

**SISTEMAS DE PLANTAS TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
PARA GESTIONAR EN LA ZONA RURAL DE COLOMBIA**

MARÍA DE LOS ÁNGELES NOVA ACEVEDO

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y
QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, junio 17 de 2020

**SISTEMAS DE PLANTAS TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
PARA GESTIONAR EN LA ZONA RURAL DE COLOMBIA**

MARIA DE LOS ANGELES NOVA ACEVEDO

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de
INGENIERA QUÍMICA**

Directora: SONIA ESPERANZA REYES GÓMEZ

Doctora en Ciencia e Ingeniería de Materiales

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y
QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

Pamplona, junio 17 de 2020

GLOSARIO

Agua cruda: Agua que no ha sido sometida a un proceso de tratamiento para su potabilización

Agua potable o tratada: Es aquella que cumple las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el Decreto 1575 del 2007, y es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.

Calidad del agua: Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.

Ensayo de tratabilidad: Son los estudios efectuados a nivel de laboratorio o de planta piloto, a una fuente de abastecimiento específica, para establecer el potencial de aplicación de un proceso de tratamiento.

IRCA: Índice de riesgo de la calidad del agua.

PTAP: Planta de tratamiento de agua potable.

SSPD: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN	2
3.	OBJETIVOS	3
3.1	OBJETIVO GENERAL	3
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
4.	AGUA POTABLE EN COLOMBIA	4
4.1	NORMATIVIDAD PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	4
4.1.1	Resolución 2115 de 2007.....	4
4.1.2	Decreto 475 de 1998.....	7
4.1.3	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 ...	9
4.2	FUENTES DE AGUA	12
4.2.1	Fuente Superficial.	13
4.2.2	Aguas subterránea.	13
4.2.3	Agua atmosférica; Agua pluvial.....	13
4.3	TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PARA EL DISEÑO DE PTAP	14
4.3.1	Planta convencional.....	14
4.3.2	Filtración en múltiples Etapas.....	14
4.3.3	Filtración Directa.....	14
4.3.4	Filtración en Línea.....	14
4.3.5	Planta compacta.	14
4.4	METODOLOGÍA.....	15
4.4.1.	Inventario y/o Búsqueda de documentos.....	15
4.4.2	Definición de estrategia	15
4.4.3	Aplicación de la estrategia.	17
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	28
5.1	TIPOS DE PTAP EN RELACIÓN CON TURBIDEZ Y TIPO DE FUENTE	28
5.2	DOCUMENTOS VS NORMA (RAS 2000).....	29
5.3	TIPO DE FUENTE VS CALIDAD DE LA FUENTE.....	31
5.4	PRODUCTOS QUÍMICOS APLICADOS	32
6.	CONCLUSIONES	33
7.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	34
8.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas.....	4
Tabla 2. Valor aceptable para sustancias que tienen un efecto adverso a la salud humana.	4
Tabla 3. Valor aceptable de elementos que tienen implicaciones sobre la salud humana.	5
Tabla 4. Compuestos y elementos químicos que tienen implicaciones de tipo económico.	5
Tabla 5. Otras Características para el control de agua potable.	5
Tabla 6. Características microbiológicas.....	6
Tabla 7. Valores de riesgo del IRCA.	6
Tabla 8. Tiempo y número de muestras químicas a realizar según el número de la población. 8	
Tabla 9. Tiempo y número de muestras microbiológicas a realizar según el número de la población.	8
Tabla 10. Matriz empleada para la clasificación de documentos.	16
Tabla 11. Matriz de los parámetros técnicos y biofísicos de plantas de tratamiento de agua potable encontrados. Fuente: Autor	18
Tabla 12. Comparación del nivel de calidad de la fuente reportada por el RAS 2000 con respecto a los documentos encontrados.	29
Tabla 13. Procesos de tratamiento de los documentos que no cumplen con la norma.	30
Tabla 14. Sub-parámetros reportados de la calidad de la fuente en cada documento.....	32

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Calidad de la fuente.	10
Ilustración 2. Normas técnicas colombianas.	11
Ilustración 3 Normas técnicas ASTM.	12
Ilustración 4. El ciclo del agua.....	13
Ilustración 5. Tipo de PTAP (según los procesos realizados en ella) en relación con el número de habitantes.	28

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo, el 70% de la superficie terrestre está ocupada por agua y puede ser encontrada en sus tres estados: sólido, líquido y gas, pero no toda el agua del planeta está disponible para uso humano; el 97% está en los océanos y es salada y del 3% restante, una parte está congelada, otra contaminada o es inaccesible para ciertas sociedades. Además, en América Latina y el Caribe hay abundancia de agua con respecto a otras regiones, pero también existe una mala gestión de la misma (Montoya, 2016).

El Artículo 41 del Decreto 1541 de 1978 especifica que existe una priorización con respecto a la concesión del agua en Colombia, siendo prioridad la utilización para el consumo humano, colectivo o comunitario, sea urbano o rural, seguido de las necesidades domésticas individuales, uso agropecuario y quedando por último la generación de energía eléctrica, uso; industrial, minero y recreativo, en ese orden. Aun así, se observan irregularidades en la concesión y esto debido al afán de muchos por el lucro, entregando fuentes de agua al uso para la explotación de otros recursos sin tener en cuenta la primacía de la comunidad.

Es importante que cada persona tenga acceso al consumo de agua potable o prestación de un buen servicio de abastecimiento, debido a que influye de forma directa en la salud evitando enfermedades relacionadas con la misma (Torres Parra *et al.*, 2017). Por tanto, el derecho a la vida y la salud están siendo amenazados por falta del saneamiento de este preciado líquido en ciertas zonas de Colombia, correspondiendo principalmente a la zona rural, ya que no se dispone de estos servicios.

Las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) son diseñadas con el fin de prestar un servicio a una comunidad, captando agua cruda (definida por el Decreto 2115 de 2007 como aquella que no ha sido sometida a un proceso de tratamiento para su potabilización), y por medio de algunas operaciones y procesos hacerla apta para el consumo, modificando ciertos parámetros los cuales están establecidos actualmente en la Resolución 2115 del 2007.

2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) se estima un total de 48.258.494 millones de habitantes en el país, en el cual el 22,9 % de la población hace referencia a centros poblados y rurales dispersos y según este mismo más del 60% de esta población no tiene acceso a acueducto o sistema de tratamiento de agua potable para consumo humano. En algunos casos se presentan construcciones de plantas PTAP en zonas rurales a las que no se les está dando el uso adecuado, debido principalmente a factores económicos, desconocimiento de la tecnología implementada y factores sociales y ambientales (Varón, 2014).

Cabe destacar que el mantener un acueducto comunitario rural funcionando correctamente es bastante complejo (Correa, 2006) debido a las vulnerabilidades de estos sistemas, no solo de lo técnico (referido a la eficiencia de la operación), sino de la vulnerabilidad institucional (con respecto al acceso al agua y a la economía) y organizacional (jerarquía) (García, Brown & García, 2015), además de las vulnerabilidades que este pueda tener en cuanto los desastres naturales y/o a los cambios climáticos de los cuales no están listos para afrontar (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja, n.d.).

Teniendo en cuenta lo mencionado, este proyecto iniciará con la revisión bibliográfica de documentos que cuenten con un tiempo límite de los últimos 10 años, seguido de una clasificación y organización para obtener un documento que pueda servir de referencia en la gestión de agua potable en las zonas rurales de Colombia, analizando parámetros y categorías como: inversión económica y mantenimiento de la planta, características del agua cruda, tecnología de tratamiento, etc.

Este documento tiene como propósito recomendar la selección de la mejor tecnología para la construcción de acueductos rurales con el fin de evitar el abandono de las plantas, el cual es un problema muy recurrente. Además, de ser de aporte para las futuras investigaciones en el que se trabaje el diseño y construcción de PTAP.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar y evaluar diseños de plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) que puedan ser implementados en zonas rurales.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer una matriz para evaluar ciertos parámetros (inversión económica y mantenimiento de la planta, características del agua cruda, tecnología de tratamiento, disposición de terreno y número de habitantes) de la información encontrada sobre las PTAP rurales.
- Analizar y determinar cuáles alternativas de diseño de PTAP pueden ser implementadas en zonas rurales de Colombia teniendo en cuenta los parámetros establecidos.

4. AGUA POTABLE EN COLOMBIA

4.1 NORMATIVIDAD PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

4.1.1 Resolución 2115 de 2007. En esta normativa se encuentran las características o parámetros físicos, químicos y microbiológicos con sus respectivos límites o valores aceptables que se deben tener bajo un sistema de control y vigilancia en cuanto a la calidad del agua para consumo humano.

En la Tabla 1 se observan las características físicas tales como color, olor, sabor y turbiedad. Estos parámetros son determinados por el operador de la planta o el laboratorista.

Tabla 1. Características físicas.

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

Fuente: Resolución 2115 de 2007.

Las características químicas se expresan en las tablas 2, 3 y 4, correspondiendo a sustancias que tienen un efecto adverso a la salud humana, implicaciones sobre la salud y elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico respectivamente.

Tabla 2. Valor aceptable para sustancias que tienen un efecto adverso a la salud humana.

Elementos, compuestos y mezclas químicas	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	0,05
Cobre	Cu	1
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

Fuente Resolución 2115 de 2007.

Tabla 3. Valor aceptable de elementos que tienen implicaciones sobre la salud humana.

Elementos, compuestos y mezclas químicas	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono Orgánico Total	COT	5
Nitritos	NO ²⁻	0,1
Nitrato	NO ³⁻	10
Fluoruros	F ⁻	1

Fuente Resolución 2115 de 2007.

Tabla 4. Compuestos y elementos químicos que tienen implicaciones de tipo económico.

Elementos y compuestos químico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Aluminio	Al ⁺³	0,2
Dureza Total	CaCO ₃	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0,5

Fuente Resolución 2115 de 2007.

En la tabla 5 se aprecian los valores residuales de los coagulantes más empleados, en el caso de usar otros coagulantes se debe consultar las Guías de la Calidad de Agua vigentes de la Organización Mundial de la Salud y adoptadas por el Ministerio de la Protección Social.

Tabla 5. Otras Características para el control de agua potable.

Características	Expresada como	Valor aceptable
Conductividad	μS	1000 microsiemens/cm
Potencial de Hidrogeno	pH	6,5 y 9,0.
Aluminio residual	Al ⁺³	0,2 mg/L
Coagulante residual de sales de hierro		0,3 mg/L.

Fuente Resolución 2115 de 2007.

Tabla 6. Características microbiológicas.

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

Fuente: Resolución 2115 de 2007.

En la presente resolución también se muestra el valor de riesgo para las características físicas, químicas y microbiológicas mostradas en la tabla 7 y el cálculo del IRCA correspondiendo al índice de riesgo de la calidad del agua para una muestra de agua potable.

Tabla 7. Valores de riesgo del IRCA.

Características	Valor de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro total	1,5
Cloruros	1

Fuente: Resolución 2115 de 2007.

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a todas las características analizadas}} * 100$$

El % del IRCA debe ser realizado por la persona prestadora del servicio y mensualmente reportado al SUI (Sistema Único de Información) de acuerdo a los plazos establecidos del SSPD. De las muestras de vigilancia tomadas por la autoridad sanitaria de los municipios categoría 1, 2 y 3 se calcularán los IRCAs y serán reportados a la autoridad sanitaria departamental de su jurisdicción.

Si el valor del IRCA es de 0-5 el agua es apta para el consumo y se debe continuar con el control y la vigilancia, si el valor es de 5,1 a 35 el riesgo esta entre bajo y medio y no es apta para el consumo y se debe informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador, además se debe gestionar el mejoramiento directamente por la persona prestadora.

El valor de riesgo es alto si esta entre 35,1 y 80 y además de informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD, el gestionamiento para el mejoramiento de esta agua debe ser en conjunto de la persona prestadora y los alcaldes y gobernadores.

El agua no es apta para el consumo y el mejoramiento de esta debe ser realizado por las entidades de orden nacional si se encuentra en un porcentaje de entre 80 y 100.

4.1.2 Decreto 475 de 1998. En este decreto se expiden normas técnicas de calidad del agua potable para cumplirse en cualquier punto de la red de distribución de un sistema de suministro de agua potable.

Teniendo en cuenta que en el presente proyecto se plantea el estudio de acueductos rurales y no urbanos, se dispondrá a presentar la información de este decreto para una población de menos de 5000 habitantes.

Las personas que prestan el servicio público de acueducto, son las responsables del cumplimiento de las normas de calidad del agua potable establecidas, y deben garantizar la calidad del agua potable, en toda época y en cualquiera de los puntos que conforman el sistema de distribución.

Toda persona que preste el servicio público de acueducto, llevará un libro o registro de control de calidad actualizado, que contenga, como mínimo la siguiente información:

- Cantidad de agua captada
- Cantidad de agua suministrada
- Resultados de los análisis organolépticos, microbiológicos, físicos y químicos del agua, de acuerdo con los requerimientos mínimos señalados en el presente decreto.
- Los valores exigidos en los artículos 21, 22, 26 y 28 del presente decreto.
- Cantidad de productos químicos utilizados, desinfectantes, alcalinizantes y otros

Cabe mencionar que las autoridades de salud del distrito o municipio pueden pedir la información mencionada anteriormente para analizarla y tomar las medidas del caso en desarrollo de sus funciones de vigilancia.

En la red de distribución de todo sistema de suministro de agua las personas que prestan el servicio público de acueducto, deberán practicar, como mínimo, los siguientes análisis organolépticos y físico-químicos: pH, color, olor, sustancias flotantes, turbiedad, nitritos, cloruros, sulfatos, hierro total, dureza total y cloro residual libre, cuando éste se utilice como desinfectante y serán sujetos a las reglas mostradas en la tabla 8:

Tabla 8. Tiempo y número de muestras químicas a realizar según el número de la población.

Número de habitantes	Número mínimo de muestras por mes	Intervalo máximo de muestras a analizar
Menos de 2.500	2	quincenal
2.501 a 12.500	8	4 días

Fuente. Decreto 475/98.

El número de muestras para el control de la calidad del agua en análisis microbiológico que deben tomarse en la red de distribución de todo Sistema de Suministro de Agua, deberá corresponder a la población servida, tal como se establece en la tabla 9:

Tabla 9. Tiempo y número de muestras microbiológicas a realizar según el número de la población.

Población servida	Número mínimo de muestras por mes	Intervalo máximo entre muestras consecutivas de 25 a 1000 mensual
1.001 a 2.500	2	Quincenal
2.501 a 3.300	3	cada 10 días
3.301 a 4.100	4	1 semanal
4.101 a 5.800	6	c/15 días

Fuente. Decreto 475/98.

ARTICULO 50. Toda persona natural o jurídica que realice diseños o estudios para un sistema de suministro de agua, deberá incluir en éstos los riesgos y peligros potenciales, mediante un análisis de vulnerabilidad.

ARTICULO 51. Toda persona que preste el servicio público de acueducto, deberá tener un plan operacional de emergencia basado en análisis de vulnerabilidad que garantice medidas inmediatas en el momento de presentarse aquella, evitando a toda costa riesgos para la salud.

ARTICULO 52. En los planes operacionales de emergencia será prioritario tener en cuenta los riesgos de mayor probabilidad indicados en los análisis de vulnerabilidad.

ARTICULO 53. El personal que trabaje en los sistemas de suministro de agua, debe estar capacitado para actuar en situaciones de emergencia.

ARTICULO 54. Al declararse estados de emergencia en materia de suministro de agua, los medios alternativos deberán cumplir al menos con las normas sobre calidad del agua segura establecidas en este decreto.

ARTICULO 55. En caso de comprobarse el estado de emergencia, las autoridades de salud de los distritos o municipios y las Dirección Departamentales de Salud, según el caso, podrá solicitar la suspensión del servicio público de acueducto, con el fin de tomar las medidas correctivas necesarias, para evitar riesgos en la salud de la población.

4.1.3 Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 En esta norma se establece lo que se debe tener en cuenta para el diseño de una planta de tratamiento de agua potable, desde los parámetros de calidad de la fuente hasta el tratamiento y diseño de cada elemento de la planta.

4.1.3.1 Calidad de la fuente. La calidad de la fuente de la que se dispone debe ser determinada tanto en épocas de lluvia como periodo seco (caracterización de la fuente por mínimo 1 año). En la ilustración 1 se presenta la clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros mínimos de análisis físico- químico y microbiológico, y el grado de tratamiento asociado (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

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, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos especificos

Ilustración 1. Calidad de la fuente.

Fuente: RAS 2000.

4.1.3.2 Estudios de tratabilidad. Para determinar si la fuente es adecuada para el consumo y establecer algún tipo de tecnología de planta se debe realizar entre otros análisis; la prueba de jarras ya que con esta se analizará las dosificaciones de los productos químicos, necesidad de mezcla y floculación, velocidad de filtración, tiempos de contacto, entre otros aspectos. Además de los criterios básicos de diseño para la planta a escala real.

La prueba de jarras no solo debe realizarse para diseño, sino también diariamente, durante la operación de la planta, y cada vez que se presenten cambios en la calidad del agua.

Este procedimiento debe realizarse de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC 3903, su objetivo básico es la determinación de los coagulantes y auxiliares de coagulación (metálicos o prepolimerizados), sus dosis óptimas, secuencia de adición de los mismos para una turbiedad, un color, un pH, una temperatura, una alcalinidad y una dureza dados. Estas pruebas deben repetirse no menos de 10 veces para distintas condiciones del agua cruda.

4.1.3.3 Normas técnicas para realizar las pruebas de los parámetros exigidos. Los análisis de laboratorio deben realizarse de acuerdo con métodos estándar reconocidos nacional e internacionalmente y los muestreos de acuerdo con las Normas NTC-ISO 5667. A continuación, se observa una lista de las normas más conocidas con la que se pueden determinar los parámetros del agua y cuál implementar es decisión exclusiva del laboratorio.

GTC 2	Manual de métodos analíticos para el control de calidad del agua
GTC 25	Técnicas generales de muestreo para estudios biológicos
GTC 30	Guía para el monitoreo de aguas subterráneas
GTC 31	Guía para la realización de pruebas de toxicidad (bioensayos) en organismos acuáticos
NTC 531	Rev. 5. Productos químicos para uso industrial. Sulfato de Aluminio
NTC 897	Agua. Determinación del contenido de sólidos
NTC 925	Rev. 2. Productos químicos para uso industrial. Cloro Líquido.
NTC 1312	Agua Potable. Determinación de cianuro
NTC 1398	Rev. 3. Productos químicos para uso industrial. Cal viva y Cal hidratada.
NTC 1454	Agua Potable. Determinación de boro
NTC 1460	Agua Potable. Determinación del selenio
NTC 1847	Rev. 3. Tratamiento de aguas, Hipoclorito de calcio y de sodio.
NTC 2753	Permanganato de potasio
NTC 2572	Aguas. Medios filtrantes utilizados en el tratamiento de aguas
NTC 3362	Agua. Determinación de aceites y grasas
NTC 3498	Agua. Determinación de la radioactividad
NTC 3629	Agua. Demanda Química de Oxígeno (DQO)
NTC 3630	Agua. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
NTC 3645	Agua. Determinación de la temperatura
NTC 3651	Agua. Método para la determinación del pH en el agua.
NTC 3699	Poliaminas EPI-DMA para el tratamiento de aguas
NTC 3705	Gestión Ambiental. Agua. Medición de flujo de agua en canal abierto con vertedero de placa fina.
NTC 3903	Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación-floculación del agua.
NTC 3933	Agua. Método estándar para medición de flujo de agua en canal abierto con canaletas Parshall.
NTC 3945	Agua. Método estándar para medición de flujo en canal abierto mediante elementos rotativos Molinetes.
NTC 3976	Productos químicos para uso industrial, . Cloruro ferro líquido
NTC 4117	Desinfección de plantas para tratamiento de aguas
NTC 4168	Productos químicos. Sulfato Cúprico.

Ilustración 2. Normas técnicas colombianas.

Fuente: RAS 2000.

D 511	Test Methods for Calcium and Magnesium in Water
D 512	Test Methods for Chloride Ion in Water
D 516	Test Methods for Sulfate Ion in Water
D 596	Practice for Reporting Results of Analysis of Water
D 857	Test Methods for Aluminum in Water
D 858	Test Methods for Manganese in Water
D 888	Test Methods for Dissolved Oxygen in Water
D 1067	Test Methods for Acidity or Alkalinity of Water
D 1068	Test Methods for Iron in Water
D 1125	Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water
D 1126	Test Methods for Hardness in Water
D 1179	Test Methods for Fluoride in Water
D 1246	Test Methods for Bromide Ion in Water
D 1252	Test Methods for Chemical Oxygen Demand (Dichromate Oxygen Demand) of Water
D 1293	Test Methods for pH of Water
D 1426	Test Methods for Ammonia Nitrogen in Water
D 1687	Test Methods for Chromium in Water
D 1688	Test Methods for Copper in Water
D 1691	Test Methods for Zinc in Water
D 1783	Test Methods for Phenolic Compounds in Water
D 1886	Test Methods for Nickel in Water
D 1889	Test Methods for Turbidity of Water
D 1971	Practices for Digestion of Samples for Determination of Metals by Flame Atomic Absorption or Plasma Emission Spectroscopy
D 2036	Test Methods for Cyanides in Water
D 2579	Test Methods for Total and Organic Carbon in Water
D 2580	Test Methods for Phenols in Water by Gas-Liquid Chromatography
D 2972	Test Methods for Arsenic in Water
D 3082	Test Methods for Boron in Water
D 3086	Test Methods for Organochlorine Pesticides in Water
D 3223	Test Methods for Total Mercury in Water
D 3372	Test Methods for Molybdenum in Water
D 3373	Test Methods for Vanadium in Water
D 3557	Test Methods for Cadmium in Water

Ilustración 3 Normas técnicas ASTM.

Fuente: RAS 2000.

4.2 FUENTES DE AGUA

Gracias al ciclo hidrológico que experimenta el agua (Ilustración 4) al pasar de la tierra a la atmósfera por medio de la evaporación, y volver a la tierra: por la condensación de nubes y precipitación (Ordoñez, 2011), se presentan diversas fuentes de agua que según el Decreto 1575 de 2007 (Ministerio de la protección social, 2007) son “depósitos de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas”, que pueden ser usadas en una PTAP como agua cruda para el sustento de una población o comunidad.



Ilustración 4. El ciclo del agua.

Fuente: USGS, Science for a changing world.

En un acueducto se toma la fuente de agua más cercana bien sea atmosférica, superficial o subterránea; la que presente mayor calidad de acuerdo a su caracterización física, química y microbiológica; en la que su tratamiento no sea tan complejo (economía).

4.2.1 Fuente Superficial. Según Camargo (2019) estas fuentes “están constituidas por arroyos, ríos, lagos, etc. que discurren naturalmente en la superficie terrestre”. Debido al mayor grado de exposición a la contaminación, se requiere de varias unidades para su adecuado tratamiento, generalmente se emplea la tecnología convencional (Lossio, 2012).

4.2.2 Aguas subterránea. Como lo menciona Hernández “a nivel mundial las aguas subterráneas constituyen la fuente principal de agua dulce y son fundamentales como fuente de agua potable para las comunidades. La calidad del agua subterránea está relacionada con el tipo de ambiente hidrogeológico en el que se encuentre. El fracturamiento de la rocas e interacción con el agua resulta de un incremento de la salinidad del agua subterránea” (Hernández, 2019).

4.2.3 Agua atmosférica; Agua pluvial Consideradas como las más puras y de mayor calidad que de las aguas superficiales y aguas subterráneas; sin embargo, en la actualidad éstas pueden estar afectadas por gases atmosféricos dañinos producto de la contaminación natural y humana, como ejemplo estos gases pueden ser: nitrógeno en mayor concentración, hidrocarburos

producto de la contaminación, dióxido de azufre y óxidos de nitrógenos que al reaccionar con el vapor del agua estas forman los ácidos, etc. (Camargo, 2019).

4.3 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PARA EL DISEÑO DE PTAP

Hoy día hay varias tecnologías para el tratamiento del agua potable y esta se escoge dependiendo de varios factores como pueden ser las características de calidad del agua cruda, el caudal a tratar, la disponibilidad de energía y de recursos económicos, disponibilidad para operación y mantenimiento, disposición de terreno, etc. (Castro & Velasquez 2015; Varón 2014).

Las PTAP cuentan con un conjunto de procesos u operaciones unitarias ya sean plantas físicas, químicas o biológicas. Los tipos de PTAP según los procesos realizados en ella se clasifican en:

4.3.1 Planta convencional. En este tipo de planta se realizan los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.

4.3.2 Filtración en múltiples Etapas. Se caracteriza por contar con un acondicionamiento en filtración dinámica, pretratamiento en filtración gruesa, filtración lenta en arena y la desinfección química. Este acondicionamiento se lo realiza debido que los valores de la contaminación del agua superan las limitaciones que tiene la filtración lenta. Por este motivo se integra al sistema de tratamiento la filtración dinámica en grava y un pretratamiento en filtración gruesa siendo una excelente alternativa por no necesitar la dosificación de coagulantes químicos (García, 2017). Los elementos que se incluyen son: Filtro grueso dinámico (FGDi), Filtro lento de arena (FLA) y Desinfección química.

4.3.3 Filtración Directa. El agua es llevada directamente a los filtros sin pasar antes por algún proceso. La limitación de la filtración directa está en que sólo puede tratar agua cruda con parámetros buenos (con baja turbiedad de agua de entrada) y que provenga de fuentes que se mantengan constantes en todo el tiempo (García, 2017).

4.3.4 Filtración en Línea. En esta planta se realiza generalmente los procesos de coagulación, filtración y desinfección.

4.3.5 Planta compacta. Todos los procesos se dan en el mismo espacio o campo y es apropiada para pequeñas comunidades. Estas plantas compactas de tratamiento de agua son

instaladas cerca a fuentes naturales como ríos o lagos para extraer el agua y realizar procesos de purificación. Las plantas son usualmente construidas en acero y se envían listas para la instalación en el lugar requerido (Cruz, 2019).

4.4 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta propuesta se procedió a cumplir con los objetivos específicos planteados inicialmente trazándose los siguientes ítems.

- Inventario y/o búsqueda, adecuada al tema de plantas de tratamiento de agua potable para comunidades de menos de 5000 habitantes. Información proveniente de artículos científicos, proyectos y revistas.
- Definición de la estrategia a seguir para la clasificación de la información encontrada.
- Desarrollo y/o aplicación de la estrategia.
- Análisis de la información por medio de tablas y gráficos para discusión.
- Conclusiones o recomendaciones.

4.4.1. Inventario y/o Búsqueda de documentos. Se planteó la búsqueda de información con el tema de plantas o diseño de plantas de tratamiento de agua potable para el abastecimiento de menos de 5000 habitantes en la que se encontraron artículos científicos, proyectos de grado, monografías y revistas de los últimos 10 años.

Los documentos encontrados o inventariados fueron 45, pero de ellos se tuvieron en cuenta 30 para el análisis; debido a que no presentaban los parámetros escogidos en la definición de la estrategia de clasificación.

4.4.2 Definición de estrategia. Para la clasificación y orden de los documentos se realizó una matriz con parámetros técnicos y biofísicos que según la literatura son los más considerados para la implementación de una PTAP.

4.4.2.1. Parámetros biofísicos. En este aspecto se tendrá en cuenta el recurso natural o ambiental a tratar, en el que se ubican los siguientes sub-parámetros:

- **Calidad de agua cruda:** correspondiendo a las características físicas, químicas y microbiológicas de la fuente, para términos de comparación los mencionados en la Ilustración 1 obtenida del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000).

- **Ubicación de la fuente:** País, ciudad y zona en la que se encuentra.
- **Tipo de fuente:** Determinando si es fuente subterránea, atmosférica o superficial.

4.4.2.2 Parámetros técnicos. Referido a la planta de tratamiento para la eficiencia de la operación. Entre los sub-parámetros a estudiar se encuentran:

- **Tipo de PTAP:** En este espacio se tendrá en cuenta las operaciones y procesos unitarios, además de los productos químicos empleados, tipo de PTAP según los procesos realizados en ella y capacidad de almacenamiento del agua tratada.
- **Caudal usado en el sistema:** Referente al agua cruda o agua de entrada.
- **Economía de la tecnología implementada:** Costos de PTAP.

4.4.2.3 Matriz. En la tabla 10 se puede observar la matriz implementada, en la cual; las filas serán los documentos objeto de revisión y en las columnas estarán ubicados los parámetros biofísicos y técnicos con sus respectivos sub-parámetros.

Tabla 10. Matriz empleada para la clasificación de documentos.

DOCUMENTOS		Nombre
PARÁMETROS		Nº. Habitantes
		Sub-Parámetros a analizar
BIOFÍSICOS	Calidad de agua cruda	pH
		Turbidez
		Dureza
		Oxígeno Disuelto
		Cloruros
		Fluoruros
		Color verdadero
		Gusto y olor
	Ubicación	
	Tipo de fuente	
TÉCNICOS	Tipo de PTAP	Elementos de la estructura
		Tecnología
		Productos químicos empleados
		Almacenamiento
	Caudal ingreso PTAP	
	Economía	

Fuente: Autor

4.4.3 Aplicación de la estrategia. En la Tabla 11 se observa cada uno de los 30 artículos organizados con sus respectivos parámetros. Cabe mencionar que la mayoría de ellos son proyectos de grado realizados para la obtención de algún título y según la apreciación del mismo la mayoría de ellos fueron realizados para su aplicación en Ecuador y Perú, apreciándose gran interés por este tema en estos dos países. Cabe resaltar que los parámetros de calidad de las características físico-químicos no encontrados en la tabla 11 son asumidos a que estaban dentro del rango de agua potable.

Tabla 11. Matriz de los parámetros técnicos y biofísicos de plantas de tratamiento de agua potable encontrados. Fuente: Autor

DOCUMENTOS		Nombre	1. Construcción de una mini planta de tratamiento de agua potable en la comunidad indígena Zenú (Lombana, León & Ruidíaz, 2016)	2. Diseño de una planta de tratamiento de agua potable para la población de la playita, sitio nuevo magdalena. (Camacho & Peña, 2018)	3. Sistemas de tratamiento de agua en el hogar: una solución para la producción de productos seguros. Agua potable de las comunidades de bajos ingresos del sur de África (Mwabi et al., 2011)	
PARAMETROS		N°. Habitantes	466	200	Uso doméstico	
		Sub-Parámetros a analizar				
BIOFISICOS	Calidad de agua cruda	PH	8.2	5,8	6,8	
		Turbidez (UNT)	11.2	178,3	89,19	
		Oxígeno Disuelto (mg/L)		4,9		
		Cloruros (mg/L)		0,026		
		Fluoruros (mg/L)			100	
		color verdadero (UPC)		100		
		gusto y olor	inofensivo	Inofensivo		
	Ubicación		sur occidente de la Ciudad de Cartagena	Sitio nuevo Magdalena		
		Tipo de fuente	Superficial	superficial: rio Magdalena	Superficial: Río	
TÉCNICOS	Tipo de PTAP	Elementos de la estructura	Cribado, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.	Cribado, Coagulación Mezcla rápida (Vertedero triangular de 90°), Floculación, Sedimentación, Filtración y Desinfección.	Filtración multietapa	
		Tecnología	convencional	Convencional	Compacta	
		Productos químicos empleados	Carbón Activado, Arena Sílice, Sulfato de aluminio líquido e Hipoclorito de Sodio Liquido	Hipoclorito de sodio en solución, sulfato de Aluminio tipo B		
		Almacenamiento (m ³)		1 tanque		
			Caudal de entrada (L/s)		3,4 por 4 horas	0,0584
			Economía		\$10,906.270.	

DOCUMENTOS		Nombre	4. Diseño de mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable y saneamiento básico rural del caserío de Motil. (Nolasco, 2018)	5. Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en zonas rurales caso: comunidad Vega del punto (Camargo, 2019)	6. Análisis técnico y ambiental de una planta de tratamiento compacta de agua potable en Villarrica-Tolima (Estupiñan & Arenas, 2019)
PARAMETROS		N°. Habitantes	762	209	170
		Sub-Parámetros a analizar			
BIOFISICOS	Calidad de agua cruda	PH	7,19	7,21	7,9
		Turbidez (UNT)	4	4,6	2,69
		Dureza (mg/L)			
		Oxígeno Disuelto (mg/L)			6,17
		Cloruros (mg/L)	41,43		
		Fluoruros (mg/L)			
		color verdadero UPC	14	0	4
	gusto y olor	Aceptable	Aceptable	Aceptable	
		Ubicación	Distrito de Agallpampa, provincia de Otuzco, departamento de La Libertad- Perú	Distrito de Pacaipampa, Departamento de Piura-Perú	La vereda la Isla en el municipio de Villarrica, Tolima
		Tipo de fuente	Subterránea: quebrada "El Siete"	Subterránea: manantial	Subterránea
TÉCNICOS	Tipo de PTAP	Elementos de la estructura	Cribado: grava y arena; Desinfección	Captación, filtración, reservorio apoyado, cámaras rompe presión y desinfección	Torre de aireación, cámara de aforo; mezcla rápida, floculador, sedimentador, filtrador y desinfección
		Tecnología	Filtración directa y desinfección	Filtración directa y desinfección	Compacta; convencional
		Productos químicos empleados	Hipoclorito de sodio	Hipoclorito de sodio	Sulfato de aluminio, hidróxido de calcio y sodio
		Almacenamiento (m ³)	25	7	
			Caudal de entrada (L/s)	2,071	1
		Economía	\$34,016.895		

DOCUMENTOS	Nombre	7. Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones (Lossio, 2012)	8. Diseño e implementación de una planta (prototipo) de tratamiento de agua potable tipo paquete para los pozos uno y dos de la escuela superior politécnica de Chimborazo (Totoy & Moreta 2016)	9. Diseño de una planta de tratamiento de agua potable por múltiples etapas para el sitio Bellavista (Guerrero, 2015)	
PARAMETROS	N°. Habitantes	614		539	
	Sub-Parámetros a analizar				
BIO FISI COS	Calidad de agua cruda	PH	7,35	7,3	
		Turbidez (NTU)	6	<0,6	25
		Dureza (mg/L)		558	
		Oxígeno Disuelto (mg/L)			
		Cloruros (mg/L)			
		Fluoruros (mg/L)			
		color verdadero (UPC)		<8 UPC	
	gusto y olor	inofensivo	Aceptable	inofensivo	
	Ubicación		Riobamba, Ecuador	Bellavista, región costa del Ecuador	
	Tipo de fuente	Subterránea: acuífero, quebrada	Subterránea: Pozo	Superficial	
TÉC NIC OS	Tipo de PTAP	Elementos de la estructura	Captación: bombeo; energía fotovoltaica, filtración, línea de impulsión, reservorio, Desinfección.	Captación; Bombeo, filtrador, tanque resina, tanque de salmuera, almacenaje, desinfección	Pre-filtración; filtro grueso dinámico (grava), filtración lenta; filtro lento de arena y desinfección
		Tecnología	Filtración directa.	Filtración directa con resina cationica, desinfección	Filtración multietapa, desinfección
		Productos químicos empleados		resina catiónica, NaCl al 10%, NaClO	Hipoclorito de sodio
		Almacenamiento m ³	30		
		Caudal de entrada (L/s)	1,44	1,18	1,24
	Economía	\$329,041.929	#####		

DOCUMENTOS		Nombre	10. Rediseño de la planta de tratamiento de agua potable del sector Yawari del cantón Archidona (Arequipa, 2015)	11. Estudio de pre-factibilidad para la Construcción de una planta de tratamiento de agua potable en la Comarca de Presillas (Garcia, Garcia & Jiménes, 2017)	12. Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Cumaral (Betancur 2020)
PARAMETROS		N°. Habitantes	10000	3367	19611
		Sub-Parámetros a analizar			
BIOFISICOS	Calidad de agua cruda	PH	6,30-7,08	6,71- 7,26	7,3
		Turbidez (NTU)	2,95-130	7,06- 52,05	78,2
		Dureza (mg/L)	18-24	48,32- 69,28	71,2
		Oxígeno Disuelto (mg/L)			
		Cloruros (mg/L)	2,8	6,21-22,2	<1
		Fluoruros (mg/L)	0,260	0,141-0,162	
		color verdadero (UPC)	20,5-600	14-50	373
		gusto y olor			
	Ubicación		Riobamba, Ecuador	Comarca Presillas, Nicaragua	Cumaral, Meta
Tipo de fuente		Superficial: Río Calmituyacu	Subterránea: manantial	Superficial: Río Guacavía	
TÉCNICOS	Tipo de PTAP	Elementos de la estructura	Captación, desarenador, precloracion, Mezcla rápida del coagulante, floculador, sedimentador, filtración y desinfección.	Captación, Filtración lenta, desinfección, almacenamiento	captacion,mezcla rápida, sedimentador floculador, sedimentador, filtro; arena, antracita y grava
		Tecnología	Convencional	Filtración directa; grava	Convencional
		Productos químicos empleados	sulfato de aluminio; 1%, cal; alcalinizante	hipoclorito de sodio	sulfato de aluminio, cal, cloro gaseoso
		Almacenamiento (m ³)	750	68,138	700
	Caudal de entrada (L/s)		113	1,54	75
	Economía		\$ 126,774.401	\$986,749.715	

DOCUMENTOS	Nombre	13. Método económico de remoción de arsénico en aguas para comunidades rurales (Anon, 2014)	14. Diseño de planta de tratamiento de agua potable para el sitio el Recuerdo por el método de aireación y filtración (Hans, 2015)	15. Diseño y construcción de un prototipo de destilador solar de agua multi-efecto para implementar en zonas rurales (Quijano, Jaimes & Vera, 2015)	
PARAMETROS	N°. Habitantes	130	577		
	Sub-Parámetros a analizar	0,608 mg /L As			
BIOFISICOS	Calidad de agua cruda	PH	7,77	7,29	
		Turbidez (NTU)	100	7	
		Dureza (mg/L)	970		
		Oxígeno Disuelto (mg/L)	8,85		
		Cloruros (mg/L)		6,98	
		Fluoruros (mg/L)			
		color verdadero (UPC)		37	
		gusto y olor	Aceptable		
	Ubicación	Argentina	El recuerdo- Machala, Ecuador	Municipio de Girón, Bucaramanga, Colombia	
	Tipo de fuente	Subterránea	Subterránea	Superficial; Río	
TÉCNICOS	Tipo de PTAP	Elementos de la estructura		Bandejas plástico con carbón activado; aireación, Filtro lento (arena silica y grava) y Desinfección	Intercambiador de calor, tanque colector de placas
		Tecnología	Compacta ;Filtración Green Sand	Filtración directa , desinfección	Compacta: Destilador solar
		Productos químicos empleados	Geen sand, cloruro ferrico 10 mL, hipoclorito de sodio	Hipoclorito de calcio	
		Almacenamiento			10 L
		Caudal de entrada (L/s)	0,5 L/min	1,1L/s	0,33 L/h
	Economía	\$200,872,73 por 6 años de vida util			

DOCUMENTOS		Nombre	16. Planta de tratamiento de agua potable KACST para investigación (Alabdula'aly and Chammem, 2010)	17. diseño de una planta de tratamiento de agua potable para el municipio de Tipacoque, Boyacá (Duarte & Guerrero, 2017)	18. Propuesta de tratamiento del agua de consumo humano en pequeñas ~ comunidades. Caso: sector Santa Rosa-La Hechicera (Mayorga & Mayorga, 2016)
PARAMETROS		N°. Habitantes	4170	4883	1000
		Sub-Parámetros a analizar			
BIOFISICOS	Calidad de agua cruda	PH	7,09	7,7	
		Turbidez	4,5	3,55 NTU	
		Dureza	125,46	43 mg/L	
		Oxígeno Disuelto			
		Cloruros	4,54 mg/L	4,5 mg/L	
		Fluoruros	0,1		
		color verdadero	2,50 UPC	13 UPC	
	gusto y olor	Aceptable			
		Ubicación	Localidad Augusto Barrera a 3 Km al Sur-Este de la ciudad de Vinces, Ecuador	Municipio de Tipacoque	Caserío Santa Rosa, Mérida Venezuela
		Tipo de fuente	Subterránea: pozo	Quebrada el verde	Superficial; rio
TÉCNICOS	Tipo de PTAP	Elementos de la estructura	Captación; bombeo, aireador; bandejas, Desinfección ;gravedad	Captación, desarenador, floculador, filtro; Arena y antracita, cloración	
		Tecnología	Desinfección	Convencional	Filtración directa; arena, desinfección
		Productos químicos empleados	Cloro	Perclorito	cloro
		Almacenamiento (m ³)	150	995	14,62
			Caudal de entrada (L/s)	9,56 L/s	12,8 L/s
		Economía	\$ 712,568.754		

DOCUMENTOS		Nombre	19. Diseño de una planta de tratamiento de agua potable aplicando la tecnología de filtración en múltiples etapas (García, 2017)	20. Pre-diseño de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) para mejorar la calidad del agua de consumo de los habitantes del municipio de Machetá.	21. Caracterización y diseño del sistema de agua potable y saneamiento, de la Comunidad Nativa San Román de Satinaki - Perené – Chanchamayo (Raqui, 2017)
PARAMETROS		N°. Habitantes	1400	2195	485
		Sub-Parámetros a analizar			
BIO FISI COS	Calidad de agua cruda	PH		5,514- 5,624	7,1
		Turbidez (NTU)	60	1,14-14	1,41
		Dureza (mg/L)		10,2-9,75	200
		Oxígeno Disuelto (mg/L)			
		Cloruros (mg/L)			22
		Fluoruros (mg/L)			
		color verdadero (UPC)	35		
	gusto y olor	Aceptable			Aceptable
		Ubicación		Municipio de macheta- Aledaño a Bogotá, Colombia	comunidad nativa San Román de Satinaki- Distrito Perené, Perú
		Tipo de fuente	Superficial	Superficial: quebrada	Subterránea; manantial
TÉC NIC OS	Tipo de PTAP	Elementos de la estructura	Captación, filtración, desinfección	Mezcla rápida, cámara de quietamiento, floculador, filtro, desinfección	Captación; gravedad, desinfección
		Tecnología	filtración múltietapa, desinfección	filtración en línea	Desinfección
		Productos químicos empleados	hipoclorito de calcio	Sulfato de Aluminio, Cloro	Cloro
		Almacenamiento (m ³)	reserva; 150	112,48	15
			Caudal de entrada (L/s)	3,48	6,5
		Economía			

DOCUMENTOS		Nombre	22. Estudio y diseño de la red de agua potable para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes: la florida baja, zona alta de Jesús de gran poder y reina de tránsito del cantón Cevallos, provincia de Tungurahua. (Ruiz Vela, 2018)	23. Evaluación técnica de la planta de tratamiento de agua potable “peña blanca” del municipio de Mongua, Boyacá (Forero, Hernandez & Patiño, 2019)	24. Diseño del Sistema de Agua Potable para la comunidad de Las Peñas de Mollepongo, perteneciente al cantón Pucará, provincia del Azuay (Cobos & Marín 2017)
PARAMETROS		N°. Habitantes	1054	1860	201
		Sub-Parámetros a analizar			
BIOFISICOS	Calidad de agua cruda	PH	7,48	5,8	
		Turbidez (NTU)	0,41	1,38	6,31
		Dureza (mg/L)		14,2	
		Oxígeno Disuelto (mg/L)			
		Cloruros (mg/L)	<1		
		Fluoruros (mg/L)	2,97		
		color verdadero (UPC)	5	6	18
		gusto y olor			
	Ubicación		Cantón Cevallos Ecuador	Mongua; parte centro oriental del departamento de Boyacá, Colombia	Las Peñas de Mollespongo
Tipo de fuente		Subterránea; acuífero manantial	Quebrada Caño Azul	Superficial; Quebrada	
TÉCNICOS	Tipo de PTAP	Elementos de la estructura	Captación; bombeo, desinfección	Captación, aireación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección	Captación, Filtración lenta; arena,
		Tecnología	Desinfección	Convencional	Filtración directa, desinfección
		Productos químicos empleados	Cloro	Sulfato de Aluminio, cloro	Hipoclorito de calcio
		Almacenamiento (m ³)	70	45	10
	Caudal de entrada (L/s)		2,57 L/s	5,43 L/s	0,26 L/s
Economía					

DOCUMENTOS	Nombre	25. Rediseño del sistema de tratamiento de agua potable del cantón san Miguel de bolívar (Barragán, 2014)	26. Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable del centro poblado de Samañaro	27. Captación, evaluación, tratamiento y diseño de una planta de consumo de agua potable en la localidad pampas de pajonal distrito de Mollebaya (Rammos & Priscilla 2015)	
PARAMETROS	N°. Habitantes	16543	181	121	
	Sub-Parámetros a analizar			Planta compacta; Para un caudal de 12 m ³ /h, con parámetros de diseño para tratar aguas con turbiedades hasta 5000 NTU, color hasta 200 UCV	
BIOFISICOS	Calidad de agua cruda	PH	8,01	7,87	7,9
		Turbidez (NTU)	22,26	0,51	8,3
		Dureza (mg/L)	126,8	95	108
		Oxígeno Disuelto (mg/L)			
		Cloruros (mg/L)	0,55	30,03	
		Fluoruros (mg/L)	0,67		
		color verdadero (UPC)	7,80		
	gusto y olor		Aceptable		
	Ubicación	población del Cantón San Miguel de Bolívar, Ecuador	Samañaro- Provincia Satipo. Departamento Junin- Perú	Localidad Pampas el Pajonal, Distrito de Mollebaya, Perú	
	Tipo de fuente	Superficial	Quebrada Juárez	Subterránea	
TÉCNICOS	Tipo de PTAP	Elementos de la estructura	mezcla rápida, aireador, floculación, coagulación, sedimentación, filtración, y desinfección	Captación, tanque cloración, reservorio	Sedimentación; sólidos gruesos, Coagulación, Floculación Hidráulica, Pre-sedimentación, Sedimentación de alta taza con descarga de barro en forma automática., Filtración descendente y desinfección.
		Tecnología	Convencional	Desinfección	Compacta convencional
		Productos químicos empleados	Policloruro de aluminio, Cloro gaseoso	Cloro	Sulfato de Aluminio, cloro
		Almacenamiento	972,86 m ³	10 m ³	106 m ³
	Caudal de entrada (L/s)	64,43 L/s	0,38 L/s	0,98 L/s	
	Economía				

DOCUMENTOS		Nombre	28. Diseño hidráulico del sistema de distribución de agua potable para la comunidad García Moreno San José en Medio, Cantón (Junior, 2019)	29. Diseño del sistema de agua potable para la comunidad de Cúndalo, parroquia Juan Montalvo, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. (Reinoso, 2010)	30. Rediseño de la planta de tratamiento de agua potable regional colta (Hermida, 2014)
PARAMETROS		N°. Habitantes	245	960	2366
	Sub-Parámetros a analizar		Conductividad; 4,38		
BIOFISICOS	Calidad de agua cruda	PH	6,5	6,89	7,042
		Turbidez (NTU)		0,125 NTU	5,22 NTU
		Dureza (mg/L)		10 mg/L	104
		Oxígeno Disuelto (mg/L)	6,33 mg/L		
		Cloruros (mg/L)		3,95 mg/L	3,16 mg/L
		Fluoruros (mg/L)			0,262 mg/L
		color verdadero (UPC)		2,5 UPC	32,8 UPC
		gusto y olor	Aceptable		
Ubicación		García Moreno - San José en Medio, Ecuador	Comunidad de Cundualó- provincia de Cotopaxi, Ecuador	Poblado Sicalpa- cantón Colta- provincia de Chimborazo, Ecuador	
Tipo de fuente		Subterránea: pozo	Superficial; salida de hidroeléctrica	Superficial	
TÉCNICOS	Tipo de PTAP	Elementos de la estructura	Captación, desinfección, tanque de reserva	Captación, reserva	Captación, mezcla rápida, floculador, sedimentador, filtro rápido, cloración, almacenamiento.
		Tecnología	Desinfección	Desinfección	Convencional
		Productos químicos	Cloro	Cloro	Policloruro de Aluminio, hipoclorito de sodio
		Almacenamiento	25,67m ³	100 m ³	1 m ³
	Caudal de entrada (L/s)		0,6L/s	2,75 L/s	4 L/s
Economía					

5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 TIPOS DE PTAP EN RELACIÓN CON TURBIDEZ Y TIPO DE FUENTE

En la Ilustración 5 se observa los tipos de PTAP encontrados (según los procesos realizados) en relación con el número de documentos, donde se reporta con mayor porcentaje plantas de tratamiento con filtración directa y convencional con alrededor del 27 y 23 %, respectivamente. En los documentos encontrados se reporta que las plantas compactas y de desinfección tienen un porcentaje de 20%. Usándose en menor cantidad plantas de tratamiento de filtración en línea.

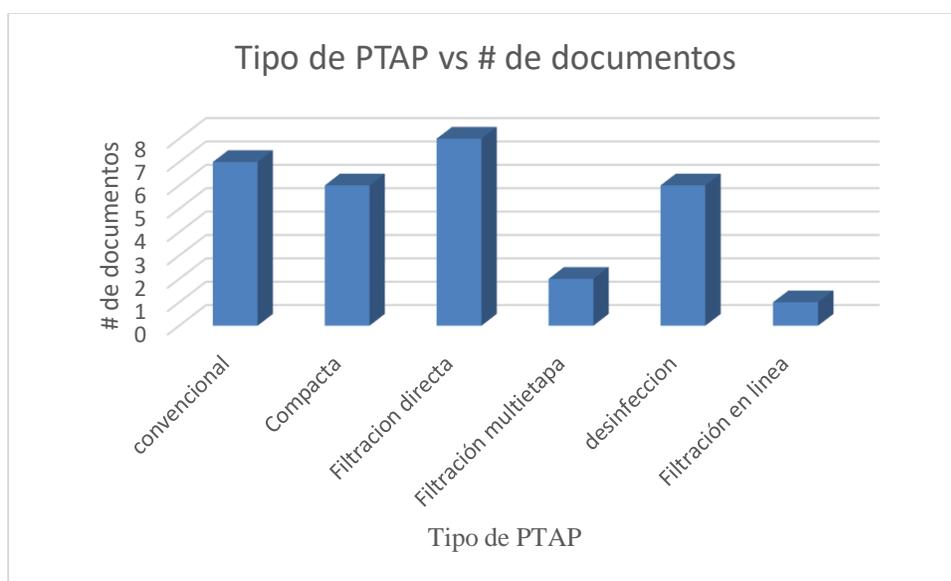


Ilustración 5. Tipo de PTAP (según los procesos realizados en ella) en relación con el número de habitantes.

Fuente: Autor

Los documentos 10, 12 y 25 que reportan plantas convencionales para el tratamiento de agua presentan un alto grado de turbidez (>22 NTU), lo cual puede ser atribuido a la contaminación ambiental por una alta cantidad de habitantes (mayor a 5000) y teniendo estos una fuente superficial. El documento 2 también presenta una alta turbidez (170 NTU) y la fuente de agua es superficial. Sin embargo, presenta un número de habitantes equivalente a 200. Los 3 documentos restantes que presentan un tipo de planta convencional (1, 23 y 30) tienen una turbidez baja (<11 NTU), y el documento 30 presenta una fuente de agua subterránea. Teniendo en cuenta la consideración de que el resto de características físico-químicas y microbiológicas están dentro del nivel máximo aceptable de agua potable, se considera que los documentos 1, 23 y 30 pueden estar incurriendo en un costo innecesario de inversión para la instalación (en comparación con las demás plantas de tratamiento) y mantenimiento de la PTAP.

Las plantas con filtración directa presentan una turbidez baja (< 6 NTU), el tipo de fuente que se reporta es subterránea y el número de habitantes es menor a 770, a excepción del documento 4 en el que la fuente a usar es superficial y, el documento 11 que presenta una turbidez de 52,05 NTU y un número de habitantes de 3367.

Los documentos que presentan un tipo de planta compacta no muestran una relación con la turbidez o tipo de fuente, mientras que las plantas donde se realiza el proceso de desinfección tienen una turbidez menor a 4,5 NTU y son presentadas mayormente en fuentes subterráneas.

La filtración multietapa se presenta en los documentos 9 y 19 en los que se usa una fuente de agua superficial con turbiedad de 25-60 (NTU) y un número de habitantes de 539 y 1400, respectivamente. Asimismo, la filtración en línea fue reportada en un solo documento con una turbidez de 14 NTU y 2195 habitantes, empleando para potabilización una fuente de agua superficial.

5.2 DOCUMENTOS VS NORMA (RAS 2000)

Observando la tabla 12 y la imagen 1 se puede realizar una comparación de cada documento con respecto a la calidad de las fuentes de abastecimiento en función de los parámetros mínimos de análisis físico- químico reportados por el RAS 2000 (norma aplicada en Colombia para la elección del tipo de planta a diseñar). En la tabla 12 se observan estos resultados apreciándose que el 37% de los documentos (11) no cumplen con la especificación de los procesos de tratamiento reportados en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000). Se aclara que los documentos 6 y 27 a pesar de ser clasificados anteriormente como un tipo de planta compacta (realizan los procesos en el mismo espacio) también son convencionales ya que se realizan los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección y en este espacio así fueron catalogados.

Tabla 12. Comparación del nivel de calidad de la fuente reportada por el RAS 2000 con respecto a los documentos encontrados.

Documentos	1	2	3	4	5	6	7	8
Nivel de calidad de la fuente	Regular	Muy deficiente	Deficiente	Regular	Regular	Regular	Regular	Aceptable
Comparación con RAS 2000	No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple

Documentos	9	10	11	12	13	14	15	16
Nivel de calidad de la fuente	Regular	Muy deficiente	Deficiente	Deficiente	Deficiente	aceptable	Deficiente	Regular
Comparación con RAS 2000	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple

Documentos	17	18	19	20	21	22	23	24
Nivel de calidad de la fuente	Regular		Deficiente	Regular	Aceptable	Regular	Regular	Regular
Comparación con RAS 2000	No cumple		Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	Cumple

Documentos	25	26	27	28	29	30
Nivel de calidad de la fuente	Regular	Aceptable	Regular		aceptable	Deficiente
Comparación con RAS 2000	No cumple	Cumple	No cumple		Cumple	Cumple

A continuación, se observan los procesos de tratamiento usados en los documentos y los procesos de tratamiento que reporta el RAS (Tabla 12) para los 11 documentos que no cumplieron con esta norma que actualmente está vigente en Colombia.

Tabla 13. Procesos de tratamiento de los documentos que no cumplen con la norma.

Docum entos	Nivel de la fuente según el RAS	Procesos de tratamiento (RAS 2000)	Procesos de tratamiento (Documento)
1	Regular	Filtración lenta o directa + (1)	Cribado, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.
3	Deficiente	Pre-tratamiento+ ((coagulación, sedimentación, filtración rápida) ó (Filtración lenta diversas etapas))+1)	Filtración multi-etapa
6	Regular	Filtración lenta o directa + (1)	Torre de aireación, cámara de aforo; mezcla rápida, floculador, sedimentador, Filtrador, desinfección
8	Aceptable	Desinfección + estabilización	Captación; bombeo, filtrador, tanque resina, tanque de salmuera, almacenaje, desinfección.
14	Aceptable	Desinfección + estabilización	Bandejas plástico con carbón activado; aireación, filtro lento (arena, silica y grava) y desinfección.
15	Deficiente	Pre-tratamiento+ ((coagulación, sedimentación, filtración rápida) ó (Filtración lenta diversas etapas))+1)	Intercambiador de calor, tanque colector de placas.
16	Regular	Filtración lenta o directa + (1)	Captación; bombeo, aireador; bandejas, Desinfección ;gravedad.
17	Regular	Filtración lenta o directa + (1)	Captación, desarenador, floculador, filtro; Arena y antracita, desinfección
23	Regular	Filtración lenta o directa + (1)	Captación, aireación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.
25	Regular	Filtración lenta o directa + (1)	Mezcla rápida, aireador, floculación, coagulación, sedimentación, filtración, y desinfección.
27	Regular	Filtración lenta o directa + (1)	Sedimentación; sólidos gruesos, coagulación, floculación hidráulica, pre-sedimentación, sedimentación de alta taza con descarga de barros en forma automática., filtración descendente y desinfección.

Según la tabla 13 realizando la comparación de los documentos 1, 6, 8, 14, 17, 23, 25 y 27 con el RAS 2000 se reportan plantas de tratamiento de agua que tienen más procesos de tratamiento de los que en realidad necesita la fuente a tratar. En los que según lo reportado los documentos 1, 6, 23, 25 y 27 corresponden a plantas convencionales influyendo esto en un un gasto innecesario de:

- **Construcción:** Costos para la instalación y puesta en marcha de cada unidad en la planta.
- **Operación:** operador capacitado con un grado técnico o tecnológico con experiencia en el manejo de la misma, además del aumento diario del costo por el coagulante para el tratamiento.
- **Mantenimiento** de cada una de las unidades de la planta (filtros, tanques, sedimentadores, etc.).

Asimismo, los documentos 8 y 14 que necesitan sólo de un tratamiento de desinfección por tener disponible una fuente de calidad aceptable presentan procesos de filtración lenta o directa reflejándose en un gasto innecesario de construcción y mantenimiento. Por el contrario, las plantas reportadas en los documentos 3, 15, y 16 son plantas que requieren de un mayor tratamiento para su adecuada potabilización, ya que sin esto puede incumplir con las especificaciones de la Resolución 2115 del 2007 reflejándose en la obtención de un agua no apta para el consumo e implicaciones para la salud de los habitantes.

Teniendo en cuenta que en la Ilustración 1 del Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) no se tienen en cuenta parámetros de sustancias o elementos adversos para la salud como los encontrados en algunos de los documentos (As, Fe, dureza total > 300, Mn, etc.), aun no se podría asegurar que las plantas (8 y 14) que presentan un mayor número de procesos de tratamiento no son adecuadas para la obtención de un agua potable que cumpla con las características físico químicas especificadas en la resolución con un gasto innecesario. Por tanto, asumiendo que los parámetros no reportados en cada documento están dentro del rango aceptable del agua potable de la Resolución 2115 de 2007 las plantas que no cumplen con los procesos que debería tener con respecto a la calidad de la fuente corresponden al 30% de los documentos analizados.

5.3 TIPO DE FUENTE VS CALIDAD DE LA FUENTE

En la tabla 14 se puede contemplar el tipo de fuente con los sub-parámetros de calidad más reportados en los documentos (turbidez, dureza y color), NR significa dato “no reportado” observando que las fuentes subterráneas presentan un menor grado de turbidez con respecto a las fuentes superficiales a excepción de las fuentes de los documentos 11 y 13 que presentan un valor de 52,05 y 100 (NTU) respectivamente, y esto puede ser atribuido a que estas son aguas subterráneas que no quedan infiltradas en la tierra, sino que llegan de nuevo a la superficie donde según estos 2 documentos se reporta una contaminación por la crianza de ganado en la zona. Asimismo, no se reportan valores de turbidez de agua superficial mayores a 180 (NTU), lo cual incurre en que hay un menor grado de contaminación con respecto a la zona urbana. Sin embargo, teniendo estos 2 tipos de fuentes disponibles se recomendaría utilizar la fuente subterránea ya que llevaría un menor grado de tecnología de tratamiento y menor gasto de mantenimiento de la misma.

En cuanto al contenido de dureza se observa que en estos 2 tipos de fuentes fluctúan entre 10,2 y 210 (mg/L de CaCO₃) a excepción de los documentos 8 y 13 que corresponden a aguas subterráneas de pozo con valores de 558 y 970 respectivamente, y esto puede ser atribuido a que este tipo de agua se infiltra a través de las capas del suelo y durante su circulación en los sedimentos o rocas cambia con respecto al tiempo de contacto y aumentan los minerales presentes con la cantidad de sales (en especial del Mg y Ca), y por ende la dureza del agua.

Las fuentes que se reportan en los documentos 2, 10 y 12 son las que presentan los valores más altos de color en los documentos inventariados, correspondiendo esto a las fuentes superficiales que a su vez presentaban valores altos de turbidez.

Tabla 14. Sub-parámetros reportados de la calidad de la fuente en cada documento.

Documentos	1	2	3	4	5	6	7	8
Turbidez	11,2	178,3	89,19	4	4,6	2,69	6	<0,6
Dureza	NR	NR	NR	109	NR	25,6	NR	558
Tipo de fuente	superficial	Superficial	superficial	superficial	Subterránea: Manantial	subterránea	subterránea: quebrada	subterránea: Pozo
color verdadero		100	0	14	0	4	NR	<8

Documentos	9	10	11	12	13	14	15	16
Turbidez	25	2,9-130	7,06-52,05	78,2	100	NR	7	4,5
Dureza (mg/L)	NR	16	48,32- 69,28	71,2	970	NR	NR	125,46
Tipo de fuente	superficial	superficial	Subterránea: manantial	superficial	Subterránea : pozo	Subterránea	superficial	Subterránea: pozo
color verdadero		19-600	14-50	373	NR	NR	37	2,5

Documentos	17	18	19	20	21	22	23	24
Turbidez	3,55		60	1,14-14	1,41	0,41	1,38	6,31
Dureza	43	NR	NR	10,2-9,75	200	NR	14,2	
Tipo de fuente	quebrada	superficial	superficial	Superficial	Subterránea: manantial	Subterránea: manantial	quebrada	Quebrada
color verdadero	13		35	NR	NR	5	6	18

Documentos	25	26	27	28	29	30
Turbidez	Regular	0,51	8,3		0,125	5,22
Dureza	126,8	95	108		210	104
Tipo de fuente	superficial	quebrada	Subterránea		superficial	superficial
color verdadero	7,8				2,5	32,8

5.4 PRODUCTOS QUÍMICOS APLICADOS

Para el proceso de desinfección se encontró que los productos químicos más empleados son el hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio y el cloro gaseoso, así mismo el coagulante mayormente usado fue el sulfato de aluminio o más conocido como alumbre, seguido del poli cloruro de aluminio. Se esperaba relacionar estos productos con los costos de tratamiento pero no se encontraron suficientes datos para tal fin.

6. CONCLUSIONES

- Para implementar un tipo de PTAP en una zona específica se deben reconocer las fuentes de agua cercanas que puedan abastecer a la población. Si se cuentan con varias fuentes, cabe resaltar que se debe tener en cuenta factores como: características fisicoquímicas y microbiológicas, distancia que debe recorrer el agua cruda hasta el ingreso a la planta, cantidad de habitantes a abastecer, disposición legal, etc.
- Las fuentes de agua deben ser cuidadas por los habitantes de la zona, así como sus alrededores, para evitar la contaminación de la misma al generarse un aumento de las características microbiológicas y físico-químicas, por tanto, la comunidad debe recibir una capacitación del tipo de fuente que se tiene y su mantenimiento.
- La alta turbidez (>40 NTU) en las fuentes de agua se presenta generalmente en las aguas superficiales o en las aguas subterráneas que han salido nuevamente a la superficie, donde hay una mayor exposición a la contaminación por causa del hombre e incluso por la misma naturaleza cuando se presentan desastres naturales o se encuentra en época de lluvias, lo que incurre en el arrastre de arena y barro. Teniendo este tipo de fuente y una cantidad de habitantes mayor a 4000 se incurre a la idea de una planta convencional (según la norma), además de que una cantidad alta de habitantes puede influir en el sostenimiento de la PTAP en cuanto a los gastos, cobrando una tarifa de consumo más baja.
- La baja turbidez (<5 NTU) de las fuentes subterráneas permite el montaje de una PTAP basado sólo en el proceso de desinfección, teniendo en cuenta que el recorrido del agua por tuberías no debe ser muy grande, ya que si ese es el caso se debe pensar en una PTAP con procesos de filtración debido a que la turbidez de entrada a la planta puede ser mayor a la de la fuente al pasar del tiempo, y ésta agua ya no sería apta para el consumo. Así mismo hay fuentes con baja turbidez pero que contienen sustancias que tienen un efecto adverso a la salud humana fuera del rango admitido por la Resolución 2115 del 2007 (principalmente fuentes subterráneas), a estas se les debe implementar un tratamiento mayor a la desinfección para la disminución del mismo, como es el caso de la filtración Green Sand para la absorción de As.
- En el caso de un número de habitantes bajo y pocos recursos que cuenten con fuentes de agua superficiales con turbidez > 40 NTU pueden incurrir a plantas compactas pequeñas; convencionales o filtración múltiple, para evitar el costo de un operario experimentado que requiere este tipo de sistema, teniendo en cuenta que cada cierto tiempo estas también requieren de mantenimiento.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Para realizar un informe en el que se pueda consultar acerca de la mejor opción de implementación de una planta de tratamiento de agua para el consumo humano en una zona específica rural se espera que pueda haber una comunicación directa con las PTAP que se vayan a documentar o inventariar con el fin de obtener datos completos; que contengan los costos de instalación de la planta, datos de calidad de la fuente tanto microbiológicos como físico-químicos, así como también los costos de mantenimiento y los inconvenientes que puedan ser reportados (biológicos, sociales y económicos).

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Alabdula'aly, Abdulrahman I & Ali Abdellatif Chammem. (1994). KACST mobile drinking water treatment plant for research. *Desalination*. 98(1-3):71-82.
- Anon. (2014). Método económico de remoción de arsénico en aguas para comunidades rurales. *Revista AIDIS*, Diciembre, 228- 42.
- Arequipa, Byron. (2015). Rediseño de la planta de tratamiento de agua potable del sector Yawari del Cantón Archidona. (Trabajo de grado). Escuela superior politecnica de Chimborazo.
- Barragán, Benigno. (2014). Rediseño del sistema de tratamiento de agua potable del Cantón San Miguel de Bolívar.(Trabajo de grado). Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- Betancur, Miguel. (2020). Evaluación de La Planta de Tratamiento de Agua Potable Del Municipio de Cumaral – Meta.” Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garabito.
- Camacho, Ruben, and María Peña. (2018). Diseño de una planta de tratamiento de agua potable para la población de la Playita, sitio nuevo Magdalena. (Trabajo de grado). Universidad de la Costa, CUC.
- Camargo, Urbano. (2019). Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en zonas rurales caso: comunidad Vega del punto Santa Rosa. Distrito Pacaipampa. Provincia Ayabaca. (Trabajo de grado). Universidad Catolica de los Angeles.
- Castro, Laura, and Juan Velasquez. (2015). Análisis de los diseños de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) y Calidad del agua cruda y tratada en el departamento de Cundinamarca. (Trabajo de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Cobos, Juan & Bolivar, Marín. (2017). Diseño del sistema de agua potable para la comunidad de las Peñas de Mollepongo, perteneciente al Cantón Pucará, Provincia Del Azuay.(Trabajo de grado) Universidad del Azuay.
- Republica de Colombia. (1978). *Decreto 1541 de 1978*. Vol. 2.
- Correa, Hernán. (2006). Acueductos comunitarios, patrimonio publico y movimientos sociales. Noviembre, 1-18.
- Cruz, Jaiber. (2019). Estudio para el montaje de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) tipo compacta, en la vereda Cualamaná, municipio de Melgar Tolima. (Trabajo de grado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNA.
- Duarte, Esteban & Diego Guerrero. (2017). Diseño de una planta de tratamiento de agua potable para el municipio de Tipacoque, Boyacá.(Trabajo de grado).Universidad Libre, Bogotá, Colombia.
- Estupiñan, Anngie & Arenas, Paola. (2019). Análisis técnico y ambiental de una planta de

- tratamiento compacta de agua potable en Villarrica-Tolima. *Boletín Semillas Ambientales*, 40–51.
- Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja, y de la Media Luna Roja.(n.d). *Prevención de Desastres En Acueductos Rurales*.
- Forero, Angie, Jefferson Hernandez & Patiño Diana. (2019). Evaluación técnica de la planta de tratamiento de agua potable ‘peña blanca’ del municipio de Mongua, Boyacá. (Trabajo de grado). Universidad Piloto de Colombia.
- Garcia, Jania, Garcia, Dailylis & Oscar Jiménez. (2017). Estudio de prefactibilidad para la construcción de una planta de tratamiento de agua potable en la comarca de Presillas.(Trabajo de grado) Universidad Nacional de Ingeniería.
- García, Kleber. (2017). Diseño De Una Planta De Tratamiento De Agua Potable Aplicando La Tecnología De Filtración En Múltiples Etapas. 12–16.
- Garcia, Maria, Sandra Brown & Eugenia Garcia. (2015). Jerarquía de vulnerabilidades de las organizaciones comunitarias de agua en Colombia. *Gestión y Ambiente* 18(2):51–79.
- Guerrero, Enrique. 2015. Diseño de una planta de tratamiento de agua potable por múltiples etapas para el sitio Bellavista. (Trabajo de grado).Universidad Tecnica de Machala.
- Hans, Maldonado. (2015). Diseño de planta de tratamiento de agua potable para el sitio el recuerdo por el método de aireación y filtración. (Trabajo de grado). Universidad tecnica de Machala.
- Hermida, Jackeline. (2014). Rediseño de la planta de tratamiento de agua potable regional colta. (Trabajo de grado). Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- Hernández, Cristina. 2019. Desalinización de agua subterránea con alto contenido de arsénico mediante un sistema de destilación solar.(Tesis de maestria). Universidad autónoma de Chihuahua.
- Junior, Ponce. (2019). Diseño hidráulico del sistema de distribución de agua potable para la comunidad García Moreno .(Trabajo de grado). Universidad estatal del sur de manabí.
- Lombana, Lucia, Jorge León & Ruidíaz William. (2016). Construction of a Treatment Miniplant Potable Water in the Zenú Community. *SENA Centro Agroempresarial y Minero Regional Bolivar* 23–31.
- Lossio, Moira. (2012). Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones. universidad de Piura.
- Mayorga, Omar, & Mayorga, José. (2016). Propuesta de tratamiento del agua de consumo humano en pequeñas comunidades. Caso: Sector Santa Rosa-La Hechicera. *Revista INGENIERÍA UC*, (Mérida, Venezuela), 376–80.
- Ministerio de Desarrollo Económico. 2000. *Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Basico (Ras)*. Vol. 2.

Ministerio de la protección social. 2007a. *DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007*.

Ministerio de la protección social. 2007b. *Resolución 2115/2007*.

Montoya, Estefanía. (2016). Los acueductos y sistemas de distribución de agua comunitarios en el área rural de Bogotá y la gobernanza del agua en la ciudad los acueductos y sistemas de distribución de agua comunitarios en el área rural de Bogotá y La gobernanza del agua en la ciudad.(Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia.

Mwabi, J. K., F. E. Adeyemo, T. O. Mahlangu, B. B. Mamba, B. M. Brouckaert, C. D. Swartz, G. Offringa, L. Mpenyana-Monyatsi, and M. N. B. Momba. 2011. "Household Water Treatment Systems: A Solution to the Production of Safe Drinking Water by the Low-Income Communities of Southern Africa." *Physics and Chemistry of the Earth* 36(14–15):1120–28.

Nolasco, Salazar. (2018). Diseño de mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable y saneamiento básico rural del caserío de Motil, distrito de Agallpampa, Provincia de Otuzco, Departamento de La Libertad.(Trabajo de grado). Universidad Cesar Vallejo.

Ordoñez, Juan. (2011). Aguas Subterráneas - Acuíferos. *Foro peruano para el agua*. Lima-Perú.

Quijano, Juan., Jaimes, Rul. & Vera, Yorguin. (2015). Diseño y construcción de un prototipo de destilador solar de agua multiefecto para implementar en zonas rurales.(Trabajo de grado) Universidad Industrial de Santander.

Ramos, Levir & Urquieta, Priscilla. (2015). Captación, evaluación, tratamiento y diseño de una planta de consumo de agua potable en la localidad Pampas de Pajonal distrito de Mollebaya. (Trabajo de grado).Universidad nacional de san Agustín Arequipa.

Raqui, Zulma. (2017). Caracterización y diseño del sistema de agua potable y saneamiento, de la comunidad nativa San Román de Satinaki - Perené - Chanchamayo - Región Junín. (Trabajo de grado).Universidad Continental.

Reinoso, Alexandra. (2010). Diseño Del Sistema de Agua Potable Para La Comunidad de Cundaló, Parroquia Juan Montalvo, Cantón Latacunga, Provincia Del Cotopaxi. (Trabajo de grado). Universidad católica del Ecuador.

Ruiz Vela, Edison Patricio. (2018). Estudio y diseño de la red de agua potable para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes: la Florida baja, zona alta de Jesús de Gran Poder y Reina de Tránsito Del Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua. (Trabajo de grado). Universidad Técnica de Ambato. 324.

Torres, Parra., Alberto, Camilo., García-Ubaque, C., Garcia-Ubaque, J., García-Vaca, M & García, R. (2017). Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración. *Revista de Salud Pública* 19(4):453–59.

Totoy, Edwin & Moreta, Melinton. (2016). Diseño e implementación de una planta (prototipo) de tratamiento de agua potable tipo paquete para los pozos uno y dos de la escuela superior

politécnica de Chimborazo. (Trabajo de grado). Escuela superior politécnica de Chimborazo.

Varón, L. (2014). Uso de las plantas de tratamiento de agua potable en acueductos rurales. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia.