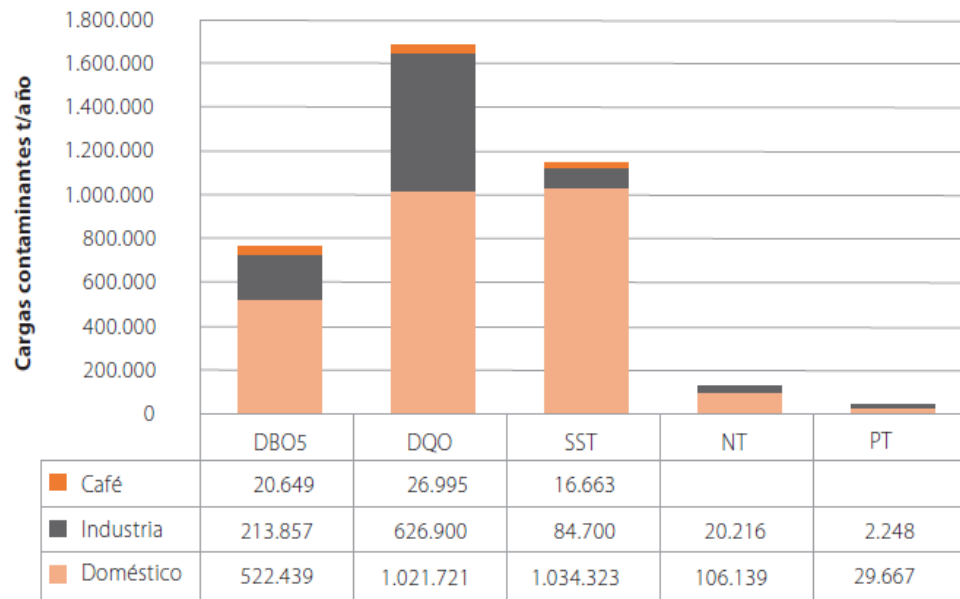
5. FOCOS DE CONTAMINACIÓN

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se evidencia que los parámetros con los que cuenta actualmente Colombia son escasos y la legislación no es tan rigurosa en materia del recurso hídrico comparada con otros países del mundo, por tanto se desconoce la existencia de los contaminantes emergentes y por ende no son monitoreados ni regulados.

Un primer paso para la mitigación del impacto al recurso hídrico es identificar los focos de contaminación que teniendo como referencia otros países, se infiere que en Colombia pueden estar asociados a los puntos de vertimiento de agua utilizada a nivel industrial, agua residual doméstica, tierra cultivada por el uso de pesticidas y plaguicidas, eventos que involucran un conglomerado de personas (conciertos, eventos deportivos, encuentros estudiantiles, festivales musicales, entre otros), en los que se genera un aumento del consumo de drogas que posteriormente se transfieren al medio ambiente por las vías de excreción, los centros de hospitalarios y efluentes de plantas de tratamiento de agua residual.

En el Estudio Nacional del Agua de 2014 realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en relación a la calidad del agua, presenta el análisis de la calidad de los sistemas hídricos en cuanto al contenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (PT) en relación al sector doméstico, industrial y cafetero (Figura 5).

Figura 5. Cargas contaminantes potencialmente vertidas a los sistemas hídricos (t/año) 2012.



Fuente: García, M. ENA 2014. [14].

En total se vertió a los sistemas hídricos durante el 2012 un total de 756.945 T/año de DBO5, es decir, 2.102 T/día. El mayor aporte es el realizado por sector doméstico con un 69%, seguido por el sector industrial con el 28 % y finalmente el sector cafetero con el 3%. La carga total vertida de DQO después del tratamiento fue de 1'675.616 t/año, equivalentes a 4.654 t/día, en donde el mayor aporte fue realizado por el sector doméstico (61%), seguido por el industrial (37%) y finalmente el cafetero (2%). De los sectores analizados se encontró que se vierten 1'135.726 t/año de SST después de realizado el tratamiento, esta carga es equivalente a 3.154 t/día, de las cuales el 1% corresponde al sector cafetero, el 7% al sector industrial y el 91% al sector doméstico. Por otra parte el aporte de NT después del tratamiento llegó a las 126.345 t/año, equivalentes a 350 t/día, para este parámetro el sector doméstico aportó el 84% y el industrial el 16% y finalmente la cantidad de PT que se vertió después del tratamiento fue de 31.915 t/año o 88 t/día en donde el aporte fue del 92% para el sector doméstico y 7% para el industrial [19]. Estos datos indican claramente el bajo o débil control que se tiene sobre el manejo y disposición de las aguas domésticas en el país.

6. METODOLOGÍA

Actualmente en el país no se cuenta con una metodología que permita la identificación, monitoreo y tratamiento de contaminantes emergentes, ni regulación alguna de los mismos en cuanto a concentraciones en cuerpos hídricos, por tanto a continuación se plantea una metodología que ayuda a dar solución a esta problemática ambiental y, por qué no, de salud pública en el país.

6.1. Identificación

Tradicionalmente se han realizado análisis dirigidos a la búsqueda de diversas sustancias químicas específicas (“targeted screening”), utilizando tecnologías como la espectrometría de masas, no obstante han pasado inadvertidas sustancias contaminantes debido al desconocimiento de su presencia y efectos adversos a la salud humana y el ambiente, por tal motivo se hace necesario realizar análisis que no busquen contaminantes específicos (“non-targeted screening”) pero que si permitan la identificación de los mismos [29].

Actualmente se cuenta con diferentes técnicas y equipos, que de manera individual o combinada permiten la identificación y/o cuantificación de los contaminantes. A continuación se mencionan técnicas que han sido eficientes en la identificación de analgésicos, antihipertensivos y antibióticos [21, 29, 34].

- ✓ Cromatografía líquida
- ✓ Cromatografía líquida de ultra alta presión
- ✓ Cromatografía de gases
- ✓ Espectrometría de masas
- ✓ Ionización por electrospray
- ✓ Detección de arreglos de diodos

En Colombia debido al desconocimiento de la existencia de los CEs, no se tiene identificadas ni implementadas técnicas de identificación y cuantificación de dichos contaminantes, por tal motivo es importante impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico que permitan atacar este problema que afecta el ecosistema. Cabe resaltar que en el país son principalmente las entidades educativas las que cuentan con los equipos y técnicas listados anteriormente para la identificación de los CEs.

6.2. Monitoreo

El monitoreo como proceso sistemático de recolección y análisis de información debe estar enmarcado por la legislación colombiana debido a que ésta es la encargada de dar a conocer cuáles son las sustancias y/o parámetros a tratar y controlar y las concentraciones de los mismos.

Se propone que una vez identificados los contaminantes y conocida las concentraciones permitidas, el monitoreo debe realizarse en los focos de contaminación como los vertimientos de las industrias, los afluentes y efluentes de plantas de tratamiento de agua residual domésticas e industriales y plantas de potabilización; por otra parte, el procedimiento para realizar el monitoreo dependerá de las sustancias y/o parámetros a realizar seguimiento, al igual que la aplicación de protocolos para toma conservación de muestras. Adicionalmente, se propone incluir el monitoreo de contaminantes emergentes en el estudio nacional de aguas que realiza el IDEAM y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con el fin de conocer la calidad de aguas superficiales y subterráneas para de esta forma mitigar los impactos en el ambiente y la salud humana.

6.3. Sistemas de tratamiento

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales y de potabilización implementados en la geografía nacional no están diseñados para identificar, monitorear ni tratar y/o eliminar los CEs, por tal razón se hace necesario reestructurar las etapas del tratamiento. Los esquemas de tratamiento usados comúnmente para aguas residuales y potabilización son mostrados en las figuras 6 y 7 respectivamente.

Figura 6. Esquema general de un sistema de tratamiento de agua residual.

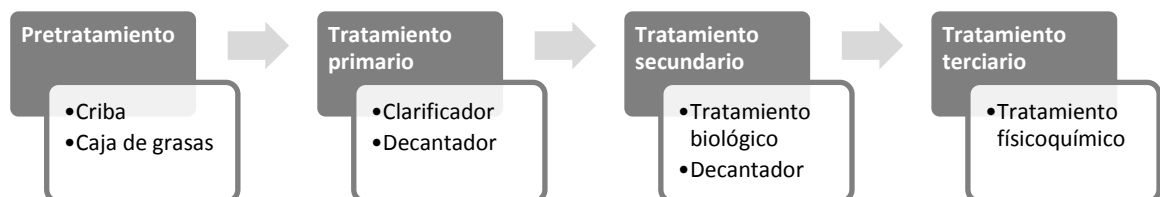
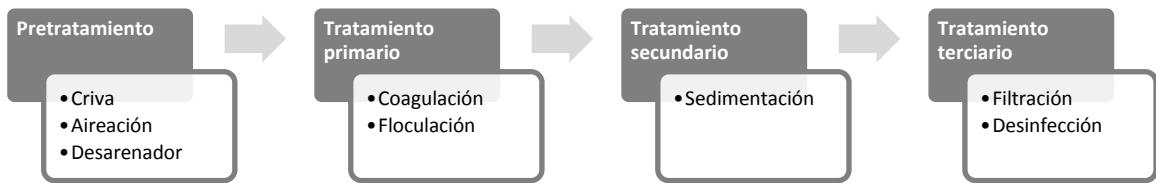


Figura 7. Esquema general de un sistema de potabilización de agua.



De acuerdo a lo expuesto anteriormente, como alternativa para el tratamiento y/o remoción de CEs, se propone la implementación de un proceso de oxidación avanzada (POA) en los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas como complemento al tratamiento terciario, teniendo en cuenta que para esta etapa del proceso los contaminantes actualmente manejados estarán en las concentraciones exigidas por la normatividad colombiana, los CEs pueden ser eficientemente tratados en esta parte del proceso y el vertimiento tendrá mejores características y causará un menor impacto al ambiente. De igual forma se propone implementar POA para los sistemas de potabilización y se recomienda sean implementados en el tratamiento terciario anterior a la desinfección, con el fin de disminuir la cantidad de materia orgánica que pueda aumentar la presencia de trihalometanos (THMs) y que a su vez pueda dar origen a reacciones secundarias, formando sustancias potencialmente peligrosas para la salud humana. Adicional a la disminución en la concentración de los ECs en los afluentes de los sistemas de tratamiento; este tratamiento complementario, al igual que los procesos membranarios presenta ventajas sobre los tratamientos fisicoquímicos y biológicos mostrando mejores eficiencias en la remoción de ECs [14] y, a diferencia de los procesos membranarios que necesitan periódicamente el recambio por colmatación de los filtros, los POA no presentan esta necesidad, disminuyendo el impacto generado al suelo por este tipo de desechos.

CONCLUSIONES

- Los CEs son fuente importante de contaminación en fuentes de agua superficial y subterránea, de esta forma es necesario profundizar su conocimiento a través del apoyo en estudios investigativos de formas de caracterización, consecuencias tras su vertimiento y formas de tratamiento.
- Los métodos de caracterización de CEs deben ampliarse al uso de no sólo técnicas que busquen compuestos de previo conocimiento sino a la implementación de metodologías analíticas que busquen sustancias que no hayan sido tenidas en cuenta con anterioridad debido al desconocimiento de su presencia y sus efectos en el ambiente.
- Los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales y domésticos utilizados actualmente pueden eliminar ciertas concentraciones de algunos CEs, sin embargo, puede potenciar la generación de nuevos metabolitos más contaminantes que sus compuestos originarios. La simulación de sistemas de tratamiento alternativos es necesaria en pro de la búsqueda de sistemas de tratamiento que disminuyan el impacto generado por sus vertimientos.
- La legislación Colombiana tras la ausencia de estudios y el desconocimiento de los efectos adversos de los CEs es bastante permisiva en la generación de estos compuestos y su posterior disposición. Es necesario ampliar el espectro de regulación para disminuir las afectaciones en el medio acuático, su biota y posterior afectación en la humanidad.
- Es importante implementar procesos de oxidación avanzada en el tratamiento terciario de sistemas de tratamiento de agua potable y residual con el fin de disminuir la concentración de CEs en los afluentes de las plantas de tratamiento sin dejar de cumplir con lo establecido por la legislación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Adams, A. et al. Removal of Antibiotics from Surface and Distilled Water in Conventional Water Treatment Processes. En: Journal of environmental Engineering. 2002. 128(3), 253–260p.
- [2] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Resumen de salud pública Amoniaco. [En línea] http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs126.pdf [Citado el 03 de octubre de 2015]
- [3] Alberich, J. Módulo: “Población Mundial y Desarrollo Sostenible”. Cátedra DOW/URV de Desarrollo Sostenible. Módulos universitarios de desarrollo sostenible. [En línea] http://www.desenvolupamentsostenible.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=2&lang=es [Citado el 13 de Octubre de 2015]
- [4] Arcos, M. et al. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. [En línea] http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf [Citado el 03 de octubre de 2015]
- [5] Argemi, F. et al. Disrupción endocrina: perspectivas ambientales y salud pública. Toxicología ambiental. En: Acta bioquímica clínica Latinoamérica. 2005. Vol 39. N° 3. 291–300 p.
- [6] Arrigoni, M. Ensayos toxicológicos de retardantes de flama polibromados (PBDEs) sobre el caracol manzana (Pomacea canaliculata, CAENOGASTROPODA, AMPULLARIIDAE). Argentina. 2013. Tesis de grado. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Disponible en línea en <http://bdigital.uncu.edu.ar/5461>
- [7] Bodzek, M. y Dudziak, M. Elimination of steroidal sex hormones by conventional water treatment and membrane processes. En: ELSEVIER: Desalination 198 (2006) 24–32 p.
- [8] Cleuvers, M. Mixture toxicity of the anti-inflammatory drugs diclofenac, ibuprofen, naproxen, and acetylsalicylic acid. En: Ecotoxicology and Environmental Safe 2004. Vol 59. 309-315 p. Disponible en

http://www.researchgate.net/publication/8327297_Mixture_Toxicity_of_the_Anti-Inflammatory_Drugs_Diclofenac_Ibuprofen_Naproxen_and_Acetylsalicylic_Acid

[9] Damia, L. y López, M. Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas. Convenio Universidad de Sevilla- Ministerio de Medio Ambiente.

[10] Daughton, C. y Ternes, T. Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment: Agents of Subtle Change? En: Environmental Health Perspectives. 1999. Vol 107. 907-938 p.

[11] Estévez, E. et al. Resultados preliminares de los análisis de contaminantes emergentes y sustancias prioritarias (2008/105/CE) en la red de control del Barranco de las Goteras (Gran Canaria). En: Estudios en la Zona no Saturada del Suelo. Vol X. 309–314 p.

[12] Filali-Meknassi, Y. et al. Endocrine-Disrupting Compounds in Wastewater, Sludge-Treatment processes, and Receiving Waters: Overview. En: Practice periodical of hazardous, toxic, and radioactive waste management. ASCE. 2002. Vol 8. N° 1. 39-56 p. ISSN 1090-025X.

[13] Fundación Aquae. Los 10 países con mejor agua corriente – 2013. [En línea] <http://www.fundacionaquae.org/wiki/los-10-paises-con-mejor-agua-corriente-2013> [Citado el 01 de octubre de 2015]

[14] García, C. et al. Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. En: Revista Química Viva – N°2, año 10, Agosto 2011

[15] García, M. et al. Estado y dinámica del agua en áreas hidrográficas de Colombia, Análisis integrado e indicadores hídricos. Estudio Nacional del Agua 2010. Capítulo 8. [En línea] https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Agua/3_Estado/20120928_Estado_dna_agua_ENA2010Cap8.pdf [Citado el 08 de octubre de 2015]

[16] Gil, M. et al. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. En: Producción + limpia. Julio – Diciembre de 2012. Vol 7, N° 2. 52-73 p.

[17] Guang-Guo, Y. et al. Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs) and Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in Reclaimed Water in Australia. En: Water Conservation and Reuse Research Program. 2004. ISBN 0643091807

[18] Humber, M. et al. Oxidation of Pharmaceuticals during Ozonation of Municipal Wasterwater Effluents: A Pilot Study. [En línea] <http://www.ozono.cubaweb.cu/investigaciones/IOA/17%20IOA/VI.1.5.pdf> [Citado el 07 de octubre de 2015]

[19] IDEAM, Estudio Nacional de Agua 2014. 1–496 p. ISBN: 978-958-0867-70-4. [En línea] http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf [Citado el 07 de octubre de 2015]

[20] Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales IDEAM. Agua. Evaluación del Recurso Hídrico. Indicadores. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1> [Citado en 9 de Octubre de 2010].

[21] Jiménez, C. Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. En: Revista Lasallista de investigación. Vol 8. N°2. 143–153 p. ISSN: 1794-4449

[22] Jiménez, C. y Peñuela, G. Pesticidas tradicionales y contaminantes emergentes en la producción hortofrutícola. [En línea] <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/74/1/263-288.pdf> [Citado el 28 de septiembre de 2015]

[23] Main water legislation. Environmental Protection Agency (EPA). [en línea] http://www.epa.ie/water/waterleg/#.Vh_0jtlvfiU [Citado el 04 de octubre de 2015]

[24] Medicamentos contribuyen a contaminar las aguas (12 de diciembre de 2012). El Tiempo. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12443273> [Citado el 10 de octubre de 2015].

[25] Ministerio de la protección social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 de 22 de junio de 2007. [En línea]

<http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/Documents/resolucion%202115%20de%202007,MPS-MAVDT.pdf> [Citado el 26 de septiembre de 2015]

[26] Morales, L. Estudio del proceso de transferencia de calor convectivo en nanofluidos. Barranquilla. 2007. Tesis de maestría. Fundación Universidad del Norte. Facultad de Ingeniería Mecánica. Disponible en línea en <http://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/494/browse?value=Morales+Quintana%2C+Luis+Armando&type=author>

[27] Origins and fate of PPCPs in the Environment. EPA. [En línea] <http://web.extension.illinois.edu/unusedmeds/whatarethey/unwantedmedicine.cfm> [Citado el 26 de septiembre de 2015]

[28] Orjuela, L et al. Estudio Nacional del Agua 2010. Capítulo 6. Calidad del agua superficial en Colombia. IDEAM. [En línea] <https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Agua/20120928_Cali_agua_sup_ENA_2010.pdf>. [Citado en 9 de Octubre de 2010]

[29] Petrie, B. et al. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. En: Water Research 72 (2015) 3–27p.

[30] Rubio, A. et al. Procesos de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes. En: Revista Ambiente & Agua. 2013. Vol 8. N° 3. 94-103 p. ISSN 1980-993X

[31] Sistema de Información Ambiental de Colombia. Portal Agua. Estado del Agua. Agua superficial. Calidad: Agua superficial. <<https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=860&conID=1373>>. [Citado en 9 de Octubre de 2010].

[32] Sistema de Información Ambiental de Colombia. Portal Agua. Indicadores del Recurso Hídrico. Información Estratégica para la toma de decisiones <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=316&conID=1377>. [Citado en 9 de Octubre de 2010].

[33] Sorensen, J. et al. Emerging contaminants in urban groundwater sources in Africa. En: Water Research 72 (2015) 51–63 p.

[34] Tejada, C. et al. Contaminantes emergentes en aguas: metabolitos de fármacos. Una revisión. En: Revista Facultad de ciencias básicas. Vol 10, N° 1. 80–101 p. ISSN 1900-4699.

[35] West, C. y Rowland, S. Aqueous phototransformation of diazepam and related human metabolites under simulated sunlight. En: Environmental Science and Technology. 2012. Vol 46. 4749-4756p.

[36] Westerhoff, P. et al. Fate of Endocrine-Disruptor, Pharmaceutical, and Personal Care Product Chemicals during Simulated drinking Water Treatment Processes. En: Environmental Science and Technology. 2005. Vol 39. 6649-6663p.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, A. et al. Removal of Antibiotics from Surface and Distilled Water in Conventional Water Treatment Processes. En: Journal of environmental Engineering. 2002. 128(3), 253–260p.

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Resumen de salud pública Amoniaco. [En línea] http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs126.pdf [Citado el 03 de octubre de 2015]

Alberich, J. Módulo: “Población Mundial y Desarrollo Sostenible”. Cátedra DOW/URV de Desarrollo Sostenible. Módulos universitarios de desarrollo sostenible. [En línea] http://www.desenvolupamentsostenible.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=2&lang=es [Citado el 13 de Octubre de 2015]

Arcos, M. et al. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. [En línea] http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf [Citado el 03 de octubre de 2015]

Argemi, F. et al. Disrupción endocrina: perspectivas ambientales y salud pública. Toxicología ambiental. En: Acta bioquímica clínica Latinoamérica. 2005. Vol 39. N° 3. 291–300 p.

Arrigoni, M. Ensayos toxicológicos de retardantes de flama polibromados (PBDEs) sobre el caracol manzana (*Pomacea canaliculata*, CAENOGASTROPODA, AMPULLARIIDAE). Argentina. 2013. Tesis de grado. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Disponible en línea en <http://bdigital.uncu.edu.ar/5461>

Bodzek, M. y Dudziak, M. Elimination of steroidal sex hormones by conventional water treatment and membrane processes. En: ELSEVIER: Desalination 198 (2006) 24–32 p.

Cleuvers, M. Mixture toxicity of the anti-inflammatory drugs diclofenac, ibuprofen, naproxen, and acetylsalicylic acid. En: Ecotoxicology and Environmental Safe 2004. Vol 59. 309-315 p. Disponible en

http://www.researchgate.net/publication/8327297_Mixture_Toxicity_of_the_Anti-Inflammatory_Drugs_Diclofenac_Ibuprofen_Naproxen_and_Acetylsalicylic_Acid

Damia, L. y López, M. Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas. Convenio Universidad de Sevilla- Ministerio de Medio Ambiente.

Daughton, C. y Ternes, T. Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment: Agents of Subtle Change? En: Environmental Health Perspectives. 1999. Vol 107. 907-938 p.

Estévez, E. et al. Resultados preliminares de los análisis de contaminantes emergentes y sustancias prioritarias (2008/105/CE) en la red de control del Barranco de las Goteras (Gran Canaria). En: Estudios en la Zona no Saturada del Suelo. Vol X. 309–314 p.

Filali-Meknassi, Y. et al. Endocrine-Disrupting Compounds in Wastewater, Sludge-Treatment processes, and Receiving Waters: Overview. En: Practice periodical of hazardous, toxic, and radioactive waste management. ASCE. 2002. Vol 8. N° 1. 39-56 p. ISSN 1090-025X.

Fundación Aquae. Los 10 países con mejor agua corriente – 2013. [En línea] <http://www.fundacionaquae.org/wiki/los-10-paises-con-mejor-agua-corriente-2013> [Citado el 01 de octubre de 2015]

García, C. et al. Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. En: Revista Química Viva – N°2, año 10, Agosto 2011

García, M. et al. Estado y dinámica del agua en áreas hidrográficas de Colombia, Análisis integrado e indicadores hídricos. Estudio Nacional del Agua 2010. Capítulo 8. [En línea] https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Agua/3_Estado/20120928_Estado_dna_agua_ENA2010Cap8.pdf [Citado el 08 de octubre de 2015]

Gil, M. et al. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. En: Producción + limpia. Julio – Diciembre de 2012. Vol 7, N° 2. 52-73 p.

Guang-Guo, Y. et al. Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs) and Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in Reclaimed Water in Australia. En: Water Conservation and Reuse Research Program. 2004. ISBN 0643091807

Humber, M. et al. Oxidation of Pharmaceuticals during Ozonation of Municipal Wasterwater Effluents: A Pilot Study. [En línea] <http://www.ozono.cubaweb.cu/investigaciones/IOA/17%20IOA/VI.1.5.pdf> [Citado el 07 de octubre de 2015]

IDEAM, Estudio Nacional de Agua 2014. 1–496 p. ISBN: 978-958-0867-70-4. [En línea] http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf [Citado el 07 de octubre de 2015]

Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales IDEAM. Agua. Evaluación del Recurso Hídrico. Indicadores. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1> [Citado en 9 de Octubre de 2010].

Jiménez, C. Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. En: Revista Lasallista de investigación. Vol 8. N°2. 143–153 p. ISSN: 1794-4449

Jiménez, C. y Peñuela, G. Pesticidas tradicionales y contaminantes emergentes en la producción hortofrutícola. [En línea] <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/74/1/263-288.pdf> [Citado el 28 de septiembre de 2015]

Main water legislation. Environmental Protection Agency (EPA). [en línea] http://www.epa.ie/water/waterleg/#.Vh_0jtlvfiU [Citado el 04 de octubre de 2015]

Medicamentos contribuyen a contaminar las aguas (12 de diciembre de 2012). El Tiempo. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12443273> [Citado el 10 de octubre de 2015].

Ministerio de la protección social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 de 22 de junio de 2007. [En línea]

<http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/Documents/resolucion%202115%20de%202007,MPS-MAVDT.pdf> [Citado el 26 de septiembre de 2015]

Morales, L. Estudio del proceso de transferencia de calor convectivo en nanofluidos. Barranquilla. 2007. Tesis de maestría. Fundación Universidad del Norte. Facultad de Ingeniería Mecánica. Disponible en línea en <http://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/494/browse?value=Morales+Quintana%2C+Luis+Armando&type=author>

Origins and fate of PPCPs in the Environment. EPA. [En línea] <http://web.extension.illinois.edu/unusedmeds/whatarethey/unwantedmedicine.cfm> [Citado el 26 de septiembre de 2015]

Orjuela, L et al. Estudio Nacional del Agua 2010. Capítulo 6. Calidad del agua superficial en Colombia. IDEAM. [En línea] <https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Agua/20120928_Cali_agua_sup_ENA_2010.pdf>. [Citado en 9 de Octubre de 2010]

Petrie, B. et al. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. En: Water Research 72 (2015) 3–27p.

Rubio, A. et al. Procesos de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes. En: Revista Ambiente & Agua. 2013. Vol 8. N° 3. 94-103 p. ISSN 1980-993X

Sistema de Información Ambiental de Colombia. Portal Agua. Estado del Agua. Agua superficial. Calidad: Agua superficial. <<https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=860&conID=1373>>. [Citado en 9 de Octubre de 2010].

Sistema de Información Ambiental de Colombia. Portal Agua. Indicadores del Recurso Hídrico. Información Estratégica para la toma de decisiones <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=316&conID=1377>. [Citado en 9 de Octubre de 2010].

Sorensen, J. et al. Emerging contaminants in urban groundwater sources in Africa. En: Water Research 72 (2015) 51–63 p.

Tejada, C. et al. Contaminantes emergentes en aguas: metabolitos de fármacos. Una revisión. En: Revista Facultad de ciencias básicas. Vol 10, N° 1. 80–101 p. ISSN 1900-4699.

West, C. y Rowland, S. Aqueous phototransformation of diazepam and related human metabolites under simulated sunlight. En: Environmental Science and Technology. 2012. Vol 46. 4749-4756p.

Westerhoff, P. et al. Fate of Endocrine-Disruptor, Pharmaceutical, and Personal Care Product Chemicals during Simulated drinking Water Treatment Processes. En: Environmental Science and Technology. 2005. Vol 39. 6649-6663p.