

**SISTEMA CONVENCIONAL PARA EL DISEÑO DE PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN COLOMBIA**

(Autor)

DERLY LISETH RAMÍREZ MARTÍNEZ

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y
QUÍMICA**

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, JUNIO 10 DE 2020

**SISTEMA CONVENCIONAL PARA EL DISEÑO DE PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN COLOMBIA**

(Autor) DERLY LISETH RAMÍREZ MARTÍNEZ

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de
INGENIER(A)O QUÍMIC(A)O**

**Director: CARLA STEPHANNY CÁRDENAS BUSTOS
INGENIERA QUÍMICA**

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y
QUÍMICA**

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, JUNIO 10 DE 2020

AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta etapa tan maravillosa de mi vida quiero agradecer enormemente, a aquellos que hicieron posible este sueño, aquellos que con su inspiración, apoyo y fortaleza me acompañaron en este camino.

Esta mención en especial es primero a DIOS por llenar mi vida de bendiciones, sabiduría y guiarme por todo este trayecto llamado vida.

A mis padres por acompañarme y brindarme todo el apoyo incondicional, por enseñarme que en la vida no siempre se gana y que con su amor me ayudaron a crecer como una personal integra.

A mis hermanos, primos, tíos y demás familia en general por enseñarme que siempre se debe luchar por los sueños a pesar de las condiciones.

A mis amigos, José Felix, Karen, Vivian, Eloy, Cami, Duver, por todos los momentos compartidos, por los chismes, risas, llantos, peleas, y sobre todo por escucharme cuando más lo necesitaba. Y gracias a todas esas otras personas que crecieron conmigo en esta etapa y que forjaron cosas buenas en mí.

Mi gratitud, también a la Universidad de Pamplona por haberme aceptado ser parte de ella y abrirme sus puertas para poder estudiar mi carrera, mi agradecimiento sincero a mi asesora de Tesis, Ing. Carla Cárdenas por ser un amor de persona y por brindarme todo su conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme en todo este proceso, finalmente quiero agradecer a cada uno de los docentes quienes brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante cada uno de mis días.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. JUSTIFICACIÓN	10
3. OBJETIVOS	11
3.1 Objetivo general.....	11
3.2 Objetivos específicos	11
4. ESTADO ACTUAL – SISTEMA CONVENCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.	12
4.1 Importancia de la potabilización del agua.	12
4.2 Normativa que rige en colombia.....	14
4.2.1 Fuente superficial.....	15
4.2.2 Fuente subterránea.	15
4.3 Tipos y procesos unitarios de los sistemas convencionales potabilización en colombia.	24
4.3.1 Aeración.	28
4.3.2 Coagulación, floculación y sedimentación.....	28
4.3.3 Filtración.	29
4.3.4 Ablandamiento.....	30
4.3.5 Oxidación química.	31
5. CONCLUSIONES	35
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de la calidad de la fuente de agua cruda.	16
Tabla 2. Normas de Calidad del agua potable, según decreto 475/98	18
Tabla 3. Puntaje asignado según nivel de riesgo	22
Tabla 4. Clasificación del IRCA.....	22
Tabla 5. Procesos unitarios empleados en el tratamiento de potabilización.	26
Tabla 6. Características de las membranas de filtración avanzada.	30
Tabla 7. Tecnologías usadas en los sistemas convencionales de potabilización y sus limitaciones.....	31

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Distribución de la clasificación del índice del riesgo de la calidad del agua (IRCA) por departamentos y por zona rural o urbana, Colombia, 2019. Fuente: (Salud, 2019). 23
- Figura 2. Esquema general de los sistemas convencionales de potabilización. Fuente: (*Ramon Valencia, 2017*)..... 25
- Figura 3. Proceso de coagulación, floculación y sedimentación. Fuente: (*Fundation, 2016*) 29

GLOSARIO

Agua cruda: Agua que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

Agua dura: Agua que contiene cationes divalentes y sales disueltas.

Características organolépticas: Son propiedades físicas de la materia, que afecta los sentidos, como el sabor, textura, olor, temperatura o color.

Caudal de diseño: Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructura de un sistema determinado.

Cloro residual: Concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado.

Coliformes totales: Bacterias gram negativas, no esporoformadoras, oxidasa negativa, con capacidad de crecimiento aeróbico y facultativamente anaeróbico en presencia de sales biliares

***Escherichia coli*:** Bacilo aerobio gram-negativo que no produce esporas, pertenece a la familia de enterobacteriaceas y se caracteriza por poseer las enzimas β -Galactosidasa y β -glucorooanidas. Es un subgrupo de bacterias fecales coliformes.

Escorrentía superficial: La escorrentía es una corriente de agua que se origina de las precipitaciones que, circula y se extiende sobre el suelo una vez que se ha superado la capacidad de evaporización y de infiltración de la misma.

Evaporación: Es la consecuencia de un aumento natural o artificial de la temperatura. En el caso del agua, la agitación de sus moléculas por acción de calor provoca que estas logren ganar la energía suficiente para desprenderse del líquido y convertirse en vapor.

Evapotranspiración: Cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas

Infiltración: se refiere a la penetración del agua a través de las diversas capas permeables del suelo, cuya función principal es evitar la erosión de los suelos, nutrir las plantas y evitar posibles inundaciones.

PTAP: Planta de tratamiento de agua potable.

RAS: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

Sedimentación: Proceso en que los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, con previa adición de químicos coagulantes.

Subproductos de desinfección: Compuestos formados por la reacción desinfectante con la materia orgánica o sustancias químicas preexistentes en el agua.

Tratamiento: Conjunto de operaciones y procesos que se realiza sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas, para hacerla potable.

Turbiedad: Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

UFC: Unidad formadora de colonias.

UNT: Unidades Nefelométricas de turbidez

1. INTRODUCCIÓN

El agua potable es un derecho fundamental contemplado por la resolución 64/292 del 28 de junio 2010 de las naciones unidas (Esteban & Prieto, 2019; General, 2015) y en Colombia la resolución T-740/11 (Justicia, 2011) busca garantizar un saneamiento básico adecuado a todas las comunidades, refirmando el compromiso de los estados y organizaciones en brindar recursos, capacidad logística y apoyar con tecnología adecuada para un correcto suministro de agua potable que además sea de fácil acceso, suficiente y con continuidad (24 h) para todos (Comisión Reguladora de Agua - Departamento Nacional de Planeación & Públicos, 1997), con el fin de evitar enfermedades transmitidas por aguas crudas con nivel de calidad deficiente.

Dichos acuerdos contemplan la implementación de plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), que combinan diversas tecnologías que responden a la necesidad de cada tipo de fuente que se pretenda potabilizar, tomando en consideración que cada país maneja sus propias políticas para el sistema de abastecimiento de agua potable en sus territorios (Hernandez Triana & Corredor Briceño, 2017), cabe de resaltar que Colombia cuenta con un completo manual para la planeación, diseño, ejecución, implementación y mantenimiento de las PTAP, siguiendo estrictos protocolos basados en normas internacionales adaptadas a las condiciones y equipos disponibles en el país.

En Colombia el *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO - RAS* es quien marca las pautas y condiciones de acondicionamiento de las PTAP (Milena et al., 2015).

Este documento se enfoca en reconocer los requerimientos más básico del sistema de tratamiento convencional exigido por el RAS y las tecnologías disponibles, así como los equipos y su respectivo uso de acuerdo a los niveles de calidad del agua que presente cada cuenca (Aguas, El, & Humano, 2016).

2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la importancia que tiene el proceso de potabilización se hace indispensable que todos los profesionales encaminados a este tipo de proyectos tengan claro que proceso debe seguir o la normativa a la cual se debe remitir para conocer los conceptos básicos al momento desempeñarse en la parte de caracterización de la fuente hídrica abastecedora y diseño de una planta de tratamiento de agua potable. Es así como este documento recopila información acerca de los sistemas convencionales de potabilización en Colombia, haciendo una breve especificación de los equipos disponibles, impactando principalmente a entes interesados en mejorar la calidad del agua de las poblaciones, ya sea reemplazando y/o equipando con tecnología que optimicen a una planta de tratamiento ya existente o cuando se desee construir uno nuevo.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar el sistema convencional reglamentado para el diseño de plantas de tratamientos de agua potable en Colombia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la importancia de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP).
- Identificar la normativa empleada en Colombia para las plantas de tratamiento de agua potable convencionales.
- Determinar tipos y procesos unitarios empleados en las plantas de tratamiento de agua potable convencionales usados en Colombia.

4. ESTADO ACTUAL – SISTEMA CONVENCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

4.1 IMPORTANCIA DE LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA.

El agua empleada para el consumo humano debe ser sometida a un proceso de potabilización el cual elimina y/o disminuye agentes contaminantes que afectan las funciones vitales del cuerpo al ser consumidas sin precaución alguna. Las fuentes hídricas que se encuentra en la naturaleza, ya sean, ríos, lagos, depósitos subterráneos, mar y agua atmosférica (lluvia), muestran en su composición, moléculas de compuestos como sales, minerales y metales pesados que restringen muchos de sus usos; en el caso específico del agua lluvia estas al estar en contacto con contaminantes atmosféricos provenientes de gases y residuos químicos hace que se limite su utilización, a pesar de todo lo antes mencionado el riesgo microbiológico se considera un factor de mayor relevancia al momento de tratar el agua para el consumo humano (Barreto Tejada, 2015), sin dejar de mencionar otros factores que también son causantes de la polución o contaminación del agua cruda que deben tenerse en cuenta al momento de realizar el respectivo proceso de potabilización.

Organizaciones reconocidas como la OMS y la UNICEF advierten sobre el uso de aguas no potables o no tratadas para el consumo humano, las cuales se convierten en vectores de enfermedades que pueden producir diarrea, cólera, arsenicosis, legionelosis, esquistosomiasis, fiebre tifoidea y así, solo por mencionar algunas que son causantes de afectaciones y en caso más severos desencadenan millones de muertes a nivel mundial (Avila, 2015; OMS, 2017; UNICEF, 2017), tanto en países desarrollados como en vía de desarrollo, pero con mayor incidencia en regiones donde el acceso al agua potable es limitado por la falta de recursos o de inversión de estos, en adecuados sistemas de potabilización, cuando solo por mencionar las enfermedades diarreicas causa la muerte de alrededor de 760.000 niños cada año (Rodríguez Chavarro, 2014), Además, se suma el incorrecto uso de las fuentes hídricas por parte de los seres humanos que contaminan las cuencas que proveen el agua empleada por muchas comunidades. Distintas organizaciones y prensa alrededor del mundo tan importantes como The New York Times (Clarín, 2020; Fernández Roldán, 2020; Greenpeace, 2018; Herrero, 2019; Scarpellini, 2019; Schlossberg, 2017) hacen llamados de atención acerca de las distintas

actividades que realiza el ser humano, que influyen directamente en la contaminación de afluentes, que resultan potencialmente peligrosas y dañinas (Clarín, 2020; Fernández Roldán, 2020; Greenpeace, 2018; Herrero, 2019; Scarpellini, 2019; Schlossberg, 2017); acciones como vertimiento de químicos tóxicos, fertilizantes y pesticidas resultado de su uso en la agricultura y ganadería, así como residuos de compañías farmacéuticas, petroquímicas, y en general desechos considerados “basura”, terminando en las cuencas, que además de afectar la fauna y flora de las mismas con las cuales tienen contacto estos contaminantes ponen en riesgo a muchas comunidades que subsisten y dependen de dichas fuentes hídricas.

En Colombia las enfermedades que más afectan a la población por casos de potabilización insuficiente son la hepatitis A, enfermedad diarreica aguda (EDA), fiebre tifoidea y paratifoidea, cólera y dengue afectando con mayor severidad a grupos indígenas, raizales y etnias (INS, 2014) grupos que se encuentran apartados de los principales centros urbanos y que en muchos casos desconocen la importancia del adecuado tratamiento del agua, por dicha condición están expuestos a todas estas enfermedades que en cuyo caso se agrava por carencia de atención médica (Akubadoura, 2020), adicional a esto, el abandono estatal hace que estas comunidades no cuenten con sistemas básicos de saneamiento. Ahora bien, aunque el agua que se suministra a los hogares es apta para su consumo, esta también es empleada para otras labores dentro del hogar como el lavado de la ropa, higiene personal, entre otras, (Teresa & Ascencio, 2014). Es por esto que, además de tratar el agua en busca de evitar potenciales enfermedades, se eliminan factores como la dureza que forma incrustaciones minerales en los artículos domésticos e impiden y/o reducen la efectividad de los distintos tipos de agentes detergentes como el jabón empleado en los hogares. Además el agua denominada dura altera las propiedades organolépticas de los alimentos, afectando directamente a la industria alimentaria (Dulanto, 2017).

Las enfermedades producidas por la carencia de potabilización en muchas regiones no solo de Colombia sino alrededor del mundo es una consecuencia directa del abandono estatal al que se ven sometidas muchas comunidades, sumado a esto la educación precaria de muchas de ellas; inconscientes del riesgo de la contaminación de las fuentes de agua cruda, que en muchos casos se convierten en el afluente que suministrara parte de su caudal a una planta de tratamiento de agua, sin embargo, existen muchas comunidades que ya cuentan con una planta de potabilización pero estas dejan de ser útiles si no se les proporciona una adecuación el transcurso del tiempo, o si las condiciones iniciales del agua cruda que surten el acueducto cambian, ya sea, por actividades humanas que alteran la composición del agua o posible erosión

del suelo circundante. Por otro lado, no hay que desconocer que el gobierno colombiano se esfuerza por brindar la calidad del agua requerida por la población, y que de una u otra manera busca que la reglamentación en los sistemas de potabilización se cumpla.

4.2 NORMATIVA QUE RIGE EN COLOMBIA

Cada país o región del mundo cuenta con un sistema reglamentado para la potabilización del agua proveniente de cualquier fuente hídrica, cuyas leyes son adaptadas de las normas internacionales que establecen los límites de composición y características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas, en cuyo caso Colombia no es la excepción.

En Colombia los esquemas y diseños de las plantas de potabilización se encuentran reguladas por el (*REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS – 2000*), el cual ha tenido algunas modificaciones e añadiduras en cuanto a los requisitos mínimos que debe cumplir toda planta de tratamiento de agua cruda, la última actualización fue la realizada mediante la resolución número 0330 del 08 de junio de 2017, “*por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009*” por parte del ministerio de vivienda, ciudad y territorio en el ejercicio de sus atribuciones legales, dicha resolución presenta los requisitos técnicos que deben ser cumplidos en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos (acueducto, alcantarillado y aseo), cuya aplicación se encuentra enfocada a los entes prestadores de los servicios públicos, de vigilancia y control, empresas formuladoras de proyectos, y demás entidades que laboran el sector de agua potable y saneamiento básico, de acuerdo a la ley 142 de 1994 (Ministerio de Vivienda, 2017).

El diseño y construcción de la planta debe estar basado de acuerdo a lo establecido en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-010, Ley 400 de 1997 y decreto 33 de 1998, 926 de 2010, 2525 de 2010, 92 de 2011 y 340 de 2012 que garantiza la estabilidad de la obra y posterior funcionamiento. De la misma manera cumplir con lo señalado en la resolución 0015 de 2015 emitida por la comisión asesora permanente - CAP que regula la idoneidad de los profesionales que ejecutan la fase de diseño, ejecución, puesta en marcha y mantenimiento de la planta.

Conforme a los artículos 48 y 50 del decreto 0330 del 2027, dentro de los requisitos hidrológicos para la escogencia de la fuente hídrica que abastecerá los depósitos de las plantas de potabilización de acuerdo con el tipo de fuente de suministro se encuentran.

4.2.1 FUENTE SUPERFICIAL.

En estas se debe realizar un riguroso estudio de los pronósticos emitidos por el IDEAM sobre los cambios climáticos en dicha zona, también un análisis de escorrentía superficial, infiltración, evaporación, evapotranspiración, caudales, niveles, intensidad y dirección de los vientos y temperaturas ambientales promedio que registra la región mensualmente.

4.2.2 FUENTE SUBTERRÁNEA.

En este tipo de fuente se ejecutarán modelos hidrogeológicos, los cuales se obtienen a través de exploración del subsuelo por medio de métodos geofísicos, propiedades de los acuíferos y su delimitación, zonas de recarga y descargas, niveles de agua freáticas, hidráulicas con información de la permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, capacidad específica y transmisividad, la hidrogeoquímica que evalúa sistema de flujo, edad, origen y vulnerabilidad de la cuenca.

De este modo, para la aplicación de la normatividad vigente es necesario conocer también de antemano las características del agua cruda a tratar, tales como, sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas (Finalde, Opción, Grado, Katerine, & Penagos, 2009) tanto para aguas superficiales como subterráneas.

La calidad del afluente se debe evaluar con métodos estándar conforme al artículo 106 de la resolución 0330 del 2017, el cual define los parámetros del nivel de riesgo sanitario, como la clasificación de riesgo para la salud por medio del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano - IRCA (INS, 2014) según lo expresado en los artículos 13, 14 y 15 de la resolución 2115 de 2007 de los ministerios de protección social y ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, y los muestreos de acuerdo con las correspondiente Normas NTC-ISO 5667 (Ramon Valencia, 2017).

Tabla 1. Especificaciones de la calidad de la fuente de agua cruda.

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	> 4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	> 6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D 3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D 888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
pH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 - 20	20 - 40	≥ 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L- F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7
Grado de tratamiento						
Necesita un tratamiento convencional			No	No	Si, en ocasiones	Si
Necesita tratamientos específicos			No	No	No	Si
Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración lenta o filtración directa + (1)	(3) = Pretratamiento+ [Coagulación+ sedimentación+Fi ltración rápida] o [Filtración lenta Diversas etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamiento s específicos

Nota: De no contar con una norma técnica colombiana para la realización del análisis de los parámetros de calidad, se aplicarán los métodos estándar: Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water

(APHA, AWWA y WPCF, 1995). En cuanto a los parámetros gusto y olor es completamente necesario que se emplee el método ASTM D 1292. Fuente: (Ministerio de desarrollo, 2000)

La Tabla 1. Muestra el ordenamiento de los niveles de calidad de las cuencas de abastecimiento en función de los parámetros mínimos de análisis fisicoquímicos, organolépticas y microbiológicos, debido a que el grado de tratamiento está enfocado a los parámetros más esenciales de la estandarización empleada; una caracterización más específica se realiza cuando se tiene conocimiento de contaminación previa de la cuenca de captación. Conjuntamente esta Tabla especifica algunos procedimientos analíticos recomendados para evaluar el contenido de cada parámetro a caracterizar ya sea con la Norma Técnica Colombiana (NTC) o los métodos estándar (ASTM), haciendo salvedad en que muchas de las NTC son adaptadas de normas internacionales como las ISO y las mismas ASTM, entre otras, lo que hace que la selección de alguna de ellas este basada en la disponibilidad de equipos y reactivos, adicionalmente establece que para aquellos ítems en los que no presentan normativa se debe emplear una metodología verificable que cuantifique y/o cualifique dichas medidas. De acuerdo a la Tabla 1, los factores primordiales que se tienen en cuenta al principio de la caracterización de la fuente hídrica son DBO 5, coliformes totales, oxígeno disuelto, pH, turbiedad, gusto, olor, cloruro, fluoruro y no menos importante el color puesto que este último, garantiza la apariencia cristalina que se quiere en cualquier agua empleada en el consumo humano; estos parámetros indica el nivel de polución del agua a tratar y orienta el diseño de la planta, es decir, como se muestra en la Tabla cada nivel de calidad se les recomienda la aplicación de un proceso o combinación de algunos de ellos, una vez establecido este ítem, se continua con la Tabla 2, la cual hace una caracterización más exhaustiva de la calidad de la fuente de agua cruda. En Colombia la mayoría de fuentes de agua superficiales y subterráneas son tratadas con sistema convencional (Ministerio de desarrollo, 2000) que como se muestra acuerdo a la Tabla 1, se emplean para aguas crudas de fuentes deficientes cuya caracterización muestra valores que se encuentran por encima de los permitidos por los estándares y normas para el consumo humano. Lo que indica que en Colombia la mayoría de las cuencas hídricas tienen polución de tipo 3 y 4, pues son fuentes deficientes o muy deficientes, siendo necesario y recomendado por el RAS, emplear un sistema convencional para remediar este tipo de contaminantes.

Tabla 2. Normas de Calidad del agua potable, según decreto 475/98

Características	valor máximo admisible	Procedimientos analíticos recomendados		Parámetros de comparación de la calidad de la fuente recomendados según el nivel de calidad de la fuente			
		Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Aceptable	2. Regular	3. Deficiente	4. Muy deficiente
MICROBIOLÓGICAS							
Coliformes totales UFC/100 cc	0			X	X	X	X
<i>Escherichia Coli</i> UFC/100 cc	0		D 5392			X	X
ORGANOLÉPTICAS Y FÍSICAS							
pH	6.5 - 9.0		D 1293	X	X	X	X
Turbiedad UNT	5	4707	D 1889	X	X	X	X
Color verdadero - UC	15			X	X	X	X
Conductividad US/cm	50-1000		D 1125	X	X	X	X
Sustancias flotantes	Ausentes			X	X	X	X
Olor y sabor	Ninguno		D1292	X	X	X	X
QUÍMICAS CON EFECTOS ADVERSOS EN LA SALUD HUMANA							
Fenoles totales - mg/L	0.001	4582	D 1783				X
Grasas y aceites - mg/L	Ausentes	3362	D 4281				X
Aluminio - mg/L	0.20		D 857				X
Nitratos - mg/L	10		D 3867				X
Nitritos - mg/L	0.1		D 3867	X	X	X	X
Antimonio - mg/L	0.005		D 3697				X
Arsénico - mg/L	0.01		D 2972				X
Bario - mg/L	0.5		D 4382				X
Cadmio - mg/L	0.003		D 3557				X
Cianuros totales - mg/L	0.1	1312	D2036				X
Cobre - mg/L	1.0		D 1688				X
Cromo hexavalente - mg/L	0.01		D 1687				X
Mercurio - mg/L	0.001		D 3223				X
Níquel - mg/L	0.02		D 1886				X
Plomo - mg/L	0.01		D 3559				X
Selenio - mg/L	0.01	1460	D 3859				X

sustancias activas al azul de metileno - mg/L AB5	0.5		D 2330				X
PLAGUICIDAS Y OTRAS SUSTANCIAS							
Tóxicos tipo I - mg/L	0.001						X
Tóxico tipo II y III - mg/L	0.01						X
Baja toxicidad - mg/L	0.1						X
Trihalometanos totales - mg/L	0.1						X
QUÍMICAS CON EFECTOS INDIRECTO SOBRE LA SALUD HUMANA							
Alcalinidad total - mg/L	100		D 1067	X	X	X	X
Acidez - mg/L	50		D 1067	X	X	X	X
Dureza total - mg/L	160	4706	D 1126	X	X	X	X
Calcio - mg/L	60		D 511	X	X	X	X
Magnesio -mg/L	36		D 858	X	X	X	X
Cloruros - mg/L	250		D 512	X	X	X	X
Sulfatos - mg/L	250	4708	D 516	X	X	X	X
Hierro total - mg/L	0.3		D 1068	X	X	X	X
Manganeso	0.1		D 858			X	X
Fosfatos	0.2		D 515			X	X
Zinc	5		D 1691				X
Fluoruros - mg/L	1.2		D 1179				X

Nota: Aquellas caracterizaciones que no presentan procedimientos analíticos recomendados, se pueden desarrollar bajo cualquier tipo de metodología existente que detecte la sustancia evaluada. Fuente: (Ministerio de desarrollo, 2000)

La Tabla 2, señala los aspectos de la calidad microbiológica, organoléptica y fisicoquímica contemplados en el decreto 475 de 10 marzo de 1998, aún vigente, expedido por el ministerio de salud (Ministerio de Salud -, 1998). Así mismo se muestra en la Tabla 2, los parámetros de comparación mínimos recomendados para el agua cruda de la cuenca, ya sea, superficial o subterránea, y de manera similar a la Tabla 1, por medio de la estimación de estos parámetros se determina su nivel de calidad, pero en este caso se ahonda en otros tipos de contaminantes perjudiciales para la salud como los compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, plaguicidas y diversas sustancias que tienen impactos indirectos en la salud. Adicionalmente, en la Tabla 2, se encuentran los valores máximos permitidos por el RAS (Ministerio de Vivienda, 2017),

en cada uno de estos parámetros tenidos en cuenta en la caracterización, que afectan la calidad del agua, en algunos casos dichos resultados se deben encontrar dentro de un rango específico como en el pH y la conductividad, por otra parte, también se señalan los valores límites que debe contener el agua que son tolerables por el cuerpo humano de distintos agentes químicos como compuestos orgánicos e inorgánicos, sin causar afectaciones que pongan en riesgo la salud de los consumidores, mientras que los patógenos como coliformes totales y *Escherichia Coli*, deben mostrar conteos nulos. Muchos se preguntan, si la variedad de microorganismos que se pueden encontrar en el agua es muy amplia entonces ¿por qué en la caracterización recomendada por el RAS en Colombia solo tiene en cuenta los coliformes totales y la *Escherichia Coli*? Lo que nos lleva a responder que los coliformes totales son una amplia gama de microorganismos que abarca varias familias de bacterias que son causantes de enfermedades del tracto digestivo, siendo estas las más potencialmente peligrosas, además muchos microbios son removidos en los procesos de filtración y desinfección pues son muy sensibles a los agentes clorados, asimismo existen muchos microorganismos de carácter benigno o completamente inofensivo en su recorrido por el sistema digestivo y que de no ser eliminados por completo del agua potabilizada, no causan perjuicios a la salud, siendo innecesario detectarlos en una evaluación o caracterización de la cuenca hídrica. En cuanto a las propiedades organolépticas señaladas en la Tabla 2, sus parámetros de evaluación son los mismos en los cuatro tipos de calidad de la fuente, donde el color verdadero y las sustancias flotantes no tienen una norma establecida o recomendada para su valorización. Estas características no afectan la calidad de vida de quien consume el agua con valores fuera de los establecidos o permitidos, exceptuando el pH y son factores tratados para mejorar la apariencia del agua para el agrado del consumir final, sin embargo no se debe desconocer que, algunos de estos parámetros pueden estar asociados a la presencia de algún contaminante peligroso, es decir, en el caso concreto de presentar materia orgánica disuelta o pesticidas y plaguicidas el olor y color del agua cambian dejando de ser inodora e incolora, y que por consiguiente al ser removidos este tipo de contaminantes mejorara la apariencia del agua.

Por otro lado, en las características químicas que afectan la salud humana mostrados en la Tabla 2, señala que estos solo se presentan en agua con nivel de calidad bajo con una escala de polución 4, exceptuando los nitritos que se pueden encontrar en todos los niveles de calidad de las fuentes hídricas, lo que indica que son aguas que han sido sometida a contaminación externa, que puede ser causada por las actividades humanas, como lo puede ser la minería ilegal que emplea mercurio, cianuro, plomo en la extracción del oro, o desecho de grasas y aceites

usados que terminan en los ríos o ya sea, por erosión del suelo que ocasiona la liberación de sustancias químicas que se encontraban bajo tierra como aluminio, arsénico, entre otros, que alteran gravemente la calidad del agua cruda y cuyos valores permitidos para minimizar su impacto en la salud son mínimos y que varían de un parámetro a otro, del mismo modo se encuentran los plaguicidas cuya caracterización está basada en la su tipo de toxicidad que pueden ser de tipo I, II Y III y de baja toxicidad y que de manera similar a los químicos de alto riesgo para la salud estos se hallan en aguas crudas con polución alta.

Los aspectos químicos que no tienen efectos directos en la salud humana pero que modifican la calidad del agua, se hallan en la mayoría de los niveles de calidad de la misma, siendo el manganeso, fosfatos, zinc y fluoruros contaminantes que otorgan un nivel de calidad deficiente y muy deficiente.

Ahora bien, en Colombia la calidad del agua es medida de acuerdo al índice de calidad del agua (IRCA) quienes anualmente reportan la vulnerabilidad de las comunidades por los riesgos que corren al consumir agua con potabilidad deficientes que son las responsables de enfermedades que ponen en peligro la salud humana, En la Figura 1 se muestra una distribución a nivel departamental del nivel de riesgo en donde Colombia muestra un índice de riesgo medio, destacando que no todas las regiones cuentan con sistemas de potabilización óptimos sin riesgo de contraer enfermedades a causa de aguas contaminadas. Esta evaluación se determina con respecto a características básicas del agua como lo son el color aparente, turbiedad, pH, cloro residual, coliformes totales, Escherichia Coli, conforme a lo anterior el IRCA asigna a cada una de las características mencionadas un puntaje de riesgo (Tabla 3) según lo establece la resolución 2115 de 2007, estas características básicas son complementadas según el tipo de población que se cataloga por el número de habitantes que se beneficia del agua potable, bajo esta medida, características como dureza total, hierro, cloruros, alcalinidad sulfatos, nitratos, nitritos, fluoruros, Giardia y Cryptosporidium también son tenidas en cuenta, esta caracterización se determina con la toma de diferentes muestras de las fuentes hídricas que abastecen las poblaciones en Colombia (SUI, 2017).

Tabla 3. Puntaje asignado según nivel de riesgo

Característica	Puntaje de riesgo
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Cloro residual libre	15
Alcalinidad total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza total	1
Sulfatos	1
Hierro	1,5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes totales	15
<i>Escherichia Coli</i>	25
sumatoria de puntaje asignado	100

Fuente: (SUI, 2017)

Si los valores de los resultados de las pruebas realizadas a los efluentes se encuentran fuera de los límites máximos permitidos en la resolución 2115 según la Tabla 4 se le asigna un puntaje que medirá posteriormente el nivel de riesgo de la población que consume dicha agua (Protección social, 2019), a partir de esto se crea un mapa de riesgo que permite discernir las comunidades que necesitan de una pronta atención en cuanto al mejoramiento de la calidad del agua que consumen diariamente.

Tabla 4. Clasificación del IRCA

IRCA (%)	NIVEL DE RIESGO	CLASIFICACIÓN
80.1 - 100	inviabil sanitariamente	Agua NO apta para consumo humano
35.1 - 80	Alto	
14.1 - 35	Medio	
5.1 - 14	Bajo	

0 – 5	Sin riesgo	Agua apta para el consumo humano
-------	------------	----------------------------------

Fuente: (SUI, 2017)

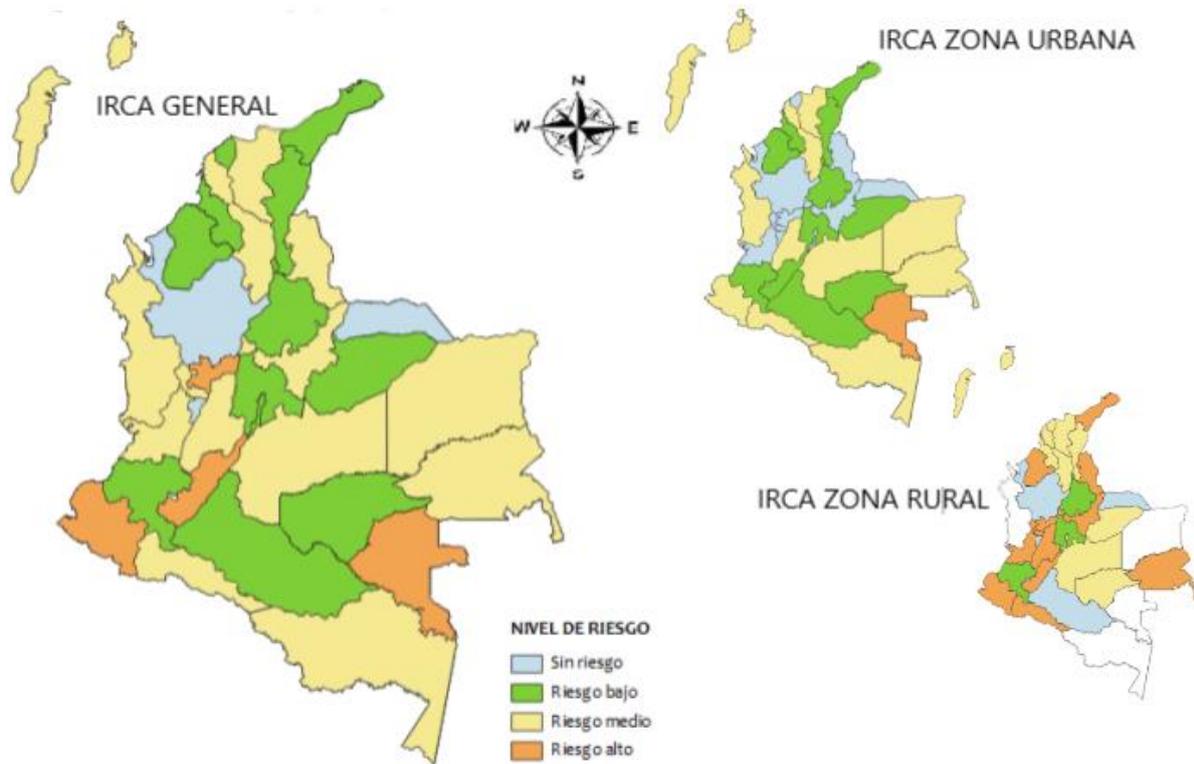


Figura 1. Distribución de la clasificación del índice del riesgo de la calidad del agua (IRCA) por departamentos y por zona rural o urbana, Colombia, 2019. Fuente: (Salud, 2019).

Los departamentos en Colombia que presentan un riesgo alto a que las poblaciones desarrollen enfermedades causadas por agua con potabilización carente son los que se señalan en color naranja en la Figura 1, del mapa de riesgo diseñado por el IRCA, seguidos de un riesgo medio mostrado en color amarillo, luego un riesgo bajo en color verde y sin riesgo en azul celeste, este mapa denota un alto contraste de nivel de riesgo puesto que si se considera la Tabla 4, solo el agua que es apta para consumo humano es aquella que presenta niveles de riesgos indicados en color azul, lo que permite concluir que la mayoría de la población colombiana no consume agua de buena calidad, contando con 3 departamentos sin riesgo, 14 con riesgo medio, 4 con riesgo alto, 12 con riesgo bajo, lo que corresponde a un 36,3% de departamento en riesgo bajo, 12,1% con riesgo alto, un 42,4% en riesgo medio y solo un 3% sin riesgo, lo que es una cifra

alarmante si se tiene en cuenta que el sistema de salud colombiano muestra serias falencias en la atención de los ciudadanos. El mapa de IRCA para la población de la zona urbana y rural, Figura 1, es claro que los buenos sistemas de potabilización están centrados en las grandes ciudades y municipios, con un completo abandono de las zonas rurales distantes haciendo más vulnerables a las comunidades, que viven en estas zonas apartadas.

4.3 TIPOS Y PROCESOS UNITARIOS DE LOS SISTEMAS CONVENCIONALES POTABILIZACIÓN EN COLOMBIA.

En primer momento, al seleccionar la cuenca hídrica que proporcionara parte de su caudal para abastecer la planta de tratamiento, sin afectar su cauce natural (Ministerio de Vivienda, 2017), se hace necesario un completo bosquejo en las zonas alrededor de la población que será beneficiada por la planta de potabilización, el cual tendrá como resultado varias opciones de suministro, ya sea, de fuentes superficiales o subterráneas, que de ellas se evaluara los distintos parámetros enmarcados en la Tabla 1, así como la estabilidad del terreno y disposición geográfica, puesto que estos factor determinan la manera en la que el agua será conducida a la planta de tratamiento, ya sea por gravedad o con el uso de bombas mecánicas, y de manera similar la distancia entre la fuente de captación y la planta de tratamiento no debe ser muy amplia para evitar gastos energéticos cuando se emplean bombas y evitar pérdidas de presión en el caso de que se suministre por gravedad, de igual manera de ser posible la planta de potabilización deberá situarse en una zona de fácil acceso, que contribuirá a un buen control y monitoreo constante por parte de las personas encargadas de su funcionamiento y/o mantenimiento. Luego, una vez establecidas las condiciones y la calidad del agua se proceden a escoger la cuenca que ostenta la mejor calidad en cuanto a su composición, entre las fuentes evaluadas; de esta manera también se garantiza que los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento sean menores, teniendo en cuenta que fuente de agua cruda que muestran niveles de polución altos necesitan más unidades de operación que son aún más complejas y por ende de mayor inversión.

Finalizado el proceso de caracterización de la fuente hídrica se pasa a la etapa de diseño de la planta de potabilización, la Figura 2 muestra un modelo general que se sigue en toda planta de potabilización amparadas bajo la resolución 0330 de 2017 el cual combina una serie de tecnologías y/o procesos unitarios para el tratamiento y estabilización del agua.

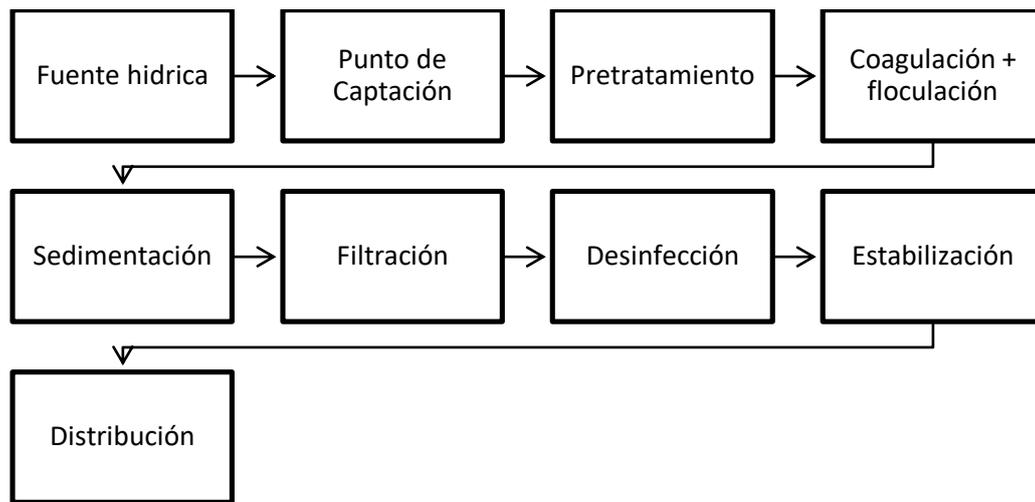


Figura 2. Esquema general de los sistemas convencionales de potabilización. Fuente: (Ramon Valencia, 2017)

Para acordar los aspectos del diseño de los procesos unitarios convencionales que serán empleados se deben hacer testeos sobre la dosificación del coagulante, gradientes de velocidad, tiempos de mezcla, sedimentación, filtración y desinfección (Diaz Bautista, 2017). En la Tabla 5 se visualizan los procesos unitarios disponibles en los sistemas convencionales de potabilización, cada tecnología de tratamiento está enfocado a ciertos tipos de contaminantes y de esta manera se puede establecer el tren de diseño de procesos que sigue la fuente hídrica dentro de la planta de potabilización. La determinación de los procesos unitarios que desempeñaran un papel relevante en la planta de tratamiento se basa en una caracterización previa del agua cruda, teniendo en cuenta las Tablas 1 y 2, seguido de una planificación del esquema de los procesos planteados mostrados en la Tabla 5, que contrarrestaran los agentes contaminantes y/o alterantes de la calidad del agua cruda, en los que se pueden emplear una combinación de dichos procesos que mejoraran la eficiencia del tratamiento, partiendo de la premisa de que un proceso unitario satisface la necesidad de remoción de varios tipos de contaminantes.

Tabla 5. Procesos unitarios empleados en el tratamiento de potabilización.

Contaminante a remover	Tecnología de tratamiento												
	Aeración	Coagulación+ Floculación+ Sedimentación	Filtración Convencional Ablandamiento	Oxidación	Microfiltración	Ultrafiltración	Nanofiltración	Ósmosis inversa	Electrodialisis inversa	Intercambio Iónico	Filtración por Adsorción	Filtración optimizada	
Características físicas													
Color aparente		X	X		X	X	X	X			X	X	
Olor y sabor	X				X						X		
Turbiedad		X	X			X	X					X	
Sólidos disueltos totales		X	X			X	X		X	X	X	X	
Caracterización químicas inorgánicas													
Antimonio									X	X			
Arsénico		X	X	X					X	X	X	X	
Bario				X					X	X	X		
Cadmio		X	X	X					X	X	X	X	
Cianuro libre y disociable					X								
Cloruros							X		X	X			
Cobre		X		X					X		X		
Cromo		X	X	X					X	X	X	X	
Dureza				X				X	X	X	X		
Fluoruros				X					X	X		X	
Fosfatos			X						X			X	
Hierro	X	X	X	X	X						X	X	
Manganeso	X	X	X	X	X						X		
Mercurio				X					X	X			
Molibdeno												X	
Níquel				X					X	X	X		
Nitratos									X	X	X		
Nitritos									X	X	X		
Plomo		X							X		X		
Selenio		X							X	X	X	X	
Sulfatos								X	X	X			
Trihalometanos Totales	X				X			X			X	X	
Zinc				X					X	X	X		
Características químicas orgánicas													
Carbono orgánico Total		X				X	X	X	X			X	

pesticidas/herbicidas								X	X			X	
Orgánicos sintéticos									X			X	
Orgánicos volátiles	X											X	
Características microbiológicas													
<i>Escherichia coli</i>			X				X	X					X
<i>Giardia</i> y <i>Cryptosporidium</i>							X	X					X

Fuente: (Ministerio de desarrollo, 2000)

Debido a que, la normativa exige que la planta de tratamiento de agua potable, disponga de por lo menos del sistema convencional el cual reúne la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, y que de acuerdo a la Tabla 5, eliminan color aparente, turbiedad, solidos disueltos totales, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, plomo, selenio, carbono orgánico total, fosfatos y *Escherichia coli* que son contaminantes comúnmente encontrados en las agua crudas, no obstante, cuando el agua presenta niveles de calidad muy deficientes es necesario adicionar otros equipos o procesos unitarios capaces de remover los agentes que alteran dicha calidad, donde tecnologías como la electrodiálisis inversa, osmosis inversa e intercambio iónico según la Tabla 5, muestran un amplio poder de acción ante diversos contaminantes químicos inorgánicos y algunos de tipo orgánico, pero no tiene acción sobre patógenos microbianos, del mismo modo, el ablandamiento remueve muchos de los compuestos inorgánicos como metales pesados. De la misma manera y no menos eficaces los distintos tipos de filtración avanzada que remueven solidos disueltos excepto la filtración por absorción, además de ser las técnicas que eliminan la presencia de microorganismos patógenos. En cuanto a la filtración por absorción, esta una herramienta eficaz con cada uno de los compuestos orgánicos evaluados en la Tabla 5. Cabe resaltar que, no es obligatorio emplear varias tecnologías para la eliminación y/o reducción de un contaminante específico, ya que, es posible adaptar un proceso unitario para la remoción de varios contaminantes, por ello la Tabla 5 es una buena guía para determinar de manera eficaz las similitudes entre las tecnologías y de esta manera plantear un tren de procesos robusto con capacidad de incorporar una serie de equipos que cumplan su función de remoción y que adicionalmente economicen el proceso de potabilización. Cabe destacar que, el tren de tratamiento para la potabilización de cualquier fuente es específico, es decir, se diseña de acuerdo a los niveles de calidad de cada agua cruda escogida y caracterizada. A continuación, se definirán cada una de las tecnologías expuestas en la Tabla 5.

4.3.1 AERACIÓN.

En este proceso el agua se distribuye en cascadas pequeñas lo que provoca que el agua se ponga en contacto con el aire, haciendo que sustancias volátiles como el dióxido de carbono (CO_2), el ácido sulfhídrico (H_2S), entre otros compuestos mostrados en la Tabla 5, se eliminen y/o reduzcan a través del desprendimiento (Castellanos, Rico, & Perez, 2008). Se puede realizar en bandejas de coque, ventilación forzada, ya sea por inyección de aire comprimido o aeración mecánica; en las bandejas de coque se debe especial cuidado en la escogencia del material debido a la corrosión, la formación de lamas biológicas y el crecimiento de algas (Ministerio de desarrollo, 2000). La estructura de aeración debe estar localizada al inicio del esquema de tratamiento de ser necesario en la planta de tratamiento (Ministerio de Vivienda, 2017).

4.3.2 COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN.

Estos procesos emplea químicos coagulantes como lo son sales de hierro o aluminio, como sulfato de aluminio, sulfato férrico, cloruro férrico, polímeros (Fundation, 2016), que son adicionados al agua con previo pretratamiento promoviendo la agregación de pequeñas partículas y partículas coloidales en partículas “floculadas” más grandes, el coagulante se encarga de neutralizar las cargas eléctricas en las superficie de las partículas de menor tamaño lo que conduce a una desestabilización de la suspensión coloidal, por ende, un aumento del tamaño de la partículas que encadena una sedimentación de las mismas por gravedad (Figura 3), permitiendo retirar dichas partículas del agua tratada (Water & Certification, 2014).

Por su parte, el diseño, operación y construcción de la mezcla rápida, en la coagulación debe garantizar la dispersión rápida y homogénea de los coagulantes, bien sea, por agitación mecánica o hidráulica. En la floculación se requieren un tiempo de retención de 20 a 40 min para finalizar el proceso y en la sedimentación es necesario un análisis para una correctas distribución del caudal en cada unidad de sedimentación, los tipos de sedimentadores que se emplean en Colombia son de flujo horizontal, flujo vertical, manto de lodos, módulos angostos y de módulos profundos (Ministerio de Vivienda, 2017).

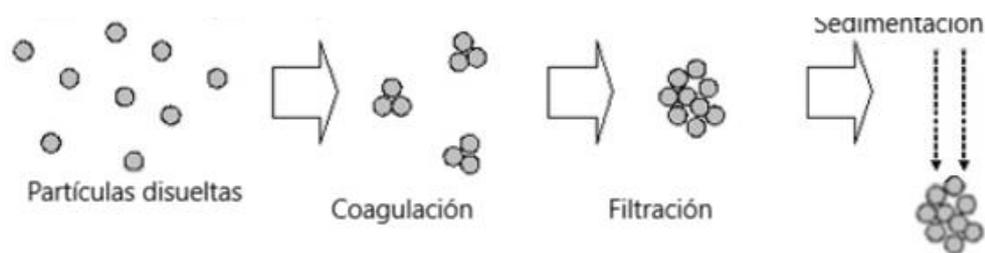


Figura 3. Proceso de coagulación, floculación y sedimentación. Fuente: (Fundation, 2016)

4.3.3 FILTRACIÓN.

En este ítem el agua sigue su recorrido a través de capas de diferentes materiales dentro de los que se encuentra la grava, arena fina, carbón activado, tierras diatomáceas, membranas, cartuchos, cerámicas entre otros (Castellanos et al., 2008; Teresa & Ascencio, 2014). El material filtrante se escoge de acuerdo a la calidad de filtración que se requiere en el efluente, así como la capacidad de retención y facilidad de lavado (Maldonado, 2017).

Existen diversos tipos de filtración, las recomendadas para los sistemas de potabilización convencionales en Colombia son filtración convencional, microfiltración, nanofiltración, ultrafiltración, electrodiálisis, ósmosis inversa, filtración por adsorción, filtración optimizada. La filtración convencional involucra cinco procesos que son coagulación, floculación, sedimentación, filtración de arena y desinfección (Aqua, 2018; Water & Certification, 2014).

Los tres primeros procesos explicados anteriormente aglomeran las partículas que aportan turbiedad al agua, posteriormente son removidos por medio de filtros de arena u otro material escogido durante el proceso de diseño y por ultimo en la desinfección se adiciona un agente clorado que elimina microorganismos, entre los agentes clorados se pueden emplear el hipoclorito de sodio (NaClO), hipoclorito de calcio (Ca(OCl)_2), cloro gaseosos (Cl_2) oxidantes mixtos, también puede ser utilizada la ozonización y la radiación con luz ultravioleta, el artículo 121 de la resolución 0330 de 2017 exige definir un residual del agente desinfectante que certifique el desarrollo de microbios en cualquier punto de la red de distribución, en el caso de la ozonización y la radiación ultravioleta es necesario el uso de un desinfectante secundario que cumpla dicha función. En la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, electrodiálisis y ósmosis inversa estas son consideradas como filtración avanzada se emplean membranas que separa las partículas muy pequeñas que elimina sólidos en suspensión y microorganismos, donde se emplea sistema de vacío, en la Tabla 6 muestra el tamaño de partícula que estos tipos de filtros separan.

Tabla 6. Características de las membranas de filtración avanzada.

TIPO DE PROCESO	TIPO DE SUSTANCIA QUE SE RECHAZA	TAMAÑO DE PORO
Microfiltración	Materia coloidal	0.1 - 0.2 μm
ultrafiltración	Macromoléculass	0.01 - 0.04 μm
Nanofiltración	Azúcares/sales bivalentes	> 0.001 μm
Electrodialisis	Azúcares/sales bivalentes	> 0.001 μm
Ósmosis inversa	Sales monovalentes	5 - 20 Angström

Adaptado de: (Barcelona, 2015; Navarro, 2007)

En la nanofiltración, Electrodialisis y osmosis inversas son capaces de remover virus, sustancias pesticidas y herbicidas con tamaños muy finos (Barcelona, 2015), cabe destacar que, la aplicación principal de la osmosis inversa es la desalinización del agua cruda, aunque también remueva material orgánico, bacterias y como se mencionó anteriormente virus (J. Glynn Henry, 1999). El mecanismo empleado por la filtración por adsorción es la adherencia de las partículas en un líquido a una superficie sólida. El carbón activado es habitualmente usado en la filtración por adsorción, sin embargo, existen otros adsorbentes como la zeolita, minerales de arcilla natural, gel de sílice y aluminio activado, ácido silícico, pueden ser usados en filtros abiertos o cerrados (Giraudet, Cloirec, Sup, & Rennes, 2017; vlaanderens, 2015), la filtración optimizada es aquella que se realiza con filtros de lecho profundo de alta tasa, donde la tasa de filtración deber estar entre 480 – 780 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, el tamaño de las partículas serán de 2 mm, con un profundidad total de 1.2 hasta 2.5 m, esto con el fin de garantizar el lavado y desinfección del lecho, por lo menos cada seis meses (Ministerio de Vivienda, 2017).

4.3.4 ABLANDAMIENTO.

El ablandamiento trata la dureza del agua, la concentración de iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} causa incrustaciones en tuberías y hace que sea necesario emplear mayor de jabón en los procesos de limpieza en los hogares (Harris, 2001; Kingsland, 1948), puesto que estos minerales dificulta y/o impide que el jabón haga espuma (James F. Balch, 2000). El artículo 117 de la resolución 0330 de 2017 aprueba el uso de la cal, el carbonato de calcio y el intercambio catiónico en la etapa de ablandamiento de ser necesario, previo a estudios de especificación del tipo de dureza que el agua cruda contenga.

4.3.5 OXIDACIÓN QUÍMICA.

En la oxidación química se debe controlar la dosis administrada para prevenir la formación de subproductos no deseados durante el tratamiento (Ministerio de desarrollo, 2000). La oxidación química se presenta como una alternativa para el tratamiento de agua contaminadas con cianuros y metales pesados (Aragón, 2018), principal método empleado con agua residuales; en el caso de escoger como fuente de suministro una cuenca que presenta este tipo de contaminantes, ya sea porque no se encuentran otras fuentes cercanas, es verídico contar con un estricto protocolo de recuperación del yacimiento si se trata de agua de posterior consumo. Los químicos empleados en este método, entre otros, son, hipoclorito de sodio (NaClO), hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), cloro gaseoso (Cl_2), dióxido de cloro (ClO_2), ozono (O_3), permanganato de potasio (KMnO_4), peróxido de hidrogeno (H_2O_2) o una combinación de los ya mencionados (Ministerio de Vivienda, 2017), resultando multipropósito pues algunos agentes químicos usados en la oxidación química presentan efectividad en el campo de la desinfección.

Tabla 7. Tecnologías usadas en los sistemas convencionales de potabilización y sus limitaciones.

	TECNOLOGÍA	APLICACIÓN	MANEJO	COSTO	LIMITANTES
FILTRACIÓN CONVENCIONAL	Filtros de arena	Sedimentos suspendidos, remoción media de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en infraestructura y de manejo, costo elevado de terreno	Remoción de 80-90% de bacterias y 60% de materia orgánica, requiere gran superficie
	Filtros de tierras diatomáceas	Remoción turbiedad y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión y de manejo	Útiles en caso de turbiedad y bajos conteos bacterianos, no retiene materia orgánica
	Filtros de carbón activado	Remoción de materia orgánica y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión, costo medio de mantenimiento	Generación de residuos, continua renovación del filtro, no remueve bacterias ni nitrato
DESINFECCIÓN	Cloro	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Costo bajo de inversión y medio mantenimiento	Generación de subproductos
	Ozono	Desinfección	Manejo complejo	Costo elevado de operación	Escaso poder residual

	Luz ultravioleta	Desinfección	Operación y mantenimiento sencillo	Costo medido de inversión y de operación	No previene recrecimiento, no genera poder residual
FILTRACIÓN AVANZADA	Microfiltración	Remoción de sólidos disueltos algunas especies bacterianas	Operación sencilla	Costo moderado de inversión y operación	Desperdicio de agua, Descomposición de la membrana
	Ultrafiltración	Remueve virus bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo, posible automatización	Costo elevado de inversión y operación	
	Nanofiltración	Remueve virus bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo, posible automatización	Costo muy elevado de inversión y operación	
	Ósmosis inversa	Remueve virus, bacterias, parásitos y materia orgánica e inorgánica		Costo muy elevado de inversión y operación	Desperdicio de agua, Descomposición de la membrana, requiere manejo de salmuera

Adaptado de: (Teresa & Ascencio, 2014)

La Tabla 7 muestra una comparativa de las principales tecnologías usadas en los sistemas convencionales de tratamiento de agua potable, en cuanto a las consideraciones adicionales que se deben tener al momento de elegir dichos equipos, como lo son el costo relativo y las limitaciones y/o alcances de estas. En la filtración convencional los filtros comparados son los filtros de arena, de tierra diatomáceas y de carbón activado cuyo manejo es sencillo, sus costos en el mercado y mantenimiento son bajos, sin embargo, muestra falencia en la remoción de las partículas y bacterias para las que se aplica, siendo necesario el uso de métodos adicionales para una completa remoción y limpieza, en Colombia se opta por este tipo de diseños por el costo menor que representa y fácil acceso, de acuerdo a las limitaciones de los filtros antes mencionados, los cuales no remueven por completo los compuestos y microorganismos para los cuales fueron diseñados, se debe plantear un proceso posterior que sea capaz de remover dichas partículas excedentes, por lo cual es necesario diagnosticar cuales son esos parámetros a eliminar y con la ayuda de la Tabla 5, determinar que tecnología satisface el poder de remoción requerido. Conforme a lo anterior se hace ineludible emplear filtración avanzada que, aunque muestra alto poder de remoción, tiene inconvenientes en cuanto a su costo y vida útil, las membranas empleadas presentan gran deterioro con el uso, debido a su fragilidad. La inversión en este tipo de filtros debe estar bien fundamentado, al no contar con otras alternativas

de eliminación de factores que alteren la calidad del agua, aun así, este tipo de filtros siguen siendo los más eficientes con respecto a la remoción de material particulado y microorganismos muy fino excedente del tren procesos. A pesar que, la filtración avanzada es capaz de eliminar microorganismos como las bacterias y virus se opta por la desinfección que remueve estos contaminantes ya que tiene una mayor acción por un gran volumen de agua, caso contrario de la filtración avanzada que opera con volúmenes menores y adicional a esto muestra desperdicios de agua.

La desinfección es uno de los ítems más importante en el proceso de tratamiento gracias a que elimina potenciales agentes patógenos, como fue mencionado anteriormente ocasionantes de enfermedades del tracto digestivo, que producen masivas muertes cada año; en la Tabla 7 se muestran las alternativas en la reducción de microorganismos, en el cual todas ellas presentan limitaciones, como cuando se emplea el cloro que puede generar subproductos y además algunos agentes usados en la desinfección como la ozonización y la luz ultravioleta muestran bajo poder residual, lo que no cumple a cabalidad lo descrito en el RAS, y que se reitera en el artículo 121 de la resolución 0330 de 2017, que sugiere extender la acción contra los microbios más allá de la planta de tratamiento. Por lo general, entre las alternativas de desinfección la más usada es el cloro gaseoso, pues es una opción que si se compara con los demás sistemas de desinfección señalados en la Tabla 7, es de fácil manejo con las medidas de seguridad necesarias, con bajo costos de compra y mantenimiento, conjuntamente tienen alto poder de remoción y un aspecto importante que no cumplen las otras tecnologías de desinfección es su poder residual que impide crecimiento microbiano en la red de suministro del agua potabilizada, sin embargo, no se debe dejar a un lado la generación de subproductos que el cloro genera, pero estos pueden ser controlados en la dosificación del mismo.

Ahora bien, si se desea conocer como inciden este tipo de tecnología en los sistemas de potabilización ya existentes en Colombia, se puede partir de la premisa de los niveles de riesgos en las principales regiones del país, contemplados en la Figura 1. De acuerdo a esto, cuando se obtienen índices de que el agua tiene un riesgo alto e inviable sanitariamente para la población, es el equivalente a tener un afluente con calidad muy deficiente, del mismo modo un riesgo medio corresponde a una calidad deficiente, un índice bajo asimila un nivel de calidad regular y sin riesgo es equivalente a una fuente aceptable, suponiendo esto, si se desea eliminar los factores que contribuyen a mantener estos índices, se debe acondicionar las plantas de potabilización para que cumplan con los criterios deseados y tener un suministro de agua que

no presente riesgo a la comunidad suministrada y con un nivel de calidad aceptable, en regiones como las enmarcadas en azul celeste en la Figura 1, considerando la Tabla 1, este tipo de nivel de polución no requiere de un sistema de tratamiento convencional, sin embargo, el RAS recomienda un proceso sencillo que involucra desinfección y estabilización, así mismo es el caso de las regiones en color verde (Figura 1) con nivel de riesgo bajo, la Tabla 1 solo sugiere una desinfección, estabilización y filtración, ya sea rápida o lenta; por otra parte, en las zonas del mapa de nivel de riesgo en color amarillo con riesgo medio se necesita un sistema convencional de tratamiento de agua potable completo que involucre desde un pretratamiento hasta la estabilización (Figura 2), y por último, un riesgo alto e inviable sanitariamente, en color naranja y rojo, de acuerdo a la Tabla 1, demanda un sistema de potabilización convencional con operaciones unitarias adicionales para un tratamiento específico, es allí donde los equipos de filtración avanzada, oxidación química, ablandamiento, aeración e intercambio iónico, se presentan como alternativas que complementan y mejoran la eficiencia del tren de proceso, para finalizar con una caracterización fisicoquímica, organoléptica y microbiológica más completa se puede establecer que tecnologías se desempeñarían mejor en la eliminación del contaminante o los contaminantes que alteran que abastece dicha región.

5. CONCLUSIONES

La potabilización del agua es un proceso fundamental, puesto que, es la manera más eficaz de eliminar y/o reducir diversos contaminantes que alteran su calidad y que por ende afectan la salud de quien la consume.

Todo proyecto de planeación de plantas de tratamiento de agua potable en Colombia se rige por los estándares mínimos exigidos por el ministerio de vivienda y desarrollo a través del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS y la resolución 0330 del 2017.

En Colombia el riesgo de contraer una enfermedad causada por el consumo de agua con potabilización deficiente es alto, teniendo en cuenta, que la calidad de la mayoría de fuentes de suministro hídrico es carente y/o deficiente.

La elección del esquema de tratamiento de la potabilización del agua está directamente ligado al tipo de fuente elegida, cuya escogencia debe estar sometida a criterios como niveles de calidad, ubicación y facilidad de acceso.

Los sistemas convencionales de tratamiento son aquellos que cuentan como mínimos con los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración convencional y desinfección, sin embargo, existen otros tipos de tecnologías que ayudan a mejorar el tren de procesos, como lo son aireación, ablandamiento, oxidación química, microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, filtración por adsorción, osmosis inversa, electrodiálisis inversa e intercambio iónico.

Entre las tecnologías de filtración disponibles los filtros de sistemas avanzados son los que presentan una mayor efectividad al remover contaminantes como partículas disueltas y patógenos con dimensiones y estructuras microscópicas, no obstante, son una alternativa en algunos casos inviables por los altos costo que estas representan.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguas, T. D. E., El, P., & Humano, C. (2016). *Tratamiento de aguas para el consumo humano I*. (17), 29–48.
- Akubadaura. (2020, June 8). Las deudas con las comunidades indígenas y afro | EL ESPECTADOR. Retrieved June 10, 2020.
- Aqua, P. (2018). Reverse osmosis & water treatment systems.
- Aragón, N. Q. (2018). Tema 8: Química de aguas naturales. *Análisis Económico Del Derecho*, 183–204.
- Avila, C. (2015, March 22). Agua potable en Colombia - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com. Retrieved May 17, 2020.
- Barcelona, U. de. (2015). Técnicas y operaciones avanzadas en laboratorio químico.
- Barreto Tejada, J. A. (2015). *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*.
- Castellanos, M. J., Rico, A., & Perez, R. (2008). *Química I. Agua y Oxígeno* (tercera).
- Clarín. (2020, February 14). Contaminación del agua: causas, consecuencias y todo lo que hay que saber - Clarín. Retrieved May 18, 2020.
- Comisión Reguladora de Agua - Departamento Nacional de Planeación, & Públicos, F. de D. T.-M. de D. E. M. de M. A.-S. de S. (1997). Análisis del sector de agua potable y saneamiento en Colombia. *Plan Regional de Inversiones En Ambiente y Salud - Serie Análisis*, (11), 270.
- Diaz Bautista, W. T. (2017). *Evaluación Y Optimización De La Planta De Tratamiento De Agua Potable Del Municipio De Tena En El Departamento De Cundinamarca*.
- Dulanto, G. C. (2017, July 29). Importancia De La Calidad Del Agua En La Industria Alimentaria. Retrieved May 20, 2020.
- Esteban, M., & Prieto, S. (2019). *El derecho fundamental al agua potable en Colombia: el porqué de su existencia y los principales problemas que conlleva su materialización efectiva*.
- Fernandez Roldan, L. (2020, April 30). Cómo se CONTAMINA el AGUA - causas naturales y humanas. Retrieved May 18, 2020.
- Finalde, I., Opción, L., Grado, D., Katerine, D., & Penagos, G. (2009). *Sistemas No Convencionales De Tratamiento De Aguas Superficiales Para Comunidades De Desplazados En Estado De Emergencia (Caso Villa-Clarín)*. 114.
- Foundation, D. S. water. (2016). conventional water treatment: coagulation and filtration.
- General, L. A. (2015). *Asamblea General*. 660, 9–11.
- Giraudet, S., Cloirec, P. Le, Sup, E. N., & Rennes, C. De. (2017). *Activated carbon filters for*

filtration–adsorption 9.

- Greenpeace. (2018). Contaminación - Greenpeace Colombia. Retrieved May 18, 2020.
- Harris, D. (2001). Análisis químico cuantitativo - Daniel C. Harris - Google Libros. Retrieved May 14, 2020.
- Hernandez Triana, E., & Corredor Briceño, C. (2017). *Diseño Y Construcción De Una Planta Modelo De Tratamiento Para La Potabilización De Agua, Se Dispondra En El Laboratorio De Aguas De La Universidad Católica De Colombia.*
- Herrero, A. (2019, September 11). Así afectaría al océano el vertido del agua radiactiva de Fukushima | Ciencia. Retrieved May 18, 2020.
- INS. (2014). Enfermedades vehiculizadas por agua-EVA e Índice de riesgo de la calidad en Colombia IRCA. *Instituto Nacional de Salud, Bogotá, D.C., Colombia, 1*, 11–16.
- J. Glynn Henry, G. W. H. (1999). Ingeniería ambiental - J. Glynn Henry, Gary W. Heinke - Google Libros. Retrieved May 14, 2020.
- James F. Balch, P. A. B. (2000). Recetas Nutritivas Que Curan - James F. Balch, Phyllis A. Balch - Google Libros. Retrieved May 14, 2020.
- Justicia, C. suprema de. (2011). *T-740-11.*
- Kingsland, L. C. (1948). The United States Patent Office. *Law and Contemporary Problems, 13*(2), 354.
- Maldonado, V. (2017). *FILTRACIÓN.*
- Milena, L., Aristizabal, C., Diego, J., Tochoy, V., Grado, T. D. E., Optar, P., ... Tecnólogo, T. D. E. (2015). *Análisis De Los Diseños De Las Plantas De Tratamiento De Aguapotable (Ptap) Y Calidad Del Agua Cruda Y Tratada En El Departamento De Cundinamarca.* Bogota D.C.
- Ministerio de desarrollo, economico de C. (2000). *Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Basico.*
- Ministerio de Salud -. (1998). Decreto 0475 de 1998. *Diario Oficial, 1998*(43), 14.
- Ministerio de Vivienda, C. y T. C. (2017). *Resolucion 0330 - 2017.Pdf* (p. 77). p. 77.
- Navarro, M. O. (2007). Determinación de Escherichia coli Y coliformes totales en agua por el metodo de filtración por membrana en Agar Chromocult. *Ideam, 3*, 2–3.
- OMS, O. M. de la S. (2017). OMS | Enfermedades y riesgos asociados a las deficiencias en los servicios de agua y saneamiento. *WHO.*
- Proteccion social, M. de S. (2019). *Consumo Humano – INCA 2017.*
- Ramon Valencia, J. (2017). *Guía de laboratorio Química ambiental.*
- Rodríguez Chavarro, A. D. (2014). Diseño de una planta de tratamiento de agua potable de 2 lts/s para una población de 750 habitantes. *Universidad Militar Nueva Granada, 1*--22.
- Salud, I. nacional de. (2019). *Estado de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo*

Humano en Colombia , 2018.

Scarpellini, P. (2019, October 16). Detectan agua del grifo contaminada con químicos en California | Ciencia. Retrieved May 18, 2020

Schlossberg, T. (2017, April). Trillions of Plastic Bits, Swept Up by Current, Are Littering Arctic Waters - The New York Times. Retrieved May 18, 2020

SUI, sistema unico de información. (2017). *Calidad del Agua*.

Teresa, M., & Ascencio, L. (2014). Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones. *Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua*, 63–72.

UNICEF. (2017). Enfermedades comunes relacionadas con el Agua y el Saneamiento . Retrieved May 17, 2020

vlaanderens. (2015). Adsorption Techniques | EMIS. Retrieved May 14, 2020

Water, D., & Certification, O. (2014). *Module 14 Conventional Filtration*. (February).