

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 1 de 8

16.

FECHA jueves, 3 de diciembre de 2020

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Seccional Girardot
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Perez Jovel	Cesar Augusto	1.070.603.766

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 2 de 8

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Sandoval Valencia	John Jairo
Vega Romero	Diana Carolina

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Dispositivos portátiles para la potabilización de agua en Colombia: una revisión bibliográfica

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniero Ambiental

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
03/12/2020	98

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Dispositivos Portátiles	Portable devices
2. Potabilización de Agua	Water purification
3. Fuentes Hídricas	Water sources
4. Energías Renovables	Renewable energy
5. Tecnología Sostenible	Sustainable Technology
6. Normatividad Colombiana	Colombian Regulations

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16 PAGINA: 3 de 8

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Resumen

En este trabajo se efectuó la revisión bibliográfica de las tecnologías sostenibles y portátiles para la potabilización de agua en Colombia. Donde, por medio de plataformas institucionales se condensa información actualizada sobre las técnicas de potabilización de agua, normatividad colombiana y los procesos de potabilización de agua en sistemas portátiles. Con la intención de brindar apoyo a futuros proyectos de interés social o de investigación aplicada a entidades del alto magdalena y por supuesto, a nivel nacional e internacional donde se encuentren casos similares a lo que se describirá, todo esto encaminado a la solución de problemáticas referentes al acceso del agua potable. Con base en lo anterior, algunos pequeños municipios experimentan la carencia de agua en calidad y aunque cuentan con la fuente hídrica no tienen la forma de potabilizarla. Por lo tanto, la implementación de estas tecnologías portátiles con el uso de energías renovables (solar) y la articulación con el uso de métodos no convencionales, pueden llegar a suplir a corto plazo con la demanda de agua en zonas: alejadas, montañosas o que no cuenten con una fuente de energía.

Summary

In this work, the bibliographic review of sustainable and portable technologies for water purification in Colombia was carried out. Where, through institutional platforms, updated information on water purification techniques, Colombian regulations, and water purification processes in portable systems were condensed. With the intention of providing support to future projects of social interest or applied research to entities of Upper Magdalena and of course, nationally and internationally where cases similar to what will be described are found, all this aimed at solving related problems access to drinking water. Based on the above, some small municipalities experience a lack of quality water and although they have a water source, they do not have the way to make it drinkable. Therefore, the implementation of these portable technologies with the use of renewable energies (solar) and the articulation with the use of non-conventional methods, can supply in the short term with the demand for water in areas: remote, mountainous or that do not have a power source.

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16 PAGINA: 4 de 8

la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)		SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X		
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X		
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X		
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X		

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16 PAGINA: 5 de 8

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI NO

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16 PAGINA: 6 de 8

pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 7 de 8

Nota:
Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Dispositivos portátiles para la potabilización de agua en Colombia.	Texto
2. Presentacion	Texto
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Cesar Augusto Perez Jovel	CESAR PEREZ.

21.1-51.20

**Dispositivos portátiles para la potabilización de agua en Colombia: una revisión
bibliográfica**

Cesar Augusto Pérez Jovel

Universidad de Cundinamarca
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Ingeniería Ambiental
2020

**Dispositivos portátiles para la potabilización de agua en Colombia: una revisión
bibliográfica**

Cesar Augusto Pérez Jovel

**Trabajo de Grado Modalidad Monografía, Presentado como Requisito para Optar el
Título de Ingeniero Ambiental de la Universidad de Cundinamarca**

Director

John Jairo Sandoval Valencia

Co-Directora

Diana Carolina Vega Romero

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ingeniería Ambiental

2020

Tabla de contenido

1. Introducción	8
2. Justificación	12
3. Objetivos:	16
3.1 Objetivo General.....	16
3.2 Objetivos Específicos	16
4. Capítulo I: Procesos para la potabilización de agua para consumo humano	17
4.1. Sistemas de Potabilización de Aguas.	17
4.2. Tratamientos Preliminares	24
4.3. Sostenibilidad socio ambiental de los Sistemas de Potabilización de aguas (ventajas y desventajas)	28
4.4. Coagulación	34
4.5. Floculación	37
4.6. Sedimentación.....	41
4.7. Técnicas de Filtración (Uso de materiales inorgánicos y membranas poliméricas)	45
4.8. Desinfección	48
4.9. Otros procesos para potabilizar el agua	52
5. Capítulo II: Normatividad colombiana	60
5.1. Ley 373 de 1997	60
5.2. Decreto 1575 de 2007.	61
5.3. Resolución 2115 de 2007.	63

5.4. Análisis del cumplimiento de la normatividad en Colombia.	67
6. Capítulo III: Procesos para la potabilización en sistemas portátiles	68
6.1. Prototipos portátiles basado en un sistema de potabilización convencional	69
6.2. Prototipos portátiles basados en tecnologías de radiación UV	73
6.3. Perspectiva a futuro de los dispositivos portátiles para la potabilización de aguas.	76
6.4. Casos documentados.	76
7. Capítulo IV: Recomendaciones	74
7.1. Estrategias para el aseguramiento de la calidad del agua en zonas de difícil acceso y sin suministro eléctrico.	74
7.2. Implementación de metodologías económicas para el aprovechamiento del agua de mar o fuentes ricas en iones metálicos.	74

LISTA DE ILUSTACIONES

Ilustración 1: Cobertura de acueducto y alcantarillado en el periodo 2011 a 2017	9
Ilustración 2: Ubicación de la rejilla en estructuras de captación.....	3
Ilustración 3: Desembocadura del río Bogotá a la altura de Girardot, Cundinamarca.	31
Ilustración 1. Prototipo portátil de un sistema de potabilización convencional	69
Ilustración 5. Diagrama de flujo para el sistema portátil de agua lluvia.....	70
Ilustración 6. Esquema del modelo con independencia energética.	73

LISTA DE FIGURAS

Figura1: Municipios con IRCA inviable sanitariamente para el año 2017 vs Incidencia de Morbilidad para EDA en algunos departamentos.	13
Figura 2: Diagrama de flujo para un sistema convencional.....	18
Figura 3: Objetivo y características de la remoción del material flotante.	24
Figura 4. Objetivo y características de la remoción del material en suspensión.	25
Figura 5. Factores que pueden afectar el tratamiento preliminar.....	26
Figura 6. Componentes de calidad, disponibilidad y accesibilidad en la zona del alto magdalena...	32
Figura 7. Fases de la coagulación.	34
Figura 8. Tipos de Floculación.	37
Figura 9. Proceso de coagulación- floculación y algunos productos más usados con sus eficiencias.	39
Figura 10. Zonas en un tanque de sedimentación.	40
Figura 11. Tipos de sedimentación.	42
Figura 12: Parámetros del proceso en la técnica de filtración.	45
Figura 13. Filtración por telas.	52
Figura 14. Los tres recipientes.	52
Figura 15. Tratamiento por ebullición.	53
Figura 16. Desinfección solar del agua (SODIS).....	53
Figura 17. Filtración en arena.	54

Figura 18. Filtro cerámico.....	55
Figura 19. Método solvatten.	56
Figura 20. Lifestraw (pajilla filtrante).	57
Figura 21. Tratamiento de agua mediante la energía solar y rayos UV.....	58
Figura 22. Responsables para la implementación y desarrollo de las actividades de control y calidad del agua para consumo humano.	61
Figura 23. Comparación del valor máximo en algunos compuestos químicos para la Organización Mundial de la Salud (OMS), Estados Unidos (USA), Unión Europea (UE), Canadá (CAN) y Colombia (COL).	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de las fuentes de abastecimiento superficiales para la PTAP Tibitoc y la Jhon J. Carroll Treatment Plant	17
Tabla 1. Comparación de tecnologías en la PTAP Tibitoc y la CWTP	21
Tabla 3. Comparación de la PTAP Convencional El Dorado vs la instalación desalinizadora con Osmosis Inversa Jebel Ali.....	22
Tabla 4. Ventajas y desventajas de algunos sistemas de potabilización o su distribución.	30
Tabla 5. Influencia de la dosis del coagulante.	35
Tabla 6. Ventajas y desventajas de los procesos de coagulación - floculación	38
Tabla 7. Tipos de sedimentadores.....	41
Tabla 8. Ventajas y desventajas para el proceso de sedimentación	43
Tabla 9. Algunos métodos químicos para el proceso de desinfección.	48
Tabla 10. Algunos métodos físicos para el proceso de desinfección.	49
Tabla 11. Enfermedades generadas por falta de un proceso de desinfección	50
Tabla 12. Valor máximo aceptable en las características físicas.	63
Tabla 13. Valor máximo aceptable en las características Microbiológicas.	65
Tabla 14. Características del prototipo portátil.	69
Tabla 15. Características del prototipo portátil para la planta de agua lluvia.	71
Tabla 16. Características del prototipo portátil para la planta en situaciones de emergencia.	72
Tabla 17. Características de una planta portátil para potabilización de agua con independencia energética.	74
Tabla 18. Casos de estudio.	77

1. Introducción

El acceso a agua potable es una necesidad básica para el desarrollo de la vida, de tal manera es fundamental para un desarrollo justo, sostenible y sano de cualquier país. De acuerdo con cálculos estimados por el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), el informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo (WWDR) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2019 cerca de 2,200 millones de personas carecían de este líquido vital adecuado y se cifra que seis de cada diez personas no tenían acceso a servicios de saneamiento seguros. Además, se calcula que una persona consume como mínimo 50 litros de agua al día, la que utiliza como bebida y recurso de aseo. (Puello, Paternina, Gómez y Pascualino, 2015; Reyes, 2015; OMS y UNICEF, 2019; WWDR, 2019; Otero, 2019).

Un informe de la Unicef presentado el año 2017 mostró que el saneamiento de los países en desarrollo estaba distribuido así: 32% poseen un sistema básico, 15% tiene un método limitado (compartido), el 33% presentan servicios no mejorados y el 20% realizan la defecación al aire libre. En otras palabras, un porcentaje de la población de los países en vías de desarrollo, experimentan a diario la carencia de condiciones sanitarias adecuadas, resaltando de no contar con agua en cantidad y calidad que satisfaga sus necesidades básicas. Esta situación se presenta especialmente en zonas aisladas como territorios insulares, rurales, montañosos y selváticos. Así mismo, Puello et al. (2015) Señala que en los países subdesarrollos se manifiesta la insuficiencia de agua potable por varias causas, entre las que se encuentran la falta de recursos hídricos, la contaminación de las fuentes de agua o incluso por problemas de orden financiero, que no permiten la implementación de sistemas de tratamiento, potabilización y distribución del agua a la población. Sin embargo, a razón de estas problemáticas la Unicef por medio de productos innovadores en materia de agua, saneamiento e higiene como: losas accesibles para letrinas y la

implementación de sistemas híbridos de bombeo utilizando energía solar, pretende vincular la mejor respuesta humanitaria con estrategias de desarrollo. (UNICEF, 2020).

Por lo tanto, como el objetivo de los organismos internacionales es cambiar el panorama que se presenta, se propusieron los objetivos del desarrollo del milenio (ODM), los cuales esperaban reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible de agua potable y servicios de saneamiento básico para el 2015.

En Colombia, según el departamento nacional de planeación (DNP) se fijó superar la meta universal hasta el 2015 con respecto a la cobertura de alcantarillado y acceso al agua potable en poblaciones marginales. Sin embargo, no lo logro. A razón de esto, los ODM fueron sustituidos en 2012 por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), donde básicamente plantean una serie de objetivos mundiales que relacionan los desafíos ambientales económicos y los políticos a los que se enfrentan el mundo. (UNESCO, 2019; Carvajal, 2011; OMS; PNUD, 2019).

Según el Plan Director de Agua y Saneamiento Básico (PDASB) durante el periodo 2011-2017, la proporción de personas que podían acceder a suministros de agua potable aumentó, lo que se tradujo en que 97,8 de cada 100 personas tuvieran acceso, cuando en el 2010 al 2015 solo 91,4 (de 100) lo tenían. Esto permitió mejorar las condiciones de ciudadanos que debían caminar durante largas jornadas para obtener el recurso o que tenían acceso a fuentes de agua contaminadas. El mismo aumento ocurrió con el número de personas que podían acceder a instalaciones mejoradas de saneamiento básico, pues pasó de 81,1 por ciento en 2015 a 88,2 por ciento en 2017. Ver figura 1. Esto permitió reducir la cantidad de aguas residuales sin tratamiento, vertidas en los ríos y océanos. Es decir que hubo reducciones en la contaminación y

con ello, en la propagación de enfermedades como la diarrea crónica, una de las principales causas de muerte en niños menores de cinco años. (Martínez, 2017; PDASB, 2018).

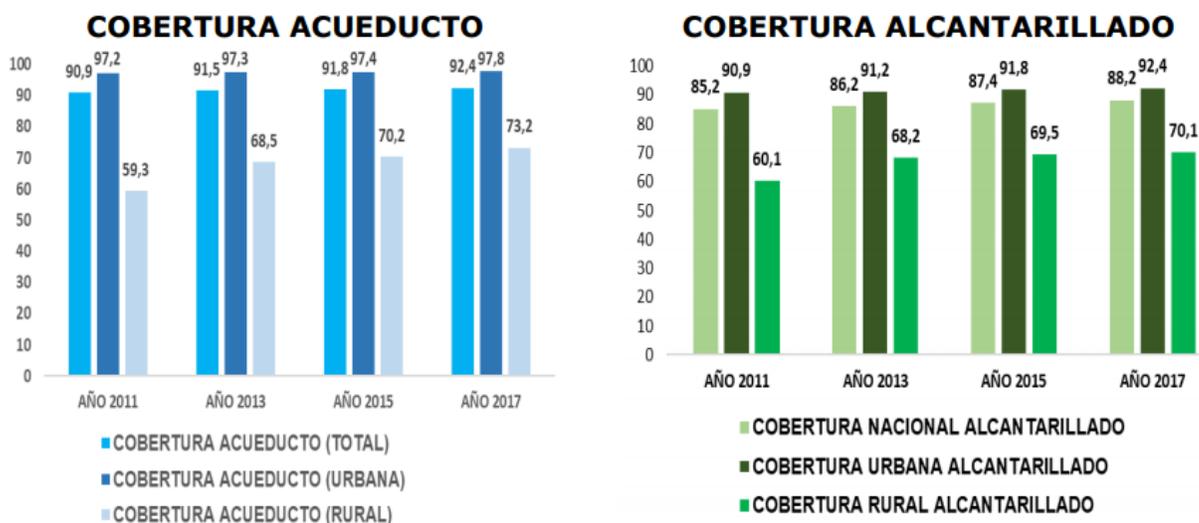


Ilustración 2: Cobertura de acueducto y alcantarillado en el periodo 2011 a 2017. Fuente: Plan Director de Agua y Saneamiento Básico, 2018

A pesar de estos avances, Colombia todavía no logra asegurar agua potable y saneamiento básico para todos sus habitantes. Esto puede deberse a la existencia de una gran brecha entre las zonas urbanas y rurales del país (a favor de la urbana). Por ejemplo, en la zona urbana 97 personas de 100 pueden acceder a suministros de agua potable, mientras que en la rural solo 74 (de 100) lo logran. Sucede igual con las mejoras sanitarias, que en la zona urbana alcanzan 92,4 % mientras que en la rural tan solo 70,1 %. (Martínez, 2017; PDASB, 2018)

Según los datos reportados, surge la necesidad de estudiar los sistemas para garantizar el acceso al agua potable. Es por ello, de vital importancia conocer las tecnologías y promover el desarrollo de procedimientos eficientes que permitan abastecer a grupos familiares que, aunque tengan el recurso hídrico éste no presente una buena calidad. (Reyes, 2015)

En relación a lo mencionado, lo que se pretende obtener con la redacción de esta monografía, es condensar información actualizada sobre las últimas tecnologías eficientes para

la potabilización del agua. Por medio de plataformas como lo es google académico, se realizará la búsqueda inicial del tema ya mencionado, además se realizará una consulta más detallada de la temática a nivel global y reduciéndola a una zona local. Es decir, mediante el uso de bases de datos institucionales, tales como Scopus o Sciendirect, se reducirá la búsqueda de artículos, patentes, e instituciones que dominan la temática de interés en los últimos 10 años de estudio.

De lo anterior, es necesario mencionar la utilización de un gestor bibliográfico como Mendeley, la cual será utilizada para administrar los artículos, revistas, investigaciones y textos recopilados. El análisis de la información se realizará inicialmente por medio de la comparación de sistemas de potabilización, sus ventajas y desventajas, así mismo, se analizará los aportes del gobierno y las empresas privadas para el suministro de agua potable. Además, se estudiará los dispositivos portátiles para el tratamiento de agua para consumo humano en Colombia, junto con sus posibles formas de implementación en zonas de difícil acceso o que no posean suministro eléctrico

2. Justificación

El uso del agua ha venido aumentando un 1% anual en todo el mundo desde los años 80 del siglo pasado, impulsado por una combinación de aumento de la población, desarrollo socioeconómico y cambio en los modelos de consumo. A causa de esto se espera que la demanda mundial de agua siga aumentando a un ritmo parecido hasta 2050, lo que representa un incremento del 20 al 30% por encima del nivel actual de uso del agua. A razón de esto, los seres humanos se han percatado de su importancia, a la vez que observan su inminente carencia. (UNESCO, 2019; Sabrina, 2006).

“Según un informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, se estima que alrededor de 4.000 millones de personas, que representan casi dos tercios de la población mundial, experimentan una grave escasez de agua durante al menos un mes del año”. (UNESCO, 2019, p.14)

En América Latina millones de personas carecen aún de una fuente adecuada de agua potable, mientras que un número aún mayor sufre la carencia de instalaciones seguras y dignas para la eliminación de las heces. Muchas personas sin acceso a servicios se concentran en áreas periurbanas, principalmente en los cinturones de pobreza que surgen en la periferia de muchas de las ciudades de la región donde resulta difícil proporcionarles servicios de calidad aceptable a estas áreas marginales. (WWDR, 2019)

En Colombia, el Informe Nacional de la Calidad del Agua (INCA), reportó que de los 1,054 municipios del país que suministraron información, solo el 27,2% disponían de agua de buena calidad. Al mismo tiempo, por medio del desarrollo metodológico para la determinación de la incidencia por EDA, se determinó que 886 municipios registraron datos y que de estos el 22% mostraron una frecuencia superior al 50%. (INCA, 2017)

Conforme a esto el Instituto Nacional de Salud (INS, 2019) mediante el informe del comportamiento de la morbilidad por la enfermedad diarreica aguda (EDA) afirmo que la mayor incidencia de EDA se localiza en el grupo de menores entre 1 a 4 años (271,605 casos). Con la mayor tasa de incidencia en niños de un año, con unas cifras de 90,8 casos por cada 1 000 habitantes y con una incidencia nacional de 34,9 casos por cada 1 000 habitantes. Además, algunas entidades territoriales como: Bogotá, Barranquilla, Antioquia, Risaralda y Norte de Santander presentaron una mayor frecuencia a la nacional

De lo anterior, se debe agregar que de acuerdo con el INCA (2017) los niveles de riesgo físicos, químicos y microbiológicos para algunos departamentos basados en la resolución 2115 de 2007, que establece los rangos para la clasificación del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA). Donde el nivel sin riesgo está entre (0.0 – 5.0) sin riesgo, bajo (5.1 – 14.0), medio (14.1 -35.0), alto (35.1 – 80.0) y el nivel inviable sanitariamente (80.1 - 100.0). Son: Antioquia, Córdoba, Guaviare, Arauca y Quindío no presentaron riesgos. Atlántico, Casanare, Cauca, Cundinamarca, Cesar, Bogotá, Santander, Vichada y Risaralda, reportaron un riesgo bajo. Archipiélago de San Andrés, providencia y Santa Catalina, Bolívar, Boyacá, Caquetá, Amazonas, Choco, Magdalena, Meta, Norte de Santander, Guainía, Tolima y Valle del Cauca mostraron un nivel de riesgo medio. Caldas, Huila, Nariño, Vaupés y Putumayo evidenciaron un nivel de riesgo alto. Además, cabe señalar que en algunos municipios la calidad del agua es inviable para consumo humano. En relación con los datos mencionados, se asocian los casos sobre incidencia de morbilidad por cada 1000 habitantes para EDA en algunos departamentos y el nivel de IRCA inviable en algunos municipios como se ilustra en la figura 2.

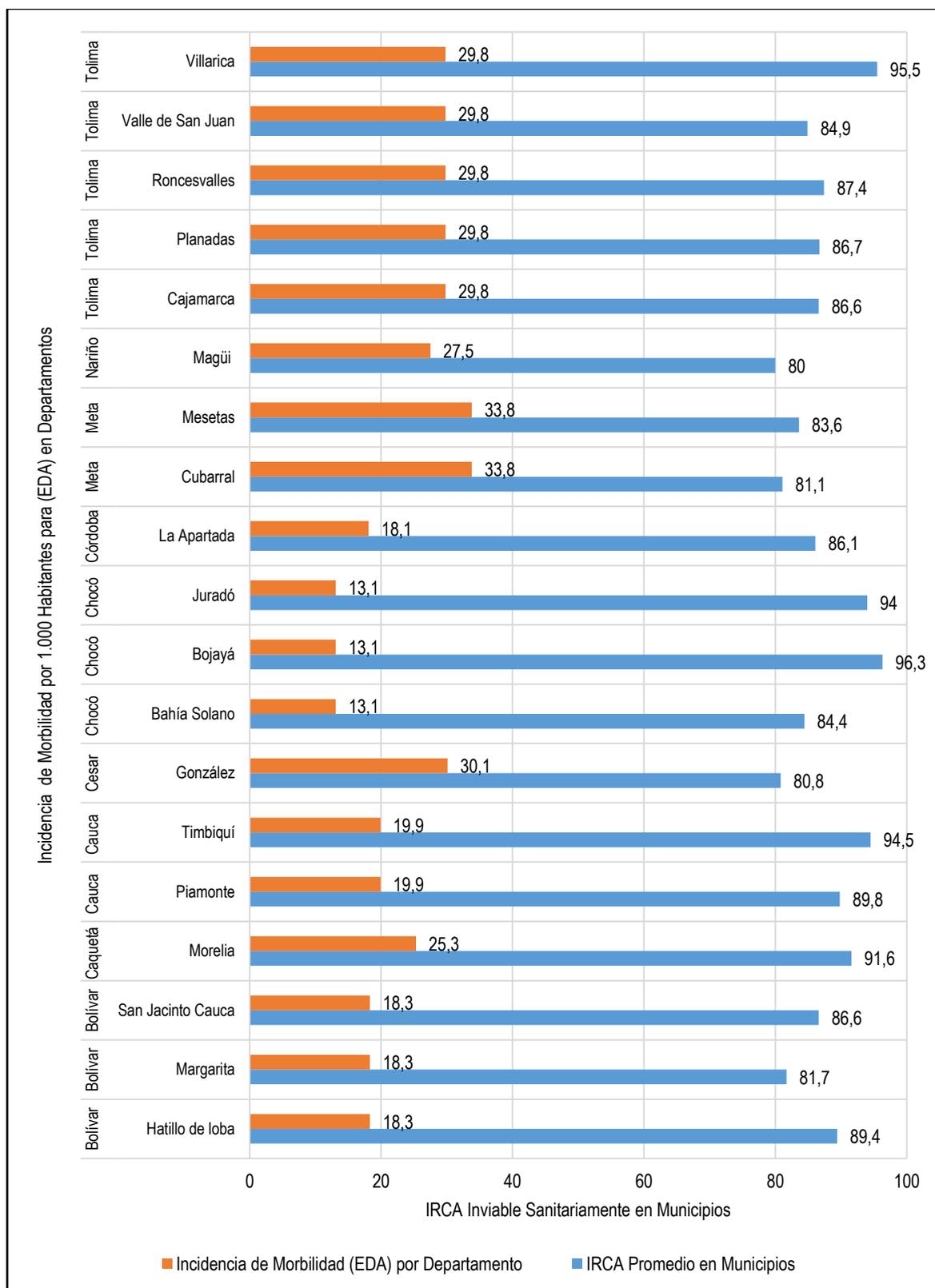


Figura 1: Municipios con IRCA inviable sanitariamente para el año 2017 vs Incidencia de Morbilidad para EDA en algunos departamentos. Fuente: propia.

Por lo tanto, ante el imperante requerimiento de agua que tiene la población colombiana, en especial las pequeñas comunidades del norte del país, zona que se encuentra en estado de subdesarrollo, se hace necesario recurrir al estudio, de nuevas alternativas de potabilización de agua para poder disponer de la misma, de manera continua y eficiente. Dichas alternativas deben ser además económicamente viables y capaces de satisfacer la demanda de agua para consumo doméstico, fáciles de utilizar, sostenibles, de bajo mantenimiento e independientes de servicios externos (como fuentes de energía).(Puello et al., 2015) Con base a lo anterior, estas alternativas deben cumplir con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de cumplimiento estipulados en la resolución 2115 del 2007 establecidos por los ministerios de protección social y de ambiente vivienda y desarrollo territorial donde están concertados los niveles para caracterizar el agua de consumo humano. Conforme a esto, por medio del siguiente documento monográfico se mostrarán investigaciones, casos de estudio, empresas y patentes que facilitan la implementación de dispositivos portátiles para la potabilización de agua en Colombia.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

- Efectuar la revisión bibliográfica de las tecnologías sostenibles y portátiles para la potabilización de agua en Colombia.

3.2 Objetivos Específicos

- Comparar las técnicas de potabilización de agua.
- Analizar el aporte del gobierno estatal y de empresas privadas para el suministro de agua potable en Colombia.
- Desarrollar un estudio de revisión sobre los dispositivos portátiles para el tratamiento de aguas con fines de consumo humano en Colombia.

4. Capítulo 1: Procesos para la potabilización de agua para consumo humano

4.1 Sistemas de Potabilización de Aguas.

Según estudios, la cantidad de agua que es apta para consumo humano en el mundo es menor del 1% de los recursos de agua dulce disponible. Simultáneamente el uso indiscriminado que hacen las industrias, la intervención del hombre en ambientes naturales y la expansión de las zonas urbanas y rurales ha logrado reducir el porcentaje con el que se cuenta actualmente. Además, se modifica su composición con distintas sustancias que son incorporadas por diversos procesos en el desarrollo de su actividad económica como lo plantea un estudio la revista Science of The Total Environment donde se encontró que metales pesados como el mercurio y el cadmio superan entre 100 y 1000 veces los límites máximos permitidos en 14 afluentes de la Amazonía. Por lo tanto, esto exige métodos complementarios para su tratamiento (Orbe, 2020; Duarte, 2017; Martínez, Mendoza, Medrano, Gómez, & Zafra, 2020)

Por otra parte, en la actualidad existen diferentes métodos para mejorar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua cruda. Sin embargo, es conveniente mencionar que “el tratamiento que se debe realizar al agua con el fin de obtener su potabilización depende principalmente de la calidad del agua en la fuente de captación” (Velandia, De Plaza y Pulgarín, 2020, p.80). Para ilustrar mejor, se realizó la comparación de dos fuentes de abastecimiento superficiales como se observa en la tabla 1. Además, se debe agregar que al no contar con una excelente fuente de agua (superficial o subterránea), puede requerirse la implementación de un sistema convencional que permita la eliminación de los contaminantes por procesos físicos y químicos o ya sea la combinación de los dos. Ver figura 3, mejorando así su calidad para consumo humano. (Martínez et al., 2020)

Tabla 2. Comparación de las fuentes de abastecimiento superficiales para la PTAP Tibitoc y la Jhon J. Carroll Treatment Plant

Fuentes	Turbiedad	Nitrato	PH	Oxígeno Disuelto	SST	E. Coli.	Coliformes Fecales	Coliformes Totales
		$\frac{mg}{L}$		$\frac{mg}{L}$	$\frac{mg}{L}$	(CFU/100 ml)	(CFU/100 ml)	(CFU/100 ml)
Wachusett	0,12-70,50	0,049	6-7	>4,5	NRI	[<1-95]4	[<1-32]	NRI
Quabbin	0,23-1,13	0,009	4,8-7,8	6,0	NRI	20	[1-6]	[10-24200]
Sisga	NRI	0,1145	7	5,8	5,7	100	NRI	2100
Tominé	NRI	15,995	7,01	6,0	5,3	100	NRI	2680
Neusa	NRI	0,307	7,2	6,7	6,3	100	NRI	10950

Fuente: Propia. Adaptado de: Martínez et al., 2020

NRI: No registra información

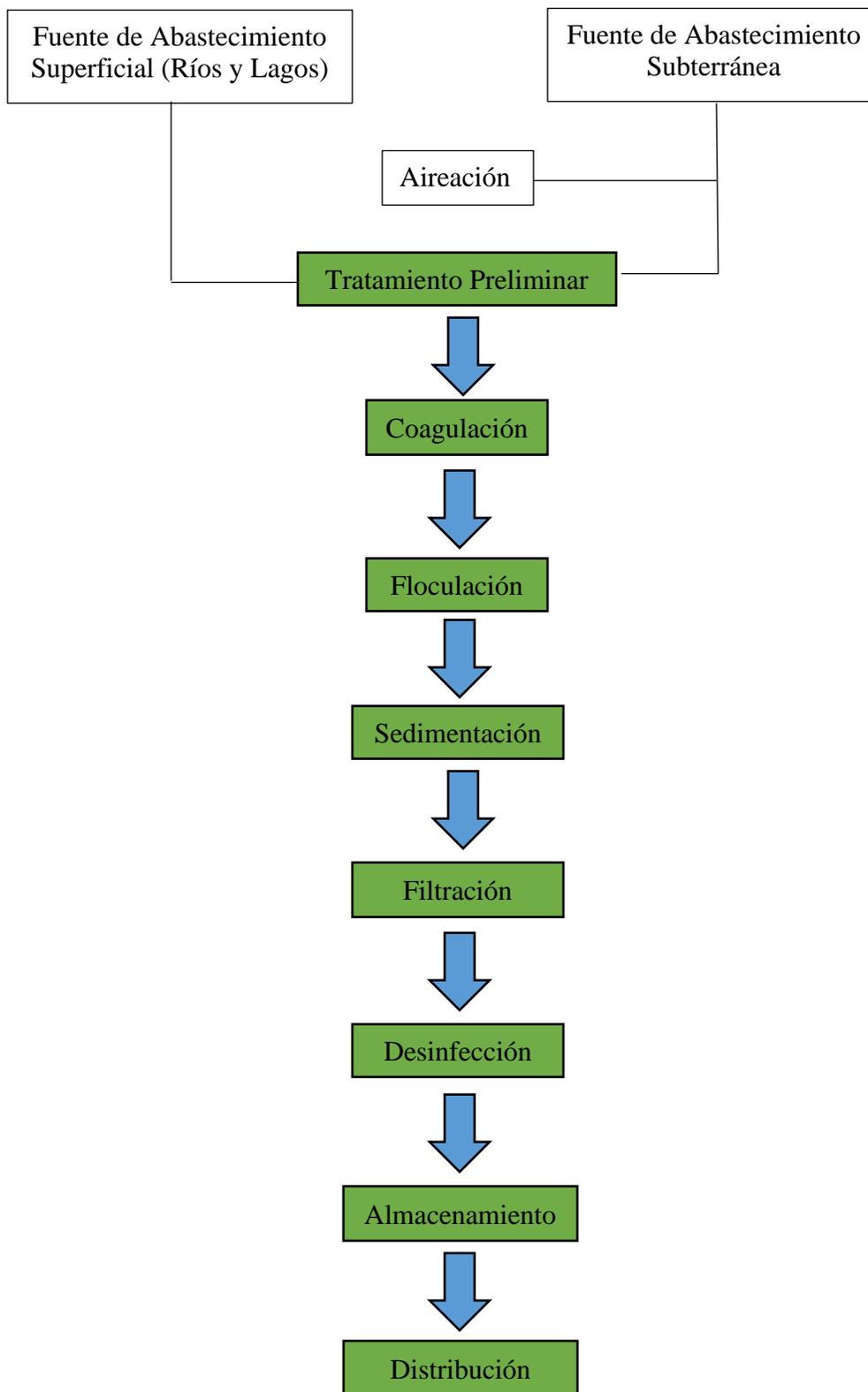


Figura 2: Diagrama de flujo para un sistema convencional. Fuente: Propia

Dicho lo anterior, la selección del mejor sistema debe cumplir con ciertos parámetros establecidos en especial la eficiencia. En otras palabras, debe cumplir el mismo objetivo sin consumir muchos recursos. Sin embargo, Martínez et al., (2020) afirma “la eficiencia de una planta de tratamiento de agua potable está ligada al cumplimiento de la legislación en la calidad de agua suministrada sin importar los cambios en la calidad del agua del afluente” (p.16). No obstante, una fuente de abastecimiento en mejores condiciones mejora significativamente los procesos reduciéndolos a uno solo, como es el caso de la planta Jhon J. Carroll Treatment Plant (CWTP) ubicada en Boston, Massachusetts, E.E.U.U que utiliza solamente la desinfección para su potabilización. En cambio, la planta de Tibitoc ubicada en Tocancipá, Cundinamarca, Colombia maneja una fuente que exige la utilización de un proceso convencional para generar agua potable. Ver tabla 2. sin embargo, se presentan una serie de diferencias significativas como, por ejemplo: la PTAP Tibitoc entro en operación en 1958 y la CWTP en 2005, casi medio siglo después, además, que para ese entonces E.E.U.U ya era conocido como potencia mundial y Colombia es un país en desarrollo. Así mismo cabe señalar que en base a lo anterior lo verdaderamente importante es el cuidado de las fuentes de agua y su control para mantenerlas limpias, ya que es una diferencia significativa entre los dos países.

Consideremos ahora, que debido al aumento exponencial de la población y la limitación de las fuentes convencionales, la opción de tomar agua de mar y hacerla potable por el método de osmosis inversa en la actualidad no suena algo fuera de lo común, ya que según la International Desalination Association (IDA), cerca de 86,8 millones de m^3 se desalinizan en el mundo y se espera que en un futuro cercano este número puede aumentar, aunque, la implementación de este tipo de tecnologías son costosas hoy en día, la utilización de energías renovables aparenta ser la mejor opción para la inminente problemática energética que

experimenta el uso de este tipo de posesos. Pongamos por caso las opciones para Dhahran, Arabia Saudita, donde se evidencia que por medio de combinaciones como: RO-PW (Osmosis inversa – energía viento) y RO-PV (Osmosis inversa – energía solar) se obtuvo que el costo del agua producida por RO-Wind es de 1.366 \$ / m³ a 1.273 \$ / m³ y por RO-PV es de 2.119 \$ / m³ a 2.048 \$ / m³ para una capacidad del sistema de 1000 m³ a 10,000 m³, respectivamente. (Ben-Mansoura, Al-Jabra, & Saidurb, 2019)

Conforme a esto, para analizar mejor la aplicabilidad de estos sistemas se realiza la comparación del método convencional aplicado a la PTAP el dorado, Bogotá vs el sistema de osmosis inversa en la desalinizadora de Jebel Ali, Emiratos Árabes. Ver tabla 3. A pesar de que los dos sistemas pueden cumplir con la normatividad de agua potable, la principal diferencia es su costo de operación. Pero, como ya se ha mencionado anteriormente el uso de energías renovables puede reducir significativamente el coste de adquisición. (Niño y López, 2018)

En conclusión, las metodologías aplicadas a la obtención de agua potable, están ligadas al cumplimiento de la normatividad, sin importar el estado de la fuente, más si su eficiencia para al momento de ponerla en práctica, de manera análoga se puede ver la relación costo – beneficio además es posible que el no cumplimiento de las normas que rigen y controlan el recurso hídrico limiten a netamente la utilización de la PTAP convencional y dejar de lado el uso de nuevas tecnologías para poblaciones marginales.

Tabla 3. Comparación de tecnologías en la PTAP Tibitoc y la CWTP

PTAP Tecnología	Componentes	Calidad de la Fuente	Capacidad por día	Ventajas en la Desinfección
Tibitoc -Sistema Convencional	-Coagulación -Floculación -Sedimentación -Filtración - Desinfección -Tanque de Contacto	Fuente Pobre	$12 \frac{m^3}{s}$	-Maneja el cloro que es el más económico y usado
CWTP -Desinfección	-Ozono -Bisulfato de Sodio -Luz UV -Hipoclorito de Sodio -Ácido Hidrofluoro Silicio de Sodio -Amoniac Acuoso -Carbonato de Sodio -Dióxido de Carbono	Fuente Excelente	$17,74 \frac{m^3}{s}$	-Maneja un rango muy bajo para el cloro libre y combinado - Uso de Ozono para garantizar mayor inactivación de patógenos

Fuente: Propia. Adaptado de: Ben-Mansoura, Al-Jabra, & Saidurb, 2019

Tabla 4. Comparación de la PTAP Convencional El Dorado vs la instalación desalinizadora con Osmosis Inversa Jebel Ali.

PTAP	Tecnología	Componentes	Consumo Energético	Costo Producción	Calidad Agua	Impacto Ambiental	Afectación	Producción de Agua
Dorado	-Sistema Convencional	-Coagulación -Floculación -Sedimentación -Filtración -Desinfección -Tanque de Contacto	$2,4 \frac{Kw}{h}$	$7,150 \frac{pesos}{h}$	0,06	-Coagulación IRCA	-Humanos	$30 \frac{m^3}{h}$
Jebel Ali	-Sistema Osmosis Inversa	-Pre Tratamiento -Filtrado -Micro Filtrado -Osmosis Inversa -Re mineralización	$6 a 8 \frac{Kw}{h}$	$9,796 \frac{pesos}{h}$	$< 40 \frac{mg}{L}$	-Salmuera Solidos Disueltos - Pre Tratamiento	-Ecosistema	$4,750 \frac{m^3}{h}$

Fuente: Propia. Adaptado de: Niño y López, 2018

4.2 Tratamientos Preliminares

El agua destinada al consumo humano puede contener elementos físicos que alteran su apariencia, haciéndola rechazable por el consumidor. Por lo tanto, los tratamientos preliminares son de suma importancia para obtener una óptima calidad de agua en una fase inicial. Según la calidad del agua bruta y su condición hasta la planta, podrá ser necesario el uso de unidades preliminares. A razón de esto, se precisan diversas fases que ayudan a conseguir que el agua sea potable. Ver figura 4 y 5. Además, la selección de los procesos de tratamiento de aguas o la serie de pasos para el tratamiento, dependen de un cierto número de factores. Ver figura 6 (Aragón, 2019; Barreto Tejada, J. A. 2015; Ramalho, 2012)

Por otra parte, el tratamiento preliminar puede incluir una o varias fases, aunque algunas hacen parte del sistema de aguas residuales, procesos como el cribado, son frecuentemente utilizados para el tratamiento del agua potable. Otro rasgo de importancia es que la ubicación de la rejilla de cribado dependerá de la estructura de captación. Ver figura 7 (Casero, 2008)



Captación de Fondo



Captación Lateral



Captación Flotante

Ilustración 2: Ubicación de la rejilla en estructuras de captación. Recuperado de: www.es.slideshare.net.com

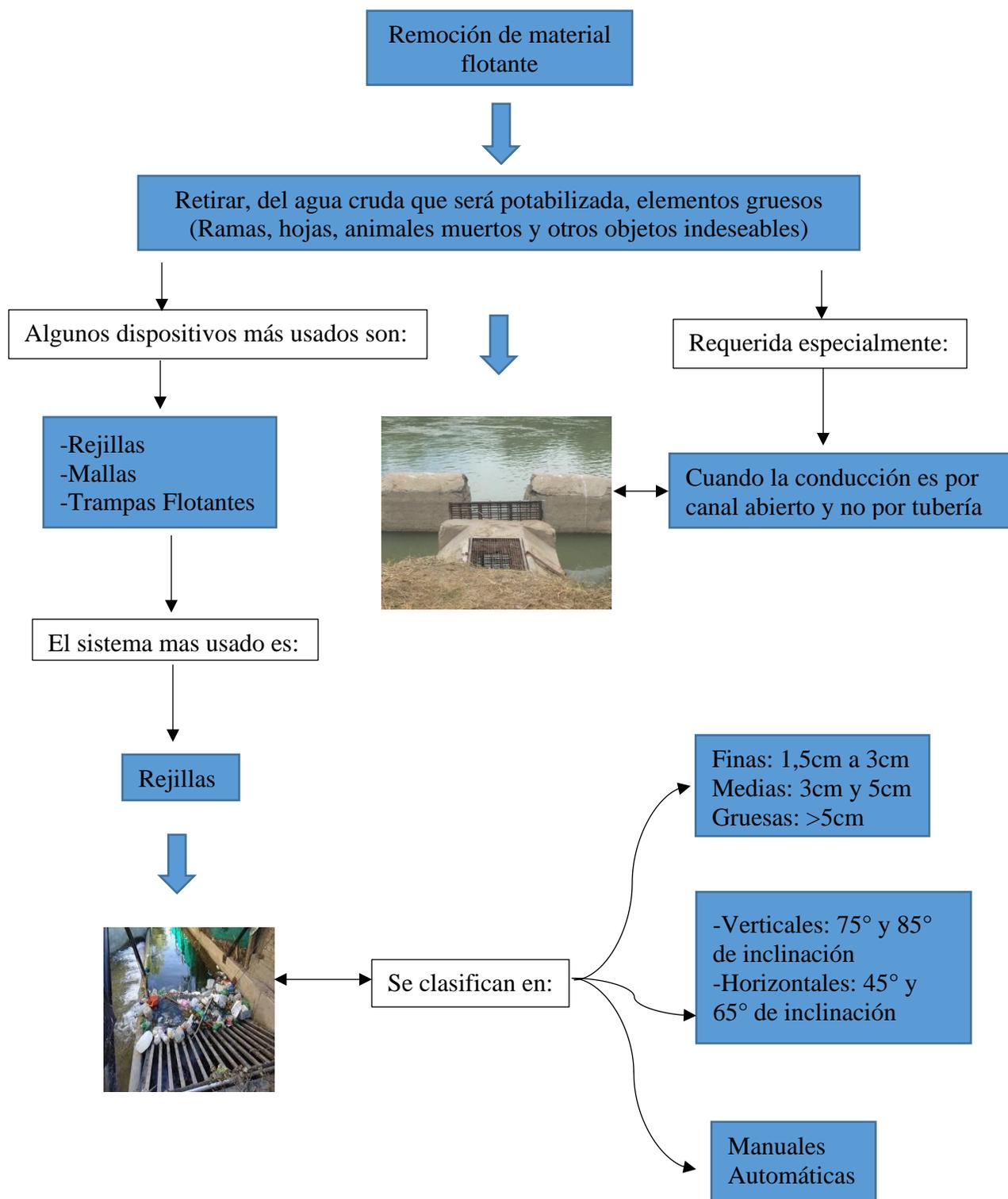


Figura 3: Objetivo y características de la remoción del material flotante. Fuente: propia. Adaptado de: Barreto Tejada, J. A. 2015.

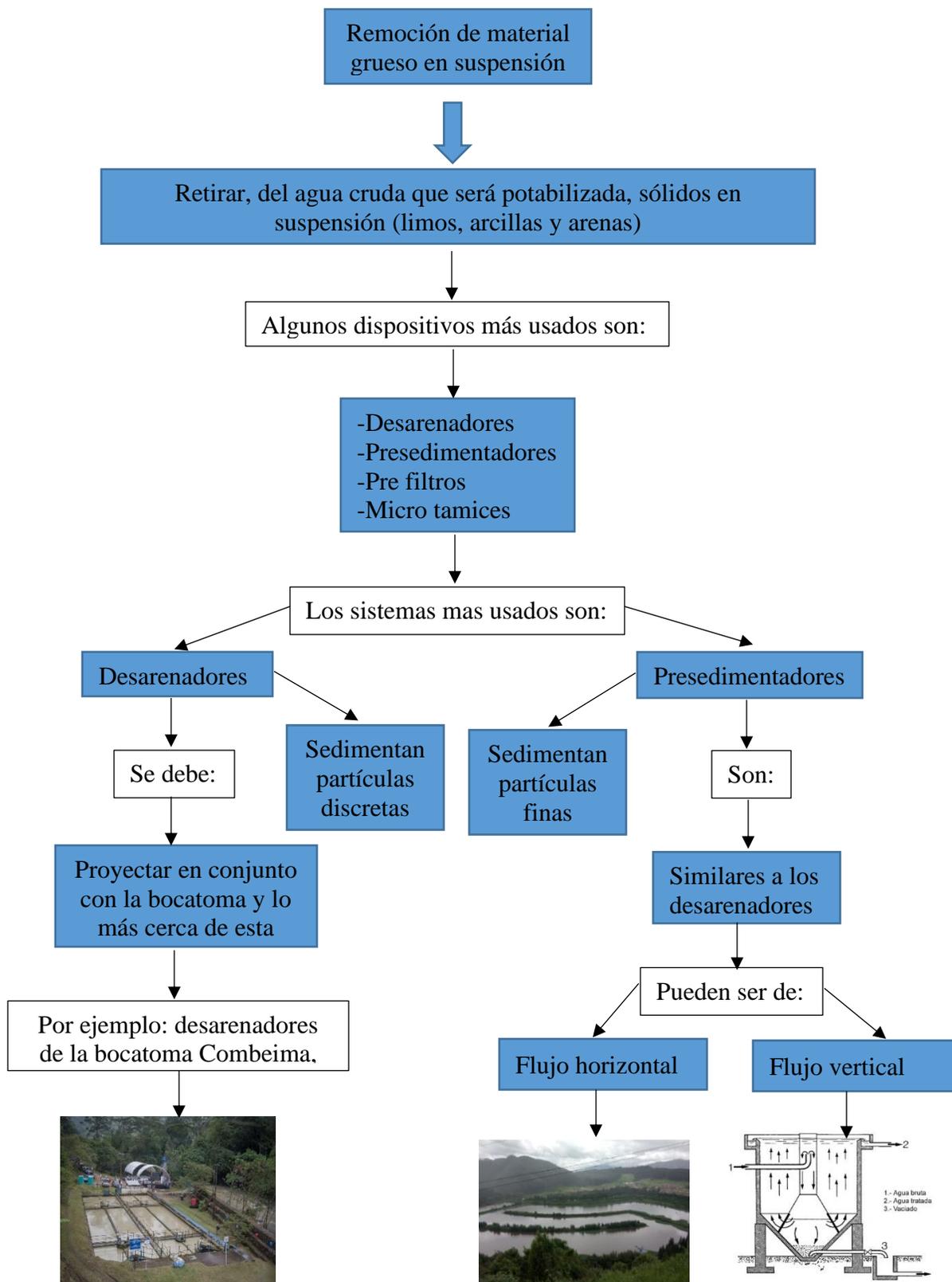


Figura 4. Objetivo y características de la remoción del material en suspensión. Fuente: propia. Adaptado de: Barreto Tejada, J. A. 2015.

Característica	Definición	¿Con que se puede relacionar?	¿Qué puede indicar?	¿Qué problemas puede causar?
Color	Percepción visual regida por el fenómeno de Tyndall-Faraday	Presencia de sustancias disueltas (en solución)	-Puede haber fallas en el sistema -Alta presencia de sedimentos -Contaminación fuente de la fuente	-Problema estético -Agua altamente coloreada y desinfectada puede ocasionar la formación de Trihalometanos (THM) y Ácidos Haloacéticos (HAA)
Sabor	Característica apreciable por simple inspección humana	Presencia de compuestos inorgánicos	-Fallas en el proceso de potabilización -Corrosión o crecimiento de biofilms	-Rechazo por parte de los consumidores
Olor	Emanación volátil de ciertos compuestos	Presencia de compuestos orgánicos	-Fallas en el proceso de potabilización -Corrosión o crecimiento de biofilms	-Rechazo por parte de los consumidores
Turbiedad	Dificultad del paso de la luz a través de una muestra de agua.	Presencia de sustancias y material no soluble en suspensión	-Deforestación en la cuenca hidrográfica -Arrastre de sedimentos -Presencia excesiva de microorganismos -Vertidos domésticos, industriales o agropecuarios -Eficiencia del sistema de tratamiento	- Alta turbiedad protege los patógenos - Alta turbiedad estimula el crecimiento bacteriano - Alta turbiedad aumenta la demanda del desinfectante -Alta turbiedad afecta la coagulación

Figura 5. Factores que pueden afectar el tratamiento preliminar. Fuente: Propia. Adaptado de: Barreto Tejada, J. A. 2015.

Adicionalmente, otros parámetros de interés son: **Temperatura:** que estimula el desarrollo de los microorganismos, disminuye la solubilidad de los gases (incluido el cloro y el oxígeno) y su aumento confiere mal sabor al agua y corrosión a las tuberías. **PH:** indica el nivel basicidad o acidez que tiene el agua e influye directamente en la eficacia de los desinfectantes y coagulantes. **Alcalinidad y Dureza:** Medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos y afecta directamente el proceso de la coagulación, igualmente está asociada a la dureza del agua, que puede generar daños en la tubería. **Hierro y Manganeso:** elementos presentes en aguas subterráneas y casi siempre juntos, afectan el color del agua y puede dañar las tuberías. **Nitratos:** compuestos comunes en aguas de pozos contaminados, puede causar metahemoglobinemia infantil. **Fluoruros:** una dosis excesiva puede ocasionar fluorosis dental. **Sustancias tóxicas:** sustancias que tienen un efecto adverso sobre la salud humana, aún en concentraciones muy bajas. Como son: antimonio, arsénico, bario, cadmio, cianuro, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio, trihalometanos (THM), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y plaguicidas, entre otros. (Barreto Tejada, J. A. 2015)

4.3 Sostenibilidad socio ambiental de los Sistemas de Potabilización de aguas (ventajas y desventajas)

El saneamiento sostenible es un enfoque integral al manejo de los recursos, y ya que el agua es un recurso escaso, la elaboración de un proyecto de una PTAP es relevante desarrollarlo en términos de sostenibilidad socio ambiental, para asegurar la gestión de los recursos en las generaciones actuales y futuras. Por consiguiente es de suma importancia tener en cuenta el término de sostenibilidad que hace referencia a “promover un crecimiento económico que genere riqueza equitativa para todos sin dañar el medio ambiente”. (Acciona, 2014; AECID, 2015)

De acuerdo a los lineamientos iniciales para la construcción de una planta potabilizadora, se debe elaborar un análisis previo para identificar los posibles impactos tanto en la comunidad, como en el medio ambiente. Por lo tanto, se tienen en cuenta 3 aspectos para la sostenibilidad en un proyecto de agua potable, los cuales son:

Disponibilidad: hace referencia a la cantidad de agua disponible para abastecer las necesidades primarias de la comunidad, es decir contar con el servicio sin interrupciones según lo estipula la OMS.

Accesibilidad: menciona a que toda la población cuente con una fácil disposición del líquido sin ningún tipo de exclusión.

Calidad: hace alusión a que el agua debe contar con unas buenas características, es decir no deben de contener una concentración de sustancias químicas tóxicas ni radiológicas para que posteriormente pueda ser tratada, evitando así riesgos a la comunidad.

De lo anterior, es importante mencionar que algunos sistemas de potabilización y la distribución realizada de agua, implementan o proyectan la utilización de sistemas sostenibles. Ver tabla 4. Se debe agregar que algunas organizaciones a nivel mundial colaboran o desarrollan proyectos como es el caso Oxfam que junto con la Unicef y su socio PATH. Generan por medio de unos kits, la producción de cloro, mediante la electrocatálisis del agua y la energía solar. Además. Realizaron la implementación de lombrices tigre en las letrinas de Liberia para reducir sus residuos y prolongar así su uso. (Oxfam, 2019)

América latina se encuentra actualmente afectada económica, ambiental y socialmente por los cambios económicos a nivel global. Sin embargo, la capacidad de innovación, desarrollo, adaptación de nuevas tecnologías, soluciones acordes a las demandas y necesidades de un país, están relacionadas directamente con su capacidad intelectual. Es decir, sus investigadores, que

representa el recurso más valioso. Ante este déficit, que se magnifica en los sectores de agua y medio ambiente, los países latinoamericanos deben mejorar su capital intelectual para generar mejoras a las problemáticas que inhiben el desarrollo sustentable. Por otro lado, el Informe WWDR dedicado a soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua, presenta una relación entre los ecosistemas, la hidrología y el bienestar humano e igualmente menciona que esta relación es importante para todos los aspectos del desarrollo sostenible. (Estévez, Herrera y Tobochi, 2019)

Tabla 4. Ventajas y desventajas de algunos sistemas de potabilización o su distribución.

Aspecto	Sistema	Ventajas	Desventajas
Económico	Redes sustentables de	-Mejora la eficiencia del	-Limitado legislación regional
	Agua	sistema -Reducir Costos -Mejorar la calidad de agua	-Limitado tipo de consumo -Limitado por la macroeconomía de cada país
Tecnológico	Osmosis inversa	-Utilización de energía	-El sistema debe estar ubicado cerca de una
	Impulsada por energía	renovable	fuerza eólica
	Eólica	-Reducción de costos	-Alto consumo de energía
Ambiental	Proceso de potabilización	-Reduce costos en comparación al	-Se debe manejar un desinfectante mas
	Usando solo desinfección	método convencional -Mejora la calidad del agua -No genera un impacto significativo Al medio ambiente	efectivo -La calidad de las fuente se limita por la normatividad de cada país

Fuente: Propia. Adaptado de: Oxfam, 2019.

A fin de ilustrar mejor, se mostrará cómo se encuentra la zona del alto magdalena en términos hídricos, en otras palabras, capacidad hídrica, aprovechamiento del recurso y calidad. Así mismo, teniendo en cuenta los principales aspectos de un proyecto de agua potable, es preciso mencionar que la desembocadura del río Bogotá se une a la principal arteria fluvial como lo es el magdalena en la zona de Girardot, Cundinamarca. Ver figura 4, generando problemáticas asociadas aguas abajo, en municipios como Flandes y Nariño, ya que estos toman como fuente de abastecimiento la cuenca del magdalena. A pesar de no ser nueva la discusión ocasionada por esta situación, se debe agregar que el Bogotá maneja caudales en promedio anual de $50 \frac{m^3}{seg}$ y el magdalena $1200 \frac{m^3}{seg}$, donde al momento de unirse la dilución provocada es 1:20. Sin embargo, la utilización de sensores en la cuenca alta, que es la más contaminada, puede generar un mayor control para la aplicación de futuras metodologías encaminadas a su mejoramiento. (Díaz & Crespo, 2019; Ospina, Murillo y Toro, 2018)



Ilustración 3. Desembocadura del río Bogotá a la altura de Girardot, Cundinamarca. Fuente: Si río Bogotá 20

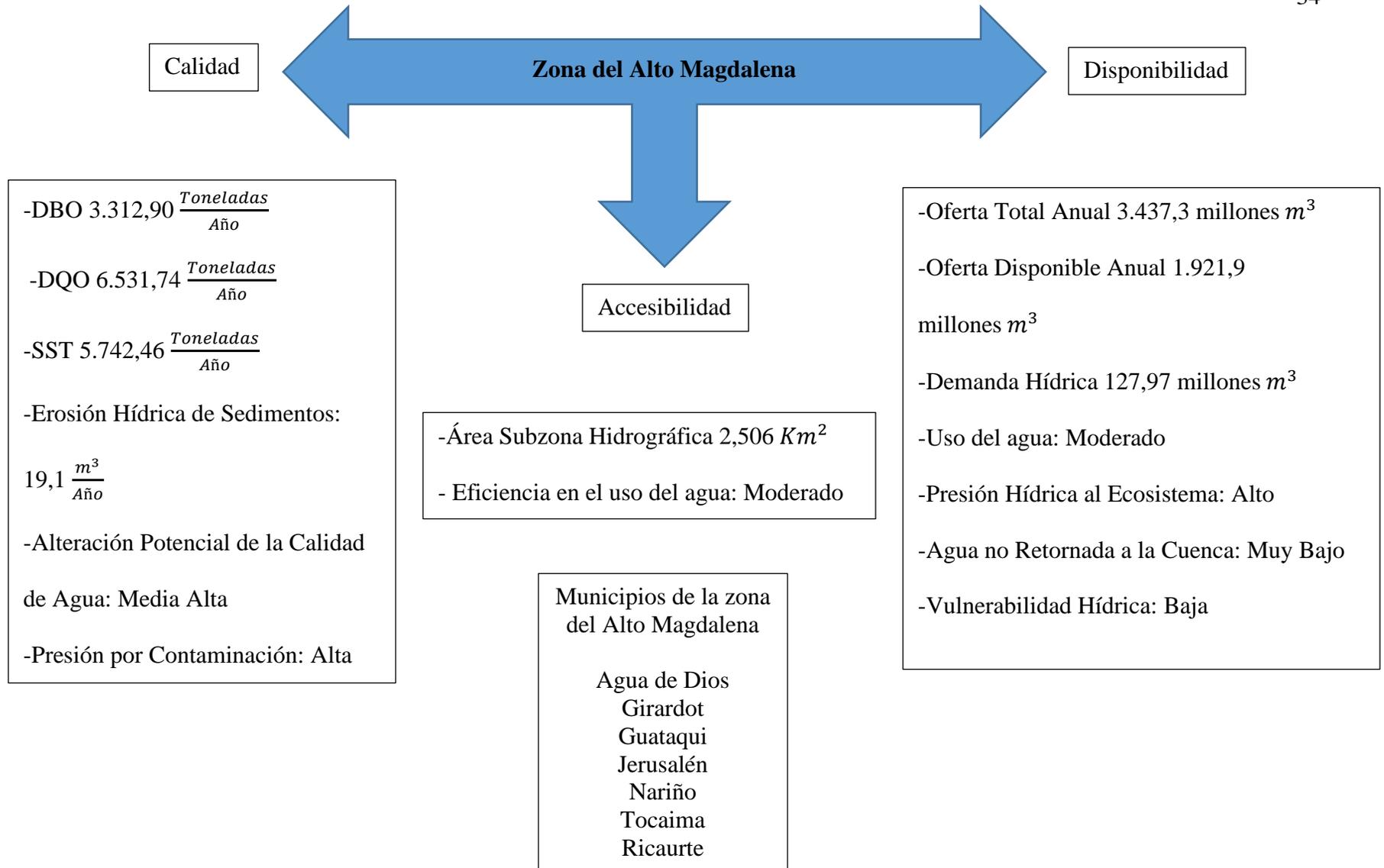


Figura 6. Componentes de calidad, disponibilidad y accesibilidad en la zona del alto magdalena. Fuente: Propia. Adaptado de: Díaz & Crespo, 2019; Ospina, Murillo y Toro, 2018

4.3.1 Coagulación

El principal objetivo de la coagulación es lograr la desestabilización de las partículas coloidales que se encuentran suspendidas mediante la incorporación de sustancias químicas al sistema, esta desestabilización es posible gracias a la agitación permanente la cual se lleva a cabo mediante tanques de mezcla rápida. (Guadalupe, 2012)

Cuando un coagulante es dispersado en una masa de agua con partículas coloidales en suspensión, se presentan básicamente las tres siguientes fases: **Hidrólisis:** disociación de la sustancia química coagulante aplicada en el agua. **Difusión:** dispersión rápida y homogénea del compuesto coagulante hidrolizado en toda la masa de agua. **Reacción:** el coagulante desestabiliza y neutraliza las partículas coloidales en suspensión. Ver figura 10.

Aunque parezca un proceso sencillo, es el más importante, ya que una coagulación inadecuada genera cambios en la calidad de agua y costos adicionales. A razón de esto, es necesario tener en cuenta algunos factores que intervienen en esta fase, a pesar de que en el tratamiento preliminar hay algunos componentes (PH, temperatura, alcalinidad y turbiedad. Ver figura 1) es importante mencionar que la aplicación del químico coagulante en el punto de mayor turbulencia es crucial, así mismo el tiempo en este paso debe ser corto aproximadamente es de 1 segundo. (Barreto Tejada, J. A. 2015)

El tipo de coagulantes que se usan para llevar a cabo este proceso se dividen en sales de aluminio, y hierro. Las sales de aluminio están conformadas por los siguientes químicos: Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, cloruro de aluminio $AlCl_3$, aluminato sódico $NaAlO_2$, y polímeros de aluminio. Las sales de hierro están compuestas por: Cloruro férrico $FeCl_3$, sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$, y sulfato ferroso $FeSO_4$.

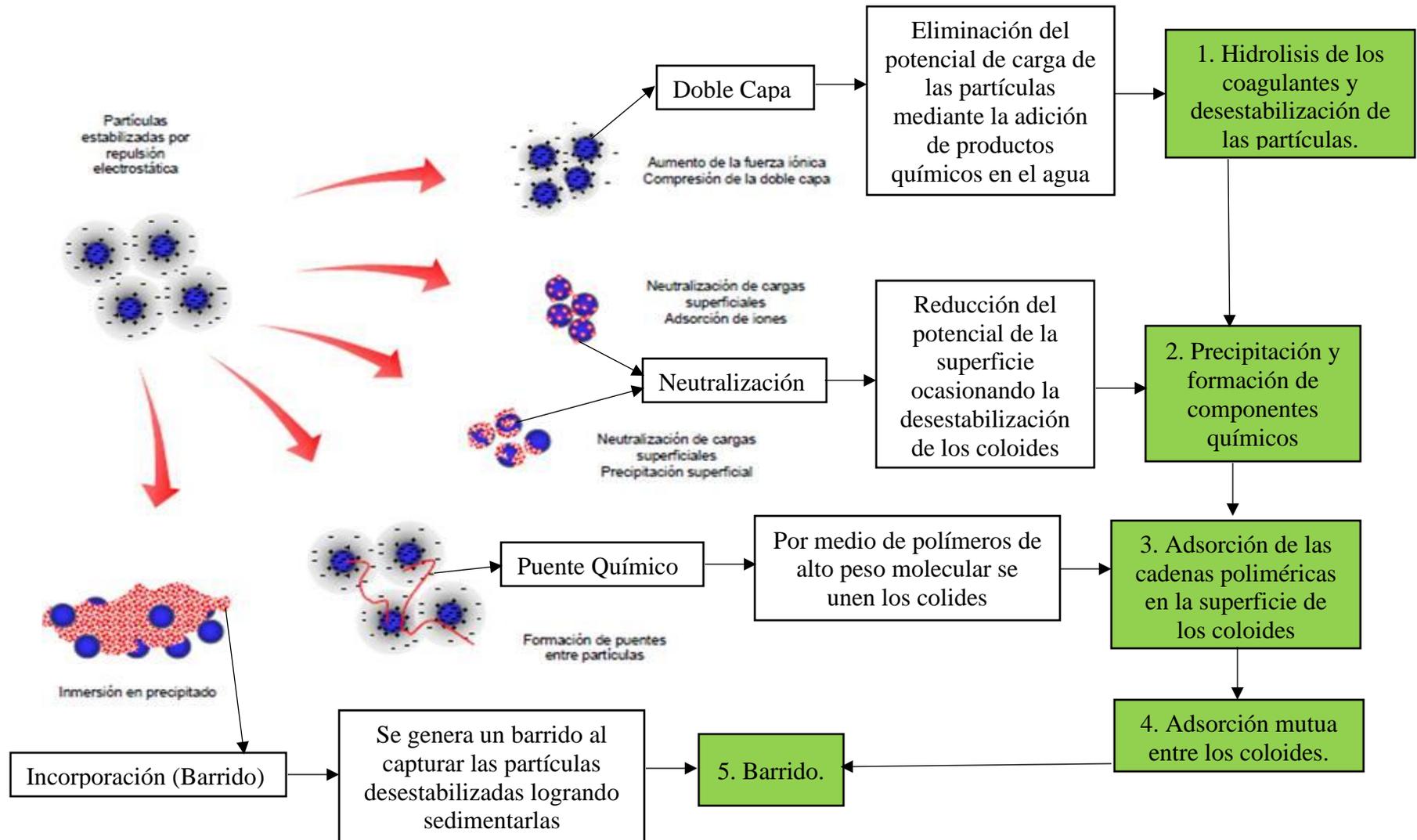


Figura 7. Fases de la coagulación. Fuente: Universidad Autónoma, 2019.

Además de tener claro los tipos de coagulantes también es de suma importancia tener en cuenta la dosificación del tipo de coagulante pues se convierte en un factor primordial para obtener una mejor optimización en el tratamiento de la misma. Ver tabla 6

Tabla 5. Influencia de la dosis del coagulante.

Cantidad de Coagulante	Efectos en el proceso de coagulación
Baja $< 5 \frac{mg}{L}$	No neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.
Alta $> 5 \frac{mg}{L}$	Produce la formación en gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.

Fuente: Propia. Adaptado de: Barreto Tejada, J. A. 2015

Así mismo es importante para lograr una eficiencia en la planta potabilizadora es necesario realizar periódicas pruebas de jarras para considerar la dosis óptima, y de esta forma se logra la eliminación eficiente y efectiva de los sólidos suspendidos. La prueba de jarras es necesaria para cualquier nivel de complejidad, no solamente para los estudios de tratabilidad en el proceso de diseño, sino también diariamente en la operación de la planta y cada vez que se presenten cambios en la calidad del agua, tanto en parámetros físicos como químicos.(Bolaños, 2014)

4.3.2 Floculación

La floculación es un proceso que funciona como complemento de la coagulación, este se define como una mezcla lenta con el objetivo de aumentar el tamaño de las partículas microscópicas a visibles. El tamaño de las partículas se puede aumentar con la adición de productos químicos de elevado peso molecular y soluble en agua que por disociación electrolítica en el agua, permitan dar formas iónicas múltiples, capaces de actuar de puentes de unión entre las partículas coaguladas entre sus distintos tipos de floculación como se ilustra en la figura 12 (Ures, 2014).

Si con estos dos procesos no se logra obtener el resultado deseado en el agua, se puede optar por el uso de coadyuvantes los cuales hacen que el procedimiento cumpla con las exigencias normativas para otorgar una buena calidad de agua a la población. Lo que se busca con los coadyuvantes es corregir el pH, oxidar ciertos compuestos y dar peso a las partículas para que de esta manera se pueda dar continuidad con los procesos faltantes como, por ejemplo:

Floculantes minerales: Se halla la sílice activada en esta clasificación, el cual debe ser preparada con extremo cuidado para impedir el punto de gelatinización.

Floculantes orgánicos naturales: Son provenientes de polímeros naturales extraídos de sustancias tanto animales como vegetales.

Floculantes orgánicos de síntesis: Considerados como los más usados, conformados por macromoléculas de asociación sintética, su masa molecular es elevada entre 106 a 107 g/mol.

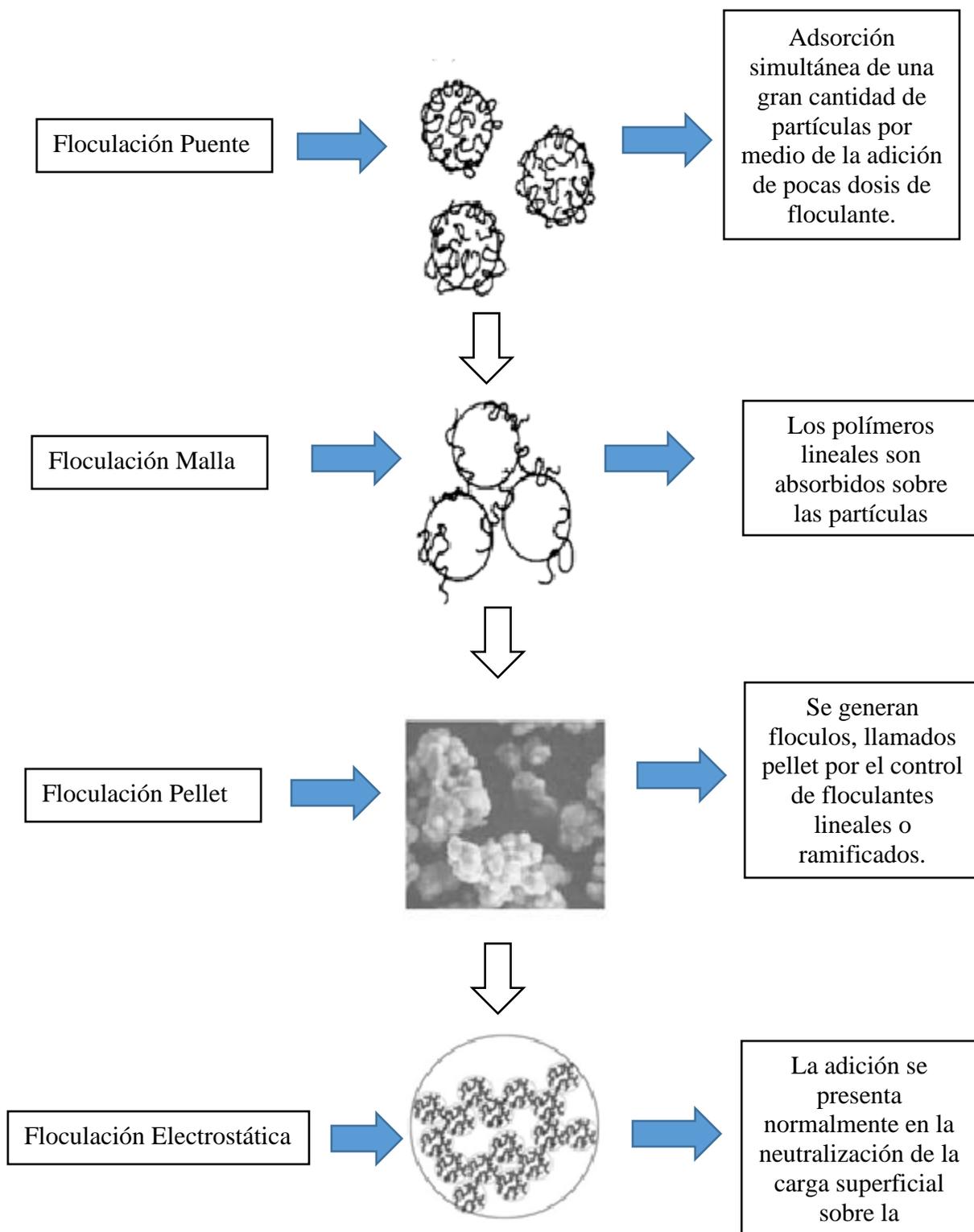


Figura 8. Tipos de Floculación. Fuente: Universidad de la Rioja, 2018.

Por otra parte, la floculación es un proceso que puede llegar a tener como resultado un lodo residual. Sin embargo, existen en el mercado una gran cantidad de floculantes sintéticos, de gran efectividad, ya que a menudo da como resultado una cantidad mínima de lodo. Ver figura 13. Lo que se ha buscado en distintas plantas es que este lodo tenga un aprovechamiento para que no sea considerado como un residuo, después de ciertos análisis se ha considerado la probabilidad de implementarlo en la fabricación de ladrillos, tejas, refractarios, implementos especiales de cerámica que no requieran altos controles de calidad en su apariencia externa y como material de carga en la industria cementera. (Llano et al., 2014; Xavier y Borrás, 2010)

Teniendo en cuenta la importancia en las fases de coagulación – floculación se mostrarán a continuación algunas ventajas y desventajas de los procesos ya mencionados.

Tabla 6. Ventajas y desventajas de los procesos de coagulación - floculación

Ventajas	Desventajas
- Simplicidad y rentabilidad.	- Se requiere el uso de productos químicos
- Separa muchos tipos de partículas del agua.	- Se requiere personal calificado para el diseño.
- Mejora el proceso de filtración.	- Es necesario realizar mantenimiento del sistema.
	- Se transfieren compuestos tóxicos a la fase sólida, con la formación de un lodo que debe ser tratado posteriormente.

Fuente: Sustainable Sanitation and Water Management, 2019

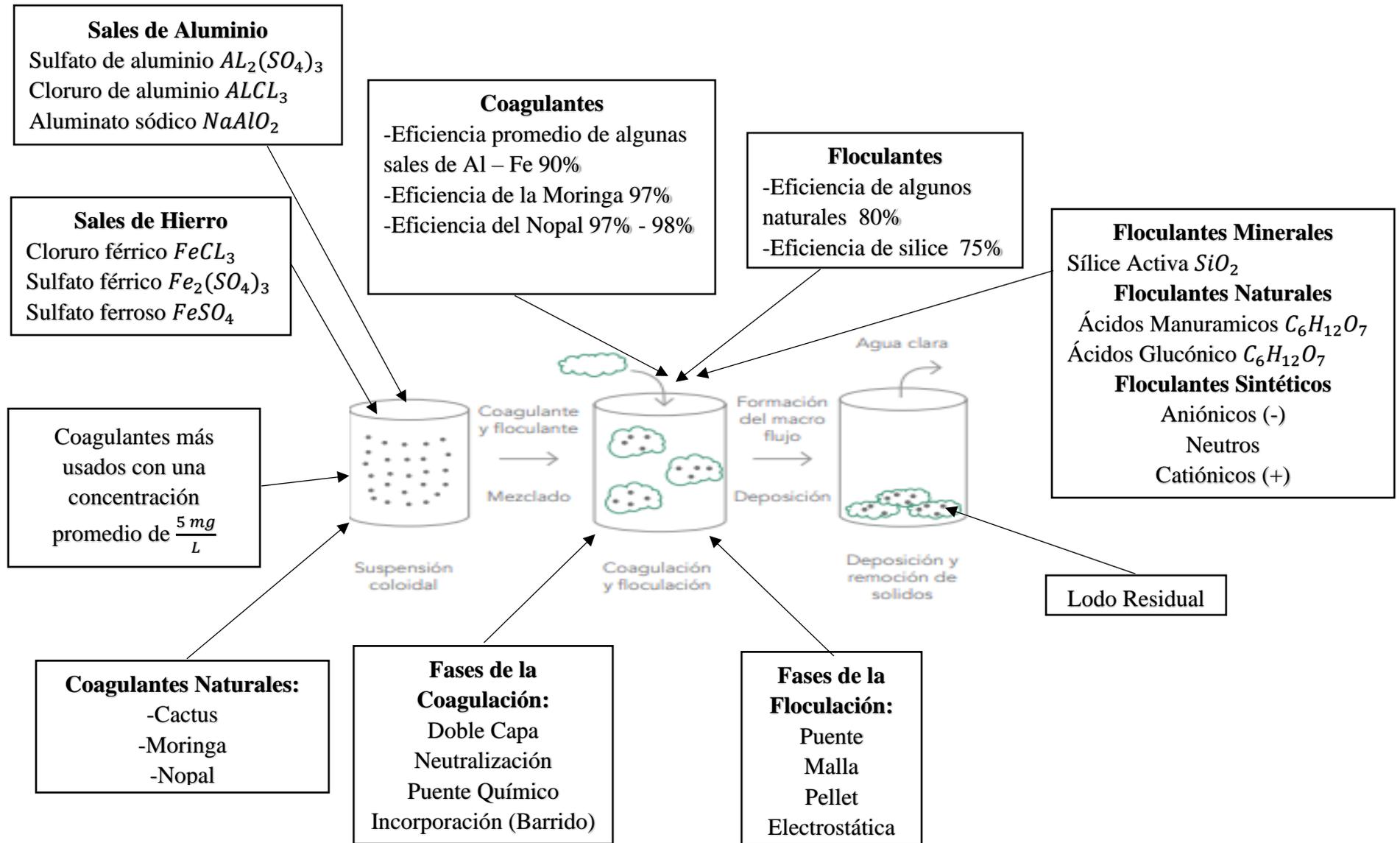


Figura 9. Proceso de coagulación- floculación y algunos productos más usados con sus eficiencias. Fuente: (Arias et al., 2017; Bravo, 2017; Aguirre et al., 2018; Contreras et al., 2015; Ramirez y Jaramillo, 2015; Barreto Tejada, J. A. 2015).

4.3.3 Sedimentación

Se entiende por sedimentación, la remoción, por efecto de la gravedad, de las partículas en suspensión presentes en el agua. En este proceso básicamente existen dos tipos de sedimentación: partículas discretas (arena y similares) y partículas floculentas (coloides aglomerados). Además, cabe mencionar que la decantación se realiza de distintas formas, esto depende de la concentración de la suspensión y las características de las partículas, como por ejemplo: la sedimentación del material suspendido con un peso específico cercano a la arena, se realiza en los desarenadores ubicados por lo general cerca de la bocatoma. Así mismo, es importante mencionar que existen diferentes tipos de sedimentación, como se ilustra en la tabla 7 y en la figura 15. Por otra parte, en un tanque de sedimentación ideal, se tienen 4 zonas: zona de entrada, zona de salida, zona de lodos y zona de sedimentación, como se muestra en la figura 14 (Barreto Tejada, J. A. 2015).

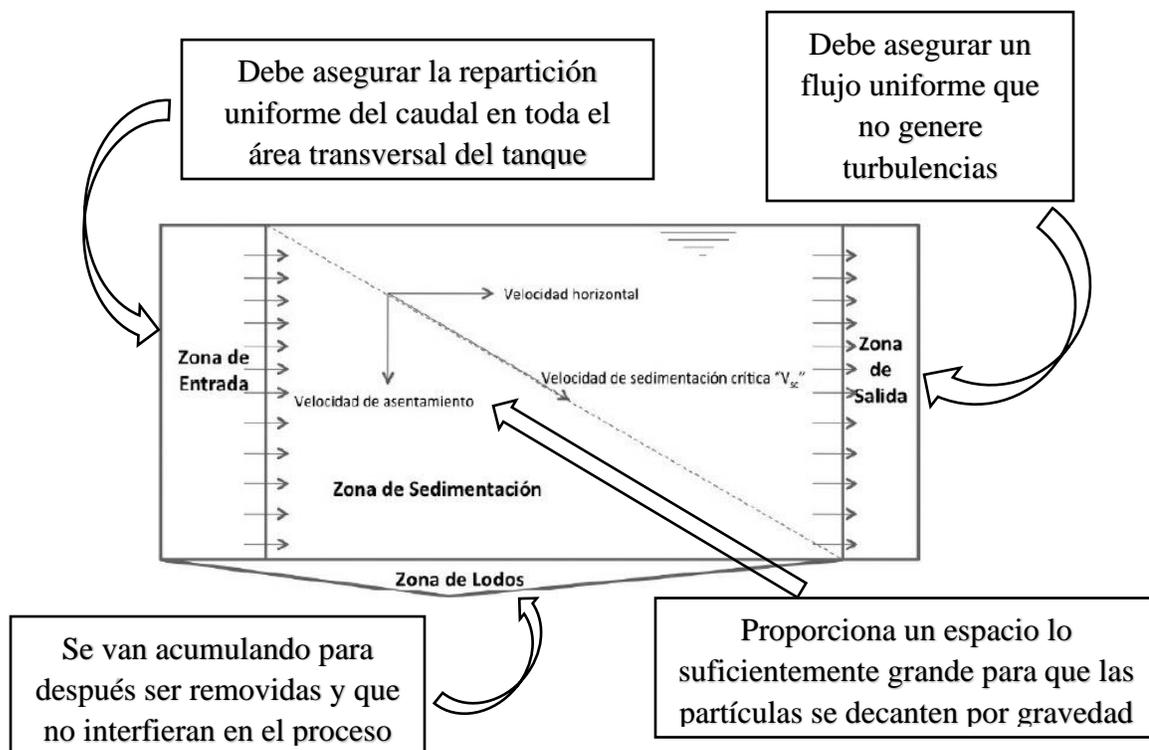


Figura 10. Zonas en un tanque de sedimentación. Fuente: Barreto Tejada, J. A. 2015.

Tabla 7. Tipos de sedimentadores

Tipo de Sedimentación	Características de los Solidos	Características de la Sedimentación	Tipos de unidades de Tratamiento
Partículas Discretas (I)	Partículas discretas y Aisladas en soluciones. Diluidas.	Cada partícula sedimenta de forma Independiente sin interacciones entre Ellas ni con el fluido que las contiene.	-Desarenadores -Dársenas de sedimentación -Presedimentadores
Partículas Floculantes (II)	Partículas floculantes o aglomeradas	Se aglomeran formando coágulos o flóculos de Mayor tamaño y peso.	-Sedimentadores (coagulación – floculación)
Zonal o Interferida (III)	Suspensiones de Solidos de aglomeración Intermedia	La sedimentación es interferida dada la cercanía Entre partículas y se comportan como un bloque.	Sedimentadores y decantadores de: -Flujo ascendente -Manto de lodos
Compresión (IV)	Suspensiones de alta Concentración	Las partículas están en contacto íntimo entre ellas Y su peso forma una masa compactada en el fondo De las unidades.	Compactación de lodos en Sedimentadores

Fuente: Barreto Tejada, J. A. 2015

La universidad de Antioquia en compañía del programa AguaClara, investigó a cerca de un proceso basado en la Sedimentación de Alta Tasa (HRS, por sus siglas en inglés). Ver figura 15, el cual presenta un flujo vertical y menor área con respecto a tanques tradicionales. Del cual se evidencio una disminución en la concentración de flóculos a medida que la velocidad del floculo aumentaba, identificando así que el tanque sedimentador mejora su desempeño en velocidades bajas, por tal motivo los autores sugieren que en la parte superior del tanque se usen láminas de sedimentación para estabilizar el manto de floculos a velocidades mayores. (Rodríguez et al., 2018)

De lo anterior, es importante mencionar que uno de los aspectos más importantes en la implementación de este procedimiento es la eficiencia, dicho esto, un ejemplo claro es el caso de estudio realizado en Perú sobre la eficiencia de dos tipos de sedimentadores (convencional y laminar) donde se obtuvo como resultado diferencias significativas entre ambos sedimentadores con respecto al tipo de concentración y según el tratamiento con coagulante o sin coagulante, llegando a la conclusión que el sedimentador laminar tiene una eficiencia de 93,85 %, siendo más eficiente que el convencional con una eficiencia de 78,00 %, en la concentración del 2 % de sólidos utilizando coagulante. Ver figura 15.(Guerrero et al., 2018)

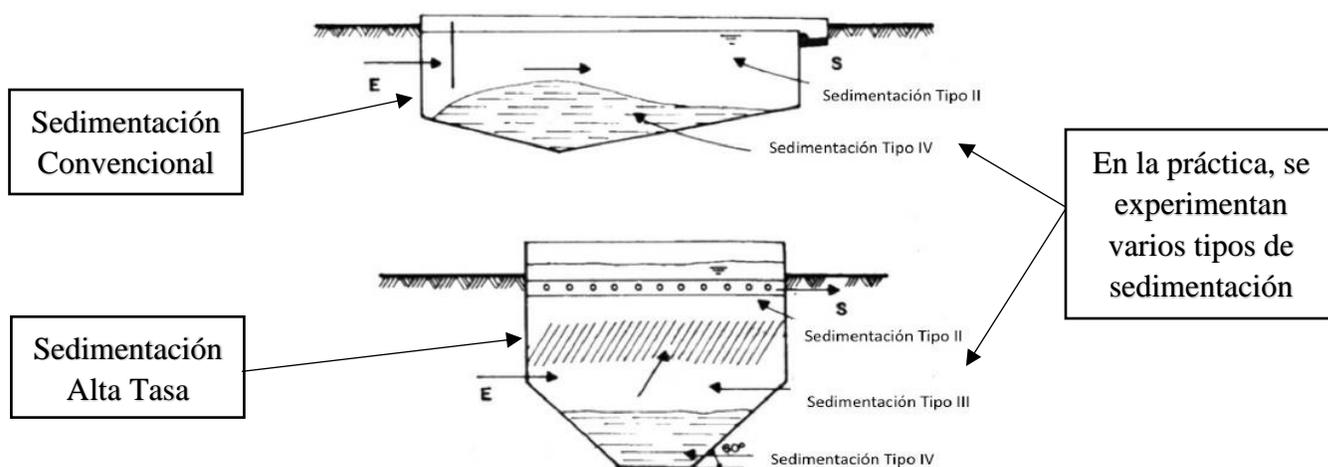


Figura 11. Tipos de sedimentación. Fuente: Barreto Tejada, J. A. 2015.

Como resultado de lo planteado anteriormente, la fase de sedimentación presenta algunas ventajas y desventajas que aun lográndose inferir se muestran más fácilmente en la tabla 8.

Tabla 8. Ventajas y desventajas para el proceso de sedimentación.

Ventajas	Desventajas
- Tecnología de bajo costo.	- La sedimentación simple no es suficiente para purificar el agua. Se deben aplicar medidas adicionales.
- Los coagulantes reducen el tiempo	
Requerido para sedimentar sólidos en suspensión	-La efectividad máxima requiere un control cuidadoso del pH y de la dosis del coagulante, así como un estudio de la calidad del agua que se está tratando.
- Mayor regulación hidráulica.	- La sedimentación sin usar coagulantes consume mucho tiempo. - La sedimentación no es efectiva para eliminar los químicos disueltos, a menos que se agreguen coagulantes específicos.

Fuente: Sustainable Sanitation and Wáter Management, 2019

4.4 Técnicas de Filtración (Uso de materiales inorgánicos y membranas poliméricas)

La filtración se encarga de retener la materia en suspensión por un medio poroso.

Impidiendo así el paso de las partículas en suspensión de un fluido mediante la interposición de un material poroso con un tamaño de poro adecuado. Este proceso hace parte de la operación final de la etapa de clarificación en una planta potabilizadora, por ende, es la encargada de definir la calidad de agua según los parámetros de potabilidad, es decir, el agua que se está tratando al momento de llegar a la fase de filtrado no debe presentar turbiedad, de lo contrario el proceso de filtrado será ineficiente llegando incluso a colmatar el filtro. Además, se deben de tener en cuenta ciertos parámetros del proceso entre los cuales están: características del material filtrante, características del agua a tratar y velocidad de filtración.(Ojeda, 2011)

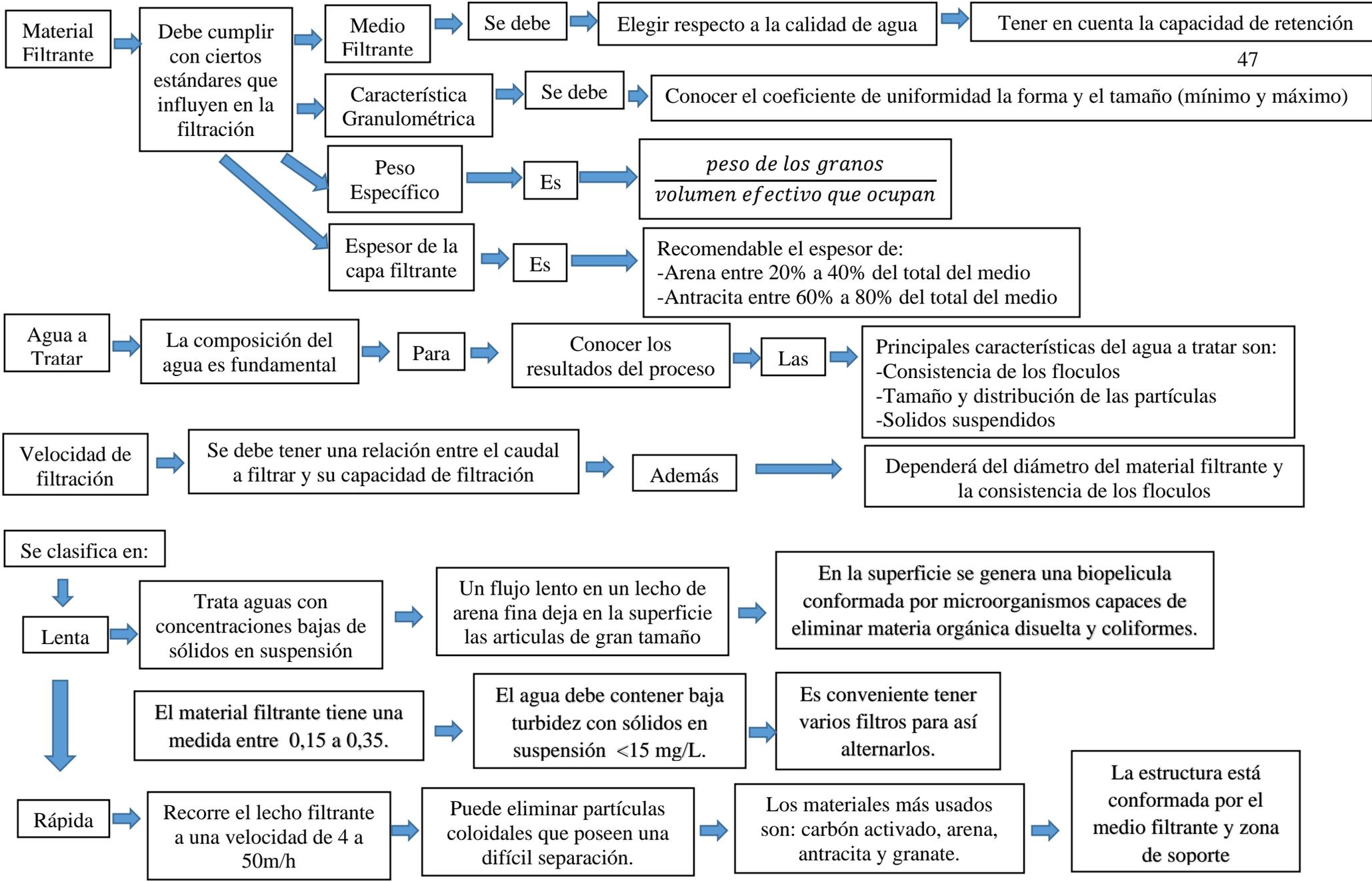


Figura 12: Parámetros del proceso en la técnica de filtración. Fuente: Barreto Tejada, J. A. 2015

Según lo planteado se analizan en distintas plantas de tratamiento los métodos más efectivos para realizar una eficiencia de remoción en cuanto al proceso de filtración, un ejemplo de ello es en la planta potabilizadora de Puerto Mallarino en Cali la cual evalúa la configuración del medio filtrante. La filtración fue más eficaz al reducir el tamaño efectivo e incrementar el espesor. Se evidencio un mejor desempeño incluso operando con turbiedades de agua clarificada mayores a 10,0 UTN fue la del filtro con un espesor de 700mm. (Torres et al., 2013)

De igual manera los microorganismos cumplen un papel importante en esta fase ya que pueden ser eliminados, uno de los microorganismos presentes en el agua es *Fasciola hepática*,(es un parásito o gusano plano que nace en agua dulce, vegetación acuática, animales herbívoros y caracoles anfibios y pueden producir daños a la salud como infecciones, alergias, intoxicaciones, cáncer entre otras (INSST., 2018), el cual se estudia la remoción de los huevos mediante la creación de dos filtros tipo arena uno de filtración rápida y otro de filtración lenta. Los filtros fueron 100% eficientes para remover los huevos de *F. hepática* presentes en el agua. Los porcentajes de remoción de turbiedad fueron del 85,5 y 79,4% para filtros trabajando a velocidades de 5 m/h y 8 m/h, respectivamente. (Morales et al., 2014)

Así mismo es importante tener en cuenta que existe ciertas comunidades en estado de vulnerabilidad al no tener fácil acceso a un sistema de acueducto es así como el sistema de filtración se convierte en una buena opción para ellas. Un caso estudio evaluado es la creación de 14 filtros de arena con una capacidad de 60 litros, a una comunidad del departamento de Cundinamarca, después de ciertos análisis se evidenció que el sistema de filtración implementado eliminó el 90% de heces y coliformes totales durante el periodo de maduración de la cama de filtrado.(Córdoba et al., 2016)

4.5 Desinfección.

Es considerado como un componente vital para la obtención de una óptima calidad del agua, se realiza mediante distintas técnicas y elementos químicos. Hace parte de la etapa final en una planta de tratamiento de agua potable, su principal objetivo es la eliminación de microorganismos patógenos causantes de posibles riesgos a la salud humana por medio de diferentes métodos (químicos y físicos). Ver tabla 9 y 10. En los países subdesarrollados las tasas de morbilidad y mortandad por aguas contaminadas con microorganismos patógenos que producen una variedad de enfermedades ocasionando millones de víctimas cada año. Ver tabla 9.(Rocha, 2011)

La desinfección es una etapa de suma importancia, por lo tanto, se debe llevar un proceso eficiente para que no afecte la salud de la población. A lo cual, para controlar estos riesgos se han aplicado criterios para reglamentar la calidad del agua. Donde, se establecen los requisitos que deben satisfacer las aguas para que puedan ser destinadas al consumo sin que llegue a afectar la salud. (Perez, 2008)

Como no toda la población colombiana cuenta con acceso de un sistema de acueducto es beneficioso crear desinfectantes a bajo costo para que de esta forma la comunidad tenga una mejora en sus necesidades básicas. Aunque, un desinfectante predominantemente en el tratamiento es el cloro y sus compuestos. Su uso no se debe solo a su bajo costo, sino también a su capacidad oxidante, la cual proporciona un nivel mínimo de cloro residual y de esa manera lo protege contra la re-contaminación microbiana. Sin embargo, En el caribe colombiano se realiza una evaluación de cual técnica podría ser la más útil en estos casos. Por ejemplo, la desinfección mediante lámpara UV y el procedimiento solar (SODIS) son tan eficientes como la cloración. Sin embargo, para que sean efectivas requieren de un agua clarificada y un bajo volumen para la remoción eficiente de microorganismos. (Rodríguez et al., 2013, Arias et al., 2017)

Tabla 9. Algunos métodos químicos para el proceso de desinfección

Desinfectante	Ventajas	Desventajas
Cloro y Derivados	-Oxidante efectivo -Fácil dosificación -Bajo Costo -Elimina patógenos en corto tiempo	-Por ser corrosivo se debe tener parámetros de almacenamiento
Bromo y Derivados	-Mejor efectividad con un PH > 4	-Menor rendimiento que el cloro
Yodo y Derivados	-Es más estable	-En la dosificación se requiere un neutralizante generando costos elevados -Puede producir subproductos halógenos
Peróxido de Hidrogeno	-Eficiente en el proceso -No deje ningún residuo -Altas características oxidantes	-Elevado costo
Plata	-Eficaz en remover bacterias	-En forma coloidal no remueve virus
Ozono	-Desinfectante efectivo -No deja residuos	-Implementación in – situ y no presente un efecto residual en el agua -Tiene un costo elevado

Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, s.f.

Tabla 10. Algunos métodos físicos para el proceso de desinfección

Desinfectante	Ventajas	Desventajas
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> -Aplicación sencilla -Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> -Aplicación para pequeñas cantidades de agua -Se debe tener una adecuada manipulación del agua para evitar la Futura Re- contaminación -Solo se eliminan patógenos cuando se llega al punto de ebullición
Electrolitos	<ul style="list-style-type: none"> -Mínimo mantenimiento -No se usan químicos -Desinfección eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> -Puede ser un método costoso en lugares donde la energía es costosa -Se venen cambiar los electrodos -Los lodos pueden contener altas cantidades de hierro y aluminio dependiendo del material del electrodo

Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, s.f.

Tabla 11. Enfermedades generadas por falta de un proceso de desinfección.

Enfermedades	Causa y vía de transmisión
Disentería amebiana	Los protozoos pasan por la vía fecal-oral a través del agua y alimentos contaminados, o por contacto de una persona con otra.
Disentería bacilar	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral a través del agua y alimentos contaminados, o por contacto de una persona con otra.
Enfermedades diarreicas	Diversas bacterias, virus y protozoos pasan por la vía fecal-oral a través del agua y alimentos contaminados, o por contacto de una persona con otra.
Cólera	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral a través del agua y alimentos contaminados, o por contacto de una persona con otra.
Hepatitis A	El virus pasa por la vía fecal-oral a través del agua y alimentos contaminados, o por contacto de una persona con otra.
Fiebre paratifoidea y tifoidea	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral a través del agua y alimentos contaminados, o por contacto de una persona con otra.

Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, s.f.

4.6 Otros procesos para potabilizar el agua

La falta de acceso a agua potable es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la sociedad en el siglo XXI. A pesar del esfuerzo global que se ha realizado, actualmente al menos 2 mil millones de personas utilizan una fuente de agua con contaminación de origen fecal, que es la causa directa de más de medio millón de muertes al año, produciéndose la mayoría en países en desarrollo afectando principalmente a niños menores de cinco años (Pichel y fuentes, 2019).

Por tal motivo, Diversas investigaciones han propuesto esquemas de plantas potabilizadoras convencionales, reduciendo unidades, espacios y empleando materiales reciclados que han resultados técnicamente viables para adaptar estos procesos y abastecer de agua potable a pequeñas comunidades. Sin embargo, los costos de operación y mantenimiento se encarecen al emplear agentes químicos y muchas veces no se cuenta con personas calificadas por parte de la comunidad para la operación de la planta (Santiago, Bracho y Torres, 2014).

Santiago (2014) afirma que “La búsqueda de reducir espacios, costos y mantenimiento es lo que ha originado alternativas de tratamiento no convencionales” (p.2). Por tal motivo, con base en lo expuesto se mostrarán algunas ventajas y desventajas de procesos para el tratamiento de agua para consumo humano en algunos países en desarrollo.

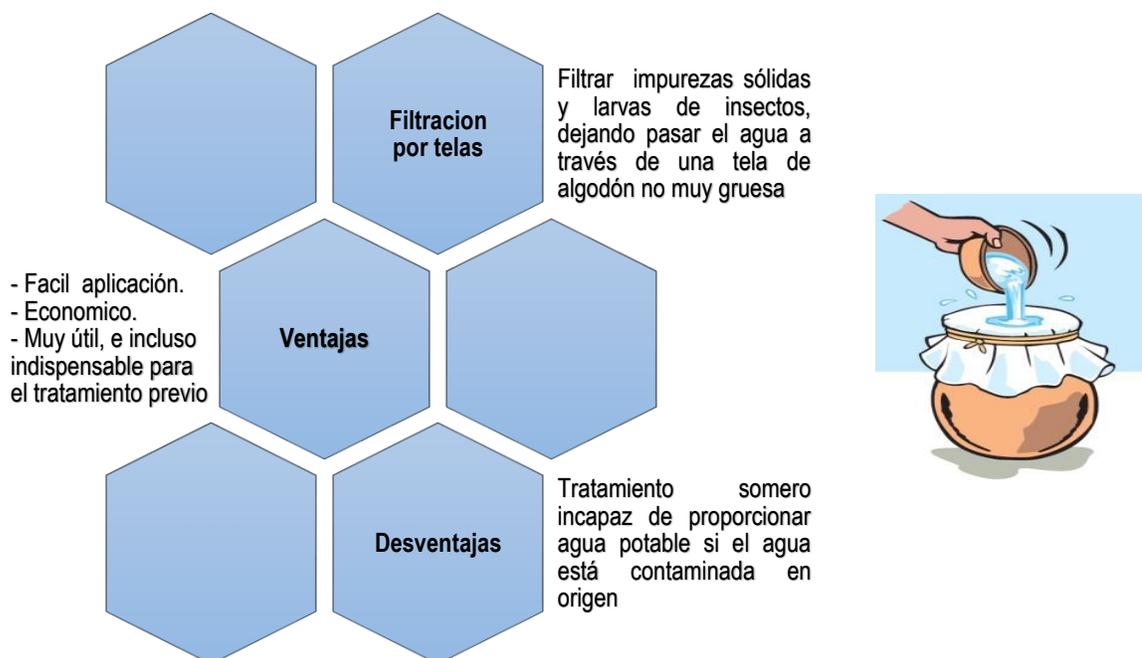


Figura 13: Filtración por telas. Fuente: Wikiwater, 2019

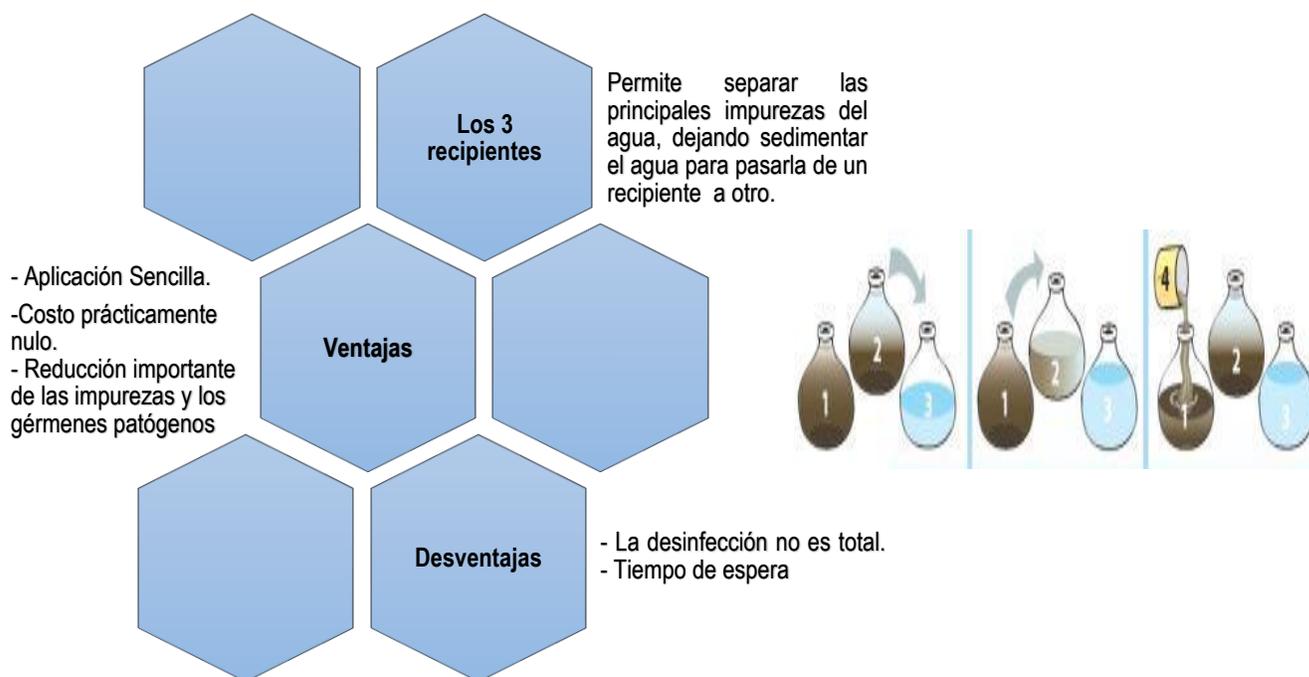


Figura 14: Los 3 recipientes. Fuente: Wikiwater, 2019

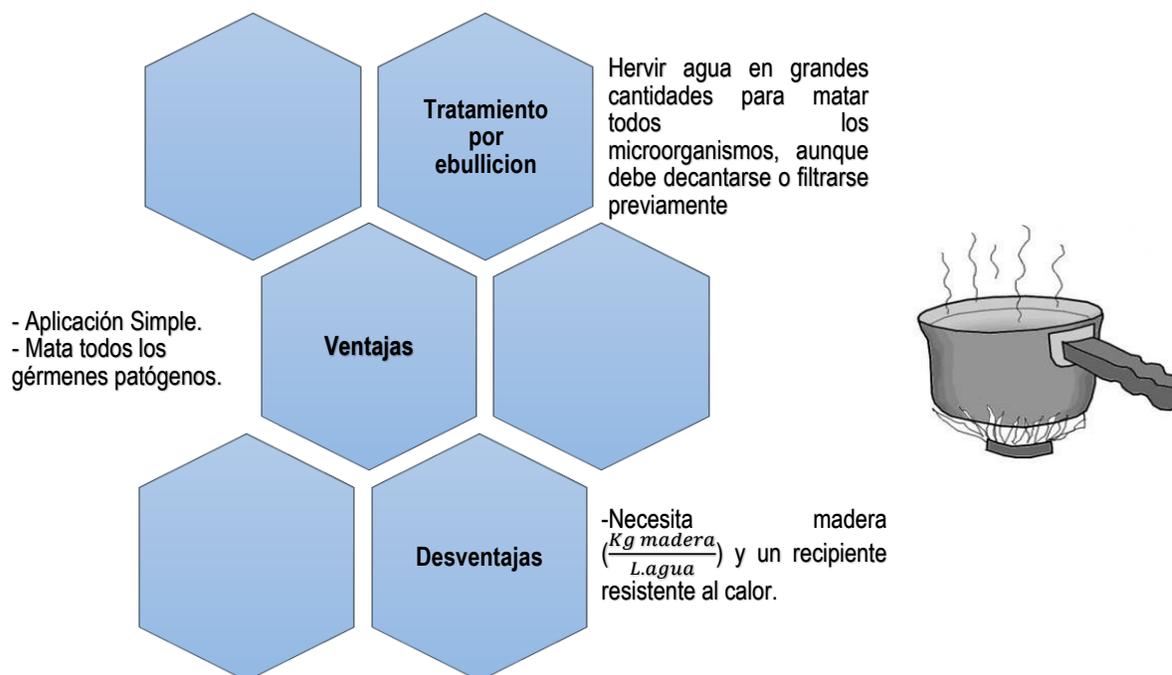


Figura 25: Tratamiento por ebullición. Fuente: Wikiwater, 2019

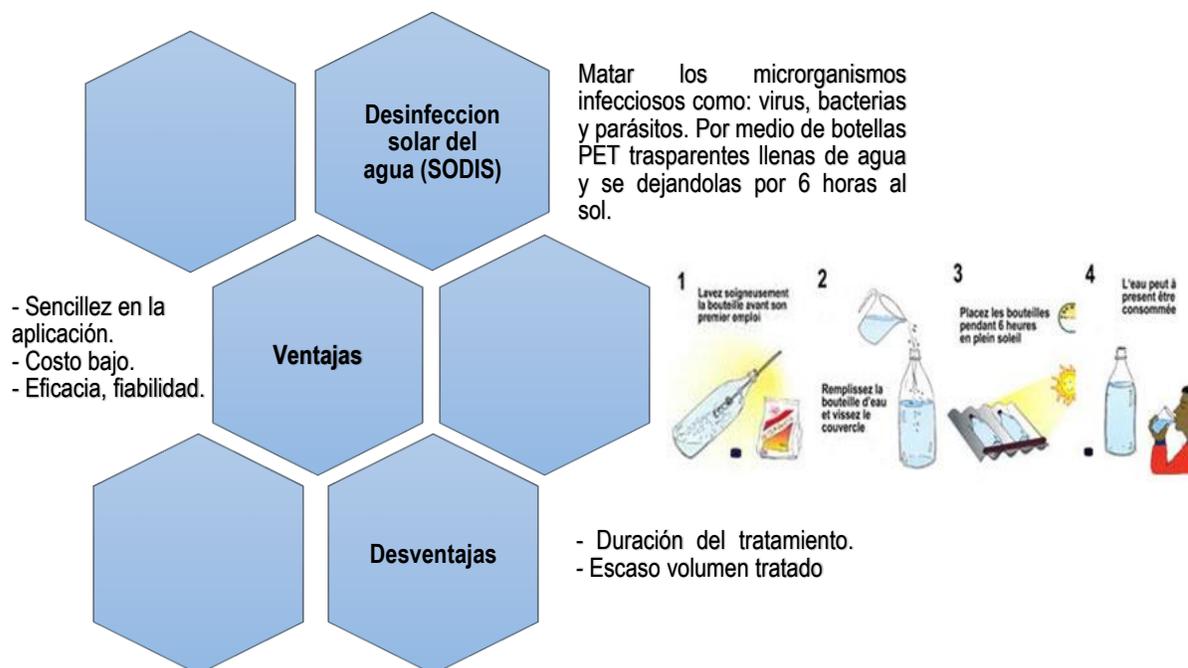


Figura 36: Desinfección solar del agua (SODIS). Fuente: Wikiwater, 2019

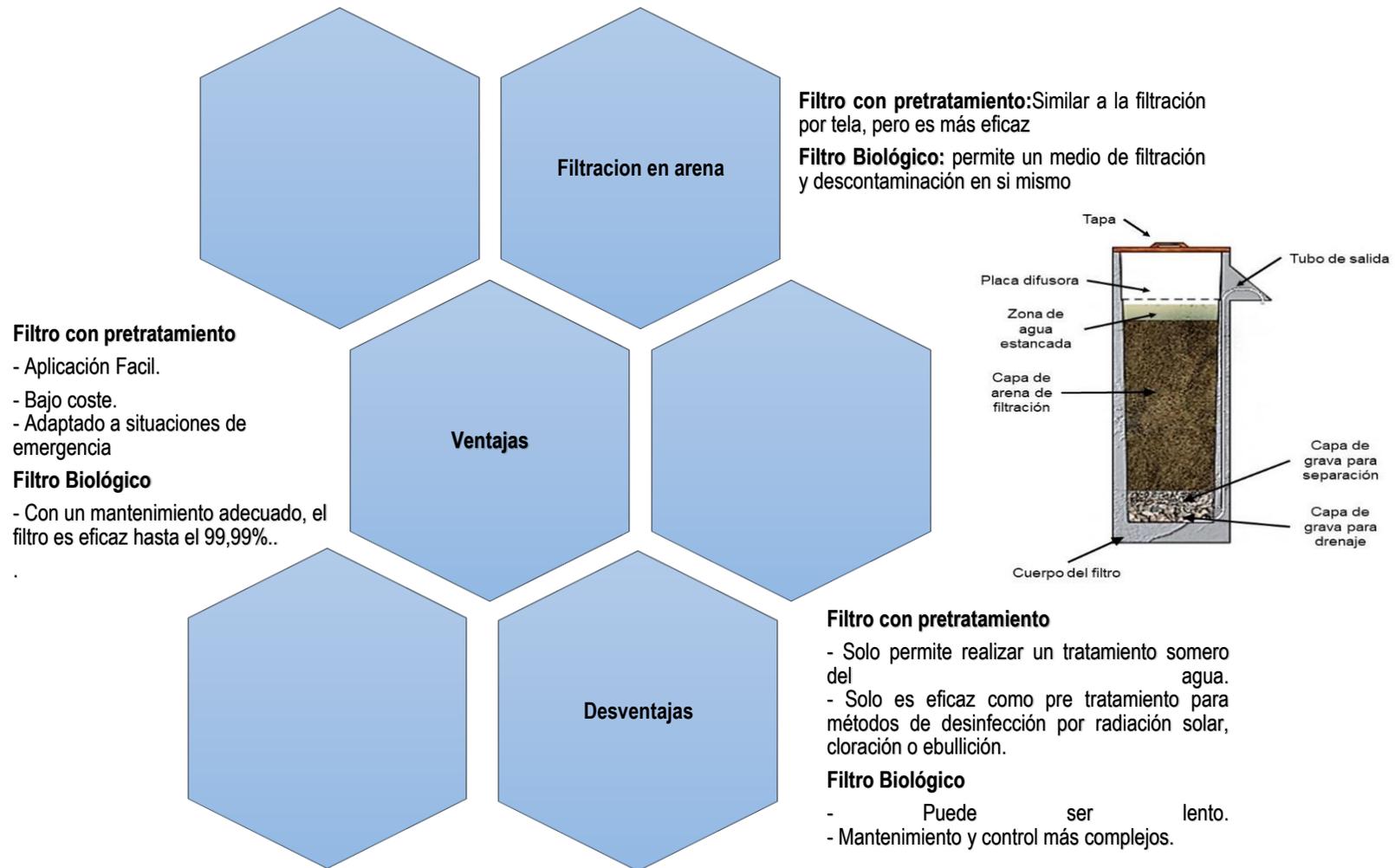


Figura 47: Filtración en arena. Fuente: Wikiwater, 2019; Sustainable sanitation and wáter management, 2019

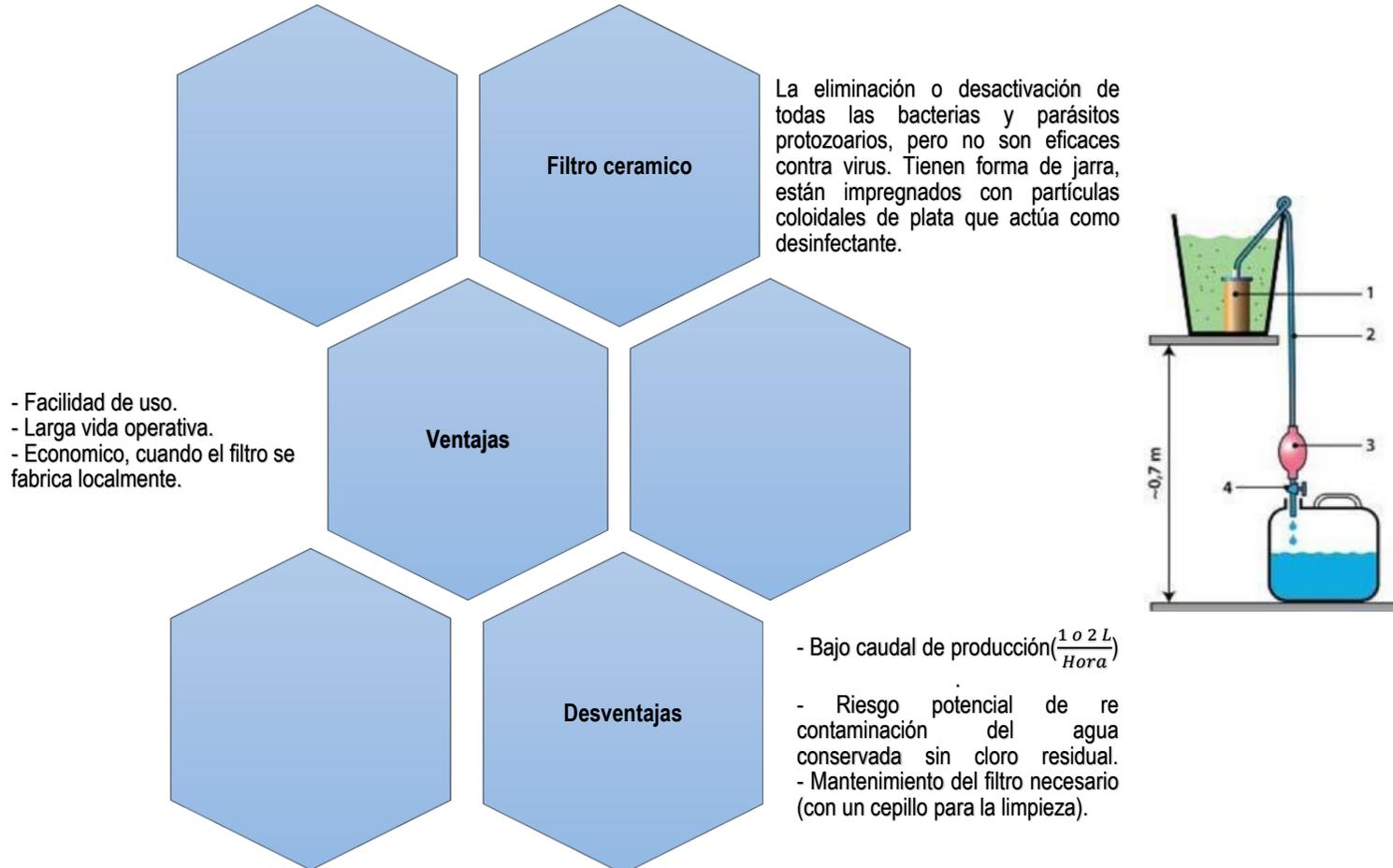


Figura 58: Filtro cerámico. Fuente: Wikiwater, 2019

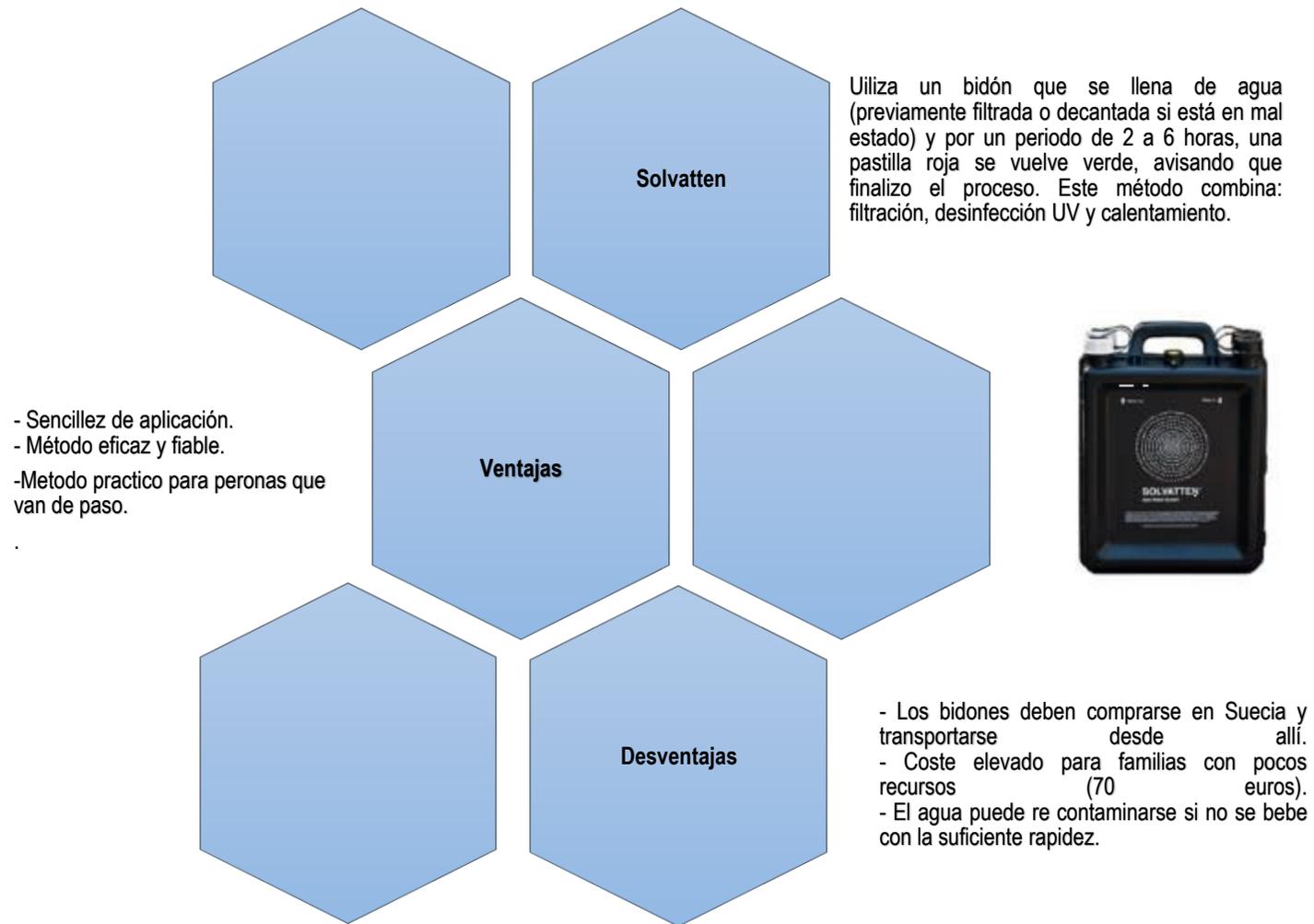


Figura 69: Método solvatten. Fuente: Wikiwater, 2019

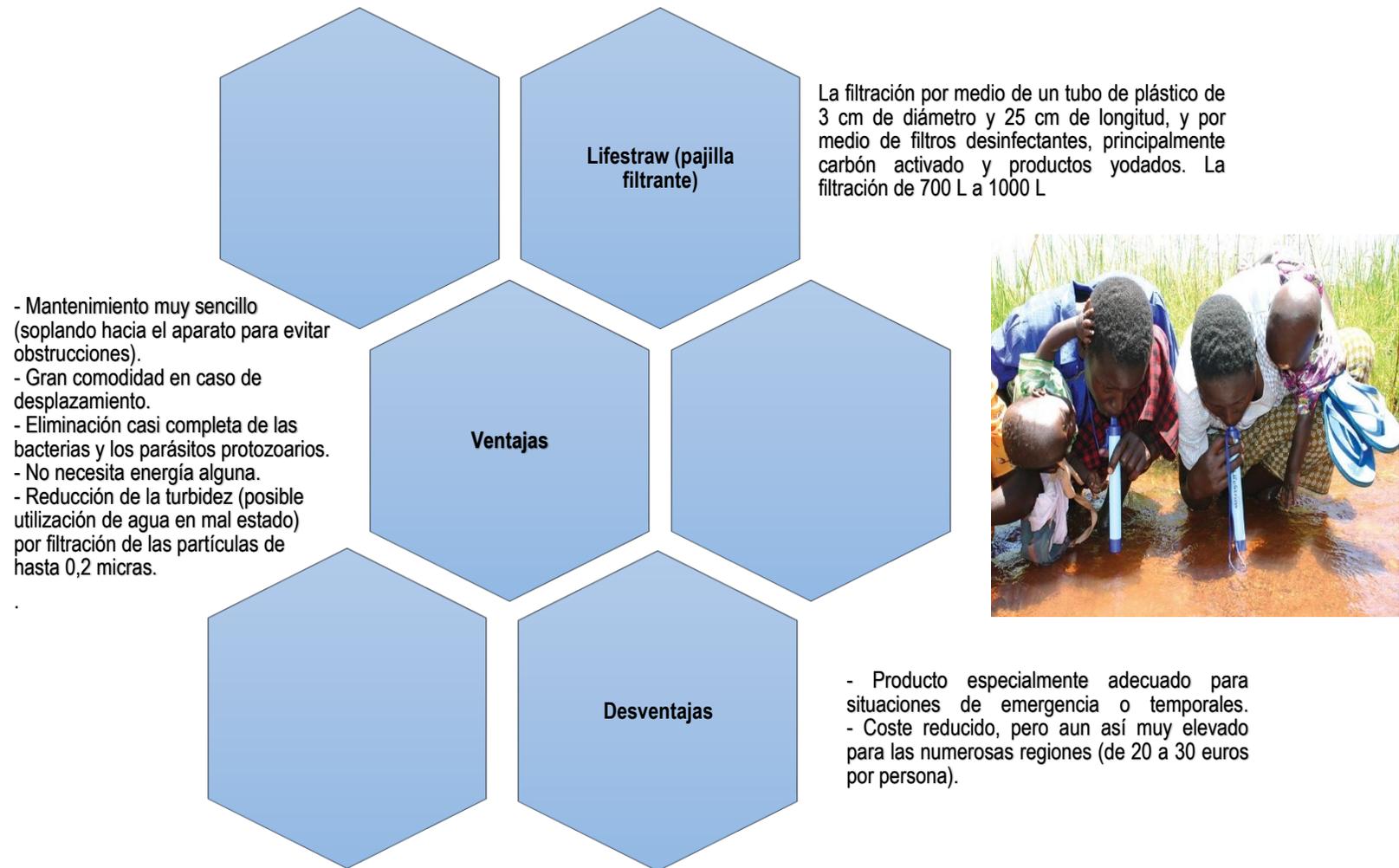


Figura 20: Lifestraw (pajilla filtrante). Fuente: Wikiwater, 2019

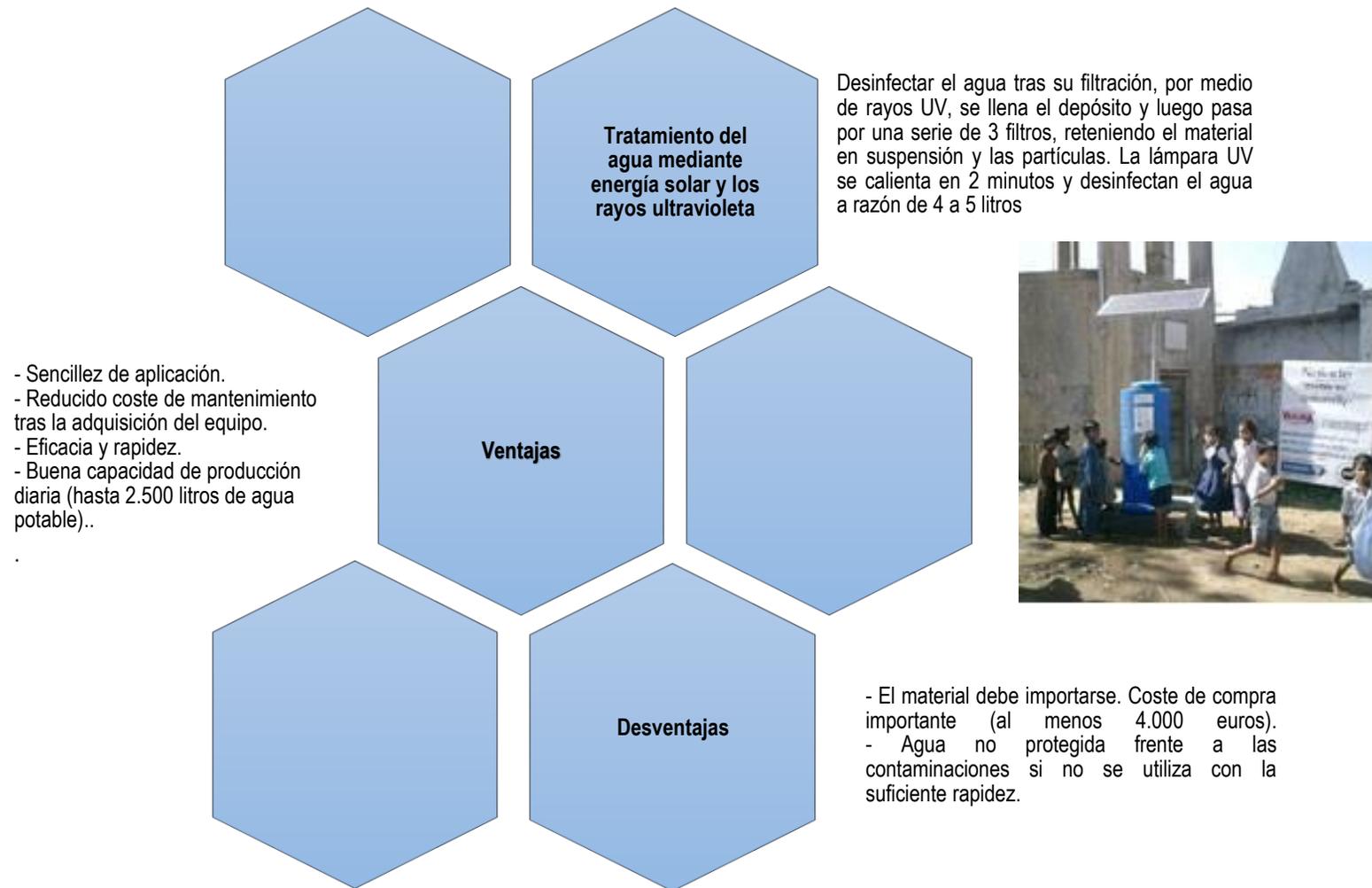


Figura 21: Tratamiento de agua mediante la energía solar y los rayos UV. Fuente: Wikiwater, 20

5. Capítulo 2: Normatividad Colombiana

5.1 Ley 373 de 1997

La política ambiental en Colombia que aborda el uso racional y eficiente del recurso hídrico está representada por la Ley 373 de 1997; el sentido social de esta ley, es disminuir la presión sobre el recurso en la utilización para el abastecimiento de la población, para lo cual, las entidades municipales y regionales encargadas del manejo del recurso hídrico deben elaborar un conjunto de proyectos y acciones que se deben adoptar para optimizar el manejo del agua, denominados Programas para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA).

Según Flórez (2009) “Esta ley posibilita la actividad humana en condiciones que permita tomar las cantidades de agua requeridas.” (p.16). Por otro lado, el ministerio encuentra su justificación en la necesidad de contribuir al cambio de la actual cultura hacia el agua que existe en el país. Por otra parte, el gobierno por medio de proyectos como crecimiento verde, pretende generar un desarrollo sostenible que garantice el bienestar económico y social de la población en el largo plazo. Pero, según el estudio Evaluación de la Implementación de la Política Nacional para la Gestión del Recurso Hídrico con Énfasis en la Oferta y la Demanda 2015-2018, (2019), “las brechas de financiamiento más grandes no son de carácter presupuestal, sino que están relacionadas con la ausencia de planeación y la baja gestión de las autoridades”, así mismo, el diario la libertad (2020) menciona que la CAR en el desarrollo de sus procesos sancionatorios por el incumplimiento de los PUEAA aprobados, son limitados muchas veces a solamente a informar que se realiza un seguimiento y que son escasos los proyectos de pagos por servicios ambientales (PSA) que cuentan con evaluaciones de resultados que permitan la validación de las inversiones efectuadas. (Libertad, 2020; Contraloría General de la Nación, 2019; Barrero Varón, W. A, 2019)

La Contraloría evaluó a fondo la línea estratégica de la política de gestión del recurso hídrico relacionada con las actividades necesarias para adquirir, delimitar, manejar y vigilar las áreas donde se encuentran los ecosistemas clave para la regulación de su oferta. Aunque halló avances significativos, también advirtió rezagos en la aplicación de normas que buscan disponer de espacios territoriales claves para el aseguramiento de la oferta del recurso hídrico. (Libertad, 2020)

Este marco normativo completa ya más de una década de implementación desde que fue expedido, materializando en cada región programas para la racionalización y mejora en la eficiencia del uso del recurso. En la actualidad se desconocen los alcances generados por la existencia de esta política ambiental. Este desconocimiento se debe en parte a la complejidad del sistema que define el uso eficiente y ahorro del agua. Los métodos de evaluación de impacto de políticas públicas, sugieren elementos estadísticos que por sí solos, no siempre corresponden con la complejidad de los sistemas que se abordan desde las políticas ambientales. (Flórez, 2009)

5.2 Decreto 1575 del 2007

El Ministerio de la Protección Social mediante el decreto 1575 del 2007 establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Con el objetivo de establecer la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada. De lo anterior, es preciso mencionar que el decreto en el capítulo III define los responsables para la implementación y desarrollo de las actividades de control y calidad del agua para consumo humano y una serie de responsabilidades que están establecidas entre los artículos 5 y 10 de la siguiente manera:

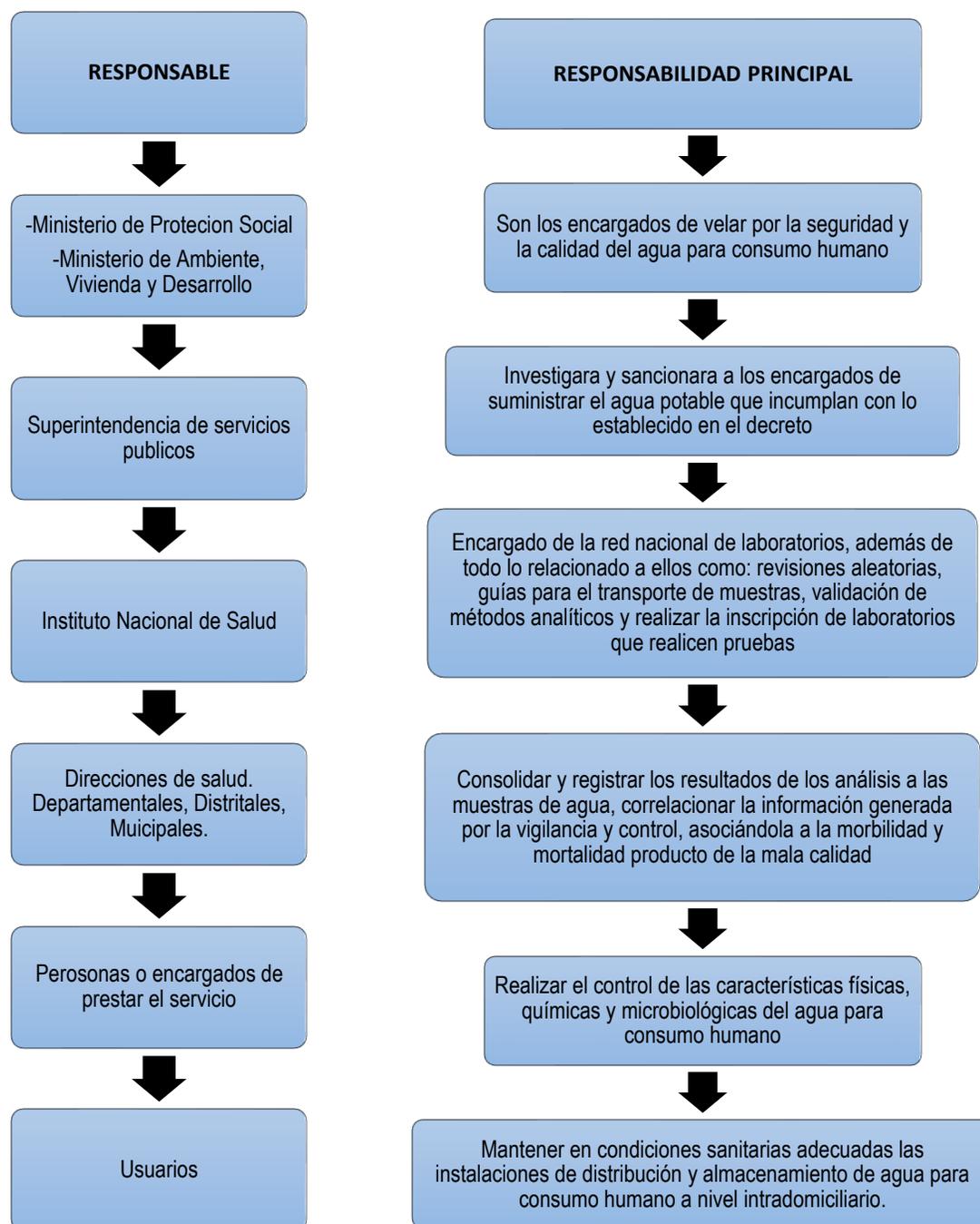


Figura 22. Responsables para la implementación y desarrollo de las actividades de control y calidad del agua para consumo humano. Fuente: Ministerio de la Protección Social, 2007

Dentro de este decreto se disponen los instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo humano, entre estos índices se encuentra el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), por medio del cual se establece 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. (Ministerio de la Protección Social, 2007)

5.3 Resolución 2115 del 2007

La OMS desde 1958 por medio de la publicación de las guías para la calidad del agua potable busca mejorar la calidad del líquido y la salud humana. De modo que puedan ser usadas por los países alrededor del mundo como base para establecer los estándares físicos, químicos y microbiológicos. A pesar de que dichas guías se publican periódicamente, conviene subrayar que las dos primeras fueron tomadas para establecer los parámetros en cada uno de los países. Conforme a esto, en Colombia por medio del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el de la Protección Social, establecen la resolución 2115 del 2007, donde se plasman los valores máximos aceptables en la potabilización de agua para consumo humano. Teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

De lo anterior, según Truque (s.f.), actualmente Estados Unidos (EU) es promotor en la conservación del agua para consumo humano y la Unión Europea (UE) ha venido mejorando sus políticas tanto normativas como financieras en el cuidado del agua y del medio ambiente. De igual manera, el gobierno de Canadá en sus políticas para el mejoramiento y la conservación de los recursos hídricos ha realizado una articulación de su normatividad para la protección de la salud de todos los canadienses. Por lo tanto, a fin de ilustrar mejor se realizará una comparación de los estándares establecidos en diferentes normas internas de países desarrollados en América y la UE vs los establecidos para Colombia como se muestra en la tabla 13, 14 para los parámetros físicos y microbiológicos respectivamente y la figura 24 plasma una grafica donde se ve las concentraciones químicas máximas aceptables en el agua potable

Tabla 12. Valor máximo aceptable en las características físicas.

Características físicas	OMS 1993	Colombia 1998	Estados Unidos 2003	Unión Europea 1998	Canadá 2004
Color aparente	15 UCV	15 UPC	15 UCV	Aceptable	15 UCV
Olor	Sin olor	Aceptable	3	Aceptable	Inofensivo
Sabor	NRI	Aceptable	NRI	Aceptable	Inofensivo
Turbiedad	5 UNT	2 UNT	5 UNT	Aceptable	5 UNT

Autoría propia

UPC: Unidades de platino cobalto

UCV: Unidades de color verdadero

UNT: Unidades nefelométrica de turbiedad

NRI: No registra información

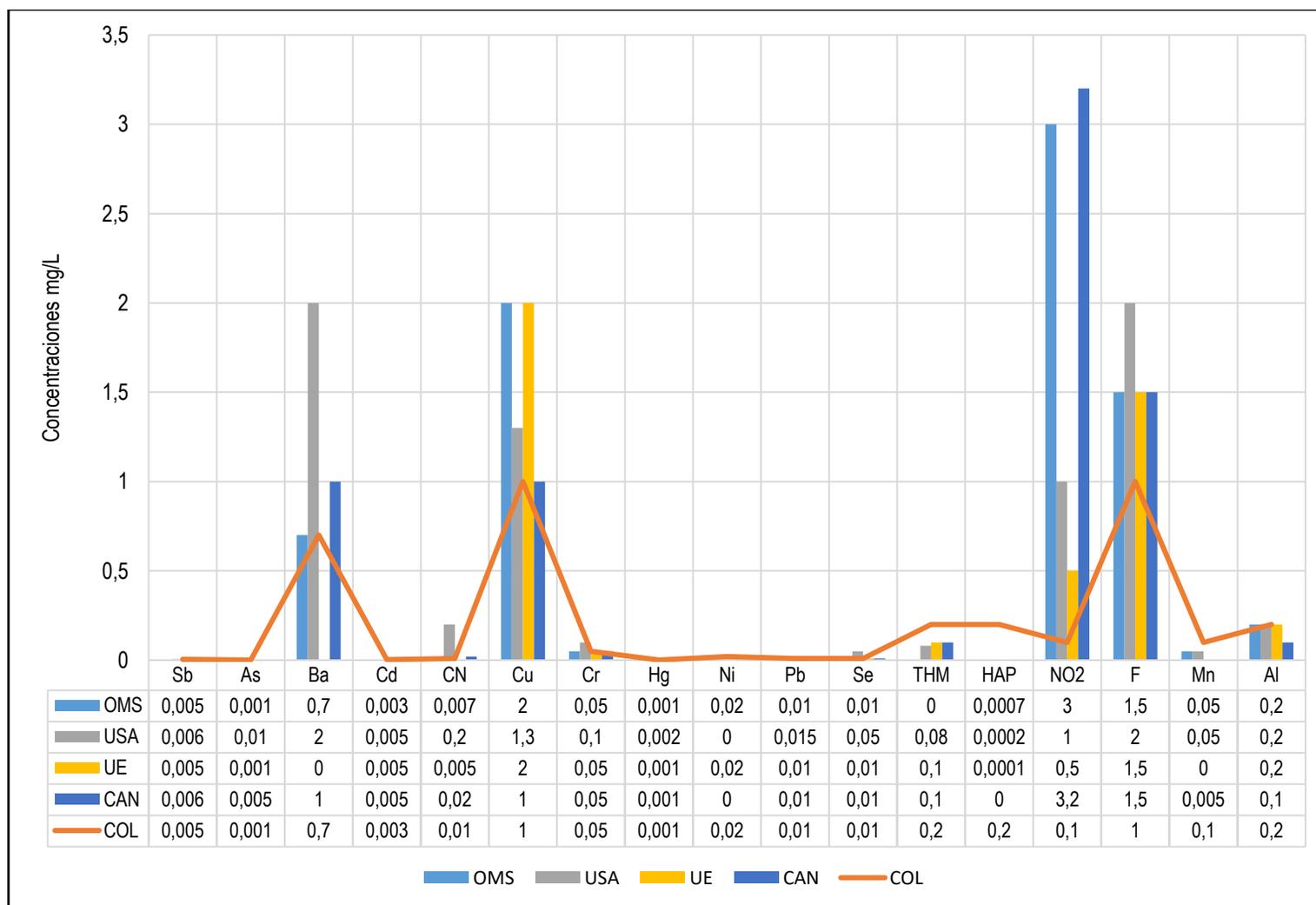


Figura 23. Comparación del valor máximo en algunos compuestos químicos para la Organización Mundial de la Salud (OMS), Estados Unidos (USA), Unión Europea (UE), Canadá (CAN) y Colombia (COL). Autoría propia.

Tabla 13. Valor máximo aceptable en las características Microbiológicas.

Características	OMS	Colombia	Estados Unidos	Unión Europea	Canadá
Microbiológicas	1993	1998	2003	1998	2004
Coliformes totales	0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml
Escherichia coli	0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml

Autoría propia

UFC: Unidades formadoras de colonias

5.4 Análisis del cumplimiento en la normatividad en Colombia.

La normatividad colombiana en el Decreto 1541 de 1978 en su artículo 41 reglamenta que el uso del agua para consumo humano, colectivo o comunitario es prioritario sobre otros usos asociados a otras actividades. Desde esta perspectiva, el sector de agua potable tiene como propósito contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población, mediante la prestación eficiente y óptima del servicio, la ampliación de coberturas y el desarrollo de la infraestructura física, esta última como un factor indispensable para el bienestar social, territorial, económico y ambiental del país. (Trochez, 2015).

En este orden de ideas, la gestión pública del agua potable en Colombia cuenta con una estructura institucional conformada por entidades estatales, encargadas de plantear los lineamientos, regular y ejecutar las políticas del sector a escala nacional, regional y local, de acuerdo con las funciones y responsabilidades adquiridas por cada una de estas. (Ministerio de Colombia, 1997)

En relación a lo anterior, se puede analizar que el decreto 1575 del 2007 funciona como la entidad encargada en cuidar que el agua suministrada sea apta para consumo, mientras la resolución 2115 del 2007 muestra los valores a cumplir para generar un agua en buenas condiciones, con esto me refiero a que en términos de normatividad interna el país se encuentra centralizado en generar y distribuir agua de buena calidad. Sin embargo, Truque (s.f.) afirma que “es mejor, más eficaz y económico prevenir la contaminación de los abastecimientos de agua potable que pagar por el tratamiento o limpieza de los mismos ya contaminados”. Dicho esto, es importante hacer referencia a las acciones que normalmente se relacionan para lograr este objetivo, como por ejemplo el hecho de que la inadecuada planificación del uso y ocupación de

los suelos ha contribuido al deterioro de las cuencas y, por ende, a la cantidad y calidad de la oferta hídrica. (Bolaños, 2015; Hernández, 2014).

Se encuentran pocos estudios en la literatura colombiana que evalúan la calidad del agua. Pero otros estudios han sido realizados para la medición de la calidad de agua lluvia con el propósito de ser usada en acueductos como en el caso de Ibagué. Una experiencia que evaluó la calidad del agua en un municipio de Cundinamarca encontró valores de alto riesgo debido principalmente a la presencia de coliformes. Más aun, un estudio nacional demostró la presencia de virus entéricos en acueductos en todo el territorio nacional desde el 2010 hasta el 2014. (Rueda, Arboleda y Perez, 2017).

En consecuencia, Colombia está relacionada en la parte normativa por un buen conjunto de leyes, decretos y resoluciones que encierran el manejo del agua potable, el cumplimiento de los servicios públicos y el saneamiento básico, sin embargo, es necesario un control y una prevención de enfermedades asociadas a la mala calidad del agua más estricto ya que en la actualidad se puede ver fácilmente las problemáticas por la deficiente calidad y cubrimiento del preciado líquido.

6. Capítulo III: Procesos para la potabilización del agua en sistemas portátiles

En la actualidad se puede encontrar un gran número de zonas, ubicadas principalmente en países en vías de desarrollo, las cuales no cuentan con el acceso a agua potable. Esto, se ve más marcado en zonas aisladas, si bien, los procesos convencionales para la potabilización del agua son costosos; actualmente se vienen desarrollando diferentes alternativas tecnológicas y económicas, que suplen esta necesidad en zonas con escasos recursos (Benites-otero, 2019; Farmamundi, 2015; Pasqualino et al., 2015).

Estos tipos de tecnologías, aunque no estén bien estudiadas, han demostrado tener la capacidad de suplir las necesidades de suministro de agua potable en poblaciones pequeñas sin acceso a un sistema de potabilización tradicional. No obstante, El factor más importante de este tipo de métodos es la facilidad de adquisición en comparación con los tratamientos convencionales. Sin embargo, aún se requieren estudios para adaptar los sistemas portátiles de acuerdo con la situación de cada población. Es decir, que no todas las tecnologías portátiles de tratamiento de aguas se pueden implementar en todos los casos donde se requieran, es aquí donde se debe profundizar en la investigación de este tipo de tecnologías para facilitar su uso a cualquier situación, principalmente en aquellos países en vías de desarrollo, en los cuales, esta problemática es más evidenciada (Cortés, Harold; Mora, 2015; Peñuela & Morató, 2018; Diaz, Yelleiny; Niño, 2018; Orjuela, 2018).

Por tal razón, a continuación, se mostrarán los principales estudios sobre prototipos portátiles de potabilización de agua, evidenciando así la importancia de la implementación de este tipo de tecnologías en zonas de escasos recursos y de difícil acceso(Arias, 2011).

6.1 Prototipos portátiles basado en un sistema de potabilización convencional

Este sistema, utiliza las fases tradicionales de la potabilización del agua (Coagulación, floculación, filtración y desinfección) como se muestra en la ilustración 4, la diferencia, es que usa estructuras económicas y transportables. El diseño de estos sistemas se basa en las normas esenciales de calidad de agua (estas dependen de las implementadas en cada país). En estos sistemas se busca la obtención de agua para consumo humano con materiales económicos e insumos asequibles a cualquier población como se observa en la tabla 14 (Guáqueta, 2011; Pasqualino et al., 2015; Romero, Roberto; Soares, 2014).



Ilustración 3. Prototipo portátil de un sistema de potabilización convencional. Fuente: Pasqualino et al., 2015.

Tabla 14. Características del prototipo portátil.

Tecnología	Caudal	Costo	Costo	Fuente
Convencional		Inversión	Producción	Abastecimiento
-Coagulación	$650 \frac{L}{dia}$	\$331,400	\$443,33 $\frac{pesos}{dia}$	-Turbaco, Bolívar
-Floculación				-Gambote, Bolívar
-Sedimentación				-Islas del archipiélago
-Filtración				del Rosario y San Bernardo
- Desinfección				

Fuente: Adaptado de Pasqualino et al., 2015.

En la fase de coagulación - floculación se han usado $2,5 \frac{gr}{2L}$ de óxido de aluminio a 2,5 RPS y 9 RPS respectivamente, seguidamente el lecho filtrante tiene 3 capas; grava (3,5 cm espesor), carbón activado (5 cm espesor) y arena fina (6 cm espesor) y finalmente la desinfección

se lleva a cabo con hipoclorito de sodio al 13%, aplicando 2,5 gotas a 14 litros de agua tratada y realizando una mezcla por 2 minutos. El prototipo permite obtener $14 \frac{L}{ciclo}$ con una producción de 10 ciclos diarios. De modo que es factible para usarlo en poblaciones aisladas a razón de su facilidad de uso, su bajo costo y que no necesita energía para funcionar. (Pasqualino et al., 2015)

Estos prototipos son usados principalmente en zonas en las cuales no existe algún tipo de intervención gubernamental para el abastecimiento de agua potable, poseen una efectividad subjetiva a cada diseño, pero, con una adecuada asistencia técnica se garantiza la producción de un agua apta para consumo humano. No obstante, la aplicación de esta tecnología presenta un límite en el caudal, por lo tanto, se puede limitar a la aplicabilidad en pequeñas zonas con características específicas. Sin embargo algunas empresas como lo es Postobón S.A. en el desarrollo de proyectos para optimizar su sistema productivo nos muestra el proceso para potabilizar agua lluvia por medio de una planta portátil como se observa en la ilustración 5 (Reyes, 2015).

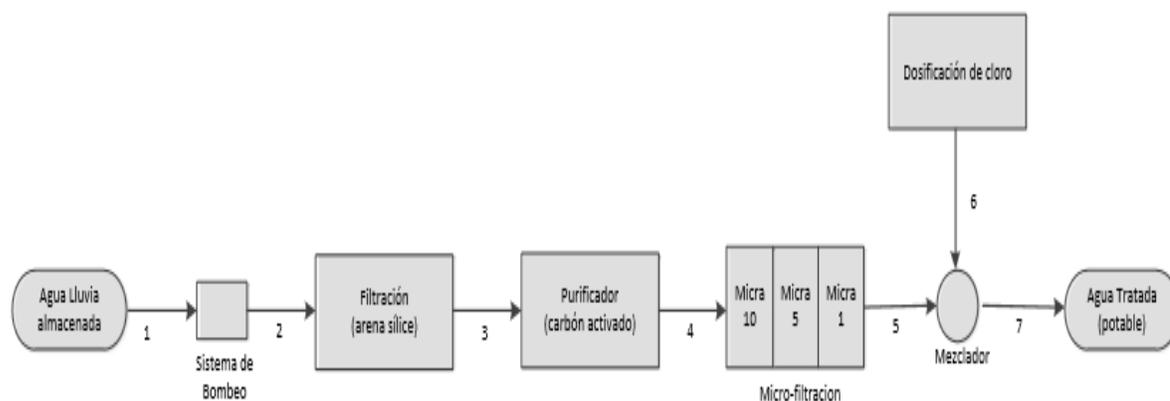


Ilustración 5. Diagrama de flujo para el sistema portátil de agua lluvia. Fuente: Cadena Triana, L. M., & Cuervo Lopez, J. A., 2018

En resumen, el proceso comienza con la recolección el agua lluvia. Luego el fluido es sometido a pasar por un filtro de arena (0,45-0,55 mm) con un soporte en grava (1,6-3,2 mm) , posteriormente se lleva filtro con carbón activado importado malla 8*30 con una base en grava (3,2-6,4mm), done seguidamente se hace recorrer una serie de microfiltros (10 μ ,5 μ ,1 μ) y finalmente se adiciona 384,5 ml cloro al 13% de concentración y 24,615, ml de agua para mantener un efecto residual de 2 ppm, aunque la fuente de abastecimiento no presenta un mayor grado de turbiedad las características de este modelo son funcionales teniendo en cuenta la relación costo/ beneficio. Es decir, este sistema requiere de una mayor inversión económica, pero se obtiene el caudal suficiente como se muestra en la tabla 15. (Cadena Triana, L. M., & Cuervo Lopez, J. A., 2018).

Tabla 15. Características del prototipo portátil para la planta de agua lluvia.

Tecnología	Caudal	Costo Inversión	Costo Producción	Fuente Abastecimiento
-Filtración	0,135 $\frac{L}{seg}$	\$16'774,284	\$1'745,679 $\frac{pesos}{año}$	Agua lluvia
-Purificador				
-Microfiltración				
- Desinfección				
Autoría propia				

A pesar de existir varias limitantes en proceso hay diversos estudios enfocados en diferentes modelos que puedan suplir una necesidad de forma eficiente, como por ejemplo en casos de emergencia, para ilustrar mejor se analizara un sistema creado en Ecuador con un enfoque para suplir la necesidad de agua potable en una población que ha sido afectada por un desastre. La tecnología utilizada es la convencional, en la coagulación se utilizará 15 $\frac{mg}{L}$ de

PAC, la floculación serán dos procesos hidráulicos de pantallas, de flujo vertical y el horizontal, el sedimentador será de placas inclinadas por ser el más eficiente, en la parte de los filtros por diseño se utilizó un filtro de arena (0,65m de altura) y carbón activado (30 cm de altura) , y para finalizar en la desinfección se usará hidróxido de sodio al 10%. Es importante mencionar que durante la creación de la planta se determinó que la reducción del espacio utilizando un sistemas de placas inclinadas reduce el espacio en un 90% y la eficiencia no disminuye si la turbiedad de la fuente de abastecimiento es elevada.

Tabla 16. Características del prototipo portátil para la planta en situaciones de emergencia.

Tecnología	Caudal	Costo Inversión	Costo Producción	Fuente Abastecimiento
-Coagulación	50,000 $\frac{L}{dia}$	\$43'877,711	\$3074 $\frac{pesos}{m^3}$	Ríos o lagos
-Floculación				
-Sedimentación				
- Filtración				
-Desinfección				

Autoría propia

En cuanto a los modelos comerciales implementados por diferentes empresas en Colombia se puede analizar que en comparación con las plantas de tratamiento expuestas presentan una diferencia significativa en la limitante del caudal a favor de los modelos comerciales, pongamos por caso el modelo de la línea EPF de la comercializadora Business & Training, este diseño esta creado para trabajo pesado en zonas de difícil acceso como selva o montaña. Ver tabla 17

Tabla 17. Características del modelo línea EPF.

Tecnología	Caudal	Costo Inversión	Costo Producción	Fuente Abastecimiento
-Coagulación	2,000 y 5,000 $\frac{L}{dia}$	\$8'000,000	NRI	Tipo A1
-Floculación				Tipo A2
- Filtración				Tipo A3
-Desinfección				

Autoría propia

NRI: No registra información

6.2 Prototipos portátiles basados en tecnologías de radiación UV

Existe una variedad de rayos UV, sin embargo, solamente los UVA, UVB y UVC poseen la capacidad de eliminar organismos patógenos del agua, esto, debido a la energía presente en su longitud de onda, lo que genera una alteración en el ADN de los microorganismos, impidiendo que el organismo sobreviva. Esta tecnología es efectiva a la hora de remover organismos patógenos, por lo que reduce la concentración de cloro necesaria en el agua, sin embargo, aún se requiere el uso de este químico por su efecto residual, con esto, se garantiza la esterilidad del agua en un lapso. Estas lámparas, aunque efectivas y confiables, poseen una serie de desventajas, tal como es el requerimiento de energía eléctrica para su funcionamiento, la necesidad de un sistema adicional para la remoción de sólidos y el elevado coste de adquisición. Por lo que, solo son usadas en poblaciones o industrias con la capacidad económica de adquirirlas (Pérez, 2017; Palafíticas En et al., 2017).

Con respecto al primer punto se analizará un sistema portátil con la finalidad de suplir una necesidad a causa del fenómeno del niño, cabe mencionar que el prototipo presenta una característica importante y es que tiene independencia energética ya que utiliza la luz del sol como se ve en la ilustración 6. Por lo tanto, se puede inferir que cuenta con energía renovable por cerca de 8 horas. Además, fue diseñado con 9 filtros de diferentes dimensiones y así mismo con la cantidad de agua potable generada se podrá suplir la usencia del líquido para más de 100 familias. (Benites Otero, 2019).

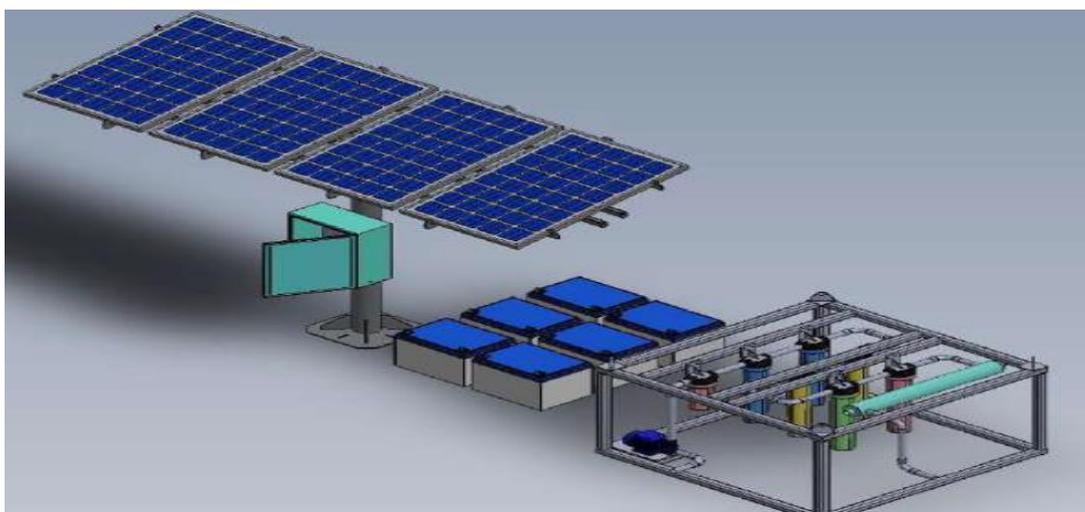


Ilustración 6. Esquema del modelo con independencia energética. Fuente: Benítez-Otero, 2019

Dicho lo anterior, cabe subrayar que las características más representativas están dadas por su eficiencia al momento de producir agua potable y el ahorro económico producido por el uso de la energía solar, a lo cual, se puede llegar a pensar que dicha tecnología puede ser utilizada en lugar con ausencia de fuentes de energía y mas aun con su diseño compacto y sus costos operativos con los de invasión tal como lo muestra la tabla 17.

Tabla 18. Características de una planta portátil para potabilización de agua con independencia energética.

Tecnología	Caudal	Costo	Ahorro	Independencia	Área	Volumen	Calidad del
		Inversión	Producción	Energética			Agua
-Tratamiento Preliminar	2,000 $\frac{L}{hora}$	\$203,665	10'980,510 $\frac{pesos}{año}$	Paneles Solares	60m ²	120m ³	Buena calidad
-Filtración							
-Microfiltración							
-Ultrafiltración							
-Desinfección							
Autoría propia							

6.3 Perspectiva a futuro de los dispositivos portátiles para la potabilización de aguas

En la actualidad, los dispositivos portátiles para la potabilización de aguas no son la solución de raíz para los problemas de abastecimiento en zonas aisladas o con escasos recursos, esto es deber del gobierno garantizar el suministro de agua potable, Sin embargo, la corrupción y la ausencia de un control estricto en el cumplimiento de esta obligación, sacrifican el acceso a agua potable en poblaciones vulnerable o aisladas(Caravanos et al., 2014; Pasqualino et al., 2015). Es en este tipo de casos donde los dispositivos portátiles garantizarían un agua para consumo sin riesgos para la salud, no obstante, es necesario aumentar los esfuerzos en investigación para la adecuación de estas tecnologías, de manera que garanticen el acceso al agua potable a aquellas poblaciones en estado de vulnerabilidad, esto depende principalmente del esfuerzo de las instituciones de educación superior por mejorar este tipo de tecnologías que generen alternativas sostenibles para la sociedad(Arias, Zurghey Lorena; Pedraza, 2016; Duarte Briceno, 1998; Pérez, 2017).

También es de suma importancia la introducción de estas temáticas en aquellas poblaciones sin el acceso a los servicios de saneamiento básico, ya que se evidencia en muchas investigaciones la falta de acogimiento de estas tecnologías en poblaciones vulnerables, debido al desconocimiento y la ausencia de alternativas sostenibles para el suministro del líquido vital (Salamanca, 2017).

6.4 . Casos Documentados de Dispositivos Portátiles para la Potabilización de Agua.

Algunos casos de estudio se han llevado a cabo para poder utilizar agua salobre y generar un líquido apto para el consumo humano, de tal forma que en la tabla 18 se muestran 2 casos con similitudes en la metodología aplicada vs un sistema convencional que a pesar de ser portátil presenta una serie de características que se pueden analizar como ventajas y desventajas.

En ese orden de ideas es preciso mencionar que a pesar de que los sistemas que manejan la tecnología por destilación se limitan al caudal a tratar, dejándolos como precedentes para futuras investigaciones, de igual manera, se observa que el método convencional a pesar de ser el más notorio tanto por el caudal a tratar y los costos de inversión, este prototipo es pensado primordialmente en zonas de desastres, siendo esta problemática una razón para poder generar un prototipo que suministre la cantidad del mínimo vital que necesita cada ser humano. Cruz Álava, (Á. F., & Mejía Ricaurte, M. A, 2017; Sanabria, 2006; Orjuela, 2009)

Tabla 18. Casos de estudio.

Tecnología	Caudal	Costo Inversión	Ventajas	Desventajas
Destilación	$0,18 \frac{L}{hora}$	\$571,500	-Peso de 8 kg -Compacto	-Costo elevado en comparación con la producción -Vida útil de 5 años
Destilación	$1 \frac{L}{2,9 horas}$	\$146,000	-Peso de 5,5 Kg -Económicamente Competitivo	-Caudal limitado
Convencional	$10,000 \frac{L}{hora}$	\$78'379,287	-Mayor capacidad del Caudal -Compacta	-Costos elevados

Autoría propia

7. Capítulo IV: Recomendaciones

7.1 Estrategias para el aseguramiento de la calidad del agua en zonas de difícil acceso y sin suministro eléctrico.

Con lo dicho anteriormente sobre los escasos de agua que se analiza actualmente y sus problemáticas asociadas a esta, se puede pensar que una de las formas más eficientes y económicas para el aseguramiento del preciado líquido. Puede ser la implementación de plantas de potabilización portátiles con fuentes de energía renovables. Además, se podrá pensar que en zonas donde su calidad de agua no se vea tan comprometida, la aplicación de una metodología no convencional, resulta más económica y eficiente. Sin embargo, al cumplimiento del caudal mínimo que necesita un ser humano para vivir diariamente la aplicación de estos dos modelos ubicados secuencialmente, puede llegar a ser una solución completa tanto en calidad del recurso como en cantidad del mismo.

7.2 Implementación de metodologías económicas para el aprovechamiento del agua de mar o fuentes ricas en iones metálicos.

El agua es un elemento críticamente importante en la vida de la humanidad. Sin embargo, la demanda de agua está aumentando rápidamente debido al aumento de la población y el uso humano e industrial descontrolado. Según la Asociación Internacional de Desalinización, más de 86.8 millones de m³ de agua se desaliniza diariamente en todo el mundo. Se espera que este número pueda aumentar en el futuro cercano debido al aumento continuo en población e industria. La investigación y desarrollo de las tecnologías de desalinización se están volviendo altamente significativas para mejorar las tecnologías existentes y explorar nuevas técnicas. Ben, Al-Jabra & Saidurb (2019)

Según el New York Times (2019) En todo el mundo se considera cada vez más que la desalinización es una posible solución para los problemas de la cantidad y la calidad del agua, mismos que empeorarán con el crecimiento global de la población, el calor extremo y la sequía prolongada vinculada al cambio climático.

En la actualidad, la desalinización se limita en gran medida a los países más acaudalados, en especial los que poseen reservas abundantes de combustibles fósiles y acceso a agua de mar (aunque también se pueden desalinizar las aguas salobres tierra adentro). Además del Medio Oriente y el norte de África, la desalinización ha llegado a algunas partes de Estados Unidos que tienen problemas de agua, sobre todo California, y a otros países como España, Australia y China.

Sin embargo, Qadir (como se citó en New York Times, 2019) piensa que “En los países de bajos ingresos no están haciendo casi nada”, así mismo comentó Qadir:

La razón primordial es el costo. La desalinización sigue siendo cara porque se requieren grandes cantidades de energía. Para hacerla más costeable y accesible, los investigadores de todo el mundo están estudiando la forma de mejorar los procesos de desalinización, al diseñar, por ejemplo, membranas más eficaces y durables para producir más agua por unidad de energía y mejores formas de manejar el agua salada tan concentrada que queda.

No obstante, La ciencia de los nuevos materiales puede ofrecer también una solución alternativa a las actuales desaladoras. Científicos de la Universidad de Manchester (Reino Unido) han creado un tamiz de óxido de grafeno que retiene las sales, dejando pasar solo el agua. El secreto está en el diminuto tamaño del poro, de alrededor de 1 nanómetro. Las moléculas de agua fluyen fácilmente a su través gracias a que forman una especie de tren por medio de sus

puentes de hidrógeno; sin embargo, las sales no pueden pasar debido a que están rodeadas por una cáscara de moléculas de agua, con un tamaño total que excede el del poro.

Las ventajas del tamiz de grafeno incluyen la posibilidad de escalarlo a cualquier tamaño y con el diámetro de poro deseado, lo que permite filtrar cualquier ion presente en el agua. Para el director del estudio, el físico de materiales Rahul Nair, esta nueva tecnología “abre nuevas posibilidades para mejorar la eficiencia de la tecnología de desalación”, y será especialmente útil en regiones del mundo donde no puede costearse una gran planta desalinizadora. (OpenMind, 2018)

Similarmente, un grupo de jóvenes investigadores del Departamento de Energía del Politecnico di Torino en Italia acaba de poner su granito de arena para acercarnos más a esa realidad. Su solución se basa en la energía solar y en un dispositivo relativamente sencillo. El nuevo dispositivo de desalación recurre a un material poroso de bajo coste que también prescinde de bombas de agua. Le basta con flotar encima del agua para ir absorbiéndola. A continuación, por medio de energía solar, se calienta el agua absorbida y se lleva a cabo un proceso de evaporación para purificarla. Además, el aparato cuenta con unas membranas que separan el agua dulce de la salada. Se trata, en términos de sus inventores, de una tecnología “pasiva” que, gracias a su sencillez mecánica y a la utilización de energía solar, no requiere apenas asistencia humana ni fuentes de energía exógenas.

El problema de los sistemas pasivos es que, hasta ahora, tenían una eficiencia energética muy escasa. Para salvar este obstáculo, en lugar de centrarse en maximizar la absorción de radiación solar, este proyecto tecnológico ha optado por optimizar la gestión de la energía solar termal disponible. Así, se han centrado en “reciclar” el calor sobrante en cada ciclo de

evaporación. El resultado es una capacidad de generación de hasta veinte litros de agua diarios por metro cuadrado. (Acciona, 2019)

De manera semejante, los científicos de la King Abdullah University of Science and Technology (Universidad de Ciencia y Tecnología Rey Abdullah) desarrollaron una nueva membrana para la desalinización del agua.

El equipo de investigadores creó inicialmente unas láminas de silicio bioinspiradas con unos poros que se estrechan por los extremos. Las pruebas demostraron que la capacidad de retener los gases del material se mantiene durante más de seis semanas. Posteriormente, trasladaron el diseño a un material de fabricación más sencilla: el polimetilmetacrilato (PMMA). El prototipo final es capaz de eliminar el 100% de la sal en el agua durante noventa horas seguidas. Además de su eficacia y resistencia, el nuevo diseño es más ecológico y ofrece un coste de producción inferior. Ahora solo queda por investigar su escalabilidad industrial. (Acciona, 2019)

En consecuencia, las metodologías aplicadas desde hace tiempo se han basado en la utilización de grandes cantidades de energía eléctrica con poca eficiencia en el proceso. Pero, algunos procesos innovadores como: el diseño de nuevas membranas, la utilización de plantas en el proceso e incluso la aplicación de un compuesto para mejorar su eficiencia antes de pasar por el filtro, son algunas soluciones que se muestran de forma económicamente y técnicamente viable para la proyección global en la producción de agua potable para consumo humano a partir del agua de mar o salobre.

8. Conclusiones

- En conclusión, las metodologías aplicadas a la obtención de agua potable, están ligadas al cumplimiento de la normatividad, sin importar el estado de la fuente, más si su eficiencia al momento de ponerla en práctica. Por lo cual, es posible que el no cumplimiento de las normas que rigen y controlan el recurso hídrico limiten a netamente la utilización de la PTAP convencional y dejar de lado el uso de nuevas tecnologías para poblaciones marginales.
- En países desarrollados como Estados Unidos, España y Arabia Saudita, la normatividad en términos de calidad para agua potable es directamente proporcional al cuidado de las fuentes hídricas, es decir que mientras en Colombia los vacíos legales en su normatividad genera consecuencias en el medio ambiente, los mencionados países son claros en que es más económico tratar bien las aguas que se usan, para no utilizar el método convencional ya que este es una metodología que se aplica en fuentes deficientes y que genera mayores costos en la producción.
- En consecuencia, los dispositivos portátiles utilizados para la potabilización de agua podrán ser más eficientes a largo plazo en zonas de difícil acceso, a causa de que es un método económico, con buenas eficiencias utilizando energías renovables como lo es la solar y es un método que puede ser aplicado de manera casera o comercial, generando el mismo objetivo que es la potabilización del agua.

9. Referencias bibliográficas

- Agua., T. S. (2017). *INNOVA GREEN ENERGY*. . Obtenido de <https://innovagreen.com/wp-content/uploads/2017/11/H2Optima-ESP.pdf>
- Alvarez., L. A. (2009). *Repositorio, unidades. edu* . Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/24268/u364892.pdf?sequence=1>
- Avila, F. (2015). Sistema Móvil de Bombeo y Desalinización de Agua. *Resvistas.unne.edu.ar*, 196-206. Obtenido de Sistema Móvil de Bombeo y Desalinización de Agua.
- Contraloría General de la Nación (2019), Evaluación de la Implementación de la Política Nacional para la Gestión del Recurso Hídrico con Énfasis en la Oferta y la Demanda 2015-2018. Recuperado de <https://www.contraloria.gov.co/>
- Diaz, K., & Y., N. (2018). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA LECHOS FILTRANTES EN PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA*. Obtenido de UNIVAERSIDAD CÁTOLICA DE COLOMBIA : <http://repository.ucatolica.edu.co:8080/bitstream/10983/16451/1/TESIS%20PROTOTIPO.pdf>
- INSST. (2018). Fasciola ssp. *DATABIO*, 1-5.
- Roman, V. (Septiembre de 2017). *Universidad de Cadiz* . Obtenido de Diseño de un sistema portátil para el tratamiento de agua potable : <file:///C:/Users/fabian/Downloads/927573.pdf>

Acciona. (2014). *¿Qué es la sostenibilidad?*

Acciona. 2019.Innovation-Hub. Las plantas inspiran un sistema de desalación que solo requiere energía solar. Recuperado de <https://www.innovation-hub.com>

Acciona. 2019.Innovation-Hub. Un proceso de desalinización inspirado en insectos que caminan sobre el agua. Recuperado de <https://www.innovation-hub.com>

AECID. (2015). *Sostenibilidad y modelos de gestion.*

Aguirre, S. E., Piraneque, N. V, & Cruz, R. K. (2018). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia Natural Substances: Alternative for the Treatment of Magdalena . *Información Tecnológica*, 29(3), 59–70. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>

Aragon. (2019). *¿Cómo se potabiliza el agua?. Gobierno de Aragón.*

Arias-hoyos, A., Luis Hernández-medina, J., Fernando Castro-valencia, A., & Efredis Sánchez-peña, N. (2017). wastewater treatment from slaughter house: using powder of m. oleífera as a natural coagulant. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial Edición Especial No, 1*, 29–39. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(Edición\)](https://doi.org/10.18684/BSAA(Edición))

Arias, Zurghey Lorena; Pedraza, J. H. (2016). *Desarrollo comunitario mediante la potabilización de agua para consumo humano, utilizando lamparas de luz ultravioleta tipo c, en tres (3) instituciones escolares del municipio de ataco en el departamento del tolima* (Issue 3). Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Arias, B. (2011). diseño de un sistema de tratamiento para potabilizar el agua del cantón caluma. *in escuela superior politécnica de chimborazo.* escuela superior politécnica de chimborazo.

Barreto Tejada, J. A. (2015). *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos*

y laboratorio. Universidad Piloto de Colombia.

Baja inversión, ineficiencia presupuestal y falta de planeación, afectan gestión de recurso hídrico en el país: Contraloría, (septiembre 20 del 2020). La libertad. Recuperado de <https://diariolalibertad.com/>

Barrero Varón, W. A. (2019). Formulación de un programa de uso eficiente y ahorro del agua—PUEAA—como instrumento de planificación para la oficina de servicios públicos, casco urbano del Municipio de Nariño—Cundinamarca (Doctoral dissertation).

Cadena, L., & Cuervo, J. (2018). *repository.uamerica.edu.co*. Obtenido de Evaluación de una Planta Portátil Potabilizadora de Agua Lluvia en Postobón S.A.: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6700/1/6132198-2018-1-IQ.pdf>

Camberos, F. R., Girón, W. A., & Gutiérrez, N. P. (2017). La calidad del agua de los acueductos de las áreas urbanas del Departamento del Meta, Colombia. *Revista Investigaciones Andina*, 19(35), 11-30.

Benites-otero, Y. (2019). diseño de un prototipo compacto potabilizador de agua superficial con independencia energética. *Universidad de Piura*.

Bentama, J., Schmitz, P., Destrac, P., & Espenan, J. M. (2004). Technological innovation for the production of drinking water by membrane processes. *Desalination*, 168(1–3), 283–286. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.07.010>

Ben-Mansoura, R., Al-Jabra, A. H., & Saidurb, R. (2019). Economic comparison between RO-

- wind and RO-PV desalination systems. *Desalination and Water Treatment*, 156, 7-19.
- Bernard. (2018). *Del agua... y los problemas - Columnistas - Opinión - ELTIEMPO.COM*.
- Bolaños Vanesa. (2014). *Protocolo Para El Funcionamiento, Control Y Operación Del Nuevo Equipo De Prueba De Jarras Del Laboratorio De Hidraulica Y Saneamiento*. 1–61.
- Cadena Triana, L. M., & Cuervo Lopez, J. A. (2018). Evaluación de la planta portátil potabilizadora de agua lluvia en la empresa Postobon SA (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- Caravanos, J., Dowling, R., Téllez-Rojo, M. M., Cantoral, A., Kobrosly, R., Estrada, D., Orjuela, M., Gualtero, S., Ericson, B., Rivera, A., & Fuller, R. (2014). Niveles de Plomo en Sangre en México y su Implicación para la Carga Pediátrica de la Enfermedad. *Annals of Global Health*, 80(4), e1–e11. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2014.10.005>
- Clavijo Sergio. (2017). *La problemática del agua*.
- Carvajal, G., & del Pilar, M. (2011). *Diseño de la mejor configuración integrando tratamientos de purificación de agua utilizados en sistemas portátiles LifeStraw y LifeSaver Bottle* (Bachelor's thesis, Bogotá-Uniandes).
- Cabarcas Rivas, L. Á., & Medina Solano, J. C. (2019). Evaluación del índice de calidad del agua para consumo humano en el departamento del Atlántico, Colombia (Doctoral dissertation, Universidad de la Costa).
- CNA. (2015). *Manual de Agua Potable , Alcantarillado y Saneamiento Operación y mantenimiento de plantas de Manual de Agua Potable , Alcantarillado y Saneamiento*

Operación y Mantenimiento de Plantas Residuales Municipales : Pretratamiento y Tratamiento Primario Comisió.

Congreso de la Republica de Cololombia (1997). Ley 373 del 06 de junio de 1997 por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Gogota D.C. Congreso de la Republica

Colombia. Ministerio de Salud. Segundo Inventario Nacional de la Calidad del Agua. Bogotá: El Ministerio; 1998

Colombia. Ministerio de Protección Social. Situación de Salud de Colombia. Indicadores básicos 2002. Bogotá: El Ministerio; 2003

Córdoba Parada, J. D., Acosta Alarcón, R., Pacheco, J. F., & Ramírez, C. (2016). Recopilación de experiencias en la potabilización del agua por medio del uso de filtros. *Inventum*, 11(20), 53–60. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.11.20.2016.53-60>

Cortés, Harold; Mora, L. (2015). DISEÑO DE UN SISTEMA COMPACTO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LA GRANJA LA FORTALEZA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE MELGAR- TOLIMA HAROLD. *Universidad Libre*, 151(2005), 10–17. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>

Cruz Álava, Á. F., & Mejía Ricaurte, M. A. (2017). Diseño de una unidad portátil de potabilización de agua para zonas de desastre (Bachelor's thesis, Espol).

Diaz, Yelleiny; Niño, Y. (2018). evaluación del comportamiento de materiales alternativos para lechos filtrantes en procesos de potabilización de agua. *Universidad Catolica de Colombia*, 15(4), 2046–2069. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2457491>

Diserprosa - Diseños y proyectos Reunidos. (2012). Plantas de tratamiento de aguas. *Diserprosa*,

1–15.

https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87264/Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas.pdf

DISIN. (2019). *¿Realmente conoce la importancia del pretratamiento del agua dentro de la industria farmacéutica? - DISIN S.A. Plantas de Tratamiento de Agua. Colombia.*

Duarte Briceno, E. (1998). La creatividad como un valor dentro del proceso educativo. *Psicol. Esc. Educ*, 43–51. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S1413-85571998000100005>.

ECUADOR. (n.d.).

Efrain Dominguez. (2017). *Las contradicciones de la abundancia de agua en Colombia.*

Farmamundi. (2015). *Suministro de agua en situaciones de emergencia.*

Estrada Torres, J. J. (2011). Diseño de una planta portátil potabilizadora de agua de 50 metros cúbicos por día (Bachelor's thesis).

Giai, M. (2006). Calidad química y bacteriológica de agua potabilizada en Gonaives (Haití) en el marco de UN-MINUSTAH. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 212, 207–212.

Guáqueta, M. del P. (2011). *Diseño de la mejor configuración integrando tratamientos de purificación de agua utilizados en sistemas portátiles lifestraw y lifesaver bottle marcela del pilar guáqueta carvajal.* Universidad de los Andes.

Guerrero Vejaranoa, T. E., Salazar Álvarez, J. C., & Paredes Salazar, J. L. (n.d.). eficiencia de un sedimentador laminar y convencional para eliminar sólidos. *Rev Soc Quím Perú*, 84(3), 2018.

Harold Perez Castillo. (2008). *facultad de ingenieria programa de ingenieria civil sincelejo*

2008.

Hernández Prieto, P. A. (2014). De los servicios públicos domiciliarios como derecho fundamental. Un derecho de la población vulnerable: Estudio comparado-Colombia frente a España (Bachelor's thesis).

Interciencia Venezuela Rodríguez, A. (n.d.). *Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación.*

Instituto nacional de salud, (2019). Informe del comportamiento de la morbilidad por enfermedad diarreica aguda (EDA), Colombia, primer semestre 2019, recuperado de <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/ENFERMEDAD%20DIARREICA%20AGUDA%20SEMESTRE%20I%202019.pdf>

Lina Torres, Patricia torres, J. E. (2013). *Influencia de la configuración del medio filtrante sobre el proceso de filtración a tasa constante del agua clarificada del río Cauca.* 38–44.

Lozano Rivas, William Antonio. Una nueva manera de potabilizar el agua. Revista Acodal, No. 206, agosto 2004, 25-29.

Llano, B. A., Cardona, J. F., & Ocampo, D. (2014). *Tratamiento Físicoquímico de las Aguas Residuales Generadas en el Proceso de Beneficio de Arcillas y Alternativas de Uso de los Lodos Generados en el Proceso Physical-Chemical Treatment of Wastewater from the Benefit Process of Clays and Alternative uses* . 25(3), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>

Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., & Ríos, L. A. (2014). Physical-Chemical Treatment of Wastewater from the Benefit Process of Clays and Alternative uses of the Sludge Generated

by the Process. *Información Tecnológica*, 25(3), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>

Lugo, J. L., & Lugo, E. R. (2018). Beneficios socio ambientales por potabilización del agua en los pueblos palafíticos de la ciénaga grande de Santa Marta-Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 259–264.

<https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.685>

Mariel Guadalupe. (2012). *universidad nacional del litoral facultad de bioquímica y ciencias biológicas*.

Merizalde, E., Montenegro, L., & Cabrera, M. (2019). Estudio de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes de una Industria de Papel. *Revista Politécnica*, 43(1), 07–14. <https://doi.org/10.33333/rp.vol43n1.951>

Microorganismos en el agua potable - Alkemi. (n.d.).

Ministerio de la Protección Social; Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, (2007). Resolución 2115, 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. Bogotá D.C. Ministerio de la Protección Social; Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia

Ministerio de la Protección Social, (2007). Decreto 1575, Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Bogotá D.C. Ministerio de la Protección Social de Colombia

Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, (2010). "Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos

y se dictan otras disposiciones". Bogotá D.C. Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia.

Ministerio de Salud y Protección Social Marzo, 2019, Informe nacional de la calidad del agua para consumo humano, INCA 2017. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/calidad-del-agua-inca-2017.pdf>

Ministerio de Colombia. (1997) Análisis del sector de agua potable y saneamiento en Colombia. Recuperado de https://www.paho.org/col/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=documentos-nacionales&alias=1392-analisis-sectorial-de-agua-y-saneamiento-en-colombia&Itemid=688

Morales, C. G., Adriana Sánchez, G., César, C., Jiménez, C., Gómez Carmona, C., Molina Pérez, F., & Elena Velásquez, L. (2014). *DE CONSUMO ANIMAL A TRAVÉS DE FILTRACIÓN RÁPIDA Y LENTA*.

Mourato, D. (2017). microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable. *Zenon Enviromental Inc*.

Ojeda. (2011). *UF1667 - Tratamiento de agua potable - Mariano Ojeda Guzzini - Google Libros*.

Orjuela, A. (2018). Diseño y optimización de una unidad portátil de potabilización de agua por medio de destilación multiefecto. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Orjuela Alvarez, L. A. (2009). Diseño y optimización de una unidad portátil de potabilización de agua por medio de destilación multiefecto (Bachelor's thesis, Bogotá-Uniandes).

Ospina-Zuñiga, O. E., & Ramírez-Arcila, H. (2011). *Tratamiento casero alternativo de agua para consumo humano por medio de fitoquímicos*. 7–17.

Ospina Zuñiga, Oscar Efren; Ramirez Arcila, Hildebrando; Guevara Ceron, Diego Octavio; Peña Montaña, Eulises Fernando Y Arias Diaz, Arnulfo. Proyecto Palomar: Potabilización Doméstica de Agua para Localidades Marginadas y Rurales. 56° Congreso Internacional ACODAL. Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables. Santa Marta. Colombia; 2013

Palafíticas En, C., Caribe, E. L., Colombiano, N., Luis, J., & Arias, L. (2017). *evaluación de alternativas de potabilización a bajo costo en*.

Paola Contreras Lozano, K., Aguas Mendoza, Y., Salcedo Mendoza, G., Olivero Verbel, R., & Pablo Mendoza Ortega, G. (2015). *Artículo original / Original article / Artigo original Producción + Limpia-Enero-Junio de*. 10.

Pasqualino, J., Niebles Puello, L., & Zaizon Parternina, D. P. (2015). construcción de prototipo de planta potabilizadora de agua para abastecimiento en poblaciones aisladas. *Grupo de Investigación Guia Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco*, 53(5), 1–116.
<https://doi.org/10.1590/s1809-98232013000400007>

Peñuela, G., & Morató, J. (2018). *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas* (Universida).

- Peter-Varbanets, Maryna; Zurbrügg, Chris; Swartz, Chris And Pronk, Wouter. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research* 43(2): 245–265; 2009
- Pérez, D. G. (2017). “ *Tratamiento ultravioleta del agua a escala doméstica : sistema de desinfección solar usando la óptica anidólica .*”
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108440/TFM-DanteGonzalezPerez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Puello, L. N., Paternina, D. P. Z., Gómez, M. T. R., & Pasqualino, J. (2015). Construcción de prototipo de planta potabilizadora de agua para abastecimiento en poblaciones aisladas. *Novos Saberes (ISSN: 2359-1986)*, 2(2).
- Ramalho, R. S. (n.d.). *pretratamientos y tratamientos primarios Tratamientos de Aguas Residuales.*
- Remoción de aceites y grasas de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por electrocoagulación, a nivel de laboratorio.* (n.d.).
- Residuales Monica Alejandra Bravo Gallardo, a., castrillón cardona msc, w., & andrés matulevich peláez msc, j. (n.d.). *coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, solidos suspendidos, colorantes y metales pesados en.*
- reyes, f. (2015). *diseño y construcción de una planta portátil de tratamiento de agua* [Universidad Industrial del Santander]. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Rocha, E. (2011). Desinfección y métodos de desinfección del agua. *Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas*, 16.
- Rodríguez, C. V., Donado, L. D., & Weber-Shirk, M. (2018). Evaluation of high rate sedimentation lab-scale tank performance in drinking water treatment. *Revista Facultad de*

Ingenieria, 2018(90), 9–15. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n90a02>

Romero, Roberto; Soares, D. (2014). *Los retos de la adopción tecnológica en el sector hídrico de latinoamérica*.

Ruiz, A. D. C. (2007). diseño preliminar de un prototipo mecánico para la aplicación de un proceso de microfiltración en potabilización de aguas alba. In *Universidad de los Andes* (Vol. 3, Issue September).

Salamanca, E. (2017). Tratamiento de aguas para el consumo humano. *Módulo Arquitectura CUC*, 17(1), 29–48. <https://doi.org/10.17981/moducuc.17.1.2016.02>

Sanabria, O. R. A. (2006). *Diseño de una unidad portátil de destilación de agua para efectos de potabilización* (Doctoral dissertation, Uniandes).

Soledispa, F. (2013). Propuesta de un Sistema de contención en caso de fuga de gas cloro para plantas de potabilización de agua. *Universidad Politécnica Salesiana*, 153. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5365/1/UPS-GT000484.pdf>

Turbidez. (n.d.).

Trochez, F. V. B. (2015). Marco normativo de la gestión pública del agua potable en Colombia y su contribución en los procesos de integración territorial metropolitana. *Entorno Geográfico*, (11).

Truque, P. (2011). Armonización de los estándares de agua potable en las Américas. Organización de Estados Americanos, Washinton DC, EE. UU.

Ures, P. (2014). *FT-PRI-001 Coagulación-floculación serie: tratamientos primarios*.

WHO & UNICEF. Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000. s.f.: Organización Mundial de la Salud; Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2000.

Xavier Borrás. (2010). *Sustancias para el tratamiento de aguas para el consumo humano - Agua*.

Quiroga-Almaguera, A., Rodríguez-Badillo, H., Rangel-Rivera, P., & Rangel-Porrás, G. polímeros inorgánicos como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales.

Vizcarra Llenera, J. D. (s.f.). *INAGEP*. Obtenido de Procesos de desinfección en el tratamiento de agua potable :

https://archivosdiversos.weebly.com/uploads/2/1/7/6/21760126/modulo_6_agua_potable.pdf