

**PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN PLANTAS COMPACTAS EN  
COLOMBIA**

**TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD MONOGRAFIA, PARA  
OTORGAR AL TITULO DE: INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

**DOUGLAS JIMENEZ GASCON**

**CÓDIGO: 1067722120**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**

**INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**2021**

**PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN PLANTAS COMPACTAS EN  
COLOMBIA**

**AUTOR**

**DOUGLAS JIMENEZ GASCON**

**CÓDIGO: 1067722120**

**DIRECTOR**

**JULIO ISAAC MALDONADO M.**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**

**INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**2021**

### **Agradecimientos**

A los profesores del diplomado y a todos los profesores que aportaron sus conocimientos durante toda mi trayectoria en la Universidad de Pamplona por formarme en esta hermosa carrera y convertirme en un ingeniero civil.

A todos mis compañeros y amigos en mi vida universitaria de una u otra manera también lograron ser parte de mi carrera universitaria con el cual se encuentra lazos de amistad que perduraran en el tiempo.

## **Dedicatoria**

Primeramente le doy Gracias a Dios por su amor tan infinito y los dones que regala cada día como la sabiduría, el entendimiento y fortaleza, a mis Padres José Joaquín Jiménez Quezada y Alcira del Carmen gascón de Jiménez han sido mi inspiración a lograr este sueño tan anhelado de ser Ingeniero Civil a ellos le debo todo a lo que soy hoy, un hombre de buenos principios y valores, a mis hermanos de una u otra forma han aportado su grano de arena en mi vida y en mi carrera universitaria, a mi pareja Ingeniera Ambiental sania toro mancera que de muchas manera ha aportado en mi vida tanto personal y mi carrera universitaria que siempre me acompaño desde los inicios de la carrera gracias por estar siempre a mi lado y compartir este proceso juntos.

## Tabla de Contenido

<b>Agradecimientos</b>	<b>3</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>4</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Objetivo General</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Objetivo Específicos</b>	<b>10</b>
<b>3. Justificación</b>	<b>11</b>
<b>4. Generalidades</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Plantas Compactas</b>	<b>12</b>
<b>4.2 Ventajas de las plantas compactas</b>	<b>13</b>
<b>4.3 Aplicaciones de las plantas compactas</b>	<b>13</b>
<b>5. Marco de Referencia</b>	<b>14</b>
<b>6. Marco Legal</b>	<b>17</b>
<b>7. Marco Estado del Arte</b>	<b>19</b>
<b>7.1 Nivel Internacional</b>	<b>19</b>
<b>7.2 Nivel Nacional</b>	<b>20</b>
<b>8. Metodología</b>	<b>23</b>
<b>8.1 Etapa I: Diagnóstico</b>	<b>24</b>

8.2 Etapa II: Identificación de las operaciones unitarias.	24
8.3 Etapa III: Parámetros de calidad del agua	25
<b>9. Resultados</b>	<b>26</b>
9.1 Descripción de los procesos de la potabilización de agua potable:	26
9.1.1 Coagulación	26
9.1.2. Floculación	31
9.1.3 Sedimentación	33
9.1.4. Filtración	34
9.1.5. Desinfección	35
9.2. Procesos de control de calidad del agua potable en las PTAP convencionales y compactas:	39
9.3. Procesos más utilizados en las PTAP compactas:	51
9.3.1 Tipos de PTAP compactas	54
9.4 Procesos de control de calidad del agua potable en las PTAP compactas:	56
9.5. Normatividad colombiana vigente en los procesos de potabilización del agua:	57
<b>10. Conclusiones</b>	<b>64</b>
<b>11. Bibliografías</b>	<b>66</b>

## Tabla de Figura

Figura 1. Vista general de una Planta Compacta .....	12
Figura 2. Sulfato de Aluminio granular tipo B .....	27
Figura 3. Canaleta Parshall .....	28
Figura 4. Esquema de un tren mecánico de coagulación - floculación.....	32
Figura 5. Tanques de filtración a presión.....	34
Figura 6. Algunos compuestos de cloro utilizados en la desinfección del agua. ....	37
Figura 7. Turbidímetro.....	40
Figura 8. Aspectos de muestras de agua con SST (Izquierda) y con bajo contenido de SST (Derecha).....	41
Figura 9. Escala de los niveles de pH .....	42
Figura 10. Análisis del pH .....	43
Figura 11. Prueba de Jarra .....	44
Figura 12. Equipo de la prueba de jarras .....	45
Figura 13. Ensayo de alcalinidad.....	48
Figura 14. Muestra de prueba de color .....	50
Figura 15. Procesos para la potabilización en las PTAP compactas.....	52
Figura 16. PTAP compacta de microfiltración con capacidad de 7000 l/h. ....	55
Figura 17. Características Físicas. ....	58
Figura 18. Características Microbiológicas. ....	62

## Lista de Tabla

Tabla 1. Marco Legal .....	17
Tabla 2. Normas Técnicas Colombiana .....	18
Tabla 3. Efectos de la coagulación sobre las sustancias contenidas en las aguas.....	30
Tabla 4. Eficiencias de la coagulación en la remoción de sustancias contenidas en las aguas .....	31
Tabla 5. Algunos componentes de cloro destinados a la desinfección del agua.....	36
Tabla 6. Técnicas de Cloración.....	39
Tabla 7. Características Físicas.....	57
Tabla 8. Características químicas .....	59
Tabla 9. Características Química .....	59
Tabla 10. Características Químicas.....	60
Tabla 11. Características Microbiológicas.....	61
Tabla 12. Límites máximos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua potable. ....	63

## 1. Introducción

Los bienes y servicio que nos brinda el agua potable es de vital importancia para subsistir todo ser humano en la tierra y cada vez más el avance y progreso de la sociedad requiere mayor cantidad de agua, teniéndose entre los temas más importante la calidad del agua de las fuentes, que desafortunadamente se han venido contaminando cada vez más debido a las malas prácticas del hombre, realidad que lleva a elevar las exigencias en el grado de tratamiento y la realización de complejas operaciones.

Teniendo en cuenta que la presencia y la concentración de contaminantes alteran las características del líquido natural del nacimiento del fluido, como consecuencia se generan problemas en la salud humana. Las plantas de tratamiento son diseñadas con el fin de remover dichos contaminantes, mejoramiento la calidad del agua antes de ser entregada y consumida por las personas, ahora llamados consumidores.

“Las plantas compactas son un sistema integrado de tratamientos en varias etapas que incluye todos los procesos requeridos para obtener agua potable. Ocupan poco espacio y se pueden ampliar fácilmente añadiendo módulos de clarificación y de filtración. Adecuadas para: aguas de pozo profundo con alto contenido de color, hierro y manganeso; y muy eficientes con aguas de quebradas de montaña con parámetros que van de mediano a bajo contenido de sólidos en suspensión (SST) y con contenidos de color, que presentan picos pasajeros de alta turbiedad y color cuando hay lluvias fuertes. De acuerdo con las características del agua a tratar, se incorpora procesos de pre aireación y oxidación, arenas especiales para eliminar hierro y manganeso o pos tratamiento con carbón activado cuando hay elementos orgánicos” (Romero, 2015).

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

- Evaluar y seleccionar los procesos unitarios más empleados en Colombia en la potabilización en plantas compactas y hacer cumplir el reglamento del consumo humano.

### **2.2 Objetivo Específicos**

- Evaluar los procesos de control de calidad del agua en las potabilizadoras compactas.
- Determinar cómo es la potabilización de agua potable mediante plantas compactas.
- Verificar el cumplimiento de la normatividad vigente en colombiana en el proceso de potabilización de las Plantas Compactas.
- Elaborar el documento producto de la revisión bibliográfica

### 3. Justificación

Este proyecto tiene como finalidad ejecutar una recopilación de información, evaluarla, identificarla y hacer un informe acerca de los procesos para el mejoramiento del tratamiento de plantas compactas del agua potable viables para pequeños centros poblados, comunidades o veredas en Colombia que carecen del servicio de agua potable.

Debido a la problemática planteada se enuncia la siguiente pregunta problema:

**¿ En las plantas de tratamiento compactas en Colombia cumplen con los requerimientos establecidos por la resolución 0330 del 2017 para que esta agua pueda ser utilizada para el consumo humano, y porque es tan importante conocer los procesos de las plantas compactas y para que nos puede servir a los ingenieros civiles, conocer estos procesos, y si será posible implementar aparte de los coagulantes químicos que se le adiciona a la planta de tratamiento compacta, podríamos utilizar coagulantes naturales en estas plantas y si fuera así, en que nos beneficia?**

## 4. Generalidades

### 4.1 Plantas Compactas

Es una planta generalmente pequeña que tiene todas unidades integradas en un solo cuerpo y que realiza todos los procesos para potabilizar bajos caudales de agua cruda y además es portátil, modular y automática, apropiada para pequeñas comunidades, centros poblados o congregaciones de personas en campos (construcciones o petroleros), donde no se tiene acceso a tratamientos centralizados de una ciudad o municipio. Estas plantas son instaladas abastecidas por fuentes naturales como lagos, ríos o quebradas y se construyen en acero y se envían listas para luego ser instaladas en el lugar indicado. Pero estas plantas comúnmente están diseñadas para poblaciones de hasta 1000 habitantes y están diseñadas para eliminar las características y propiedades fisicoquímica y microbiológica que contiene el agua cruda. (Triana M, 2017).

**Figura 1. Vista general de una Planta Compacta**



*Fuente: (hidritec, 2016).*

#### **4.2 Ventajas de las plantas compactas**

- Estas plantas de tratamiento compactas cuentan con fácil desplazamiento, que las plantas convencionales.
- Las plantas compactas ocupan pocos volumen y espacio.
- Las plantas compactas trabajan automáticamente y debe ser manipulada por algún técnico especializado.

#### **4.3 Aplicaciones de las plantas compactas**

Según (INDOSTRA, 2016), se pueden utilizar en las plantas compactas prestando el servicio a unidades residenciales, bases militares, centrales azucareras, escuelas y/o universidades, campamentos petroleros, hoteles.

## 5. Marco de Referencia

A continuación, se hace énfasis para explicar la importancia de este trabajo investigativo detallando el proceso que conllevó a que estos tuvieran la necesidad de abordar estas investigaciones desde el objetivo hasta la metodología utilizada, partiendo desde lo internacional hasta lo regional, llegando finalmente a las conclusiones formales.

**Agua cruda:** Es también llamada agua bruta, que generalmente no es segura para el consumo humano, por lo que el uso de la misma para beber y cocinar en algunos países en desarrollo es un problema de salud importante. Asimismo, el agua cruda o agua bruta es aquella que no ha recibido ningún tratamiento y que no ha sido aún introducida en la red distribución. Se encuentra en fuentes y reservas naturales tanto de aguas superficiales como aguas subterráneas.

El agua cruda contiene materia orgánica, materia inorgánica y microorganismos, así como sabor, olor, color y turbidez, por lo que antes de poder ser considerada como agua potable, el agua cruda o bruta debe pasar por los diferentes procesos que la conforman. Es por esta razón por la que beber este tipo de agua, que no ha sido tratada o sometida a controles estrictos de seguridad alimentaria, puede suponer un riesgo para la salud (Hernandez T., 2017).

**Agua potable:** El agua apta sirve para beber, preparar alimentos, higiene y fines domésticos. El agua potable debe ser limpia, insípida, inodora, incolora y libre de contaminantes, aunque debe contener sustancias disueltas que son beneficiosas para el organismo (Hernandez T., 2017) y debe cumplir con el Decreto 1575 de 2007.

**Aducción:** Es la conducción del agua cruda a partir de la fuente hasta la planta de tratamiento de agua, ya sea por tuberías a gravedad o presión, canal o túnel, donde se deben

realizar inspecciones rutinarias que permitan establecer las condiciones de operación y posibles fuentes de contaminación (Borda, 2020).

**Almacenamiento:** Es una reserva que garantiza la cantidad de agua requerida por la población en las horas de mayor consumo. (Cabrerizo, 2015).

**Análisis físico-químico del agua:** En el análisis físico químico se indican cuales han de ser los análisis de control y los análisis en el grifo del consumidor para ver la calidad del agua. La determinación de las características bacteriológicas, tiene como objetivo determinar si el agua contiene microorganismos fecales, cuya presencia indica la contaminación de origen animal o humano, y solo con la presencia de un microorganismo patógeno provoca la enfermedad a un ser vivo y el agua deja de ser potable.

Estos análisis determinan aspectos como el color, olor, sabor, turbiedad, sólidos disueltos totales, dureza total alcalinidad F, alcalinidad M, cloruros (Cl), sulfatos (SO<sub>4</sub>), hierro (Fe), manganeso (Mn), amonio (NH<sub>4</sub>), nitritos (NO<sub>2</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub>), fluoruro (F), arsénico (As), plomo (Pb) y vanadio (V) (Hernandez T., 2017).

**Calidad del agua:** La calidad del agua hace referencia a las condiciones en que se encuentra las propiedades físicas y biológicas en estado natural o después de ser alteradas por acción antrópica. Este concepto ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, cuya importancia radica en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a la población (Redondo E, 2016).

**Dosificación:** Proceso en el cual se dosifican sustancias químicas al agua llevándola a la potabilización mediante el ensayo de jarras, para obtener una calidad del agua tratada que se encuentre en los estándares exigidos en el Decreto 1575 del 2007 (Torres., 2018).

**Coagulación:** Es el proceso que tiene por objeto añadir al agua un electrolito, llamado coagulante, habitualmente una sal de hierro o aluminio, que al actuar liberan iones positivos capaces de atraer a las partículas coloidales y neutralizar la carga o mediante la formación de productos de baja solubilidad que precipitan arrastrando los coloides. La coagulación depende de tres factores determinantes: pH, agitación y tipo de coagulante. EL pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Por otro lado, la agitación de la mezcla permitirá una distribución homogénea de los reactivos antes de que comience a formarse los flócs, que lo hacen en un tiempo muy corto, mediante la aplicación de agitación fuerte mecánica o hidráulica.

**Sedimentación:** Es una transformación en el cual las partículas suspendidas más grandes, son eliminadas por el movimiento gravitacional de las moléculas.

**Filtración:** La filtración como el paso de un fluido a través de un medio poroso que retiene la materia que se encuentra en suspensión (Vargas L, 2015).

**Desinfección:** Se le adicionan los reactivos como el cloro, para eliminar microorganismos que ocasionan enfermedades o son patógenos y garantizar la calidad del agua en las redes de distribución. Adicionalmente ayuda a la oxidación del hierro, el manganeso y los sulfuros de hidrógeno y a la destrucción de algunos compuestos que producen olores y sabores (Vargas L, 2015).

## 6. Marco Legal

Se hace referencia a todas las normas y decretos más relevantes que rigen en la República de Colombia para una buena potabilización.

**Artículo 57 la misma ley establece:** “las entidades encargadas de la entrega de agua potable al usuario velaran por la conservación y el control en la utilización de la fuente de abastecimiento para evitar el crecimiento inadecuado de organismo, la presencia de animales y la posible contaminación por otras causas” (RAS, 2000).

**Tabla 1. Marco Legal**

<b>DECRETOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Resolución 0330 de 2017</b>	Por el cual se adopta el reglamento (Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, 2017).
<b>Resolución 2115 de 2007</b>	Se enumeran las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua.
<b>Decreto 475 de 1998</b>	Se determinan las reglas de las tareas vinculadas con la calidad del agua potable.
<b>Norma Icontec 5667</b>	muestreo en los sistemas de distribución.
<b>Decreto 2105 del 26 de Julio de 1983</b>	Potabilización del Agua.
<b>Ley 09 de 1979</b>	Potabilización del Agua.

---

**Decreto 2412 del 2015**

Regulación de Agua Potable.

---

*Fuente: (PROPIA, 2021)*

**Tabla 2. Normas Técnicas Colombiana**

---

**NORMA GTC 2 de 1994-10-19**

Manual de métodos analíticos para el control de calidad del agua.

---

**Fuente: (PROPIA, 2021).**

## **7. Marco Estado del Arte**

### **7.1 Nivel Internacional**

**Diseño de Planta Compacta para la potabilización de agua de río, utilizando técnicas y recursos económicos para La Parroquia San Plácido, Cantón Portoviejo” Guayaquil-Ecuador (SOLÍS, 2016).**

La Parroquia San Placido ubicada al Este del cantón Portoviejo. A través de la investigación experimental- descriptiva se realizó el estudio del agua de un afluente natural (agua de río) para realizar la potabilización, siguiendo una serie de pasos técnicos a fin de duplicar el procedimiento de las grandes plantas potabilizadoras adicionando a el proceso el químico (Zeolita). El análisis de resultados demostró que el agua tratada mediante la planta es apta para el consumo humano según los resultados de un laboratorio certificado donde los parámetros físicos fueron realizados y registrados, indicando que se cumplen con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 del 01 -2014, quinta revisión. Concluyendo que la planta potabilizadora propuesta en el estudio se puede utilizar en situaciones de emergencia o por comunidades que no cuentan con agua potable con las comunidades de San Plácido (SOLÍS, 2016).

**Las plantas potabilizadoras en el rio Sonora: Una revisión de la recuperación del desastre., México (Díaz et al, 2021)**

El objetivo de esta investigación fue examinar qué elementos de la estrategia de instalación de plantas potabilizadoras fueron propuestas e implementados por el Fideicomiso Río Sonora.

La metodología fue mediante trabajo de campo y recopilación documental, revisión de la calidad de operación de las potabilizadoras y se contrastó con los resultados del monitoreo de calidad del agua del fideicomiso. Asimismo, se obtuvieron resultados de varios de los sitios más

contaminados del área de estudio, que no cuentan con planta potabilizadora. Algunas de las plantas instaladas no son las más adecuadas en términos técnicos y tienen deficiencias en la operación.

Limitaciones: aunque se solicitó varias veces a las dependencias correspondientes información sobre las plantas, sólo enviaron algunas características técnicas. Valor: alto mérito empírico para el estudio de los componentes de la recuperación de desastres mineros.

Conclusiones: Además de que algunos de los sitios más contaminados no cuentan con planta de tratamiento, hay una incorrecta implementación de las plantas potabilizadoras y un insuficiente seguimiento (Díaz R, 2021).

## **7.2 Nivel Nacional**

### **Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua del municipio de Guataquí Cundinamarca, Colombia, (Ríos, 2017)**

Esta investigación tuvo como objetivo principal es ejecutar los operativo compacta en Guataquí, porque históricamente este municipio ha captado las aguas para consumo humano del rio grande (Yuma) o rio La Magdalena y desde allí es llevada a la planta de tratamiento que surte en un 98% de agua potable al casco urbano del municipio (Sanabria, 2015).

Sin embargo, debido a la contaminación de esta fuente, en los últimos años, sacada a la luz por la Procuraduría en el año 2013 en un informe y a los estragos del fenómeno del niño sustentados por la Corporación Autónoma del Alto Magdalena CAM, se determinó que ante la incierta la calidad del agua captada y la falta de un diagnóstico operativo de la planta de tratamiento que lleva en operación alrededor de 30 años.

Por esta razón se desarrolló esta investigación descriptiva y exploratoria logrando así una interacción con todos los procesos llevados a cabo dentro y fuera de la planta, identificando posibles irregularidades en el acueducto por lo tanto fue necesario observar y analizar cada uno de los procesos independientemente, evaluando la eficiencia, logrando finalmente diagnosticar PTAP. El municipio de Guataquí Cundinamarca, investigación que concluye que para mejorar el desempeño de esta PTAP y garantizar la calidad del agua que llega a los consumidores es necesario realizar la reestructuración de algunas unidades que registran deterioro por uso en un tiempo mayor al de diseño y la falta de mantenimiento correctivo y preventivo, esto es causa de la ineficiencia de tratamiento, que deriva en una regular calidad del agua y un incremento en los costos operativos (A, 2017).

**Estudio Para El Montaje De Una Planta De Tratamiento De Agua Potable (Ptap) Tipo Compacta, En La Vereda Cualamanà, Municipio De Melgar Tolima. Melgar Tolima – Colombia, (Cruz, 2019).**

En el presente trabajo de proyecto aplicado, se evidencian los estudios y análisis técnicos realizados para la elaboración del montaje de una planta de tratamiento de agua potable tipo compacta, para la comunidad de la vereda Cualamaná ubicada en el municipio de Melgar Tolima. Éste se realizó por medio de la investigación de la actual calidad del agua proveniente del acueducto veredal que consume la población para así determinar los contenidos físico químicos que corregirá el montaje de la planta de tratamiento. es de aclarar que el alcance del presente proyecto es toda la parte documental técnica, estudios y análisis de agua, diseño de las obras civiles necesarias para el montaje de la unidad potabilizadora compacta (PTAP) y sus respectivos planos de ingeniería. La parte de construcción y montaje es la segunda fase que requerirá de la parte de inversión económica para poder ejecutar las obras, pero no es el alcance

de este proyecto pues los costos como veremos en los estudios y análisis de la planta son de consideración. Al terminar el respectivo proyecto se entregará una copia a la junta del acueducto veredal para que tramiten los recursos con la alcaldía, empresa de servicios públicos o cualquier Sponsor interesado en patrocinar el proyecto.

Se concluye como primera medida luego de realizar la toma de muestras de agua que actualmente se consume en la población de la vereda Cualamaná, y que se realizaran los análisis microbiológicos se encontró que el agua no está cumpliendo por lo exigido en la actual normatividad Colombia como lo es decreto 2115 de 2007, y lo solicitado por el RAS. A partir de estos resultados se hace necesario un proceso de potabilización al agua que surte a una población de 650 habitantes aproximadamente según las consultas y averiguaciones realizadas con la junta de acción comunal de la vereda (Cruz, 2019).

## 8. Metodología

Para llegar primeramente a las actividades de la ejecución del objetivo principal de esta investigación que es la evaluar y seleccionar los procesos y las unidades más utilizados en Colombia en la potabilización del agua en plantas compactas, se realizó una recopilación de 20 artículos científicos, 20 trabajos de grados y 15 base de datos, entre otros. Y se seleccionó cuál de ellos nos brindaba la mejor información posible acerca de las plantas compactas en Colombia.

Asimismo, se evaluó todas las informaciones recolectadas de los estudios investigados para darle cumplimiento a los objetivos específicos de nuestra investigación y se clasificó cuáles son los procesos de control de calidad del agua. Por otro lado, se determinó cuáles eran los procesos más utilizados en la potabilización de agua potable mediante plantas compactas.

Las unidades más utilizadas en la potabilización del agua en plantas compactas en Colombia, se seleccionaron por medio de las informaciones que nos brindan los estudios ya planteados sobre las plantas compactas, ya que estas plantas se realiza los procesos de potabilización del agua diferentes a las plantas convencionales ya que estas plantas realizan los proceso a mayor escala y las compactas a menor escala. Y para saber cuáles son las unidades que se deben trabajar en este tipo de plantas, nos guiamos con la resolución 2115 del 2007 que en ella nos especifican en que unidades debemos trabajar en cada uno de los parámetros.

Por otra parte, para las verificaciones del cumplimiento de la normatividad vigente en Colombia en el proceso de potabilización de las plantas Compactas, se realizó una comparación de los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la evaluación de los estudios y se comparan con la resolución 2115 del 2007 y el decreto 475 de 1998, y se verificaron si están cumpliendo con las normas en Colombia. Entonces para la elaboración del documento producto de la revisión bibliográfica, se realizó un enfoque descriptivo con todas las

informaciones encontradas y estudiadas de diferentes revisiones bibliográficas de revistas universitarias y trabajos de grado.

A continuación, se plantea las actividades por fase para la ejecución del metodología

## **8.1 Etapa I: Diagnóstico**

### **Actividad 1: Recopilación de información**

Se recopiló y seleccionó los orígenes de información fundamentales, documentos sobre las plantas compactas para el tratamiento de potabilización del agua en Colombia. Para la realización de la recolección de información se consultaron las fuentes de información: artículos científicos, trabajos de grado y libros, procedentes de bases de datos o en servidores de búsqueda. Asimismo, se realizó un primer tamizado de la información que pertenece al año de publicación; desde el año 2000 en adelante.

## **8.2 Etapa II: Identificación de las operaciones unitarias.**

### **Actividad 2: Procesos de potabilización**

Este tipo de plantas compactas son adecuadas para su instalación en aquellos lugares o países en los que se intente minimizar los costes de obra civil siendo necesaria únicamente una solera de hormigón. Las plantas por norma general incluyen los siguientes procesos:

- Coagulación/floculación
- Filtración
- Dosificación de químicos
- Opción de tratamiento con hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico, cloro gas o generación de cloro por electrólisis a partir de sal.

### **8.3 Etapa III: Parámetros de calidad del agua**

#### **Actividad 3: Identificación de los parámetros pertinentes para realizar los ensayos de laboratorios.**

Los parámetros que se identificaron en los diferentes estudios para una efectividad a la hora de la potabilización del agua en las plantas compactas fueron los siguientes:

- El pH
- Turbiedad
- Color
- Alcalinidad.

## **9. Resultados**

### **9.1 Descripción de los procesos de la potabilización de agua potable:**

La potabilización del agua es el proceso por el cual se trata el agua para que pueda ser consumida por el ser humano sin que se presente un riesgo para la salud y realmente consiste en eliminar sustancias que resulten tóxicas para las personas como el cromo, el plomo o zinc, así como algas, arenas o a las bacterias y virus que pueden estar presentes en el agua y para realizar la potabilización se necesitan de plantas de tratamiento de agua (Sampayo C, 2018).

**Los procesos más importantes en la potabilización del agua son los siguientes:**

#### **9.1.1 Coagulación**

Esta etapa tiene el principal objetivo de permitir clarificar el agua bruta por medio de una sedimentación posterior. Consiste en aumentar el tamaño de la materia coloidal (arcilla, óxidos metálicos hidratados, bacterias, fibras de pulpa, proteínas, etc.) por medio de una coagulación y una floculación de manera que se formaran unos flóculos tales que su peso superará al del agua y puedan sedimentar (Casero D, 2013).

#### **Tipos de Coagulantes**

Los coagulantes son productos químicos que se le adiciona al agua para obtener una descarga de todas las partículas coloidales donde en al cual se dan el origen a la formación de varios medios más grandes (flóculos), donde se sedimenta rápidamente.

Lo coagulantes más comunes que más se utilizan en el tratamiento de agua son:

- Sulfato de aluminio
- Aluminato de sodio

- Sulfato ferroso
- Cloruro férrico
- PAC (Normas, 2021).

**Figura 2. Sulfato de Aluminio granular tipo B**



*Fuente:* (Indostra, 2016)

### **Aplicaciones importantes de la coagulación:**

- Expulsión de algunos virus, bacterias, y organismos patógenos.
- Destierro y separación de algunas sustancias que pueden ocasionar mal olor y sabor.
- Remoción de turbiedad de materia orgánica e inorgánica. **(Perez, 1981).**

La coagulación es muy importante porque posterior a la adición de un coagulante. Se desestabilizan los coloides suspendidos, proceso que se inicia en el mezclador rápido. La canaleta Parshall es una de las estructuras más utilizadas porque el proceso coagulación inicia en el salto hidráulico donde se aplica el coagulante.

**Figura 3. Canaleta Parshall**



*Fuente: (Camacho, 2011)*

### **Fases de la Coagulación**

La coagulación es un proceso que es muy corto de un lazo de tiempo que hidráulicamente puede suceder en menos de 1 segundo; las fases principales de la coagulación son:

- Hidrolisis y la desestabilización de las partículas suspendidas.
- Formación de los compuestos químicos poliméricos (**cabrerizo, 2015**).

### **Factores importantes que influyen en la coagulación:**

- **El pH:** Es una de las variables más importantes en la coagulación, en tal caso de que el rango del pH no se encuentra en los valores establecidos se disminuye la solubilidad del coagulante del agua y se afecta la eficiencia del proceso.

- **Temperatura:** Las diversas variaciones de la temperatura en el recurso a tratar, generan la formación de corrientes de densidad de diferentes grados que pueden afectar la energía cinética de las partículas en suspensión, retardando el proceso de coagulación, porque se genera un aumento de viscosidad, dificultando el proceso de sedimentación de los flocs presentes en el agua (fibrasynormasdecolombia., 2021).
- **Alcalinidad:** Puede influir en el tratamiento del agua durante todo el proceso de coagulación y el efecto es significativo en los procesos disolución de algunos coagulantes como el sulfato de aluminio y también influyen en procesos del ablandamiento, así como en la prevención de la corrosión.
- **Dosis del Coagulante:** La dosis de coagulante condiciona la formación del tamaño y cantidad de los flócs y el funcionamiento de las unidades de sedimentación, siendo imposible realizar una buena clarificación si la cantidad de coagulante no es la adecuada (FLÓREZ, 2010).
- **Turbiedad:** Se mide el nivel de tramitancia de luz en el agua, y sirve como una medida de la calidad del agua en relación a la materia suspendida coloidal y residual. La turbiedad varía de acuerdo a: i) la fuente de luz y el método de medición, ii) las propiedades de absorción de luz del material suspendido. Esto hace que se deba tener mucho cuidado al comparar valores de turbiedad de distintas referencias de la literatura. Sin embargo, en un mismo proceso o sistema los valores de turbiedad permiten analizarlo y controlarlo. En Colombia se usa generalmente el método nefelométrico-2130 para medir la turbiedad, método que

permite comparar valores de distintas referencias de la literatura siempre y cuando se aplique con rigurosidad (Cabrerizo, 2015).

### Efectos de la coagulación sobre las sustancias contenidas en el agua

Las tablas 3 y 4 muestran de manera resumida la reducción que se puede conseguir de determinadas sustancias presentes en el agua a tratar mediante el proceso de coagulación:

**Tabla 3. Efectos de la coagulación sobre las sustancias contenidas en las aguas.**

EFECTOS DE LA COAGULACIÓN SOBRE LAS SUSTANCIAS CONTENIDAS EN EL AGUA	
Parámetro presente en el Agua	Reducción Máxima que se obtiene mediante la coagulación:
Turbidez	> 60% de Reducción
Materias en suspensión	> 60% de Reducción
Fosfatos	> 60% de Reducción
Nitratos	No hay reducción
Amonio	No hay reducción
Cloruros	0 a 20% de Reducción
Sulfatos	0 a 20% de Reducción
Fluoruros	20 a 60% de Reducción
Hierro	> 60% de Reducción
Aluminio	> 60% de Reducción
Manganeso	0 a 20% de Reducción
Cobre	> 60% de Reducción
Zinc	20 a 60% de Reducción
Cobalto	No hay reducción
Niquel	No hay reducción
Arsénico	> 60% de Reducción
Cadmio	20 a 60% de Reducción
Cromo	20 a 60% de Reducción
Plomo	> 60% de Reducción
Mercurio	20 a 60% de Reducción
Cianuros	No hay reducción

*Fuente: (fibrasynormasdecolombia., 2021)*

**Tabla 4. Eficiencias de la coagulación en la remoción de sustancias contenidas en las aguas**

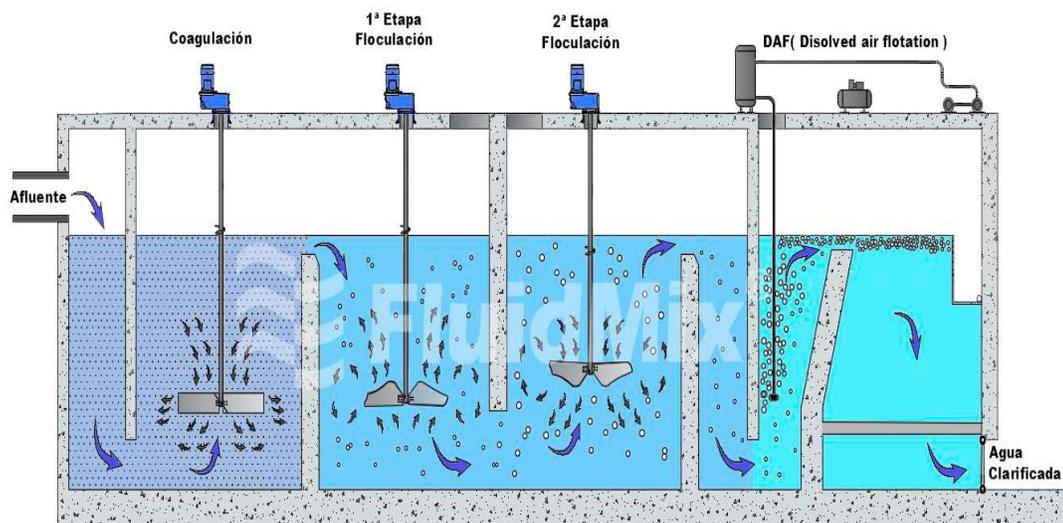
<b>Compuestos Orgánicos</b>	
Color	> 60% de Reducción
Olor	0 a 20% de Reducción
DQO	> 60% de Reducción
Carbono Total	> 60% de Reducción
DBO	> 60% de Reducción
Nitrógeno	> 60% de Reducción
Fenoles	No hay reducción
Hidrocarburos Aromáticos	20 a 60% de Reducción
Pesticidas	> 60% de Reducción
<b>Microorganismos</b>	
Virus	> 60% de Reducción
Bacterias	> 60% de Reducción
Algas	20 a 60% de Reducción

*Fuente: (fibrasynormasdecolombia., 2021)*

### 9.1.2. Floculación

Esto se logra mediante una agitación lenta para promover las colisiones entre los microflóculos de manera que empiecen a agrandarse formando flóculos de mayor tamaño. Este proceso se lleva a cabo en un módulo dotado de un floculador, que puede ser un agitador mecánico con hélices especialmente diseñadas para promover el movimiento de las partículas sin causar cizallamiento.

**Figura 4. Esquema de un tren mecánico de coagulación - floculación**



*Fuente: (Indostra, 2016)*

Los primeros floculantes utilizados fueron los polímeros inorgánicos (sílice activada, el alumbre) y los polímeros naturales (almidones, alginato). Hoy en día, 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. Combinados con técnicas modernas de separación, los floculantes sintéticos pueden permitir producir un lodo muy denso que se puede tratar directamente en una unidad de decantación.

### **Componentes floculación**

Los agitadores mecánicos son ampliamente usados en la industria en la preparación de reactivos para el tratamiento de agua, industria química, petroquímica, tintas y pinturas, alimenticia, pulpa y papel, farmacéutica, entre muchas otras.

Agitadores de diferentes tamaños y versiones que pueden ser diseñados a medida según la aplicación o tamaño del tanque, o una gama estandarizada de agitadores que cubren un gran

rango de aplicaciones. También encontramos con agitadores estandarizados tipo turbina centrífuga (Borràs, 2010).

### **9.1.3 Sedimentación**

El propósito de esta fase es eliminar las moléculas por sedimentación usando la gravedad. Estas partículas del proceso de aglutinación-agregación anterior ahora son sedimentables. Otras sustancias pueden permanecer en esta etapa.

#### **Ventajas de los sedimentadores**

- Tecnología sencilla y robusta.
- Remoción eficiente de sólidos suspendidos.
- Costos de operación y capital relativamente bajos.

#### **Desventajas de los sedimentadores**

- Necesitan remover lodos frecuentemente.
- El efluente, el lodo y las espumas requieren tratamiento adicional.
- Los cortocircuitos hidráulicos causan problemas.

#### **Tipos de sedimentadores**

Los sedimentadores pueden ser tanques de forma circular o rectangular. En tanques rectangulares, la relación longitud/ancho varía entre 3:1 y 5:1, con profundidades de agua mayores a dos metros, longitud menor de 90 m., ancho de 3 a 24 m. y pendiente suave, 1 ó 2 %; sin embargo, en tanques circulares la pendiente en el fondo es del 8% regularmente (Cabrerizo, 2015).

#### 9.1.4. Filtración

Esta etapa final del proceso se debe dar cumplimiento a la normado para la turbiedad y color, puesto que el agua pasa por medio poroso donde se retienen los flóculos pequeños y los que no fueron eliminados por el sedimentador, siendo el resultado final un agua más clara, de la que han eliminado hasta un 95% de los microorganismos (Cruz, 2019).

**Figura 5. Tanques de filtración a presión**



*Fuente: (Indostra, 2016)*

#### **Tipos de filtración**

Existen diferentes tipos de filtración: Filtración rápida convencional a gravedad (FG), Filtración rápida presurizada (FP), Microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (OI). Los primeros dos procesos pueden considerarse como de tamices finos de acción mecánica. Desde la Microfiltración en adelante el proceso físico se realiza con membranas que son producidas artificialmente con un diámetro de poro definido. Para que la membrana funcione es importante que los poros se hagan más grandes en dirección al agua pura.

La nanofiltración y la ósmosis inversa utilizan membranas densas que permiten los procesos de difusión de partículas.

**También existes otros filtros como:**

- Filtros de carbón activado.
- Filtros de ósmosis inversa.
- Filtros de luz ultravioleta.
- Filtros de Ozono.
- Filtros cerámicos (aqua-free, 2019).

#### **9.1.5. Desinfección**

La desinfección es un proceso obligatorio, dónde se dosifica una solución de compuestos químicos, con un tiempo de contacto generalmente entre 20 y 30 minutos, tiempo cuando se produce la mayoría de las partículas presentes en el agua filtrada, asimismo, que permita la oxidación de las partículas orgánicas que no pudieron ser removidas ni en la decantación, ni en la filtración. También se puede realizar mediante procesos físicos.

Los Compuestos químicos para la desinfección del agua más importantes son: el Cloro ( $\text{Cl}_2$ ), el Dióxido de Cloro ( $\text{ClO}_2$ ), el Hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ), el Ozono ( $\text{O}_3$ ); otros importantes son los Halógenos: Bromo ( $\text{Br}_2$ ), Iodo (I), el Cloruro de Bromo ( $\text{BrCl}$ ), los metales: cobre (Cu), la plata (Ag), el Permanganato potásico ( $\text{KMnO}_4$ ), los fenoles, los alcoholes, jabones y detergentes, Además, las sales de amonio, el Peróxido de Hidrógeno, distintas ácidos y bases.

## Tratamiento microbiano del agua en el cloro

La desinfección del agua tiene por objeto brindar seguridad en el agua, desde el punto fisicoquímico y microbiológico.

**Físico químico:** Se refiere a las propiedades organolépticas algunos solidos como (Disueltos y en suspensión), dureza, fluoruros, metales, materia orgánica, alcalinidad entre otros.

**Microbiológico:** Este hace referencia al control de microorganismo que pueden afectar a la calidad del agua.

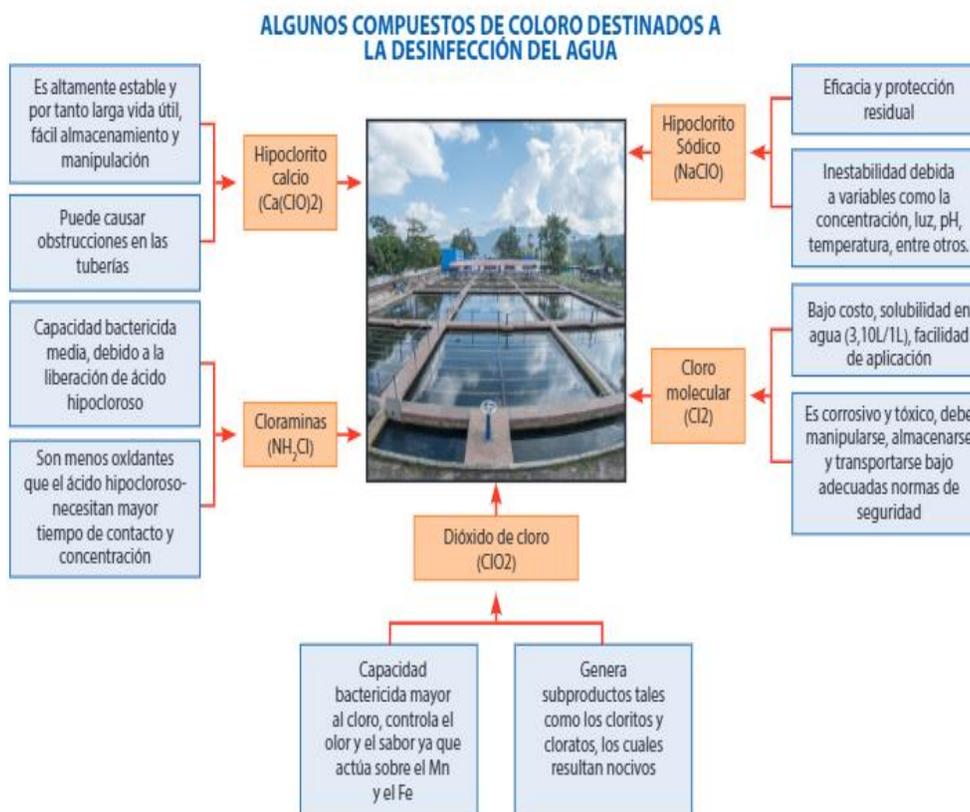
Tabla 5. Algunos componentes de cloro destinados a la desinfección del agua.

Hipoclorito de Calcio (Ca(ClO) <sub>2</sub> )	Cloraminas (NH <sub>2</sub> Cl)	Dióxido de Cloro (ClO <sub>2</sub> )	Hipoclorito de Sodio (NaClO)	Cloro Molecular (Cl <sub>2</sub> )
Es altamente estable y por lo tanto larga vida útil, fácil almacenamiento y manipulación.	Capacidad bactericida media, debido a la liberación de ácido hipocloroso	Capacidad bacteriana mayor al cloro, controla el olor y el sabor ya que actúa sobre el Mn y el Fe.	Eficacia y protección residual	Bajo costo, solubilidad en agua (3,10L/1L), facilidad de aplicación
Puede causar obstrucciones en las tuberías.	Son menos oxidantes que el ácido hipocloroso necesita mayor tiempo de contacto y concentración.	Genera algunos subproductos tales como los cloritos y cloratos, los cuales resultan nocivos	Inestabilidad debida a variables como la concentración, luz, pH, temperatura, entre otros	Es corrosivo y tóxico, debe manipularse, almacenarse y transportarse bajo adecuadas normas de

*Fuente: (Torres., 2018).*

Los compuestos de cloro en la desinfección del agua presentan una importante efectividad en el tratamiento del agua potable, teniendo en cuenta el efecto de oxidación y desinfección y las concentraciones pueden alterar el pH.

**Figura 6. Algunos compuestos de cloro utilizados en la desinfección del agua.**



*Fuente: (Borda, 2020).*

Asimismo, los compuestos de cloro descritos anteriormente presentan una importante garantía en el tratamiento del agua potable, sin embargo, es importante distinguir la diferencia entre el efecto desinfectante y el efecto oxidante que pueden tener, aunque estos procesos suceden en paralelo, el procedimiento depende de la variable del pH. En general, un pH alto favorece el impacto oxidante y un pH bajo favorece la acción como desinfectante.

### **Técnicas de cloración**

Las muestras de agua contienen una cierta cantidad de sólidos totales, algunos de los cuales son degradados por la carga microbiana que se encuentra de manera natural. Esta degradación requiere ciertas cantidades de cloro. Así, se pueden aplicar varios tipos de cloración y la elección está relacionada con las características del agua que se va a tratar. Las reacciones del cloro con los sólidos de origen inorgánico son más rápidas que las que surgen con los orgánicos y, en este último caso, suele ser necesario un exceso de demanda de cloro. Por lo tanto, la dosis de este desinfectante depende de la demanda mencionada y de ciertas variables como la alcalinidad, la temperatura, entre otras. Una vez finalizada la reacción entre estos sólidos y el cloro, queda un nivel residual de este desinfectante en el agua, que se denomina “cloro residual” (Borda, 2020). En la tabla 7 se describe las técnicas de cloración más utilizadas.

Tabla 6. Técnicas de Cloración

CLORACIÓN SIMPLE	CLORACIÓN RESIDUAL LIBRE	CLORACIÓN RESIDUAL COMBINADA	CLORO Vs COMPUESTOS ORGÁNICOS	CLORO Vs COMPUESTOS INORGÁNICOS
Indicada para aguas con poca materia orgánica, el cloro se constituye en el reactivo límite reaccionando rápidamente.	De manera controlada se adecuan dosis con exceso de cloro durante el proceso de desinfección, a la salida de la planta y a lo largo de la red.	Se basa en la generación de amoníaco y cloro residual (tipo cloraminas) por adición de cloro.	El hipoclorito reacciona actúa sobre las sustancias húmicas, dando lugar a productos orgánicos clorados y aromáticos.	Se generan reacciones del cloro con nitrógeno, hierro, magnesio y bromuro.

*Fuente: (Borda, 2020)*

Por lo general, en un sistema de potabilización del agua, la cloración suele realizarse al final del tratamiento, después de la etapa de filtración. Esto se denomina a menudo pos cloración. A veces, la cloración se realiza antes de cualquier otro tratamiento, lo que se denomina precloración (Borda, 2020).

## 9.2. Procesos de control de calidad del agua potable en las PTAP convencionales y compactas:

Para realizar el control de calidad del agua potable en las PTAP convencional y compacta se realizan análisis de laboratorio que establece los valores admisibles de la calidad del agua para ser considerada potable. Entre los ensayos más importantes se tienen:

## Ensayo de turbiedad

### Procedimiento la determinación de la turbiedad

#### Medición de turbidez

- Agitar suavemente la muestra.
- Espere hasta que las burbujas de aire desaparezcan y viertan la muestra en la celda.
- Cuando sea posible, vierta una muestra bien mezclada en la celda y sumérjala en un baño ultrasónico durante 1 a 2 segundos o aplicar desgasificación al vacío, causando la liberación completa de burbuja.
- Leer turbidez directamente desde la pantalla del instrumento.

**Figura 7. Turbidímetro**



*Fuente: (Quispe J, 2018)*

El parámetro de turbidez se mide con un nefelómetro o turbidímetro, es un instrumento que mide las partículas suspendidas en un líquido o en un gas, emplea las partículas depende de las propiedades de las partículas, tales como la forma, el color y la reflectividad; La unidad de turbidez que mide un nefelómetro calibrado se llama Unidad de Turbidez Nefelométrica, UTN o NTU (fibrasynormasdecolombia., 2021)

### **Ensayos de los sólidos totales en suspensión**

En la figura 8, podemos observar las muestras de agua con contenido de sólidos totales suspensión, así como se demuestra en el vaso izquierdo se ve que hay altos contenidos al contrario del vaso derecha ya se observa el bajo contenido de los sólidos totales suspensión.

**Figura 8. Aspectos de muestras de agua con SST (Izquierda) y con bajo contenido de SST (Derecha).**

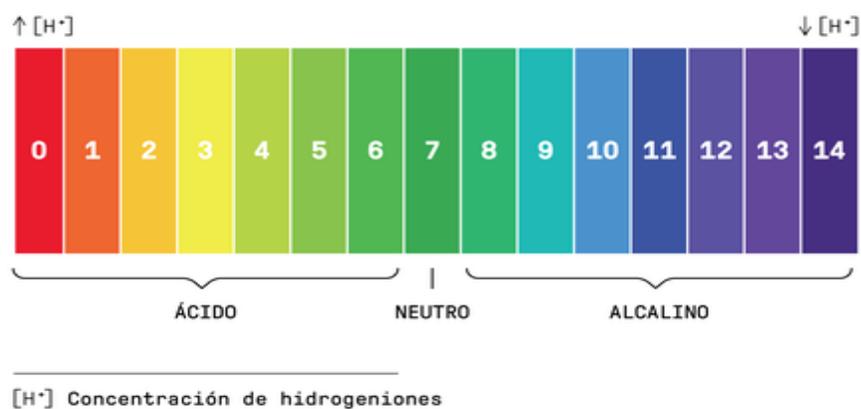


*Fuente: (fibrasynormasdecolombia., 2021)*

## Determinación de PH

Un parámetro muy importante que debe medirse en el agua potable es el pH, el cual es un indicativo del nivel de acidez o alcalinidad de una muestra. Generalmente, para las mediciones de pH se utiliza una escala de 0 a 14, sin embargo, podemos encontrar algunas sustancias que poseen un pH inferior o superior a esta escala. En el caso del agua potable la norma establece que el valor de pH debe estar entre 6.5-8.5 de pH, ya que un agua demasiado ácida puede llegar a representar un problema para nuestro organismo, además de que también va a influir en el sabor del agua. Por este motivo es muy importante que las instalaciones de tratamiento de agua cuenten con un sistema regulador del pH para garantizar la disponibilidad de un agua más alcalina.

Figura 9. Escala de los niveles de pH



Fuente: (waterboards.ca., 2019)

**Figura 10. Análisis del pH**

*Fuente: (Quispe J, 2018)*

### **Ensayo de las jarras**

En estas pruebas se utilizan varias variaciones de la dosis del polímero o de coagulante en la jarra (normalmente de 6 jarras), donde la cual se permite la reducción de los coloides en suspensión y la materia orgánica a través de la floculación, se puede decir que se hace como el proceso unitario de coagulación, floculación y sedimentación, para ajustar el pH de cada muestra hasta llegar a los valores de la floculación que alcanza unos valores de 7.3 a 7.6.

**Figura 11. Prueba de Jarra**



*Fuente: (Navarro, 2021)*

### **Utilidad de la prueba de jarra**

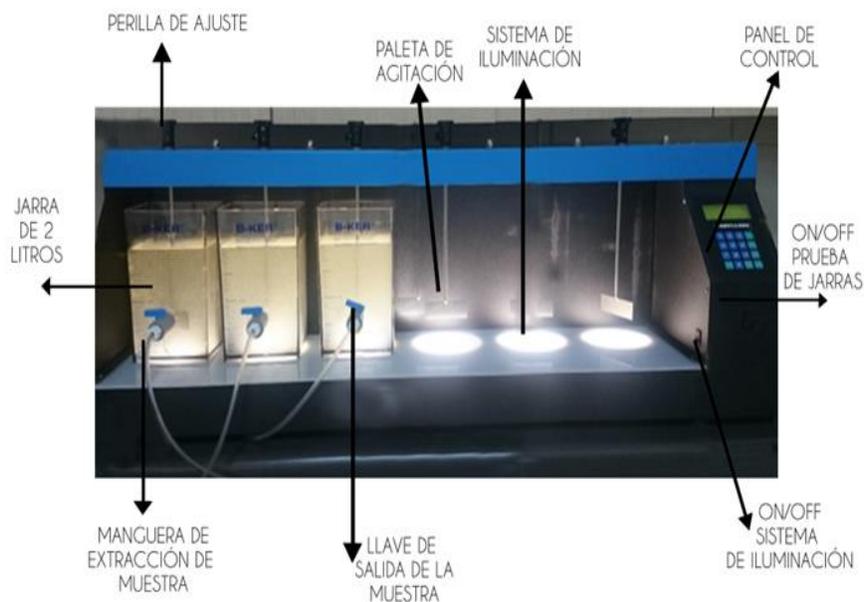
Se Utiliza para determinar la dosis optima de los coagulantes, inicialmente cuando calidad del agua fluctúa rápidamente.

Con este procedimiento se determina a condiciones muy óptimas, pero a pequeñas escalas con el propósito de predecir el funcionamiento a gran escala. (Navarro, 2021)

### **Equipo**

- Este equipo cuenta con 4 o 6 paletas de agitación.
- El volumen siempre será constante de 2 litros.
- Posee una velocidad en todos los recipientes controlada por RPM.
- Obtiene buena iluminación que permite observar los parámetros visuales como la formación de flóculos.
- Este equipo nos permite programar de manera secuencial las tres etapas: mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación. (Navarro, 2021).

**Figura 12. Equipo de la prueba de jarras**



*Fuente: (Navarro, 2021)*

## Ensayo de dureza

Se define como dureza total del agua la cantidad de sales de elementos alcalino-térreos (estroncio, calcio, berilio, bario, magnesio y radio) presentes en el agua y que normalmente son asociados con la génesis de incrustaciones calcáreas, es decir que corresponde con la cantidad de calcio y magnesio existentes en un afluente. Cuando en el agua, además de los iones calcio y magnesio están presentes iones bicarbonato, se pueden generar las incrustaciones calcáreas, factores como el aumento de la temperatura y un pH elevado favorecen asimismo la formación de los mismos. La mayoría de los suministros de agua potable tienen un promedio de 160 mg/l de dureza, cuando se encuentran niveles superiores a 500 mg/l no son aptos para el uso doméstico.

**Tipos de dureza:**

**Dureza temporal**, la cual se determina por el contenido de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio, esta puede ser eliminada por ebullición del agua y posterior eliminación de precipitados formados por filtración.

**Dureza permanente**, la cual es determinada por las sales de calcio y magnesio exceptuando los carbonatos y bicarbonatos, este tipo de dureza no puede ser eliminada mediante ebullición del agua.

**Procedimiento para determinar la dureza**

En el laboratorio, el método frecuentemente más utilizado se conoce como titulación complejométrica con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), análisis donde se toman alícuotas y se acidifican con ácido clorhídrico, posteriormente se hierve la solución, lo cual genera que se elimine el dióxido de carbono de la muestra, tras enfriar, se añaden unas gotas de un indicador ácido base y se neutraliza con hidróxido sódico (NaOH) hasta observar el cambio de color del indicador. Para la determinación de la dureza se mantiene la muestra a pH 10, y se titula con EDTA hasta que se produzca un cambio de color en la disolución. Otros métodos más recientes para la determinación de la dureza del agua en análisis de laboratorio consisten, en el uso de electrodos de membranas líquidas específicas para la dureza del agua donde determinan simultáneamente calcio y magnesio o el uso de cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) con una columna intercambiadora de cationes, este método proporciona por separado la concentración tanto de  $\text{Ca}^{2+}$  como de  $\text{Mg}^{2+}$  (Normas, 2021).

## Ensayo de alcalinidad

La alcalinidad o basicidad del agua, es la medida de la capacidad para neutralizar ácidos. A diferencia del pH, que indica si una solución es un ácido o una base, la alcalinidad expresa cuánto ácido puede absorber una solución sin cambiar el pH. Es esencialmente, la capacidad amortiguadora de una solución. Por lo tanto, las soluciones con baja alcalinidad tienen una menor capacidad de amortiguación y cambian el pH con bastante rapidez cuando se agrega algo ácido.

En las fuentes de agua naturales, la alcalinidad varía según la ubicación geográfica. La geología del área influye directamente en la cantidad de alcalinidad. Los minerales de las rocas y el suelo circundantes son los principales responsables. Por ejemplo, las áreas con una alta frecuencia de piedra caliza tendrán una alcalinidad mucho más alta que las áreas que tienen una alta frecuencia de granito. Al medir la alcalinidad, los resultados se muestran como ppm de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Los iones de hidróxido ( $\text{OH}^-$ ), los iones de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y los iones de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) contribuyen a la alcalinidad del agua (Hannainst., 2020).

**Figura 13. Ensayo de alcalinidad**

*Fuente: (Hannainst., 2020)*

### **Importancia de la medir la alcalinidad**

La alcalinidad es parámetro importante de control en una variedad de industrias. Todo, desde acuarios y acuicultura hasta enchapado y tratamiento de agua, requiere pruebas de alcalinidad. No conocer la alcalinidad del agua en varios campos puede tener consecuencias y resultados desastrosos para el producto final. Vigilar correctamente la alcalinidad puede ahorrar tiempo, materiales y dinero a los usuarios y operadores.

### **Aplicación**

La alcalinidad presente en el agua se mide por titulación con una solución valorada y depende de la concentración de los iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ )

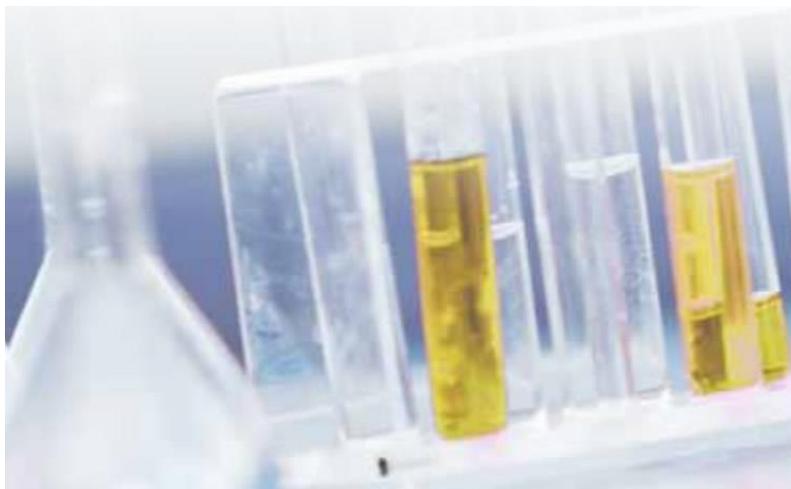
El mini titulador, representa una forma asequible de automatizar las valoraciones de alcalinidad. Cuenta con una bomba dosificadora de precisión que permite detectar el punto final con un electrodo de pH con cuerpo de vidrio. El equipo viene con todos los reactivos necesarios para realizar cada prueba. Los reactivos pre-estandarizados le permiten medir en el intervalo bajo (300 – 400 mg/L CaCO<sub>3</sub>) y el intervalo alto (300 – 400 mg/L CaCO<sub>3</sub>). No hay necesidad de utilizar material de vidrio volumétrico o balanzas analíticas, ya que todos los reactivos vienen preparados y envasados incluyendo las soluciones de titulación valoradas y la solución de calibración de la bomba. Además, este mini titulador también se puede utilizar como medidor de pH (Hannainst., 2020).

### **Determinación del color**

Para determinar el color del agua existen dos métodos; por comparación visual y por método espectrofotométrico. El primero se basa en comparar la muestra con soluciones coloreadas o discos de cristal de color, que han sido calibrados previamente. La coloración del agua se compara visualmente con una serie de patrones de color, que por unidad de medida simulan el color que produce 1 ppm de platino (en forma de cloroplatinato) con determinada cantidad de cobalto añadida, que se utiliza para igualar el matiz del color. Los resultados se expresan como unidades platino cobalto (UPC)

En el segundo caso, el color se determina mediante un espectrofotómetro, instrumento capaz de proyectar a través de la muestra un haz de luz con una longitud de onda única o con un nº de ciertas longitudes de onda, y medir la cantidad de luz que es absorbida o transmitida a través de la muestra. Los resultados obtenidos se comparan con colores estándar establecidos (higieneambiental., 2019).

**Figura 14. Muestra de prueba de color**



*Fuente: (higieneambiental., 2019)*

El color, está relacionado con las sustancias disueltas y las partículas en suspensión que contiene. La medición del color es importante para conocer el nivel de materia orgánica natural que hay en el agua, ya que esta presencia es un factor de riesgo de generación de subproductos nocivos de la desinfección del agua, como, por ejemplo, los trihalometanos (fibrasynormasdecolombia., 2021).

### **Ensayo para determinación del olor**

En general, el olor que se distinga en una fuente hídrica puede ser producido por sustancias volátiles o gaseosas, se genera por presencia de elementos biológicos en putrefacción, ya sean originados o manejados en la producción de tratamiento de aguas. Asimismo, el olor se puede determinar diluyendo la muestra con agua destilada a una temperatura constante de 40 °C hasta llegar al umbral de percepción, este tipo de ensayos son muy subjetivos, preservarse en recipientes a una temperatura entre 2 y 5°C (fibrasynormasdecolombia., 2021)

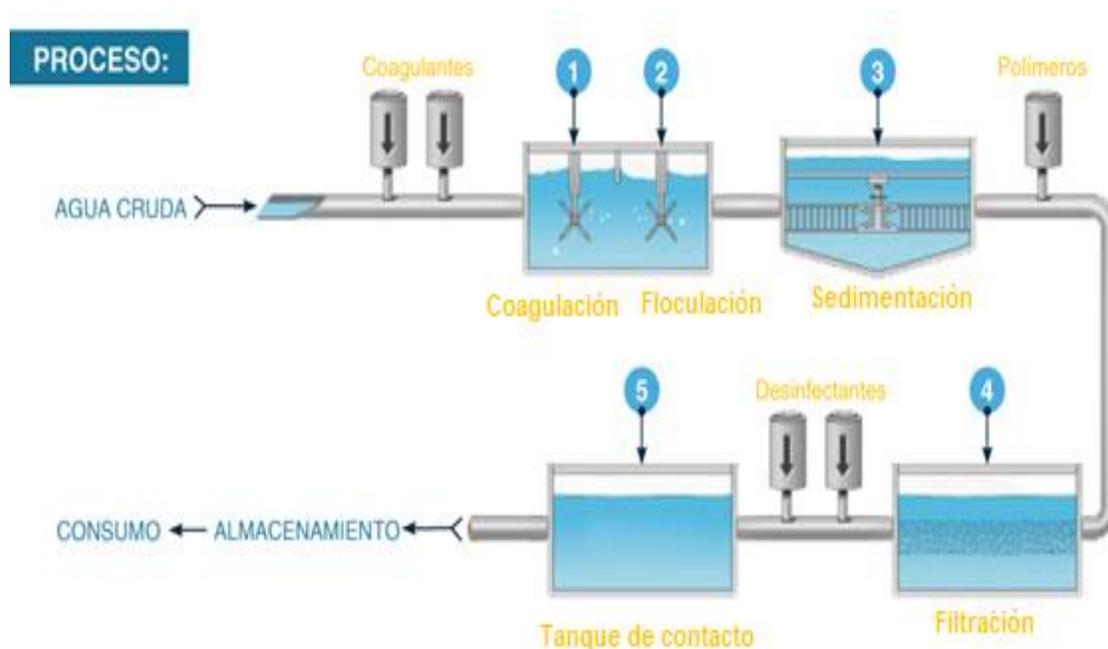
### **Ensayo para determinación del sabor**

Este parámetro se encuentra directamente asociado con el olor dado que presentan respuestas fisiológicas parecidas. Algunas sustancias, como las sales del zinc y del hierro, logran cambiar el sabor, sin afectar el tono del recurso, determinar este parámetro se efectúa en un ensayo similar al ensayo empleado para determinar el olor, se realizan diluciones hasta lograr el umbral de percepción, este tipo de análisis se realizan con modelos que sean saludablemente idóneas para uso de las personas (fibrasynormasdecolombia., 2021).

### **9.3. Procesos más utilizados en las PTAP compactas:**

En esta actividad se identificaron son los tipos de PTAP compactas y los procesos que más se utilizan en Colombia en la producción de agua potable, siendo estos procesos los de coagulación y sedimentación, para posteriormente enviar agua ya tratada hacia los filtros, con tiempos bajos de residencia del recurso en este tipo de plantas.

Figura 15. Procesos para la potabilización en las PTAP compactas.



*Fuentes: (Indostra, 2016)*

**Coagulación:** Esta etapa tiene el principal objetivo de permitir clarificar el agua bruta por medio de una sedimentación posterior. Consiste en aumentar el tamaño de la materia coloidal (arcilla, óxidos metálicos hidratados, bacterias, fibras de pulpa, proteínas, etc.) por medio de una coagulación y una floculación de manera que se formaran unos flóculos cuyo peso superará al del agua y puedan sedimentar (Casero D, 2013).

#### **Floculación:**

Este proceso se lleva a cabo en un módulo dotado de un floculador, que puede ser un agitador mecánico con hélices especialmente diseñadas para promover el movimiento de las partículas sin causar cizallamiento.

### **Sedimentación:**

Las compactas difieren generalmente en función de la necesidad a ser cubierta y el tipo de tratamiento que el recurso requiera, variando fundamentalmente en el tipo de filtración que es un proceso que se le realiza al agua pasándola a través de lechos de materiales granulares (p.ej., arena) que retiran y retienen los contaminantes.

**Los tipos de filtración que se pueden encontrar en las PTAP compactas son los siguientes:**

- A. La filtración convencional:** Es una operación que se realiza después de varias etapas previas de coagulación, floculación, sedimentación donde el agua se pasa a través de filtros rápidos mixtos de manera que las partículas no decantadas se adhieran por sí mismas al material de filtro. Este tipo de filtración no es aplicable PTAP compactas, porque demandan profundidades muy altas.
- B. La filtración directa:** es similar a la filtración convencional, solo que después de agregar el coagulante y de agitar la mezcla, no hay sedimentación y en lugar de esto, las partículas en suspensión son desestabilizadas por el coagulante y así se adhieren con mayor facilidad al material de filtro cuando el agua se pasa por esta unidad.
- C. Filtración lenta:** Se aclara que los sistemas de filtración lenta se tratan en dos a cuatro pies (0,6 a 1,2 metros) de profundidad. Una capa biológicamente activa se forma a lo largo de la superficie superior del lecho de arena, atrapando así partículas pequeñas y degradando algunos contaminantes orgánicos Este tipo de filtración no es aplicable PTAP compactas, porque demandan grandes áreas.

- D. Filtración biológica en arena (Biosand):** Es un sistema de filtración en el punto de uso análogo a la filtración lenta en arena, pero su eficacia está mucho menos establecida que ésta última, pero no aplicable a PTAP compactas.
- E. La filtración con tierra diatomácea:** Usa como material de filtro las conchas fosilizadas de diminutos organismos marinos a través de los cuales se hace pasar el agua sin tratamiento. La tierra filtra físicamente retiene los contaminantes particulados del agua, tampoco es aplicable a PTAP compactas.
- F. Los filtros de cartucho:** Son sistemas sencillos y fáciles de usar que utilizan cartuchos de filamentos para filtrar físicamente la remoción de los coloides, sedimentos y los microorganismos patógenos presentes en el agua clarificada.
- G. Los filtros de cerámica:** Se utilizan principalmente en aplicaciones de punto de uso y de gran aplicación en los países en vías de desarrollo. No aplicable a PTAP compactas.

### 9.3.1 Tipos de PTAP compactas

En las PTAP compactas se clasifican en función de tipo de filtración

- Microfiltración.
- Ultrafiltración.
- Osmosis inversa

### **PTAP compacta más usada en Colombia**

La compacta con un sistema microfiltración, que más se utiliza en Colombia, por el bajo costo y por la sencilla instalación, porque es ideal para la potabilización de aguas que presentan partículas con diámetros superiores a 5 micras, son plantas livianas fabricadas en fibra de vidrio que generan poco consumo eléctrico y químico; la instalación es sencilla haciendo este tipo de plantas ideales para ser instaladas en sectores rurales desde 25 hasta 4.000 habitantes, pueden purificar desde 250 hasta 30.000 litros de agua potable por hora.

**Figura 16. PTAP compacta de microfiltración con capacidad de 7000 l/h.**



*Fuente: (blog.fibrasynormasdecolombia., 2019)*

**Las ventajas que se pueden relacionar con el empleo de membranas de microfiltración en el tratamiento de agua potable son:**

El uso poca energía para realizar el tratamiento, la creación de una barrera absoluta para la remoción microorganismos lo que genera mayor reducción de agentes contaminantes de tipo biológico, menor requerimiento de concentraciones de cloro para la desinfección del recurso, reducción del uso de productos químicos para el tratamiento y menor espacio empleado para la instalación de la planta de tratamiento.

**Desinfección:** Es estas PTAP compacta la desinfección se logra mediante cloro que no solo matan a los microorganismos, sino que deben además tiene un efecto residual, lo que significa que se mantienen como agentes activos en el agua después de la desinfección para prevenir el crecimiento de los microorganismos en las tuberías provocando la recontaminación del agua (lenntech., 2014).

**9.4 Procesos de control de calidad del agua potable en las PTAP compactas:**

**El control de calidad del agua potable:** Es el conjunto de actividades ejercidas en forma continua por el abastecedor y con el objetivo principal de verificar que la calidad del agua suministrada a la población cumpla con la normatividad, por se debe realizar un control de la calidad a través de monitoreo continuo, en la cual se verifica un análisis físico químicos y microbiológicos, También se debe ejecutar inspecciones sanitarias a los sistemas de abastecimiento iniciando desde la fuente hasta el usuario además de realizar buenas prácticas en el control operacional.

Asimismo, se debe adquirir equipos de análisis que permitan llevar un control de calidad en todo el sistema, es decir, conocer el estado del recurso antes, durante y después del proceso de

potabilización; con esto se debe buscar y dar mejores garantías de la calidad del agua tratada. Los parámetros mínimos que deben ser medidos son pH, turbiedad, color, alcalinidad y la realización de ensayos de jarras y desinfección para determinar las características del agua.

### 9.5. Normatividad colombiana vigente en los procesos de potabilización del agua:

La Resolución de 2115 del 2007 es la norma colombiana vigente que establece los valores admisibles de los parámetros de control físico, químicos y microbiológicos tanto para plantas convencionales como para PTAP compactas, que en este apartado se transcribe literalmente los principales artículos.

En el artículo 2 presenta específicamente lo siguiente:

Tabla 7. Características Físicas

## CAPÍTULO II

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

**ARTÍCULO 2º.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.** El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación:

Cuadro Nº. 1 Características Físicas

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

*Fuente: (SOCIAL, M. D)*

**Figura 17. Características Físicas.**

**ARTÍCULO 3°.- CONDUCTIVIDAD.** El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm. Este valor podrá ajustarse según los promedios habituales y el mapa de riesgo de la zona. Un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50% en el agua de la fuente, indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia debe ser investigada de inmediato por las autoridades sanitaria y ambiental competentes y la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano.

**ARTÍCULO 4°.- POTENCIAL DE HIDRÓGENO.** El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.

**ARTÍCULO 5°.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SUSTANCIAS QUE TIENEN RECONOCIDO EFECTO ADVERSO EN LA SALUD HUMANA.** Las características químicas del agua para consumo humano de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias que al sobrepasar los valores máximos aceptables tienen reconocido efecto adverso en la salud humana, deben enmarcarse dentro de los valores máximos aceptables que se señalan a continuación:

*Fuente: (SOCIAL, M. D)*

Tabla 8. Características químicas

**Cuadro N°. 2 Características Químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana**

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN <sup>-</sup>	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

**PARÁGRAFO.** Si los compuestos de trihalometanos totales o los de hidrocarburos policíclicos aromáticos señalados en el cuadro N°.2, exceden los valores máximos aceptables, es necesario identificarlos y evaluarlos, de acuerdo al mapa de riesgo y a lo señalado por la autoridad sanitaria.

*Fuente: (SOCIAL, M. D)*

Tabla 9. Características Química

**ARTÍCULO 6°.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SUSTANCIAS QUE TIENEN IMPLICACIONES SOBRE LA SALUD HUMANA.** Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana se señalan en el siguiente cuadro:

**Cuadro N°. 3 Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana**

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono Orgánico Total	COT	5,0
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10
Fluoruros	F <sup>-</sup>	1,0

*Fuente: (SOCIAL, M. D)*

Tabla 10. Características Químicas.

**PARÁGRAFO.** Cualquier incremento en las concentraciones habituales de Carbono Orgánico Total – COT – debe ser investigado conjuntamente por la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano y la autoridad sanitaria, con el fin de establecer el tratamiento correspondiente para su reducción.

**ARTÍCULO 7º.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS QUE TIENEN CONSECUENCIAS ECONÓMICAS E INDIRECTAS SOBRE LA SALUD HUMANA.** Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos y compuestos químicos que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud se señalan a continuación:

**Cuadro N°. 4 Características Químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana**

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO <sub>3</sub>	200
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Aluminio	Al <sup>3+</sup>	0,2
Dureza Total	CaCO <sub>3</sub>	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,5

*Fuente: (SOCIAL, M. D)*

Tabla 11. Características Microbiológicas

## CAPÍTULO III

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

**ARTÍCULO 10º.- TÉCNICAS PARA REALIZAR ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.** Las técnicas aceptadas para realizar los análisis microbiológicos del agua para consumo humano son las siguientes:

- a) **PARA ESCHERICHIA COLI Y COLIFORMES TOTALES:** Filtración por membrana, Sustrato Definido, enzima sustrato y presencia - ausencia.

Se podrán adoptar otras técnicas y metodologías debidamente validadas por el Instituto Nacional de Salud - INS - o éste realizará una revalidación con base en documentos soporte de organismos internacionales que presenten los solicitantes.

- b) **PARA GIARDIA Y CRYPTOSPORIDIUM:** Las técnicas y metodologías de análisis para estos microorganismos deben ser validadas por el Instituto Nacional de Salud – INS - o revalidadas por éste con base en documentos soporte de organismos internacionales que presenten los solicitantes.

**ARTÍCULO 11º.- CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS.** Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm<sup>3</sup> de muestra:

Cuadro N°.5 Características microbiológicas

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>

*Fuente: (SOCIAL, M. D)*

### Figura 18. Características Microbiológicas.

**PARÁGRAFO 1.** Como prueba complementaria se recomienda realizar la determinación de microorganismos mesofílicos, cuyo valor máximo aceptable será de 100 UFC en 100 cm<sup>3</sup>.

**PARÁGRAFO 2.** Ninguna muestra de agua para consumo humano debe contener E.coli en 100 cm<sup>3</sup> de agua, independientemente del método de análisis utilizado.

**PARÁGRAFO 3.** El valor aceptable para Giardia es de cero (0) Quistes y para Cryptosporidium debe ser de cero (0) Ooquistes por volumen fijado según la metodología aplicada.

**ARTÍCULO 12º.- OTRAS CONSIDERACIONES MICROBIOLÓGICAS.** Además de las características señaladas en el artículo anterior, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) A partir de la entrada en vigencia de la presente Resolución, para la implementación de la técnica de análisis de Giardia y Cryptosporidium se tendrá en cuenta el tamaño del sistema de suministro y los plazos estipulados en el cuadro N°.16 del artículo 34º de la presente Resolución.
- b) De acuerdo con el mapa de riesgo, las autoridades ambientales en cooperación con las autoridades sanitarias y las personas prestadoras de la jurisdicción, realizarán la investigación para verificar la presencia de otros microorganismos patógenos en el agua y la viabilidad de establecer otros indicadores. Si se demuestra la presencia de microorganismos patógenos, las autoridades incorporarán en el mapa de riesgo, sus hallazgos y las acciones a seguir.

*Fuente: (SOCIAL, M. D)*

## 8.6. Verificación del cumplimiento de la normatividad vigente en Colombia en el proceso de potabilización en las PTAP Compactas:

Se realizó una comparación entre la Resolución 2115 de 2007 y el Decreto 475 de 1998, para comparar cuales eran los rangos de cada uno de los límites máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua.

Se plantea la comparación de los rangos establecido por el decreto 475 de 1998 y la resolución 2115 del 2007, ya se es no para tener presente hasta que rango o límites máximos permisibles podemos llevar los valores de los parámetros ya sean fisicoquímico y microbiológico del agua, esto se debe realizar con el motivo de que al agua sea potable y consumida por los

usuarios (personas) para brindar salud en la comunidad, ya que el cuerpo humano resiste a ciertos compuestos químicos.

En la siguiente tabla 12, se presentan los límites máximos que se pueden tener presente en el momento de potabilizar el agua por medio de la planta compacta.

**Tabla 12. Límites máximos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua potable.**

<b>Parámetro</b>	<b>Decreto 475 de 1998</b>	<b>Resolución 2115 de 2007</b>
Turbiedad, UNT	5	2
Color aparente, UPC	15	15
Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$	50 - 1000	1000
pH	6,5 - 9	6,5 - 9
Alcalinidad, $\text{CaCO}_3$	100	200
Cloruro, Cl	250	250
Aluminio Residual, $\text{Al}^{3+}$	0,2	0,2

*Fuente: (SOCIAL, M. D)*

En la Tabla 12, se puede observar que estos son los parámetros permisibles que se debe tener en cuenta, a la hora de realizar un laboratorio o ensayo de dichos parámetros, ya que estos valores de los rangos que se deben tener en cuenta para que cumplan con el decreto 475 de 1998 y la resolución 2115 del 2007.

## 10. Conclusiones

En la evaluación de los procesos de control de calidad del agua en compactas, como son las características fisicoquímicos y microbiológicas de las muestras de agua se concluye; que los resultados de las diferentes investigaciones acerca de los procesos de coagulación , floculación y sedimentación dan lugar a un agua de calidad aceptable, en cuanto a la estabilización de pH, remoción de las partículas disueltas presentes en el agua y la formación de floculos grande y denso, lo que nos permite pronosticar que la calidad del agua después de que se efectúen los procesos de filtración y desinfección va a ser la adecuada de acuerdo con el rango establecido en relación con las características que debe tener el agua potable.

Para la determinación los procesos de potabilización agua potable mediante plantas compactas, se concluye que para las dosificaciones óptimas de materiales químicos en los procesos de coagulación, floculación y desinfección para el diseño del sistema de plantas compactas, se llevaron a cabo la realización de ensayos de laboratorio; a partir de ensayos de jarras se determinó el coagulante adecuado, los resultados obtenidos por medio de las diferentes investigaciones estudiadas, se determinó que el sulfato de aluminio presenta mayor eficiencia a la hora de la coagulación del agua en las plantas compactas.

Se concluye en nuestra investigación en cuanto a la verificación del cumplimiento de la normatividad vigente en colombiana en el proceso de potabilización de las plantas compactas. Actualmente en Colombia se rige de algunas normas vigentes para el control y calidad del agua de las plantas compactas (Normas, resoluciones y decretos), algunas de estas son: la resolución 2115 del 2007, el decreto 475 de 1998, el decreto 1575 de 2007 y el decreto 2105 del 26 de Julio de 1983. Los decretos mencionados anteriormente se rigen en Colombia.

En la elaboración del documento producto de la revisión bibliográfica, se llegó a la conclusión que todas estas investigaciones estudiadas fueron de mucha ayuda e importancia, porque nos brindaron mayores conocimientos de los estudios realizados en los procesos de potabilización en plantas compactas en Colombia. Asimismo, se evaluó todas las informaciones recolectadas de los estudios investigados para darle cumplimiento a los objetivos específicos de nuestra investigación y se clasificó cual son los procesos de control de calidad del agua. Por otro lado, se determinó cuáles eran los procesos más utilizados en la potabilización de agua potable mediante plantas compactas, por lo que en este tipo de plantas funciona muy diferentes a las plantas convencionales.

## 11. Bibliografías

2115, r. (22 de junio de 2007). *social, m. d.* obtenido de social, m. d:

<http://www.confia.com.co/normatividad/resolucion%202115%20de%20200>

aqua-free. (2019). *aqua-free*. obtenido de aqua-free: <https://www.aqua-free.com/es/revista/unvistazo-sobre-los-diferentes-tipos-de-filtracion>

borda, .. &. (12 de 12 de 2020). caracterización de los niveles de subproductos mayoritarios de la cloración en muestras de agua potable. *sena.edu.*, 1-16.

borràs, x. (2010). *interempresas*. obtenido de interempresas:

<https://www.interempresas.net/agua/articulos/45745-sustancias-para-el-tratamiento-de-aguas-para-el-consumo-humano.html>

cabrerizo, j. m. (2015). *diseño e implatacion de una estacion de tratatamiento de agua potable (e.t.a.p)*.

cabrerizo, r. (2015). diseño e implantación de una estacion de tratamiento de agua potable (e. t.a. p.). *universidad de cádiz*, 1-323.

camacho, n. c. (2011). tratamiento de agua para consumo humano. *revistas.ulima.edu.pe*, 18.

casero d, &. c. (2013). estación compacta de tratamiento de agua potable. *repository.usta*, 1-113.

díaz r, &. d. (2021). las plantas potabilizadoras en el río sonora: una revisión de la recuperación del desastre. *scielo.*, 1-25.

- fibrasynormasdecolombia. (2021). *fibrasynormasdecolombia*. obtenido de  
fibrasynormasdecolombia.: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/parametros-en-laboratorio-para-indicar-la-calidad-del-agua/>
- flórez, j. m. (5 de 10 de 2010). *revistas.unal.edu.co*. obtenido de  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133#:~:text=coagulaci%C3%B3n%20es%20el%20proceso%20de,coloides%20cargados%20negativamente%20%5B14%5D>.
- galvis. (2019). coagulantes naturales de origen vegetal. *monografias*, 1-21.
- hannainst. (2020). *hannainst*. obtenido de hannainst.: <https://hannainst.com.mx/boletines/por-que-medir-la-alcalinidad-en-el-agua-potable/>
- higieneambiental. (19 de 04 de 2019). *higieneambiental*. obtenido de higieneambiental.:  
<https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad>
- j, c. (2010). clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio water clarification using polymerized coagulants: aluminum hydroxychloride case. *revistas.unal.*, 1-12.
- lenntech. (2014). *lenntech*. obtenido de lenntech.:  
<https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/que-es-desinfeccion.htm>
- navarro, n. (2021). *isa.ec*. obtenido de <https://isa.ec/prueba-de-jarras/>
- normas, f. y. (2021). *fibras y normas de colombia s.a.s*. obtenido de fibras y normas de colombia s.a.s: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/coagulacion-floculacion-definicion/>

noticias.medsbla. (2019). *noticias.medsbla*. obtenido de noticias.medsbla:

<https://noticias.medsbla.com/noticias-medicas/neurologia-neurocirugia/test-de-olor-no-semantic-mejora-la-deteccion-de-parkinson-y-alzheimer/>

perez, j. a. (1981). *manual de tratamiento de aguas*. medellin.

propia. (16 de 03 de 2021).

ras. (2000). *sistemas de acueducto*. obtenido de

<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>

romero. (2015). *calidad del agua*.

sampayo c, & f. (2018). determinacion preliminar de productos secundarios de cloracion (spd), en guas crudas del rio magdalena tratadas con coagulantes naturales y sinteticos.

*unipamplona*.

solís. (2016). “*diseño de planta compacta para la potabilización de agua de río, utilizando técnicas y recursos económicos para la parroquia san plácido, cantón portoviejo*”.

guayaquil – ecuador: repositorio.ug.edu.

torres., q. &. (2018). *diseño de un sistema automatizado de dosificación de cloro para mejorar la calidad de agua potable en el sistema de abastecimiento de la comunidad la planta-paijan-la libertad*. universidad nacional de trujillo. trujillo-peru: dspace.unitru.edu.pe.

vargas l, &. b. (2015). desinfección. en &. b. vargas l, *ingenieroambiental* (págs. 1-61).

<http://www.ingenieroambiental.com/4014/diez.pdf>.

