

DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE LA PALMA -
DEPARTAMENTO CUNDINAMARCA- COLOMBIA

BRANDON HAINOVER GARCIA BAUTISTA
LUDWIG CORREA BELLIDO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
MODALIDAD DIURNA
BOGOTÁ DC.
2018

DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE LA PALMA -
DEPARTAMENTO CUNDINAMARCA- COLOMBIA

BRANDON HAINOVER GARCIA BAUTISTA
LUDWIG CORREA BELLIDO

Trabajo de Grado para optar al título de:
Ingeniero Civil

Director
ING. MAURICIO GONZÁLEZ MÉNDEZ.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
MODALIDAD DIURNA
BOGOTÁ DC.

2018

2



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá DC. 2, mayo, 2018

CONTENIDO

CONTENIDO	5
RAE	16
INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES	18
1.1 ANTECEDENTES.....	18
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	25
1.3 OBJETIVOS.....	26
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	27
1.5 DELIMITACION	29
1.6 MARCO REFERENCIAL	30
1.7. METODOLOGÍA.....	57
1.8. DISEÑO METODOLÓGICO	57
2. EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO Y OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO	59
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PTAP DE LA PALMA CUNDINAMARCA. ESTACIÓN EL MATADERO.....	59
2.2 FUENTE DE ABASTECIMIENTO.....	60
2.3 CAPTACIÓN.....	60
2.4 ADUCCIÓN	62
2.5 DESARENADOR	63
2.6 ESTACIÓN DE BOMBEO.....	64
2.7 CANALETA PARSHALL	65

2.8 COAGULACIÓN	72
2.9 FLOCULACIÓN	72
2.10 SEDIMENTACIÓN.....	77
2.11 FILTRACIÓN	83
2.12 DESINFECCIÓN.....	88
2.13. EVALUACIÓN GENERAL	89
3. ANALISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA	
90	
3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	90
3.2 TEST DE JARRAS	116
3.3 PRUEBAS DE LABORATORIO EN UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.....	116
4. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	125
4.1 CANALETA PARSHALL	125
4.2 FLOCULADOR	129
4.3 SEDIMENTADOR TASA ALTA.....	131
4.4 FILTRACIÓN	133
4.5 DESINFECCIÓN.....	135
5. CONCLUSIONES	137
6. RECOMENDACIONES.....	138
BIBLIOGRAFÍA.....	139
ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE IMAGÉNES

Imagen 1. Aguas lluvia. (iStockphoto LP, 2017)	34
Imagen 2 Aguas superficiales. (iStockphoto LP, 2017)	35
Imagen 3. Aguas subterráneas. (iStockphoto LP, 2017)	35
Imagen 4. Proceso de potabilización del agua en el municipio de La Palma-Cundinamarca	36
Imagen 5. Toma lateral. (trickscollections, 2017)	37
Imagen 6 Toma sumergida. (SUSAN IRWIN, 2002)	37
Imagen 7. Captación flotante. (Monografias.com S.A., 2005)	38
Imagen 8. Captación mixta. (fing, 2015)	38
Imagen 9. Toma de rejilla. (SCSS, 2010)	39
Imagen 10. Espectro de la filtración. (RAS-TITULOC, 2013)	47
Imagen 11. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.	53
Imagen 12. Punto de captación.	61
Imagen 13. Bocatoma La Aguada.	61
Imagen 14 Bocatoma de fondo – Los Tiestos.	62
Imagen 15. Desarenador La Salada.	63
Imagen 16 Puente de Oro	64
Imagen 17. Dimensiones de la canaleta Parshall.	65
Imagen 18. Canaleta Parshall existente.	67
Imagen 19. Máquina para dosificar el coagulante.	72

Imagen 20. Tanques floculadores mecánicos.	73
Imagen 21. Floculadores hidráulico de flujo horizontal.	73
Imagen 22. Floculadores mecánicos fuera de servicio.	73
Imagen 23. Floculadores mecánicos fuera de servicio.	74
Imagen 24. Tanques sedimentadores (2 unidades).	77
Imagen 25. Tanques de sedimentación. (2 unidades)	78
Imagen 26. Tanque sedimentador. (2 unidades)	78
Imagen 27. Tanque de sedimentación. (2 unidades)	79
Imagen 28. Tanque de filtración. (2 unidades)	83
Imagen 29. Filtros y lecho filtrante.	84
Imagen 30. Válvulas de cierre para lavado de filtros.	84
Imagen 31. Tanques de sedimentación.	86
Imagen 32. Clorador.	88
Imagen 33 Clorador.	89
Imagen 34. Parámetro fisicoquímico color (septiembre).	92
Imagen 35. Parámetro fisicoquímico color (junio).	95
Imagen 36. Parámetro fisicoquímico color (mayo).	97
Imagen 37. Parámetro fisicoquímico turbiedad (septiembre).	104
Imagen 38. Parámetro fisicoquímico turbiedad (junio).	106
Imagen 39. Parámetro fisicoquímico turbiedad (mayo).	108
Imagen 40. Parámetro fisicoquímico Ph (septiembre).	111
Imagen 41. Parámetro fisicoquímico Ph (junio).	113
Imagen 42. Parámetro fisicoquímico Ph (mayo).	115
Imagen 43. Muestras agua tratada y cruda.	116

Imagen 44. Equipo para determinar parámetros físicos químicos del agua.	117
Imagen 45. Dosificación sobre de	119
Imagen 46. Muestra de agua tratada.	119
Imagen 47. Muestra de agua tratada para alcalinidad.	121
Imagen 48. Adición de naranja de metilo.	121
Imagen 49. Muestra naranja de metilo y fenolftaleína.	122
Imagen 50. Turbidez de test de jarras	124
Imagen 51. Ph de test de jarras	125

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Valor mínimo de calidad para color en el agua potable.	91
Cuadro 2. Valor de calidad mínimo para consumo humano de olor y sabor. (CITA)	98
Cuadro 3. Valor de calidad mínimo para consumo humano de turbiedad.	102
Cuadro 4. Rango de calidad mínimo para consumo humano de Ph.	110

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población. (RAS-TITULOB, 2003)	30
Tabla 2. Materiales de tuberías para la conducción de agua, normas aplicables y su vulnerabilidad frente a la deformación del suelo. (RAS-TITULOB, 2003)	40
Tabla 3. Parámetros de diseño comparativos entre filtros lentos de arena y filtros rápidos. (RAS-TITULOC, 2013)	46
Tabla 4 Características físicas del agua para consumo humano. (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, 2007)	55
Tabla 5 Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana. (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, 2007)	56
Tabla 6. Dimensiones de la canaleta Parshall en la PTAP El Matadero.	68
Tabla 7. Rangos de gradiente de velocidad y tiempo de retención.	75
Tabla 8. Tabla de valores mínimos exigidos para consumo humano. (CITA)	91
Tabla 9. Datos de laboratorio para parámetro de color tomando tomados por la PTAP (junio).	91
Tabla 10. Medidas de tendencia para valores de color suministrados por la PTAP.	93
Tabla 11. Datos de laboratorio para parámetro de color tomando tomados por la PTAP (junio).	93
Tabla 12. Medidas de tendencia para valores de color suministrados por la PTAP (junio).	95
Tabla 13. Datos de laboratorio para parámetro de color tomando tomados por la PTAP (junio).	96
Tabla 14. Medidas de tendencia para valores de color suministrados por la PTAP (junio).	97
Tabla 15. Datos de laboratorio para parámetro de color tomando tomados en auditoría (junio).	97

Tabla 16. Datos de laboratorio para parámetro de color tomando tomados en auditoría (julio).	98
Tabla 17. Datos de laboratorio para parámetro de olor y sabor tomando tomados por la PTAP (septiembre).	99
Tabla 18. Datos de laboratorio para parámetro de olor y sabor tomando tomados por la PTAP (junio).	100
Tabla 19. Datos de laboratorio para parámetro de olor y sabor tomando tomados por la PTAP (mayo).	101
Tabla 20. Datos de laboratorio para parámetro de turbiedad tomados por la PTAP (septiembre).	103
Tabla 21. Medidas de tendencia para valores de turbidez suministrados por la PTAP (septiembre).	104
Tabla 22. Datos de laboratorio para parámetro de turbiedad tomados por la PTAP (junio).	104
Tabla 23. Medidas de tendencia para valores de turbidez suministrados por la PTAP (junio).	106
Tabla 24. Datos de laboratorio para parámetro de turbiedad tomados por la PTAP (mayo).	106
Tabla 25. Medidas de tendencia para valores de turbidez suministrados por la PTAP (junio).	108
Tabla 26. Datos de laboratorio para parámetro de turbiedad tomados en auditoría (junio).	109
Tabla 27. Datos de laboratorio para parámetro de turbiedad tomados en auditoría (julio).	109
Tabla 28. Datos de laboratorio para parámetro de Ph tomados por la PTAP (septiembre).	110
Tabla 29. Medidas de tendencia para valores de Ph suministrados por la PTAP (septiembre).	112
Tabla 30. Datos de laboratorio para parámetro de Ph tomados por la PTAP (junio).	112

Tabla 31. Medidas de tendencia para valores de Ph suministrados por la PTAP (junio).	113
Tabla 32. Datos de laboratorio para parámetro de Ph tomados por la PTAP (mayo).	114
Tabla 33. Medidas de tendencia para valores de Ph suministrados por la PTAP (mayo).	115
Tabla 34. Valores obtenidos en laboratorio Universidad Católica de Colombia para agua cruda.	117
Tabla 35. Valores obtenidos en laboratorio Universidad Católica de Colombia para agua tratada.	118
Tabla 36. Resultados obtenidos en laboratorio de Universidad Católica de Colombia para cada una de las muestras en test de jarras.	123
Tabla 37. Medidas de tendencia para valores de turbidez en test de jarras.	124
Tabla 38. Medidas de tendencia para valores de Ph en test de jarras.	125
Tabla 39. Parámetros iniciales en canaleta Parshall.	126

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados por la PTAP (septiembre).....	144
Anexo 2. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados por la PTAP (junio).....	144
Anexo 3. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados por la PTAP (mayo).....	145
Anexo 4. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados en auditoria (junio).....	145
Anexo 5. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados en auditoria (julio).....	146
Anexo 6. Equipo para determinar parámetros fisicoquímicos del agua. Universidad Católica de Colombia.....	146
Anexo 7. Determinación de parámetros físicos químicos para agua cruda y tratada.	147
Anexo 8. Determinación del parámetro de color para agua cruda y tratada.	147
Anexo 9. Proceso para determinación de aluminio existente en muestra de agua tratada. Universidad Católica de Colombia.....	148
Anexo 10. Pasos a seguir para determinar cantidad de aluminio en muestra de agua, según el equipo utilizado. Universidad Católica de Colombia.....	148
Anexo 11. Equipo utilizado para determinar cantidad de aluminio presente en muestra de agua tratada. Universidad Católica de Colombia.	149
Anexo 12. Valor de aluminio obtenido para muestra de agua trata. Universidad Católica de Colombia.....	150
Anexo 13. Muestra de agua tratada analizada para cantidad de aluminio. Universidad Católica de Colombia.	150
Anexo 14. Muestra de agua tratada, fenolftaleína y naranja de metilo. Universidad Católica de Colombia.....	151

Anexo 15. Muestra a reaccionar con fenolftaleína. Universidad Católica de Colombia.....	151
Anexo 16. Muestra a reaccionar con naranja de metilo. Universidad Católica de Colombia.....	152
Anexo 17. Adición de cloruro a muestra de agua para causar reacción. Universidad Católica de Colombia.....	152
Anexo 18. Adición de a muestra de agua y causar reacción. Universidad Católica de Colombia.....	153
Anexo 19. Mezcla de bentonita para simular turbidez mayor a la real, en el agua cruda a analizar en el test de jarras. Universidad Católica de Colombia.	154
Anexo 20. Cantidad de coagulante a adicionar a cada una de las muestras de agua cruda. Universidad Católica de Colombia.	154
Anexo 21. Adición muestras de agua cruda de 800 ml para agua cruda. Universidad Católica de Colombia.....	155
Anexo 22. Adición de coagulante a cada una de las muestras con su cantidad en ml correspondiente.	155
Anexo 23. Montaje de las muestras de agua cruda en el equipo para realizar análisis de test de jarras. Universidad Católica de Colombia.	156
Anexo 24. Formación de floc en cada una de las muestras. Universidad Católica de Colombia.....	156
Anexo 25. Formación de floc en muestras de agua cruda analizadas. Universidad Católica de Colombia.....	157
Anexo 26. Desmonte de las muestras de agua cruda del equipo para test de jarras y su posterior análisis de parámetros fisicoquímicos de cada una de ellas. Universidad Católica de Colombia.....	157
Anexo 27. Determinación de los parámetros fisicoquímicos a muestras de agua después de test de jarras. Universidad Católica de Colombia.....	158

RAE

INTRODUCCIÓN

El presente texto es un trabajo de investigación, en el que se de desarrollo el proceso técnico y práctico del diagnóstico y la propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) en el municipio de La Palma-Cundinamarca, la PTAP se encuentra en la parte baja del casco urbano municipal, Los componentes principales de la PTAP son una canaleta Parshall, dos floculadores mecánicos, dos sedimentadores, dos unidades de filtración, y un tanque de contacto y succión , el municipio se encuentra ubicado al nororiente de Bogotá, cuenta 10.391 habitantes, tiene una temperatura de 21 grados centígrados y una altitud de 1.462 msnm. Está situada en medio de una especie de plataforma en las faldas de la cordillera de la Lausana u Osa, en medio de dos colinas: San Javier y La Cruz, tiene una extensión de 19.067,34 hectáreas y limita al norte con el municipio de Yacopí, al sur con los municipios de Utica y la Peña, al oriente con los municipios de Topaipí y el Peñón y al occidente con el municipio de Caparrapí (La Palma Cundinamarca, 2014).

Con el fin de contribuir a la comunidad con un nivel de vida mucho más alto en cuanto a la salubridad y demás beneficios que trae el consumo del recurso hídrico en óptimas condiciones, lo ya mencionado se realizó con un proceso técnico de una búsqueda de información con datos que estimaron un previo funcionamiento del sistema de tratamiento, se procedió a realizar el proceso practico que incluyo una visita al sitio para hacer un reconocimiento de los procesos, toma de muestras, estructuras del sistema y demás datos necesarios para los ensayos que se realizaron y que arrojaron resultados con los cuales se pudo evaluar el funcionamiento actual de la PTAP y los parámetros físico-químicos del agua tratada. Un análisis del sistema de potabilización y el uso de los recursos de la PTAP ayudo a realizar el diagnóstico de los procesos llevados a cabo en la PTAP y así diseñar una alternativa que dé solución a las debilidades o fallas que se presenten, teniendo así una optimización del tratamiento del agua. Se propone una solución final que será la más adecuada para el mejor tratamiento y obtener mejor calidad en el agua suministrada al municipio.

El documento se encuentra dividido en varios capítulos, que permiten identificar la problemática del municipio y el planteamiento del proyecto que se pretende realizar. Así mismo, contiene las principales fases para el desarrollo del mismo y sus respectivos estudios y análisis que han permitido llegar al planteamiento de las soluciones, el diseño de las nuevas estructuras y las conclusiones pertinentes.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El servicio de agua potable está considerando como un derecho por la constitución política de Colombia de 1991 para la población colombiana, particularmente en el artículo 49 se establece que el estado debe garantizar el saneamiento ambiental de los servicios públicos, para el caso a tratar el agua potable, para el tratamiento y potabilización del recurso hídricos los diferentes municipios, ciudades y demás deberían contar con una planta de tratamiento de agua potable (PTAP), en donde se garantice las condiciones mínimas de calidad de agua y el posterior consumo de este recurso.

El municipio cuenta con una PTAP de nivel de complejidad medio alto por el número de sus habitantes y la capacidad económica del municipio, estos parámetros están definidos en el numeral A.3.1. Del reglamento de agua potable y saneamiento básico RAS (RAS-TITULO A, 2000). Esta además es una planta convencional donde se llevan a cabo los procesos como lo son; floculación, sedimentación, filtración y en estas también se cuenta con tiempo de retención considerables.

Los municipios que cuentan con estas PTAP, olvidan que estas estructuras y equipos donde se llevan a cabo los procesos de potabilización, se debe controlar y además realizar el debido mantenimiento para que en todo el proceso se cumpla el funcionamiento a cabalidad y el producto final del tratamiento del agua sea óptimo para el consumo humano.

A continuación, se muestran algunos trabajos realizados en el marco nacional en lo que compete al diagnóstico y propuesta de mejoramiento de la PTAP de estas mismas.

- **DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE GUATEQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ-COLOMBIA**

Este trabajo de grado fue realizado por la Ing. Zaida Camila Pérez Cuadros de la Universidad Católica de Colombia. Este fue el desarrollo de su investigación y trabajo de grado:

La ingeniera responsable de la realización de este trabajo de grado tenía como objetivo principal el observar el funcionamiento operacional y de mantenimiento que se maneja para cada unidad y equipo de la planta. El proceso por el cual se recolecta la información necesaria, se obtuvo cuando se siguió el recorrido del agua

en la planta, mediante una inspección en tiempo real del funcionamiento de los equipos y unidades de tratamiento y también se complementó con un informe realizado por las operadoras que estaban presentes el día de la visita en donde realizaban una descripción y unos comentarios respecto a los procesos que se realizan en la clarificación del agua. Al haber hecho el diagnóstico se lograron identificar y de esta misma manera resaltar las fallas y el funcionamiento de cada una de las unidades de tratamiento y de los equipos utilizados para las recomendaciones, estas tenían como fin la implementación y puesta en marcha para hacer la operación en la planta más técnica y con controles definidos que permitan siempre mejorar la calidad del agua producida y reducir los costos de producción. (PEREZ, 2016)

- **DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SAN ANTONIO- ASOCIACION SUCUNETA**

La investigación fue realizada en la Universidad Francisco José de Caldas, por los ingenieros Angie Consuelo López Núñez y Brayan Fernando Jiménez Sabogal y desarrollaron su trabajo así:

En esta investigación se tenía como objetivo principal el diagnóstico de la PTAP del acueducto de la asociación Sucuneta, en su investigación se describió el proceso de abastecimiento desde la planta de agua potable hasta la comunidad de los municipios de Tausa, Sutatausa, Cogua, Cucunuba y Nemocon desde la PTAP San Antonio.

Los responsables del desarrollo de este trabajo de grado manejaron una metodología, en la que se basaron en los parámetros vigentes en la normatividad actual, y como primer paso a dar tenían la recolección de información acerca de acueducto rural, su respectivo funcionamiento y la calidad del agua captada y después de ser tratada, luego realizaron la visita al lugar a estudiar en la que reconocieron los procesos presentes en la planta y cada una de las estructuras con las que contaba el sistema de tratamiento, como gran ayuda en esta visita los investigadores contaron con la presencia de la persona encargada de la operación de la planta. Para la realización de la jornada de reconocimiento y de recopilación de información de la planta San Antonio se contó con material didáctico y ayuda audiovisual. Con el fin de establecer un diagnóstico sobre el abastecimiento de agua potable en zona rural, requiriendo un trabajo de campo desde la bocatoma hasta el tanque de almacenamiento y dosificación de desinfectante, donde se contó con la orientación del operador del sistema de acueducto.

Los estudiantes al tener información tomada por ellos mismos realizaron una comparación con los datos brindados por el personal administrativo del acueducto

y también con parámetros que rige la normatividad actual. Finalmente realizaron un análisis de los componentes del sistema de abastecimiento a partir de la observación de las estructuras que componían el acueducto rural, para ello realizaron el trabajo en campo con las herramientas necesarias para el cumplimiento de dicho objetivo, por medio de registros fotográfico que permitieron identificar las condiciones en las cuales se encontraron funcionando las estructuras. (NÚÑEZ, 2016)

- **DIAGNÓSTICO RÁPIDO PARA EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE PLANTAS POTABILIZADORAS CONVENCIONALES.**

Este trabajo de grado fue desarrollado de una manera diferente a lo comúnmente usada para realizar el diagnostico ya que se dio uso de un software de diagnóstico y fue realizada por los ingenieros Humberto Carlos Noya Romero y José Luis Pulgar Anillo, en la universidad de Cartagena- Colombia.

El estudio realizado por los autores tiene por objetivo automatizar las herramientas de evaluación del funcionamiento hidráulico de las plantas de tratamiento de agua potable convencionales, con el fin de generar diagnósticos rápidos al momento de comparar los parámetros de diseño y operación de estas plantas, con los establecidos en el RAS-2000 y el CEPIS/OPS. La importancia del estudio reside en la necesidad de conocer el estado actual de las condiciones hidráulicas de las plantas en un corto tiempo, al facilitar el trabajo de los ingenieros que no cuenten con los elementos necesarios para realizar pruebas de tratabilidad y muestreo con trazadores, debido al ambiente que se vive en los municipios colombianos donde reina la escases de recursos económicos; se desarrolló un Software con el cual se diagnosticaron dos plantas ubicadas en municipios del norte de Bolívar. A través de estos diagnósticos se identificaron y caracterizaron las falencias que presentan cada unidad de tratamiento como lo es la mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración, ante el caudal de operación y el caudal de diseño. El Software se desarrolló a partir de una amplia revisión bibliográfica referenciando el diseño y las normas tanto nacionales como internacionales; para realizar los diagnósticos rápidos se visitaron las instalaciones de las plantas para inspeccionarla visualmente e identificar el tipo de unidades con las que cuenta, entrevistar al personal encargado de su operación con la intención de recoger información del diseño y la operación, y tomar las mediciones necesarias de caudal, dimensiones y temperaturas necesarias para la implementación del Software diseñado; comprendiendo de esta forma un estudio de tipo mixto con una primera etapa cuantitativa y una segunda cualitativa. Se logró automatizar las herramientas de evaluación y se elaboró un diagnostico preliminar de las plantas estudiadas, detectando fallas en todas las unidades de la planta de Arjona, razón por la cual se recomienda bajar el caudal a niveles adecuados o reestructurar; la planta de El

guamo funciona correctamente a excepción de la canaleta Parshall ya que no es apta para manejar el caudal de diseño del resto de las unidades. (Noya Romero, 2016)

- **PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE BITUIMA, CUNDINAMARCA.**

Este trabajo de grado tiene un enfoque diferente al diagnóstico, ya que además de realizar el diagnóstico generan una propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua, pero esto no es impide citarlo como antecedente ya que para llegar a su objetivo principal deben realizar un diagnóstico. Esta investigación fue realizada por Sandra Milena Sánchez Gamba y María Paula Peña Bernal en la universidad de la Salle sede Bogotá D.C.

Al realizar el diagnóstico previo los investigadores identificaron las unidades de la PTAP del municipio de Bituima- Cundinamarca las cuales presentaban problemas durante el tratamiento del recurso hídrico, y se encontraron los puntos críticos en donde se debía enfocar el mejoramiento que eran los elementos de; floculación, filtros II y la ausencia de un tanque para la mezcla con el cloro. A lo que se dice anteriormente se realizaron pruebas fisicoquímicas y microbiológicas que se realizaron tanto en el punto donde se realiza la captación como también en un punto en donde ya el agua está siendo tratada en la PTAP y como último con base a los diagnósticos realizados se diseñaron recomendaciones en el mejoramiento de la planta, acompañadas de algunas recomendaciones en cuanto a la selección de la alternativa económica y ambientalmente más viable, esto con el fin de que la empresa de servicios públicos del municipio implemente una de ellas y se logre un mejor funcionamiento de la planta, una mejor calidad del agua potable y un respectivo aumento de la calidad de vida de los habitantes del municipio de Bituima, Cundinamarca. (GAMBA, 2011)

- **DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN MOMPOX- BOLIVAR.**

Realizado por Candelaria Tejada Tovar, Ángel Villabona Ortiz y Benjamín Buelvas Lidueñas. En la universidad de Cartagena- Colombia.

En el artículo desarrollado por los investigadores se presentan los resultados del diagnóstico, y la evaluación técnica y operativa del sistema de tratamiento de agua potable de la Cabecera Municipal de Santa Cruz de Mompox, en el departamento de Bolívar. A lo largo de este artículo se describen las características generales que

se presentan en la población, límites, climatología, hidrografía, usos del suelo, vías, aspectos socioeconómicos y disponibilidad de servicios públicos, y realizaron una descripción detallada de la infraestructura existente en los componentes que conforman el sistema de acueducto del casco urbano del municipio, detallando las características, estado, y uso de cada componente, complementado con recomendaciones, conclusiones del diagnóstico y evolución de la planta de tratamiento de agua potable PTAP. (Tovar, 2013)

- **DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA PTAP DEL MUNICIPIO DE FÓMEQUE, (CUNDINAMARCA).**

Realizado por los ingenieros Cindy Yaneth Jiménez y Miguel Ángel Sabogal en la universidad católica de Colombia en el presente año.

En el trabajo desarrollado por los investigadores se tenía objetivo analizar y describir la planta de tratamiento de agua potable PTAP del municipio de Fómeque (Cundinamarca), ubicada en la vereda el Mortiñal, Describen los ensayos y laboratorios realizados para la caracterización del agua a tratar y los lugares en donde se tomaron las muestras a analizar que fueron; bocatoma, la entrada y la salida de la PTAP, su fin fue el de evaluarla y compararla con la Resolución 2115 del 2007. Realizaron la prueba de test de jarras con el fin de obtener la dosis de coagulante (sulfato de aluminio tipo A) óptimo para brindar la formación del floc y obtener agua apta para el consumo humano posteriormente del proceso de tratamiento en la PTAP.

Teniendo estos textos que muestran el proceso que siguieron en cada una de las investigaciones hechas por los ingenieros, tomaremos como base estos trabajos de grado para realizar un buen diagnóstico del lugar de estudio que nos corresponde y así tener los mejores resultados, para posteriormente realizar un buen análisis e identificación de las deficiencias que presenta la planta y seguir nuestro proceso hacia la modelación de la estructura. (JIMÉNEZ, 2017)

- **LIFE CYCLE ASSESSMENT OF FOUR POTABLE WATER TREATMENT PLANTS IN NORTHEASTERN COLOMBIA.**

Realizados por los investigadores Oscar Orlando Ortiz Rodríguez, Raquel Amanda Villamizar Gallardo, Rafael Guillermo García en la Universidad de Pamplona en el Norte de Santander, Colombia en junio del 2016.

El artículo se enfoca en evaluar las cargas ambientales de cuatro plantas de tratamiento de agua potable ubicadas en el noroeste de Colombia, a través de la

metodología ambiental de Life Cycle Assessment (LCA) siguiendo las directrices internacionales delineadas en ISO 14014.

Las diferentes etapas del proceso de agua potable se evalúan minuciosamente, desde la captación hasta el bombeo de la red de distribución. La unidad funcional se determinó como 1 m³ de agua potable producida en la planta, a través de la base de datos Ecoinvent v.3. 01 fueron analizados, modelados y procesados en el software LCA-Data Manager los datos, Los resultados mostraron que en las plantas PLA-CA y PLA-PO, el proceso de floculación tiene la carga ambiental más alta, que es principalmente atribuible al agente coagulante, con un rango entre 47-73% del impacto total. En las plantas PLA-TON y PLA-BOS, el consumo de electricidad se identificó como la fuente de mayor impacto, con porcentajes que van del 67 al 85%. Los procesos y las técnicas de tratamiento, las condiciones bioclimáticas y el comportamiento de consumo impulsado culturalmente variaron de una región a otra. Además, es probable que los cambios en los procesos y técnicas de tratamiento afecten el medio ambiente durante todas las etapas del ciclo operativo de una planta. (Rodriguez, 2016)

- DRINKING WATER: PROBLEMS RELATED TO WATER SUPPLY IN BAHÍA BLANCA, ARGENTINA.

Realizados por los investigadores Echenique Ricardo, Giannuzzi Leda y Ferrari Luis en la Universidad de Universidad de Morón, Bs. As., Argentina en diciembre del 2006.

El artículo se enfoca en una propuesta de mejoramiento en el suministro de agua en Bahía Blanca, Argentina, En abril de 2000 se detectaron las alteraciones del agua, como olores similares a los de los plaguicidas organoclorados, se generó un informe de reacciones dérmicas y problemas respiratorios de la población, Se analizaron muestras que fueron tomadas del embalse Paso de las Piedras, dos plantas de tratamiento de agua en los puntos de entrada y salida y en varias casas particulares, Se analizó la eficiencia para eliminar microorganismos (ER) de las plantas de tratamiento considerando el número de células del fitoplancton total. Se realizaron análisis bacteriológicos, estudios cualitativos y cuantitativos de fitoplancton, plaguicidas, THM (trihalometanos) y análisis de BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) en muestras de suministro doméstico y en las plantas de tratamiento. Si bien las muestras fueron bacteriológicas potables, *Anabaena circinalis* y *Microcystis aeruginosa* se encontraron en altas concentraciones en algunos casos. No se detectaron plaguicidas. (Echenique , Giannuzzi , & Ferrari, 2006)

- **METHODOLOGICAL APPROACH FOR THE OPTIMIZATION OF DRINKING WATER TREATMENT PLANTS' OPERATION: A CASE STUDY**

En la investigación presentada a continuación, se mencionan las posibles fallas que se presentan en el tratamiento del agua y el proceso seguido para evaluar el funcionamiento y rendimiento de la planta de tratamiento. Ha sido desarrollada por los investigadores; [Sorlini S](#), [Collivignarelli MC](#), [Castagnola F](#), [Crotti BM](#), [Raboni M](#).

El tratamiento de aguas es muy variado y en las problemáticas se pueden destacar; las fuentes (por ejemplo, contaminación del agua subterránea), tratamientos (por ejemplo, plantas de tratamiento que no funcionan adecuadamente) y / o contaminación dentro del sistema de distribución (infraestructura no mantenida adecuadamente). La evaluación del rendimiento de estos sistemas, basada en la supervisión, el control de parámetros del proceso y las pruebas experimentales, es una herramienta viable para la optimización del proceso y el control de la calidad del agua.

El objetivo de este estudio fue definir un procedimiento para evaluar el rendimiento de las plantas de tratamiento de agua potable a gran escala (DWTP) y para definir soluciones óptimas para la mejora de la planta con el fin de optimizar la operación. El protocolo usado en este caso por los investigadores se compone de cuatro fases principales que son:

- Fases 1 y 2 programas de monitoreo de rutina e intensivos
- Fase 3 estudios experimentales
- Fase 4 actualización y optimización de la planta

El protocolo sugerido en este estudio se probó en un DWTP a escala real ubicado en el norte de Italia (Mortara, Pavia). Los resultados describen algunos aspectos críticos de la operación de la planta y permiten la identificación de soluciones factibles para la actualización DWTP con el fin de optimizar la operación de tratamiento del agua. (Sorlini S1 & Collivignarelli MC, 2015)

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema

¿Cómo está operando y funcionando la PTAP del municipio de La Palma – Cundinamarca? ¿Cómo con el diagnóstico y propuesta de mejoramiento de la PTAP del municipio de La Palma- Cundinamarca se puede mejorar el funcionamiento de esta?

1.2.2 Formulación del Problema

El principal problema radica en que a pesar de existir una PTAP para el municipio de La Palma- Cundinamarca, no se cuenta con un recurso hídrico con las mejores condiciones para el consumo humano donde la mala calidad del recurso hídrico se asocia fundamentalmente al mal funcionamiento y operación de esta, se puede decir también que esto puede ser potenciado porque la estructura fue diseñada y construida hace varios años y no se le ha realizado el debido mantenimiento a los equipos y demás utensilios que hacen parte del proceso de potabilización. Además, se suma como otra causa el aumento de la población lo que hace que la planta no realice sus procesos adecuadamente, ya que la prioridad es cumplir con la dotación a la población y no con la calidad del recurso hídrico, como último y no menos importantes se tienen el aumento de vertimientos industriales y ganaderos aguas arriba del punto de la captación del recurso para el municipio.

Como herramienta se presentó una propuesta de mejoramiento de la estructura en donde se pueden observar y analizar los procesos a modificar o adecuar según las normas actuales establecidas en el RAS 2000 (resolución 2115 y resolución 0330¹) sus respectivas resoluciones y según también las necesidades de la comunidad, todo esto con el fin de obtener un proceso del tratamiento del agua en la PTAP más eficiente y que arroje un recurso hídrico en mejores condiciones para el consumo humano.

¹ Resolución 0330. Reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en la etapa de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Proponer la propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable en el municipio de La Palma Cundinamarca.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el funcionamiento hidráulico y operaciones unitarias de la planta de tratamiento de agua potable del municipio basándose en la resolución 0330 del 2017.
- Analizar los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua con el fin de conocer su estado actual.
- Proponer alternativas de mejoramiento de los procesos unitarios de la planta de tratamiento de agua potable para cumplir con la normatividad vigente.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La PTAP del municipio de La Palma- Cundinamarca se ubica en el sector del sur del municipio, esta tiene una operación de las 24 horas del día y cuenta con 1 operador capacitado para el buen funcionamiento y la realización de los controles del proceso del tratamiento como lo son: la coagulación, que es el proceso mediante el cual se inyecta un coagulante para la desintegración de las partículas, la floculación que tiene por objeto aglutinar los coloides facilitando la sedimentación y su posterior filtrado, desinfección que tiene por finalidad la eliminación de microorganismos patógenos que no han sido eliminados en las fases iniciales (romero, 2009). A pesar de cubrir el suministro del total de la población presenta deficiencias por la antigüedad de las estructuras del sistema.

Es de suma importancia cumplir con la calidad de agua por cuestiones de salubridad para la comunidad y por esto mismo se debe estudiar y verificar que se cumpla con las especificaciones de calidad mínimas para el consumo humano, este proceso se realiza con pruebas de laboratorio y la realización de estos en cuanto a la regularidad con la que se hacen depende del presupuesto de la entidad que administra y/o opera la PTAP, o también de la calidad de donde proviene el recurso hídrico (en el marco de la resolución 2115 de 2007², de esta manera también se puede decir que la dotación mínima y adecuada es una necesidad más a tratar y analizar en el diagnóstico ya que por medio de la población, la geografía, el clima y demás aspectos se determinará el consumo del recurso por parte de la comunidad y basados en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) y demás normas, se analizará si actualmente la PTAP cumple con el requisito de dotación mínima.

Ahora bien, la economía entra en los aspectos por los que se debe realizar un diagnóstico, puesto que en este proceso se pueden evidenciar falencias y mejoras a realizar para prever adecuaciones, reparaciones, mantenimiento y demás acciones pertinentes al buen funcionamiento de la PTAP y el servicio prestado a la comunidad y que si se realizan en un momento adecuado evitaren sobrecostos y desperdicio de recursos por el descuido o ineficiencia del control y supervisión.

² Resolución 2115. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf

Un sistema de tratamiento de agua potable es garantía de un buen nivel de salubridad de la población beneficiada y también el municipio al ser un destino turístico en desarrollo y que su economía dependa en gran porcentaje al turismo y recreación, debe invertir e interesarse para que su población flotante no se vea perjudicada por el consumo del recurso hídrico de la zona y por el contrario si se sienta atraída por la calidad del agua del municipio de La Palma- Cundinamarca.

1.5 DELIMITACION

1.5.1 Espacio

El municipio de La Palma Cundinamarca, es el área demarcada como el espacio a intervenir y por esto mismo es la delimitación de espacio que se ha proyectado para el desarrollo e investigación del tema que se está tratando. Dado que es un municipio que se abastece de diferentes fuentes hídricas y cuenta con dos PTAP, también se menciona que la PTAP que ha sido analizada y se le ha presentado una propuesta de mejoramiento es para la PTAP de El matadero, esta ha sido seleccionada ya que es la principal y la que aporta un caudal mayor de recurso hídrico al municipio.

1.5.2 Tiempo

En la medida que se enmarca la investigación, se rige por la resolución 0330 de 2017, esta misma nos indica que la propuesta de diseño que se debe presentar debe contemplarse a un término de 25 años y por ende cada uno de los procesos que han sido evaluados y que se analizó que no cumplía con los parámetros mínimos, se ha realizado un nuevo diseño, teniendo en cuenta sus deficiencias detectadas y presupuestadas para un tiempo de eficiencia de 25 años.

1.5.3 Contenido

Los procesos que se contemplan en una PTAP para la potabilización del recurso hídrico y que van a ser estudiados, analizados, evaluados, son los mencionados en el 1.6.1. Marco teórico.

1.5.4 Alcance

El alcance de este proyecto se enmarca en la propuesta de mejoramiento de la PTAP del municipio de La Palma- Cundinamarca, se realizó un previo diagnóstico y se desarrolló por medio de ensayos y pruebas de laboratorio, con los resultados arrojados en cada ensayo se evaluó el funcionamiento del sistema de tratamiento. Por su parte, la propuesta de mejoramiento se realizó según los resultados del diagnóstico, teniendo en cuenta las especificaciones de cada una de las estructuras y lo observado en la visita al sitio para así tener un producto final totalmente funcional.

En cuanto a limitaciones, el proyecto se ve limitado al tiempo, ya que cada fase depende de la anterior y eso podría dificultar el desarrollo de la investigación, seriamente en lo que compete a la búsqueda de información, tanto en planos de

diseño, archivos e informes del funcionamiento actual y demás documentos que registren datos importantes de la PTAP del municipio de La Palma- Cundinamarca. Adicionalmente, se ve limitado por la realización de ensayos de laboratorio y la conservación de las condiciones originales de la muestra a ensayar.

1.6 MARCO REFERENCIAL

1.6.1 Marco teórico

Para realizar el diseño de una planta de tratamiento de agua potable hay que realizar unos determinados pasos los cuales son: etapa de conceptualización y planificación, definición del nivel de complejidad del sistema, aspectos ambientales relacionados con el sistema de acueducto y etapa de diseño. (RAS - Ministerio de Vivienda, 2014)

1.6.1.1 Cálculo de población

Para realizar la proyección de la población se recopilan datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), para definir un nivel de complejidad del sistema y para la proyección de la población. El último censo a utilizarse para la proyección de la población debe ser el último dato de población establecido por el DANE. (RAS-TITULOB, 2003)

1.6.1.2 Métodos de cálculo

La proyección de la población depende del nivel de complejidad según se muestra en la Tabla 1. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población., se utilizan los siguientes métodos para el cálculo lo cuales son: aritmético, geométrico y exponencial, se toma uno de los tres métodos, el método que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población. (RAS-TITULOB, 2003)

Tabla 1. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población. (RAS-TITULOB, 2003)

Método por emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, geométrico y exponencial	X			
Aritmético, geométrico, exponencial, otros			X	X
Por componentes(demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X
Método gráfico	X	X		

A continuación, se hace una breve descripción de los principales métodos de proyección de la población, de acuerdo al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable RAS. (RAS-TITULOB, 2003)

• **Método Aritmético**

Este supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente. (RAS-TITULOB, 2003) :

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} \times (Tf - Tuc)$$

Ecuación 1. Población proyectada método aritmético.

donde:

Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tci= Año correspondiente al censo inicial con información.

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

• **Método Geométrico**

Es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es (RAS-TITULOB, 2003):

$$Pf = Puc(1 + r)^{Tf - Tuc}$$

Ecuación 2. Población proyectada método geométrico.

donde:

r= Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

Pf= Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tf= Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera (RAS-TITULOB, 2003):

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci}\right)^{\frac{1}{(Tuc - Tci)}} - 1$$

Ecuación 3. Tasa de crecimiento anual.

• Método exponencial

Requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, en donde el último censo corresponde a la proyección del DANE. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente (RAS-TITULOB, 2003):

$$P_f = P_{ci} \times e^{kx(T_f - T_{ci})}$$

Ecuación 4. Población proyectada método exponencial.

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así (RAS-TITULOB, 2003):

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Ecuación 4. Tasa de crecimiento de la población.

donde:

P_{cp} = Población del censo posterior (proyección del DANE).

P_{ca} = Población del censo anterior (habitantes).

T_{cp} = Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca} = Año correspondiente al censo anterior.

Ln = Logaritmo natural o neperiano.

• Cálculo de la demanda de agua

Se calcularán caudales los cuales serán: caudal medio diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario para determinar el consumo a lo largo del día, con el fin de establecer una magnitud y necesidad de un posible almacenamiento. (RAS-TITULOB, 2003)

• Caudal medio diario

El caudal medio diario (Q_{md}), corresponde al promedio de los consumos diarios de caudal en un período de un año, proyectado al horizonte de diseño, el cual debe calcularse utilizando la siguiente ecuación (RAS-TITULOB, 2003):

$$Q_{md} = \frac{\text{No. suscriptores} \times d_{bruta}}{30}$$

Ecuación 5. Caudal medio diario.

Donde:

Q_{md}: caudal medio diario

d_{bruta}: dotación bruta, dada en metros cúbicos/suscriptor mes En esta ecuación 30 representa el número de días en el mes.

• Caudal máximo diario

El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k₁, como se indica en la siguiente ecuación (RAS-TITULOB, 2003):

$$QMD = Q_{md} \times k_1$$

Ecuación 6. Caudal máximo diario.

Donde:

QMD: caudal máximo diario

Q_{md}: caudal medio diario

k₁: coeficiente de consumo máximo diario

El coeficiente de consumo máximo diario, k₁, se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año. En caso de sistemas nuevos, el valor del coeficiente de consumo máximo diario, k₁, será 1.30.

• Caudal máximo horario

El caudal máximo horario (QMH), corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el 39 caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k₂, según la siguiente ecuación (RAS-TITULOB, 2003):

$$QMH = QMD \times k_2$$

Ecuación 7. Caudal máximo horario

Donde:

QMH: caudal máximo horario

Q_{md}: caudal medio diario

K₂: coeficiente de consumo máximo horario

El coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario, k₂, puede calcularse, para el caso de ampliaciones o extensiones de sistemas de acueducto, como la relación entre el caudal máximo horario, QMH, y el caudal máximo diario, QMD, registrados durante un período mínimo de un año, sin incluir los días en que ocurran fallas relevantes en el servicio.

En el caso de sistemas de acueductos nuevos, el coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario, k_2 , corresponde a un valor comprendido entre 1.3 y 1.7 de acuerdo con las características locales.

1.6.1.3 Fuente de abastecimiento

Para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable, la fuente de agua constituye el elemento primordial del diseño, se necesita saber su ubicación, cantidad, tipo y calidad. Según su ubicación, naturaleza de la fuente de abastecimiento y su topografía se consideran dos tipos de sistemas los cuales son: gravedad y bombeo.

Sistema de agua potable por gravedad: La fuente de agua se debe ubicar en la zona más alta de la población para que a través de tuberías pueda fluir el agua, aplicando la fuerza de la gravedad.

Sistema de agua potable por bombeo: La fuente de agua se debe ubicar en elevaciones inferiores a la población, para transportar el agua por sistema de bombeo a reservorios de almacenamiento que se ubican en la parte alta al centro del poblado.

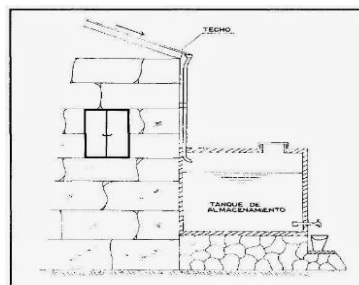
En el sistema de abastecimiento de agua potable se debe seleccionar una fuente adecuada o varias fuentes para abastecer la cantidad requerida para el poblado. Se consideran tres tipos de fuentes principales las cuales son: agua lluvia, aguas superficiales y aguas subterráneas. (Jersyn, 2013)

1.6.1.4 Tipos de fuente de agua

• Agua lluvia

Se emplea en los casos cuando no se puede obtener aguas superficiales y aguas subterráneas de buena calidad y cuando el régimen de lluvia sea importante. Para la captación del agua se utilizan los techos de las casas o superficies impermeables para conducirla a un sistema cuya capacidad depende delo gasto requerido. (Jersyn, 2013)

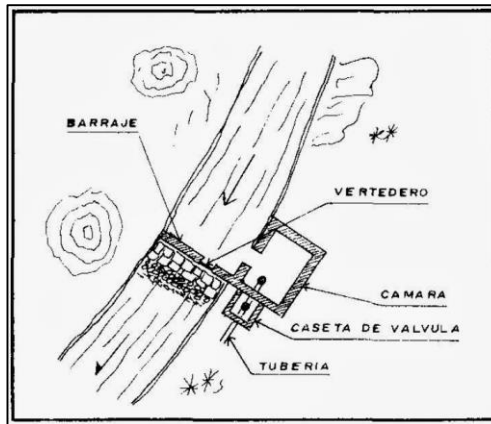
Imagen 1. Aguas lluvia. (iStockphoto LP, 2017)



- **Aguas superficiales**

Están constituidas por arroyos, ríos, lagos, etc. Discurren naturalmente en la superficie, estas fuentes no son muy deseables especialmente si están habituadas en zonas de pastoreo animal o en zonas habitadas aguas arriba. Pero no habiendo más fuentes alternativas en el poblado, es necesario su utilización, se realizar un estudio detallado sobre sus caudales disponibles, estado sanitario y calidad del agua. (Jersyn, 2013)

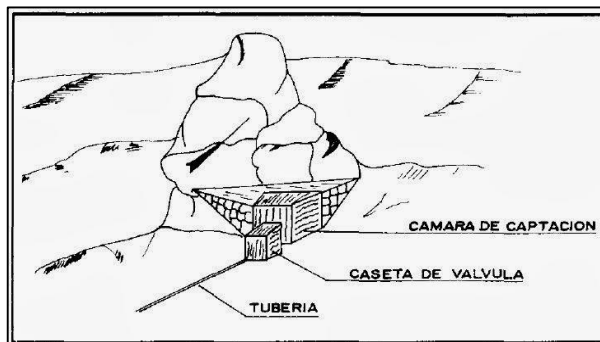
Imagen 2 Aguas superficiales. (iStockphoto LP, 2017)



- **Aguas Subterráneas**

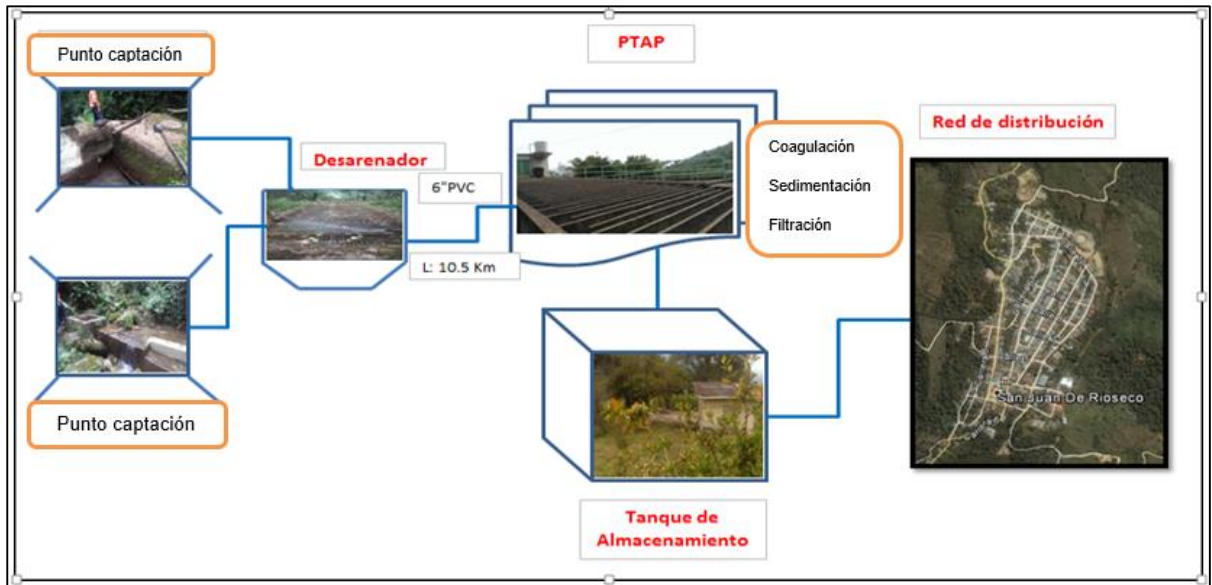
Se forman a través de las precipitaciones al infiltrarse en el suelo en zonas de saturación, la utilización de esta depende de las condiciones hidrológicas y de la formación geológicas del acuífero. La captación se realiza a través de manantiales, pozos excavados, pozos tubulares y galerías filtrantes. (Jersyn, 2013)

Imagen 3. Aguas subterráneas. (iStockphoto LP, 2017)



A continuación, se presenta un esquema del proceso realizado en la PTAP del municipio de La Palma- Cundinamarca desde el punto de captación hasta la red distribución y se hará una descripción de cada uno de estos procesos:

Imagen 4. Proceso de potabilización del agua en el municipio de La Palma-Cundinamarca



1.6.1.5 Captación

Las obras de captación son una toma de agua en ríos a lo cual se le puede llamar “bocatoma”. A través de estas estructuras se puede derivar el caudal de diseño, el cual, por lo general, corresponde al caudal máximo diario. Para la zona de captación se debe realizar estudios previos sobre la geología, topografía, geotecnia e hidrología. (RAS-TITULOB, 2003)

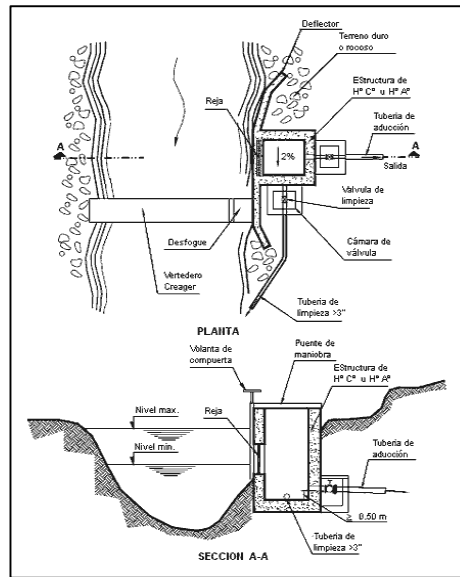
1.6.1.6 Tipos de captación

Hay varios tipos de captación entre ellos se destacan: toma lateral, toma sumergida, captación flotante con elevación mecánica, captación mixta, toma de rejilla y presa de derivación. (RAS-TITULOB, 2003)

• Toma lateral

Se utiliza en ríos caudalosos con una gran pendiente y con variaciones reducidas a lo largo del periodo hidrológico, la estructura se debe colocar en la orilla y a una altura conveniente sobre el fondo, se tiene en cuenta el nivel de agua mínimo (RAS-TITULOB, 2003).

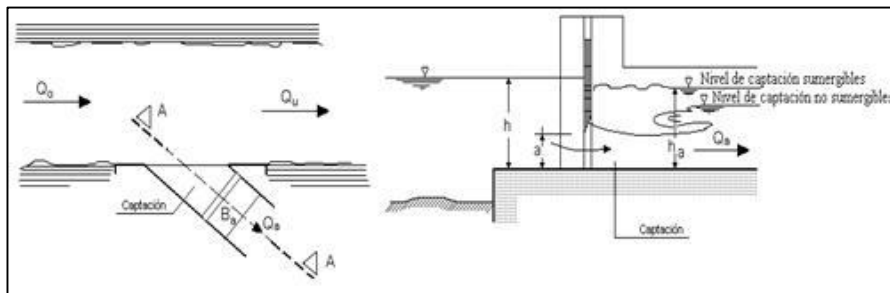
Imagen 5. Toma lateral. (trickscollections, 2017)



- **Toma sumergida**

Se utiliza cuando el curso las márgenes del agua son muy extendidas, y navegables. Se debe instalar de forma que no dificulte la navegación en el curso del agua (RAS-TITULOB, 2003).

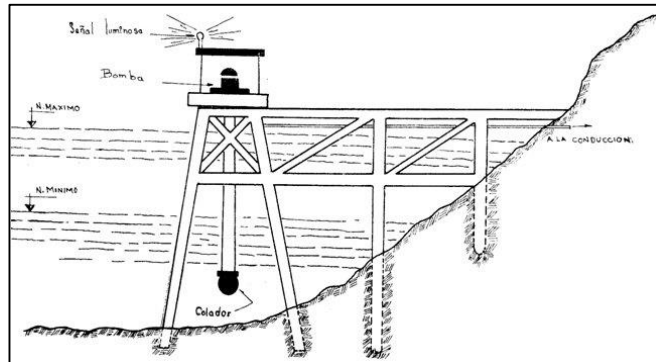
Imagen 6 Toma sumergida. (SUSAN IRWIN, 2002)



- **Captación flotante con elevación mecánica**

Si se presentan variaciones considerables de nivel, pero se conserva un caudal o volumen importante en aguas mínimas, se debe proyectar la captación sobre una estructura flotante anclada al fondo o una de las orillas (RAS-TITULOB, 2003).

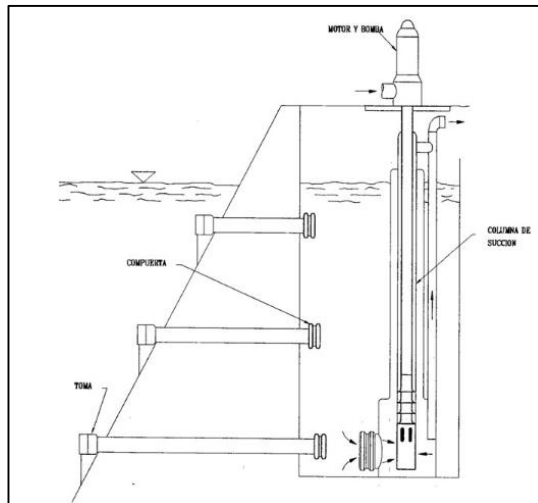
Imagen 7. Captación flotante. (Jhon Rojas, 2010)



- **Captación mixta**

Si se presenta variaciones considerables en el caudal y el cauce presenta cambios en cambios o presenta inestabilidad, se utiliza una captación mixta que actúa como una captación lateral y una captación sumergida (RAS-TITULOB, 2003).

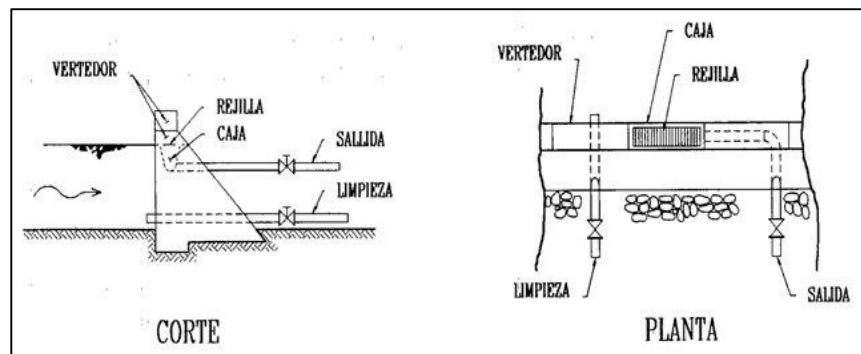
Imagen 8. Captación mixta. (Jhon Rojas, 2010)



1.6.1.7 Toma de rejilla

Se utiliza en caso de ríos de zonas montañosas, cuando se tiene una buena cimentación o terreno rocosos y cuando se presenta variaciones sustanciales del caudal en pequeños cursos de agua. Este tipo de captación consiste en una estructura estable y la más común es la rectangular. Se debe localizar perpendicularmente a la dirección de la corriente y debe estar provista con una rejilla metálica para retener material, ya sea en canal o con tubos perforados que se localizan en el cauce (RAS-TITULOB, 2003).

Imagen 9. Toma de rejilla. (SCSS, 2010)



1.6.1.8 Presa de derivación

Es aconsejable utilizar este tipo de captación por razones económicas, tiene como objeto elevar el nivel del agua para que garantice una adecuada y constante altura sobre la bocatoma. Según la necesidad de abastecimiento se pueden proyectar torres de bocatoma como sistema de captación es lagos, lagunas y embalses (RAS-TITULOB, 2003).

1.6.1.9 Aducción y Conducción

La aducción se realiza a través de tuberías a presión, que trabaje parcialmente llena o en un canal abierto. Si se utiliza una aducción a presión y se opere por un sistema de bombeo, como mínimo se debe tener dos equipos de bombeo en condición de

reserva y en servicio continuo. Si el proyecto incluye una aducción en un canal abierto o una tubería que trabaje parcialmente llena, se debe localizar en las curvas del nivel del terreno, para tener una pendiente apropiada y una velocidad mínima que no permita depósitos de sedimentos y una velocidad máxima que evite erosión ni transporte de sedimentos a aguas abajo.

La conducción del sistema es la encargada de transportar el agua tratada desde la planta de tratamiento hasta los tanques de almacenamiento o red de distribución. La conducción debe diseñarse dependiendo de la distancia, diferencia de niveles entre tanque de almacenamiento o contacto al final de la planta, topografía y tanques de almacenamiento se diseña con una tubería a presión que cumpla los requisitos de resistencia para las presiones máximas durante su vida útil. (RAS-TITULOB, 2003)

1.6.1.10 Tipos de aducciones y conducciones

Se puede utilizar dos tipos de aducciones: aducción a presión y aducción a superficie libre se debe tener en cuenta los siguientes requisitos (RAS-TITULOB, 2003).

No se deben utilizar canales abiertos en aducción por la dificultad de su mantenimiento y su contaminación es mayor, por lo consiguiente tiene pérdida de calidad sanitaria. Los canales de zonas pobladas o zonas susceptibles de contaminación deben tener una cubierta de protección.

En el sistema de aducción se admiten tramos sucesivos a superficie libre, en conducto a presión por bombeo o gravedad, se deben cumplir las condiciones hidráulicas a partir de las secuencias y dimensiones. En el comportamiento hidráulico de la aducción no se pueden presentar deficiencias como consecuencia de la subdivisión de la aducción en tramos de diferentes tipos de regímenes hidráulicos.

Las conducciones deben ser a presión y cerradas, pueden ser por bombeo o por gravedad, y si se presenta por bombeo, una línea de impulsión hasta los tanques de almacenamiento o compensación. (RAS-TITULOB, 2003)

Tabla 2. Materiales de tuberías para la conducción de agua, normas aplicables y su vulnerabilidad frente a la deformación del suelo. (RAS-TITULOB, 2003)

Vulnerabilidad	Tipo de material	Norma AWWA	Tipo de Unión
Baja	Concreto sin cilindro de acero	C302	

	Hierro dúctil	Series C1xx*	Campana y espigo con empaque de caucho, fija.
	Polietileno	C906	Fundida
	Acero	Series C2xx	Soldada con arco voltaico
	Acero	Sin designación	Remachada
	Acero	Series C2xx	Campana y espigo con empaque de caucho, fija.
Baja media	Concreto sin cilindro de acero	C300, C302, C303	Campana y espigo, fija.
	Hierro dúctil	Serie C1xxx*	Campana y espigo con empaque de caucho, suelta.
	PVC	C900, C905	Campana y espigo, fija
	Acero	Serie C2xx	Campana y espigo con empaque de caucho, suelta.
Media	Concreto sin cilindro de acero	C300, C303	Campana y espigo, suelta
	Hierro fundido diámetro > 200 mm	Sin designación	Campana y espigo con empaque de caucho
	PVC	C900, C905	Campana y espigo, suelta
Media a alta	Hierro fundido diámetro < 200 mm	Sin designación	Campana y espigo con empaque de caucho
	Acero	Sin designación	Soldada con gas
Alta	Hierro fundido	Sin designación	Campana y espigo, galvanizada o de mortero

1.6.1.11 Desarenadores

El desarenador es un tanque construido con el fin de sedimentar partículas en suspensión por la acción de la gravedad. Constituye un tratamiento primario del agua, pero en algunos casos es necesario realizar el tratamiento convencional de potabilización del recurso hídrico. Para los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, la estructura del desarenador puede estar compuesta por un solo desarenador y acompañado de un canal mientras se ejecutan labores de operación y mantenimiento de la estructura. Para ubicar el sitio del desarenador se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

Los desarenadores deben ubicarse lo más cerca posible del sitio de la captación. Para tener una ampliación de las unidades durante el periodo de diseño del sistema, el área de la localización debe ser grande para permitir dicha ampliación. Donde se ubique el desarenador debe garantizar la limpieza de sistema pueda realizarse por gravedad y la longitud de la tubería de desagüe no sea excesiva. (RAS-TITULO B, 2003)

1.6.1.12 Coagulación

La coagulación es un proceso que se utiliza para eliminar la materia suspendida en el agua, este proceso normalmente es muy lento, por lo que algunos productos químicos se agregan al agua para poder acelerar el proceso de coagulación esto se hace para aumentar el tamaño del floculo³. (Sánchez-Martín, 2012)

En estas de tratamiento de agua potables los procesos que se realizan son mezcla rápida y la dosificación. Los auxiliares de la coagulación y los coagulantes deben dispersarse homogéneamente y rápidamente en el cuerpo de agua, para que se empleen unidades de mezcla rápida. Los equipos pueden ser mecánicos o hidráulicos. Resalto hidráulico, los vertederos, los mezcladores estáticos y los difusores se encuentran en las unidades hidráulicas de mezcla rápida. Para garantizar que la floculación y coagulación se esté realizando correctamente, se verifican los siguientes parámetros: (RAS-TITULO C, 2013)

La eficiencia de remoción del color en el agua filtrada o decantada, o del carbono orgánico total (COT). La concentración residual de Fe (+++) o Al (+++) del agua efluente o filtrada de la planta, la cual debe cumplir los valores máximos aceptables que se establecen en el artículo 7º de la Resolución 2115 de 2007, o la norma que la reemplace o modifique. La eficiencia de remoción de la turbiedad en el agua filtrada o decantada, si se trata de un tratamiento por filtración directa. De la eficacia

³ Improvement of the flocculation process in water treatment by using moringa oleifera seeds extract.

de este proceso depende los rendimientos de todos los tratamientos posteriores al agua, como la filtración, la desinfección y la sedimentación. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.1.13 Floculación

La floculación permite mediante la adición de polimeros sisteticos o naturales en una mezcla lenta, promover la agregación y unir los micro-floculos de partículas desestabilizadas en lotes mas grandes, que pueden eliminarse posteriormente mediante la sedimentación y/o filtración⁴. (V.Saritha & N. Srinivas, 2015)

La función principal del floculador es proporcionar a la masa de agua coagulada una agitación lenta con velocidades decrecientes, para poder promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que de la unidad salga los flóculos y suspensión de agua. En el proceso de floculación pueden emplearse los floculadores hidráulicos, mecánicos o hidromecánicos. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.1.14 Floculadores hidráulicos

Se utilizan para el cambio de dirección de flujo del agua, inducido por diferentes mecanismos, para producir la turbulencia que se necesita para promover la formación floc y derivan su energía de la carga de velocidad. Entre los floculadores hidráulicos que pueden ser implementados están los siguientes: flujo horizontal, flujo vertical, el floculador Alabama, flujo helicoidal, el floculador de lechos poroso. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.1.15 Floculadores mecánicos

Requieren de un equipo electromecánico que hace girar un agitador de paletas o álabes. En el nivel de complejidad bajo se debe evitar estos tipos de floculadores. Los floculadores mecánicos se clasifican de la siguiente manera: Giratorios, el giro de las paletas genera una agitación en un eje horizontal o vertical. De turbina, mediante grupos de álabes o turbinas genera una agitación dispuestos a lo largo de un eje horizontal que se encuentra instalada en los tanques alargados y se puede comunicar un movimiento de rotación a la masa de agua en diferentes velocidades. Recipocantes, el desplazamiento vertical hacia arriba y abajo produce una agitación de unas parrillas dentro del agua (RAS-TITULOC, 2013).

⁴ Analysis and optimization of coagulation and flocculation process

1.6.1.16 Floculadores hidromecánicos

Utilizan la energía hidráulica en la entrada del floculador para mover una turbina de impulso o turbina Pelton la cual giran con baja cabeza hidráulica. La rueda trasmite su rotación en el eje el cual va colocado en posición horizontal, y este a su vez a través de poleas y correas de poliuretano, su movimiento rotatorio a un agitador de paletas similares a los de los floculadores rotatorios (RAS-TITULOC, 2013).

1.6.1.17 Ensayo previo de floculación (Test de Jarras)

Los frascos de prueba son un medio para determinar si la dosis de coagulante es correcta. Si se agrega demasiado o no suficiente coagulante, la eliminación de la materia suspendida será menos eficiente. Si se agrega demasiado coagulante, el costo de tratar el agua también aumentará. (WHO, 2011)

Debe realizarse la prueba de jarras en el laboratorio, para determinar las condiciones adecuadas con las que deben operar los floculadores. Para la realización de este ensayo se remite a la Norma ICONTEC NTC 3903 primera actualización, 2010: procedimiento para el ensayo de coagulación floculación en un recipiente de agua o método de jarras. Las unidades de floculación y mezcla rápida se ubican lo más cerca posible. La agitación no debe ser ni muy lenta para favorecer la sedimentación, ni muy rápida que provoque el rompimiento de los flóculos ya formados. El gradiente óptimo y el tiempo deben ser los obtenidos en la prueba de jarras. (RAS-TITULOC, 2013)

El tiempo de retención se refiere al tiempo medio teórico que las partículas de agua demoran en un proceso de tratamiento. Se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil. (RAS-TITULO, 2000)

Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Se recomienda un número mínimo de 9 cámaras, pero es preferible hacer 12 o el número de unidades necesarias para el volumen de agua que se necesite tratar. (RAS-TITULOC, 2013)

Para obtener el gradiente medio de velocidad $G(S^{-1})$, es necesario tener en cuenta la hidrodinámica y el cambio de escala en el sistema real. El gradiente medio de velocidad se define en función de la potencia específica entregada al fluido (potencia P / volumen V) y la viscosidad dinámica del fluido μ , como se presenta en la siguiente ecuación: (RAS-TITULOC, 2013)

$$G = \left(\frac{P}{\mu V}\right)^{1/2}$$

Ecuación 8. Gradiente medio de velocidad

El gradiente de velocidad en los vertederos, canales, orificios, compuertas, tuberías o cualquier otra estructura de paso del agua floclada no debe tener un gradiente de velocidad superior al de la cámara de floclación precedente, El gradiente de velocidad no debe ser mayor de 20 s^{-1} en los pasos entre cámara. Por lo tanto debe calcularse el gradiente en cada caso. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.1.18 Sedimentación

Es el proceso de la eliminación de las partículas pequeñas suspendidas no deseadas (arena, limo y arcilla) y algunos contaminantes biológicos del agua bajo la influencia de la gravedad. Cuanto más tiempo se sedimenta el agua, más se depositarán los sólidos en suspensión y los patógenos en el fondo del recipiente. Agregar productos químicos especiales o algunos coagulantes naturales puede acelerar la sedimentación. (Organization, 2015)

Se debe realizar siempre que se produce coagulación de barrido o por adsorción, para remover la turbiedad. La unidad de sedimentación debe constar de: zona de entrada, zona de sedimentación, zona de salida y zona de recolección de lodos. Los sedimentadores se emplean de dos formas: flujo horizontal y flujo vertical. La sedimentación en unidades con monto de lodos se divide en sedimentadores de manto de lodos de suspensión hidráulica y sedimentadores de manto de lodos de suspensión mecánica. En los niveles de complejidad de sistema bajo y medio se realiza con sedimentadores de flujo horizontal, en estos niveles no se realizan los sedimentadores de suspensión mecánica o hidráulica y sedimentadores de manto de lodos.

El agua sedimentada se puede recolectar mediante un sistema de vertederos de rebose, tubos perforados sumergidos y canaletas, para garantizar un caudal uniforme a lo largo de estos sistemas. En el interior de la canaleta el nivel máximo del agua es de una distancia mínima de 5cm abajo del borde libre de la canaleta. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.1.19 Filtración

El agua circula por medio de un filtro diseñado para eliminar partículas en el agua. Los filtros están hechos de capas de arena y grava, y en algunos casos, antracita triturada. La filtración recoge las impurezas suspendidas en agua y mejora la

eficiencia de la desinfección. Los filtros se deben limpiar rutinariamente y mediante lavado a contracorriente. (Water, 2011)

La filtración es un proceso complejo y sumamente importante para el tratamiento de la purificación del agua, consiste en una barrera física para la eliminación y retención de partículas y bacterias. (Perea-Torres, 2014)

La filtración puede ser rápida o lenta. La filtración rápida se denomina en filtración ascendente o descendente y puede filtrarse por presión o gravedad. La filtración lenta con etapas de prefiltración. El medio filtrante granular se constituye por arena de alta densidad, antracita, granate, arena, carbono activado granular o ilmenita, dispuesto sobre un lecho de grava. (RAS-TITULOC, 2013)

Los principales métodos para emplear el control de la tasa de filtración:

1.6.1.20 Filtración de tasa constante

Es el método de control tradicional de los filtros rápidos. Se emplea un controlador variable para mantener la pérdida de carga total constante al abrir la válvula gradualmente, en medida que el lecho se colmata. El controlador puede ser operado con contrapeso, de sifón o de válvula de mariposa operada por un flotador, mantiene un nivel constante de agua en el filtro (RAS-TITULOC, 2013).

1.6.1.21 Filtración con afluente igualmente distribuido y nivel variable

Se distribuye el caudal por igual mediante un vertedero u orificio de entrada sobre cada filtro. El vertedero de control debe estar en un nivel superior al nivel máximo en el filtro. La variación del nivel debe ser por lo menos de 2.0 m la cual la unidad debe ser bastante profunda. No requiere medida de la pérdida de carga. La localización del filtro debe ofrecer una buena visibilidad al operador para facilitar el control de la operación de lavado, Por eso mismo el área debe quedar a la vista del operador.

La siguiente Tabla 3. Parámetros de diseño comparativos entre filtros lentos de arena y filtros rápidos. Compara los parámetros de diseño entre los filtros lentos de arena y los filtros rápidos (RAS-TITULOC, 2013).

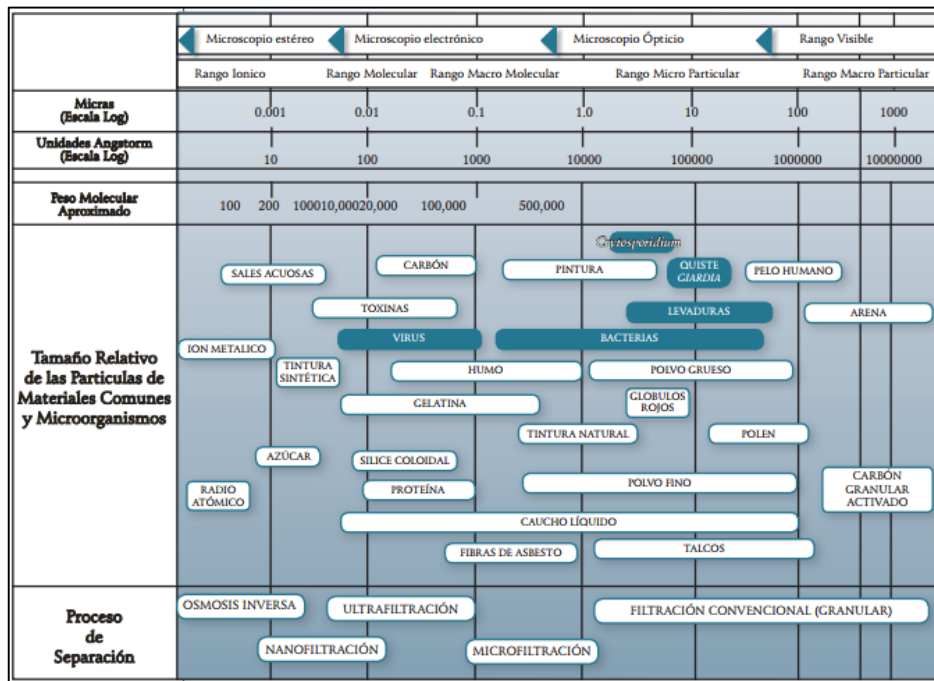
Tabla 3. Parámetros de diseño comparativos entre filtros lentos de arena y filtros rápidos. (RAS-TITULOC, 2013)

Parámetro	Filtros lentos en arena	Filtros rápidos
Tasa de filtración	0.05 – 0.3 m/h	5 – 15 m/h (120-360 m ³ /m ² /d)

Diámetro del medio	0.3 – 0.45 mm	0.5 – 1.2 mm
Profundidad de la cama	0.9 – 1.5 m	0.6 – 1.8 m
Cabeza requerida	0.9 – 1.5 m	1.8 – 3.0 m
Longitud de corrida	1 – 6 meses	1 – 4 días (24-96 horas)
Periodo de madurez	Varios días	15 min – 2 días
Pretratamiento	No se requiere	Coagulación
Turbidez agua máxima	10-50 NTU	Sin límite con el debido pretratamiento

La Imagen 10. Espectro de la filtración. presenta el espectro de la filtración utilizado en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano, en donde se indican el tamaño relativo de las partículas de materiales comunes suspendidos o disueltos en el agua, así como el de los microorganismos frecuentes en ella (RAS-TITULOC, 2013).

Imagen 10. Espectro de la filtración. (RAS-TITULOC, 2013)



1.6.1.22 Desinfección

La desinfección es una operación de suma importancia en el tratamiento de agua potable, consiste en la eliminación de microorganismo patógenos y la inactividad de

los virus y debe utilizarse tanto en aguas superficiales y subterráneas. (Wagner & phineiro, 2001)

Entre los procesos de desinfección que pueden realizarse esta primordialmente la cloración, incluidos sus derivados los hipocloritos, el dióxido de cloro y procedimientos como el de la cloraminación. Como desinfectantes complementarios se tiene los rayos ultravioletas y el ozono. (RAS-TITULOC, 2013)

Para la desinfección por cloración, deben emplearse tanques de contacto que debe proporcionar el tiempo necesario que garantice la desinfección del agua. No se recomienda el uso de cloro gaseoso para un nivel de complejidad de sistema bajo. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.1.23 Cloración

El proceso de agregar cloro al agua para desinfectarla y elimina los gérmenes presentes. Se pueden usar diferentes procesos para lograr niveles seguros de cloro en el agua Si bien los productos químicos pueden ser nocivos en dosis altas, cuando se agregan al agua, se mezclan y se dispersan, lo que resulta en niveles bajos que matan los gérmenes pero que aún son seguros para beber. (CDC, 2015) La desinfección con sales de cloro o con cloro gaseoso conocidas como hipocloritos sigue siendo la mejor garantía de un agua microbiológicamente apta para el consumo humano debido a su relativamente bajo costo, pero principalmente por el efecto germicida residual. La cloración puede emplearse en los siguientes casos: Desinfección preventiva buscando el efecto residual del cloro en el agua, control de olores y sabores, desinfección de las aguas y prevención del crecimiento de algas y microorganismos. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.1.24 Ozonización

El mecanismo de desinfección del ozono (O₃), un gas alótropo del oxígeno, es su alto poder oxidante que lo convierte en la evidencia de su efectividad y un eficiente destructor de bacterias para atacar virus, quistes y hongos. Debido a su baja capacidad residual germicida, se recomienda que después de la ozonización se haga una desinfección secundaria inmediata con cloro, lo cual permitirá una elevada reducción en la formación de THM. (RAS-TITULOC, 2013)

Se recomienda el uso del ozono (O₃) en los siguientes casos:

Para la oxidación de la materia orgánica, eliminación de precursores de subproductos de la desinfección –SPD, como los trihalometanos, los ácidos halo

acéticos y los haloacetos, para mejorar la calidad organoléptica (color, ausencia de olor y sabor, etc.), no puede emplearse el ozono en aguas que contienen hierro o amoníaco, por su acción bactericida, virulicida y parasiticida, para la oxidación de micro-contaminantes. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.1.25 Rayo ultravioleta

Cuando el contenido de materia orgánica y la turbiedad del agua son muy bajos se recomienda la radiación ultravioleta. La desinfección por radiación ultravioleta en los sistemas de abastecimiento de agua de pequeños establecimientos como industrias de alimentos y bebidas, hoteles y hospitales se ha venido utilizando, el uso como desinfectante de pequeños y medianos sistemas de potabilización se han incrementado, tratan caudales hasta 300.000 m³/día. No producen subproductos de la desinfección y tampoco otorgan ningún residual desinfectante al agua tratada. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.1.26 Yodo

El yodo es un halógeno, se forma ácido hipoyodoso (HOI) al disolverse en el agua, sin embargo, una parte se mantiene como yodo (I₂). Ambos son buenos quistes, virus, eliminando esporas y desinfectantes. La menor reactividad del yodo y el menor potencial de oxidación, generan que sea más estable y genera menos THMs totales que los otros desinfectantes. (RAS-TITULOC, 2013)

Se utilizan soluciones entre 1 a 8 mg/L, con tiempo de contacto de 30 minutos. Se debe tener en cuenta que a concentraciones mayores a 1 mg/L produce un sabor medicinal en el agua. Para desinfectar el agua se utiliza yodo al 7% adicionando por cada litro de agua dos gotas a desinfectar. Concentraciones mayores a una dosis de 0.5 mg/L produce la inactivación del 99.99% (Log 4) de E. Coli en 1 minuto. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.1.27 Plata coloidal

Se recomienda su uso en filtros domésticos. En caso de emplear otro producto químico distinto a los que se han mencionados para la desinfección, se deberá solicitar una autorización al Ministerio de Salud y Protección Social para su aplicación. Se debe probar su eficiencia por los resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por trabajos a nivel laboratorio o planta piloto, por investigaciones donde se demuestre su efectividad. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.2 Marco Conceptual

Los conceptos que se presentan a continuación con el propósito de puntualizar y los términos que se manejan a lo largo de este trabajo son tomados del manual Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. (RAS-TITULOC, 2013)

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

Agua potable Es agua que, por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 475 de 1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

Análisis físico-químico del agua Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Análisis microbiológico del agua Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

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

Clarificación Proceso de separación de los sólidos del agua por acción de la gravedad.

Cloración Aplicación de cloro al agua, generalmente para desinfectar o para oxidar compuestos indeseables.

Coagulación Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.

Coagulantes Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

Control de calidad del agua potable Análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos realizados al agua en cualquier punto de la red de distribución, con

el objeto de garantizar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en el Decreto 475 de 1998.

Desarenador Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

Desinfección Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

Dosificación Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua.

Filtración Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

Floculación Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

Mezcla rápida está basado en determinar el Número de Camp que es el producto del gradiente hidráulico por el tiempo de retención.

Mezcla lenta se puede calcular el Número de Camp en laboratorio y con base en él, determinar el diseño y la operación de floculadores reales.

Numero de Camp Gradiente hidráulico por tiempo de retención de la mezcla rápida o mezcla lenta.

Planta de potabilización Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

Pretratamiento Proceso previo que tiene como objetivo remover el material orgánico e inorgánico flotante, suspendido o disuelto del agua antes del tratamiento final.

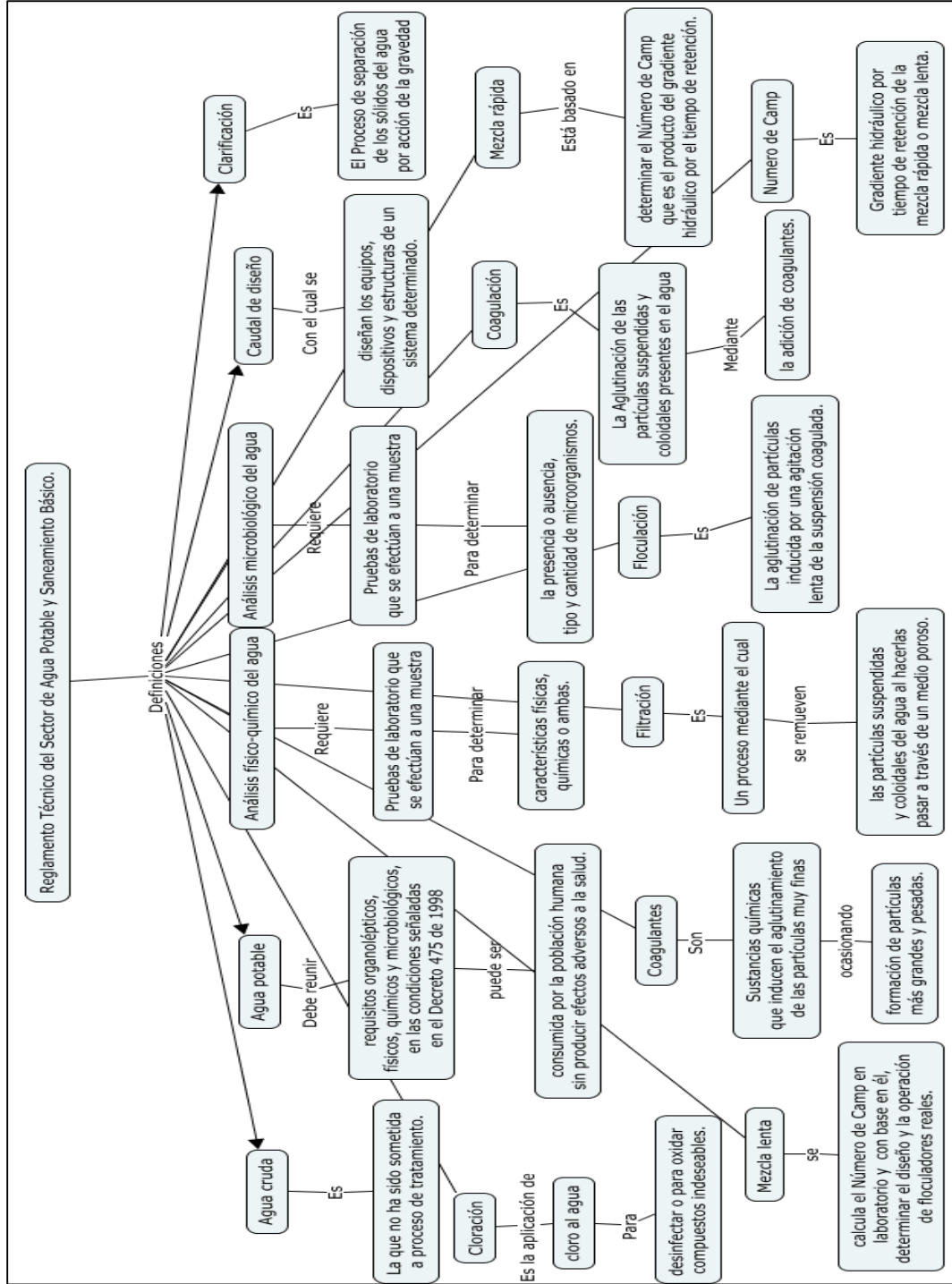
Prueba de jarras Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

Tanque de almacenamiento Depósito destinado a mantener agua para su uso posterior.

Tiempo de contacto para la desinfección Tiempo que toma al agua moverse desde el punto de aplicación del desinfectante hasta el punto donde se mide la concentración residual del mismo.

1.6.2.1 Mapa Conceptual

Imagen 11. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.



1.6.3 Marco legal:

El marco legal para el presente proyecto se fundamenta en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, a través de los siguientes títulos: (RAS - Ministerio de Vivienda, 2014)

1.6.3.1 Título A

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, el cual contiene el acto resolutivo mediante el cual el Ministerio de Desarrollo Económico, con base en las facultades que le otorga el Decreto No. 1112 de 1.996, lo expide como tal y le confiere carácter oficial para su aplicación en todo el territorio nacional. Los requisitos, procedimientos, prácticas y normatividad vigente, allí contenidos o mencionados, tiene el carácter de mandatorios y se reafirman por el uso frecuente de la palabra debe en cualquiera de sus acepciones.

Este reglamento tiene por objeto los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias, en cuanto al alcance se basa en los procedimientos involucrados con la conceptualización de diseño, construcción, supervisión técnica, el mantenimiento y demás, de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, en referencia a la calidad, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado, la obligatoriedad de este reglamento contiene en acto resolutivo mediante el cual el Ministerio de Desarrollo Económico, por lo tanto es de carácter obligatorio para su aplicación en todo el territorio nacional. La competencia de (VIC) vigilancia inspección y control les corresponde a las entidades encargadas en relación con los reglamentos técnicos vigentes, como lo son la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios en los términos del Art. 79 de la L. 142/ 199, N. 79.12.

Las licencias de construcción de acuerdo al Art. 20 de Dto. 1504 de 1998, modificado, corresponde a la oficina de planeación municipal o distrital que cumpla sus funciones, la expedición del permiso o licencia de ocupación y utilización del espacio público, de conformidad con lo establecido por el municipio o distrito titular del derecho de propiedad sobre el mismo. (RAS-TITULO A, 2000)

1.6.3.2 Título B

Este capítulo tiene como finalidad fijar criterios básicos para los requisitos mínimos, los valores específicos y límites que deben tenerse en cuenta para los procesos de conceptualización, diseño, construcción, supervisión técnica, la puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto que se desarrollen en Colombia, con el fin de verificar la eficacia, eficiencia y calidad de estos. Este título incluye el cálculo de la demanda del agua, fuentes de abastecimiento, captaciones

de agua superficial y subterránea, las aducciones y conducciones, redes de distribución, estaciones de bombeo de agua cruda y agua tratada, tanques de almacenamiento y compensación, análisis de vulnerabilidad y gestión de riesgo, no incluye las plantas de tratamiento del RAS, tampoco aspectos ambientales del Título I. (RAS-TITULOB, 2003)

1.6.3.3 Titulo C

El sucinto manual de buenas prácticas de ingeniería tiene como propósito establecer criterios básicos, requisitos mínimos, valores específicos, límites y recomendaciones para los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, diseño, construcción, supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de potabilización de agua en Colombia, los cuales deben garantizar lo establecido en el Dto. 1575/ 2007. Las obras o componentes a que se refiere este título son desarenadores, pre sedimentadores, pre filtros, micro-tamices, trampas de grasas y aceites, aireadores, unidades de mezcla rápida y floculación, y demás, cuyas prescripciones se incluyen en el capítulo C.3 de igual forma se refiere a los productos químicos que cumplan con los estándares de calidad del Ministerio de Salud y Protección Social. No se incluyen, los que son tratados en el Título B “Sistemas de Acueducto”. (RAS-TITULOC, 2013)

1.6.3.4 Resolución 2115

La resolución 2115 menciona las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, 2007)

1.6.3.5 Características físicas y químicas del agua para consumo humano

• Características físicas.

Los valores máximos aceptables en el agua para consumo humano no podrán sobrepasar las características físicas que se señalan a continuación:

Tabla 4 Características físicas del agua para consumo humano. (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, 2007)

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

Tabla 5 Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana. (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, 2007)

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 ⁻	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

1.6.3.6 Resolución 0330 de 2017

La Resolución 0330 de 2017, adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.

El objetivo de esta resolución es reglamentar los requisitos técnicos de las etapas de planeación, diseño, construcción puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. Esta resolución aplica para los prestadores de los servicios públicos y a las entidades formuladoras de proyectos de inversión en el sector, entes de vigilancia y control, entidades territoriales y las demás con funciones en el sector de agua potable y saneamiento básico.

Los principios orientadores de la planeación, diseño, y ejecución de obras u otras actividades relacionadas al objeto principal de esta resolución estarán guiados a; garantizar la calidad de la prestación de los servicios, lograr la atención prioritaria de las necesidades básicas en materia de agua potable y saneamiento básico, garantizar la prestación continua e interrumpida de los servicios, seguridad, durabilidad, funcionamiento adecuado, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia de la infraestructura requerida para la prestación de los servicios. (Resolución 0330, 2017)

1.7. METODOLOGÍA

La metodología que se realizó para el diagnóstico y propuesta de mejoramiento de la PTAP del municipio de La Palma- Cundinamarca, se desarrolla de acuerdo a las siguientes fases:

1.7.1 Tipo de estudio

Búsqueda y recolección de información técnica: Se obtuvo la información de la PTAP como lo son planos, registros, estudios y demás datos para realizar el diagnóstico de los procesos que se llevan a cabo en la PTAP del municipio de La Palma- Cundinamarca que es operada por la empresa de Saniaguas S.A.S. Análisis y procesamiento de la información: Teniendo en cuenta los datos obtenidos, se analizaron estos datos y se comprueba con una determinación de población, determinación de caudales, dotación y demás pasos para procesar y poder realizar una estimación del funcionamiento y eficiencia que presente la PTAP del municipio de La Palma- Cundinamarca.

1.7.2 Fuentes de información

Visita sitio (PTAP): Se realizó la visita de campo al sitio con el objetivo de obtener la información de los planos, registros, estudios y además la obtención en tiempo real de datos como son: dimensiones de la estructura, materiales y además se realizó un chequeo del estado de las unidades que componen la PTAP La Palma- Cundinamarca, también tomando un número de muestras de agua que se analizaron en el laboratorio con el fin de determinar la calidad del agua que se está tratando.

Pruebas de laboratorio: Teniendo las muestras de agua tomadas directamente en el sitio (fase de visita) y con el mayor de los cuidados para que estas muestras conserven al máximo las condiciones que se presentan en el sitio, se realizó en los laboratorios de la Universidad Católica el ensayo de laboratorio de test de jarras, sólidos totales y demás laboratorios que se requieran con el fin de determinar la calidad de agua y demás datos que arrojan los ensayos.

1.8. DISEÑO METODOLÓGICO

Diagnóstico de la PTAP: Con los valores obtenidos tanto en la búsqueda de información como los de la visita de campo, se realizó el diagnóstico de la PTAP del municipio de La Palma- Cundinamarca y determinar el funcionamiento en términos de calidad y cantidad de agua de cada uno de los procesos del recurso hídrico.

Validación datos y resultados: Al tener los datos tanto del diagnóstico de la PTAP del municipio de La Palma- Cundinamarca que fueron los datos obtenidos y al conocer los resultados de la visita, se comparó a través de estadísticos que permitan establecer el grado de validez de los resultados.

Análisis de resultados: Según los resultados obtenidos en fases anteriores, se pudo calificar y evaluar como es el funcionamiento de la PTAP del municipio de La Palma- Cundinamarca en lo que compete a; calidad de agua, dotación adecuada, procesos de optimización y mantenimiento que pueda requerir la estructura basados en la reglamentación dada por la NORMA RAS 2000 y el decreto 2115 y la resolución 0330.

Propuesta de mejoramiento: Con los datos acertados se plantearon dos alternativas en las cuales se dio solución a las problemáticas evidenciadas en la visita y detectadas en el diagnóstico, esta misma se enfocó en términos de la calidad y cantidad del agua. De las alternativas planteadas se seleccionó la alternativa a presentar, este proceso de selección fue por medio de unos criterios estipulados que van a definir la mejor alternativa.

Propuesta a presentar: Como paso final se realizó la elaboración y presentación del documento de la propuesta para dar soluciones a los problemas que presenta la PTAP en términos de tratamiento del agua y su calidad, la cual incluirá las recomendaciones fundamentales para la modelación de un sistema de tratamiento de agua potable como herramienta que permite el control continuo de los procesos en una PTAP.

2. EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO Y OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO

En el municipio de La Palma existen dos Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de tipo convencional las cuales son: La PTAP Matadero se ubica en el barrio La Villa en la parte baja del casco urbano municipal y PTAP El Cementerio, la planta se encuentra ubicada en el barrio San Juanito, en la parte alta del casco urbano municipal. El tren de tratamiento dispuesto en las dos plantas se compone de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (La Palma Cundinamarca, 2014).

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PTAP DE LA PALMA CUNDINAMARCA. ESTACIÓN EL MATADERO.

El sistema de acueducto del municipio de La Palma presta su servicio a 1260 usuarios, funciona mediante la captación de agua de tres fuentes de abastecimiento superficial, las Quebradas La Salada, Los Tiestos y La Aguada, la línea de aducción que conduce al agua captada hacia una planta de tratamiento de agua, seguidamente, el agua es almacenada en una estructura para su posterior conducción y distribución al caso urbano municipal. El sistema de abastecimiento del municipio de La Palma está constituido por tres fuentes de abastecimiento, dos sistemas de tratamiento, dos tanques de almacenamiento y la red de distribución. Las fuentes de abastecimiento se localizan sobre las quebradas La Salada, Los Tiestos y La Aguada, a esta última corresponde una toma superficial y un afloramiento de origen subsuperficial. Desde las dos primeras quebradas mencionadas se transporta agua cruda mediante conducciones independientes a gravedad hasta llegar a la estación de bombeo Puente de Oro, en donde inicia una tubería de impulsión que lleva el agua hacia la planta de tratamiento convencional El Matadero, desde allí el agua tratada es transportada mediante bombeo hacia el tanque El Alto y posteriormente, mediante bombeo, hacia el tanque Las cruces, cercano al cerro del mismo nombre.

La fuente de abastecimiento en La Aguada, transporta la confluencia de las dos fuentes mencionadas (superficial y subsuperficial) mediante una conducción a gravedad que descarga el agua cruda en la planta de tratamiento convencional El Cementerio la cual actualmente no está en funcionamiento, desde allí el agua es impulsada utilizando bombeo hacia el tanque El Alto en donde confluye con el agua tratada proveniente de El Matadero.

En la PTAP El Matadero se tiene una canaleta Parshall, en esta se realiza el proceso de coagulación con el coagulante sulfato tipo B, cuenta con dos floculadores mecánicos, los floculadores hace 12 años no funcionan, para solucionar el problema de los floculadores, realizaron un tipo de floculador hidráulico de flujo horizontal para realizar la mezcla lenta, cuentan con dos sedimentadores convencionales, en este

realizan el proceso de sedimentar los flocs, cuentan con dos filtros de alta tasa, los filtros poseen grava, arena y antracita, en este proceso filtran el agua para luego aplicarle la cloración, en la parte de la cloración utilizan cloro granulado para luego bombear el agua tratada al tanque de almacenamiento y realizar la distribución de agua ya tratada a la cabecera municipal. (La Palma Cundinamarca, 2014)

2.2 FUENTE DE ABASTECIMIENTO

La planta de tratamiento de agua potable de La Palma se abastece de tres fuentes de tipo superficial las cuales son: Quebrada La Salada, La Aguada y Los Tiestos, estas hacen parte de la cuenca del Rio Negro. La línea de aducción que conduce el agua captada hacia la planta de tratamiento de agua, en una estructura se almacena el agua para su conducción y distribución al casco urbano municipal. El sistema de abastecimiento cuenta con cuatro fuentes las cuales son: dos sistemas de tratamiento, dos tanques de almacenamiento y la red de distribución.

La quebrada Los Tiestos y La Salada transporta agua cruda mediante conducciones independientes a gravedad hasta llegar a la estación de bombeo Puente de Oro, de ahí se lleva el agua por unas tuberías hasta la planta de tratamiento convencional El Matadero, el agua tratada se transporta mediante bombeo hacia los tanques El Alto y Las Cruces, en la fuente de abastecimiento en La Aguada, transporta mediante una conducción a gravedad que descarga el agua cruda en la planta de tratamiento convencional El Cementerio, desde allí el agua se bombea hacia el tanque El Alto donde confluye con el agua tratada de la planta de tratamiento El Matadero (La Palma Cundinamarca, 2014).

2.3 CAPTACIÓN

2.3.1 Captación la Salada

Esta se ubica en la Quebrada La Salada, la estructura corresponde a una bocatoma de fondo, sus componentes son la rejilla de captación, cámara de recolección, canal de aducción y válvula de desagüe para la cámara de recolección como se puede ver en (La Palma Cundinamarca, 2014).

Imagen 12. Punto de captación.

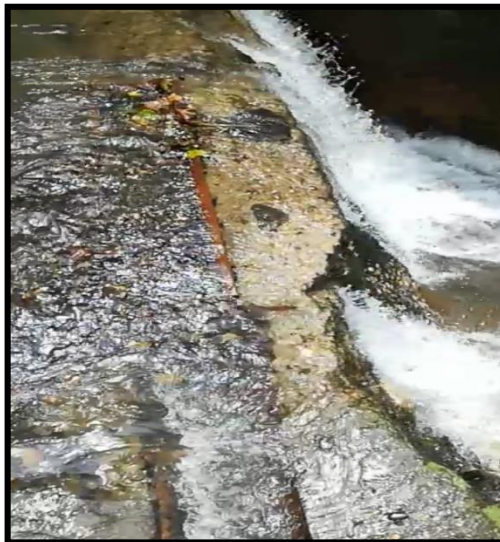


Empresas Públicas de Cundinamarca S.A. E.S.P. Dirección de Aseguramiento de la prestación - 2014 (E.S.P., 2014)

2.3.2 Captación la Aguada

La captación se compone de dos tomas de agua, una estructura que corresponde a una toma de fondo por medio de una rejilla con cámara de derivación lateral que queda ubicada en la quebrada Negra y otra con captación de escorrentía superficial con filtro y cámara de derivación (La Palma Cundinamarca, 2014).

Imagen 13. Bocatoma La Aguada.



Empresas Públicas de Cundinamarca S.A. E.S.P. Dirección de Aseguramiento de la prestación - 2014 (E.S.P., 2014)

2.3.3 Captación los Tiestos

Esta estructura es una bocatoma de fondo, está ubicada en la quebrada Los Tiestos, se compone de un canal de aducción, cámara de recolección, rejilla de captación y válvula de desagüe para la cámara de recolección (La Palma Cundinamarca, 2014).

Imagen 14 Bocatoma de fondo – Los Tiestos.



Empresas Públicas de Cundinamarca S.A. E.S.P. Dirección de Aseguramiento de la prestación - 2014 (E.S.P., 2014)

2.4 ADUCCIÓN

Las líneas de aducción captan el agua cruda hacia los tanques de desarenadores:

- La Salada: La aducción en esta quebrada tiene una longitud de 50 metros de tubería en 8" PVC. Existe otro tramo de aducción que conecta el desarenador de la Salada con el desarenador de la estación de bombeo Puente de Oro, que también se conecta la captación de la quebrada Tiestos. Esta aducción tiene 1255 metros de tubería 6" PVC.
- Aguada: La aducción en esta quebrada tiene una longitud de 150 metros de tubería PVC RDE 21 de 6", el segundo tramo tiene una aducción de 6.4 kilómetros en tubería PVC de 6" y va desde el desarenador hasta la PTAP El Cementerio.
- Los Tiestos: La aducción en esta quebrada tiene una longitud de 35 metros de tubería de Acero de 10" y transporta el agua captada desde la quebrada hasta el desarenador de la estación de bombeo Puente de Oro.

El agua que se trata en la planta de tratamiento de agua potable El Matadero llega por aducción desde la estación de bombeo Puente de Oro, se realiza por una estación de bombeo que impulsa el agua desde el tanque desarenador. La línea de aducción a la planta de tratamiento de agua potable El Matadero tiene una longitud de 1320 metros y tubería PVC de 8", el tramo cuenta con dos válvulas de ventosa.

La línea de aducción es demasiado extensa y está instalada en un terreno muy inestable lo que dificulta su control y mantenimiento, se estima que puede haber conexiones ilegales. (La Palma Cundinamarca, 2014)

2.5 DESARENADOR

El municipio de La Palma tiene tres desarenadores. Las estructuras son de tipo convencional construidas en concreto reforzado, sus componentes son: cámaras de entrada, sedimentación, pantalla de distribución, válvulas de lavado y salida.

Las estructuras del desarenador de La Aguada se encuentran en buenas condiciones estructurales y físicas, las estructuras de la estación de bombeo Puente de Oro y la captación en el punto de La Salada, presentan malas condiciones estructurales en degradación de concreto y fisuras, tienen acceso de animales y personas ajenas en su operación y mantenimiento. Véase en Imagen 15. Desarenador La Salada. (La Palma Cundinamarca, 2014).

Imagen 15. Desarenador La Salada.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

Imagen 16 Puente de Oro



Empresas Públicas de Cundinamarca S.A. E.S.P. Dirección de Aseguramiento de la prestación – 2014 (E.S.P., 2014)

2.6 ESTACIÓN DE BOMBEO

El municipio cuenta con tres líneas de bombeo en paralelo, cada línea cuenta con conjunto motor-bomba, válvula de cheque, descarga mediante expansión concéntrica, válvula de compuerta y una válvula de alivio de presión, todos los accesorios son de acero al carbón.

La estación de bombeo de Puente de Oro se encuentra localizada a 1220 msnm, transporta el agua captada en las quebradas la Salada y los Tiestos hasta la planta de tratamiento de agua potable El Matadero que está localizada a 1366 msnm, es decir que la altura estática de bombeo es de 146 metros. La estación de bombeo funciona con una bomba de 70 Hp de capacidad, la succión del flujo de agua proviene del desarenador, la tubería de succión es de 8" (La Palma Cundinamarca, 2014).

2.7 CANALETA PARSHALL

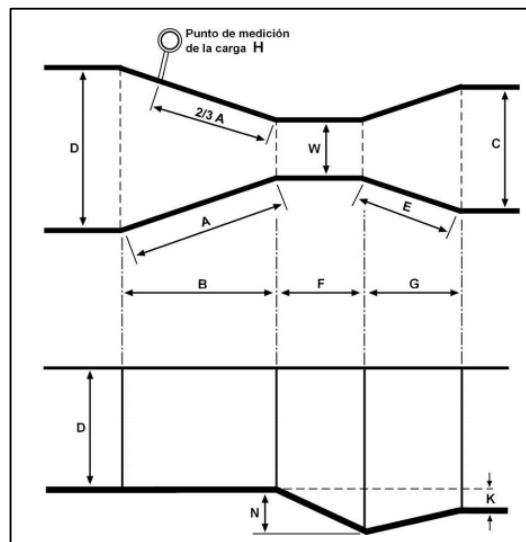
Los parámetros de diseño para mezcladores hidráulicos son los siguientes:

- La velocidad mínima en la garganta debe ser mayor de 2 m/s.
- La velocidad mínima del efluente debe ser aproximadamente 0.75 m/s.
- El resalto no debe ser oscilante; es decir que el número de Froude (Fr) no debe estar entre 2.5 y 4.5.
- El número de Froude debe estar entre 1.7 y 2.5 o entre 4.5 y 9.0.
- El Gradiente medio de velocidad (G) entre 1000 s^{-1} y 2000 s^{-1} .
- El tiempo de retención debe ser menor de 1 s.
- H_a/w debe estar entre 0.4 y 0.8. Donde H_a es la altura del agua y w es el ancho de la canaleta.
- Debe disponerse de un dispositivo aguas abajo con el fin de controlar la posición del resalto hidráulico. (RAS-TITULOC, 2013)

Tabla 6 Parámetros de referencia de diseño de mezcla rápida. (Resolución 0330, 2017)

Tipo de mezclador	Rango de gradiente de velocidad medio	Tiempo de mezcla
Hidráulico	1000 s^{-1} - 2000 s^{-1}	< 1 s
Mecánico	500 s^{-1} - 2000 s^{-1}	< 60s

Imagen 17. Dimensiones de la canaleta Parshall.



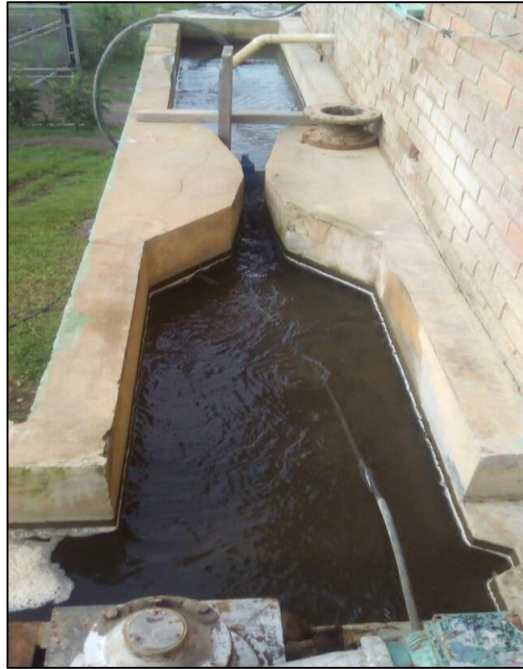
(Jairo Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, 2000)

Tabla 6 Dimensiones de la canaleta Parshall (Jairo Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, 2000)

W (cm)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	G (cm)	K (cm)	N (cm)	R (cm)	M (cm)	P (cm)	X (cm)	Y (cm)
2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	50,0	0,8	1,3
5,1	41,4	40,6	13,5	21,4	35,6	11,4	25,4	2,2	4,3	-	-	70,0	1,6	2,5
7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	40,6	30,5	76,8	2,5	3,8
15,2	62,1	61,0	39,4	40,3	45,7	30,5	61,0	7,6	11,4	40,6	30,5	90,2	5,1	7,6
22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	61,0	30,5	45,7	7,6	11,4	40,6	30,5	108,0	5,1	7,6
30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	149,2	5,1	7,6
45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	167,6	5,1	7,6
61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	185,4	5,1	7,6
91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	222,3	5,1	7,6
122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	271,1	5,1	7,6
152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	308,0	5,1	7,6
182,8	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	344,2	5,1	7,6
213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	381,0	5,1	7,6
244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	417,2	5,1	7,6
305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3	-	-	-	30,5	22,9

La canaleta Parshall se denomina según el ancho de la garganta. Las ecuaciones para cálculo del caudal se incluyen en la siguiente tabla. (Jairo Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, 2000)

Imagen 18. Canaleta Parshall existente.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

Tabla 12 Dimensiones de la canaleta Parshall (Jairo Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, 2000)

Ancho de la garganta (cm)	Ecuación*	Capacidad (L/s)
2,5 (1")	$Q = 0,55Ha^{1,5}$	0,3-5
5 (2")	$Q = 0,110Ha^{1,5}$	0,6-13
7,6 (3")	$Q = 0,176Ha^{1,547}$	0,8-55
15,2 (6")	$Q = 0,381Ha^{1,58}$	1,5-110
22,9 (9")	$Q = 0,535Ha^{1,53}$	2,5-250
30,5 (12")	$Q = 0,690Ha^{1,522}$	3,1-455
45,7 (18")	$Q = 1,054Ha^{1,538}$	4,3-700
61 (24")	$Q = 1,426Ha^{1,55}$	12-950
91,4 (36")	$Q = 2,182Ha^{1,566}$	17-1.400
121,9 (48")	$Q = 2,935Ha^{1,578}$	37-1.900
152,4 (60")	$Q = 3,728Ha^{1,587}$	60-2.400
182,8 (72")	$Q = 4,515Ha^{1,595}$	70-2.900

213,4 (84")	$Q = 5,306Ha^{1,601}$	115-3.450
243,8 (86")	$Q = 6,101Ha^{1,606}$	130-3.950
305 (120")	$Q = 7,463Ha^{1,6}$	250-5.660

*Q en m^3/s ; Ha en m.

El tamaño de la canaleta se selecciona según el efecto del ascenso del nivel del agua, el ancho del canal y la capacidad requerida. El ancho de la garganta debe estar entre 1/3 y 1/2 del ancho del canal. Para que el flujo no sea sumergido, debido a la elevación alta del agua, agua debajo de la canaleta, y se presente una reducción de velocidad que afecte la medida del caudal, puesto que la canaleta está calibrada para flujo libre, se recomienda que la relación de sumergencia, H_b/H_a , sea menor a 0,6 para canaletas de garganta menor a 0,3m; menor de 0,7 para canaletas de $0,3m \leq W \leq 2,4m$ y menor de 0,8m para canaletas de $3m \leq W \leq 15m$. (Jairo Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, 2000)

Calculo mezcla rápida canaleta Parshall

Tabla 6. Dimensiones de la canaleta Parshall en la PTAP El Matadero.

Exponente: n	1.547		
Coefficiente: k	0.176		
Longitud paredes sección convergente	A	0,43	m
Longitud sección convergente	B	0,40	m
Ancho de la salida	C	0,14	m
Ancho entrada sección convergente	D	0,23	m
Profundidad total	E	0,47	m
Longitud de la garganta	F	0,18	m
Longitud de la sección divergente	G	0,27	m
Longitud de las paredes sección divergente	K	0,02	m
Diferencia de elevación entre salida y cresta	N	0,05	m

Chequeo de la canaleta Parshall, con un caudal de entrada de 28L/s, con una profundidad de flujo de 0,47m, la garganta tiene 0,08m por lo cual la sumergencia máxima H_b/H_a será 0,60 para que no ocurra flujo sumergido o ahogado.

Según el caudal inicial que está en el rango 0.8 a 55 L/s, se toma un ancho de garganta de 7,6 cm (3")

Se calcula la profundidad de agua H_a por la ecuación correspondiente

$$Q = 0,176Ha^{1,547}$$

$$Ha = \left(\frac{0,028}{0,176}\right)^{\frac{1}{1,547}}$$

$$Ha = 0,305 \text{ m} = 30,5 \text{ cm}$$

Cálculo de la canaleta en la sección de medida

$$W' = \frac{2}{3}(D - W) + W$$

$$W' = \frac{2}{3}(0,23 - 0,076) + 0,076$$

$$W' = 0,18 \text{ m}$$

Cálculo de la velocidad en la sección de medida

$$Va = \frac{Q}{w' * ha}$$

$$Va = \frac{0,028}{0,18 * 0,305} = 0,51 \text{ m/s}$$

Cálculo de la energía total disponible

Energía Específica (E1)

N= 5,7 cm

$$E1 = \frac{V1^2}{2g} + Ha + N$$

$$E1 = \frac{0,51^2}{2 * 9,81} + 0,305 + 0,057 = 0,37$$

Cálculo de la velocidad antes del resalto

Energía específica (E2)

$$E2 = \frac{V2^2}{2g} + H2$$

$$V2 = \frac{Q}{W * H2}$$

$$V2 = \frac{0,028}{0,076 * H2}$$

Iguamos las energías específicas (E1 = E2)

$$0,37 = \left(\frac{0,028}{0,076 * H2}\right)^2 * \frac{1}{2 * 9,8} + H2$$

$$H2^3 - 0,37H2^2 + 0,007$$

$$H2 = 0,20 \text{ m}$$

$$V2 = \frac{0,028}{0,076 * 0,20} = 1,84 \text{ m/s}$$

$v > 2 \text{ m/s}$, **no cumple** (RAS-TITULOC, 2013)

Determinación de la lámina de agua en el resalto

$$Hb = H2 - N$$

$$Hb = 0,20 - 0,05$$

$$Hb = 0,15$$

Chequeo grado de sumergencia S

$$S = \frac{Hb}{Ha} = \frac{0,15}{0,305} = 0,49$$

$$S = 0,49$$

La sumergencia < 0,60, **si cumple** (RAS-TITULOC, 2013)

Cálculo número de Froude

Aplicando la ecuación del resalto hidráulico

$$\frac{H3}{H2} = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8 * Nf^2} - 1)$$

$$Nf^2 = \frac{V2^2}{g * H2}$$

$$Nf = \sqrt{\frac{V2^2}{g * H2}}$$

$$Nf = \sqrt{\frac{1,84 \text{ m/s}^2}{9,8 * 0,20}} = 1,31$$

Numero Froude (1,7 – 2,5 o 4,5 – 9), **no cumple** (RAS-TITULOC, 2013)

El resalto es estable ya que el Froude oscila entre 1,7 – 2.5 o 4.5 – 9.0. En caso de que no se encuentre en este intervalo, se recomienda se puede colocar abajo una persiana que manualmente se pueda graduar por un operario, hasta lograr la estabilidad requerida, aunque esta práctica no se recomienda porque se puede presentar rompimiento del microflóculo formado previamente en el resalto de la canaleta. (Jairo Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, 2000)

Cálculo de la lámina de agua al final del trecho divergente

$$H3 = \frac{H2}{2}(\sqrt{1 + 8 * Nf^2} - 1)$$

$$H3 = \frac{0,20}{2}(\sqrt{1 + 8 * 1,31^2} - 1)$$

$$H3 = 0,28\text{m}$$

Cálculo de la lámina de agua al final de la canaleta

$$N = 5,7\text{cm}$$

$$K = 2,5 \text{ cm}$$

$$H4 = H3 - (N - K)$$

$$H4 = 0,28 - (0,05 - 0,025)$$

$$H4 = 0,25\text{m}$$

Cálculo del tiempo medio de mezcla

$$G = 30,5 \text{ cm}$$

$$td = \frac{G'}{Vm}$$

Cálculo de la velocidad media

$$Vm = \frac{V3 + V4}{2}$$

$$V3 = \frac{Q}{W * H3} = \frac{0,028}{0,076 * 0,28}$$

$$V3 = 1,29 \text{ m/s}$$

$$V4 = \frac{Q}{C * H4} = \frac{0,028}{0,178 * 0,25}$$

$$V4 = 0,62 \text{ m/s}$$

$$Vm = \frac{V3 + V4}{2} = \frac{1,29 + 0,62}{2} = 0,96 \text{ m/s}$$

$$td = \frac{G'}{Vm} = \frac{0,305}{0,96}$$

$$td = 0,32 \text{ s}$$

$td < 1$ **si cumple** (Resolucion 0330, 2017)

Cálculo del gradiente de velocidad, G

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \Delta h}{\mu td}}$$

Cálculo de la pérdida de carga Δh

$$E1 = E4 + \Delta h$$

$$\frac{V1^2}{2g} + Ha + N = \frac{V4^2}{2g} + H4 + (N - K) + \Delta h$$

$$\Delta h = \frac{V1^2}{2g} + Ha + N - \frac{V4^2}{2g} - H4 - (N - K)$$

$$\Delta h = \frac{0,51^2}{2 * 9,8} + 0,305 + 0,05 - \frac{0,62^2}{2 * 9,8} - 0,25 - (0,05 - 0,025)$$

$$\Delta h = 0,06$$

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \Delta h}{\mu td}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9797 * 0,06}{0,00112 * 0,32}} = 1329,28 \text{ s}^{-1}$$

Según la recomendación del rango de gradientes de la resolución 03330 del 2017, debe estar en el intervalo: $1000 \leq G \leq 2000 \text{ s}^{-1}$, por lo tanto, $G = 1329,28 \text{ s}^{-1}$ cumple. (Resolucion 0330, 2017)

La canaleta Parshall de la PTAP El Matadero no está diseñada para el caudal máximo diario para la proyección de los 25 años el cual es 45 L/s, tampoco está bien dimensionada según la tabla Dimensiones de la canaleta Parshall, la sumergencia si cumple.

La canaleta Parshall en cuanto a su funcionamiento no es óptimo, no cumple con la velocidad y el número de Froude recomendados en los parámetros indicados por el RAS y la resolución 0330 a pesar que no trabaja con el caudal recomendado.

2.8 COAGULACIÓN

La dosificación de coagulante utilizada en la PTAP de El Matadero es realizada por la maquina dosificadora de sulfato y con una dosis de 12 gr/min de coagulante sulfato tipo B, en la entrada de la canaleta Parshall donde se obtiene el resalto hidráulico y punto en donde encontramos la mayor velocidad en todo el proceso y es de aproximadamente 80 rpm.

Imagen 19. Máquina para dosificar el coagulante.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

2.9 FLOCULACIÓN

En la PTAP de El Matadero se cuenta con dos floculadores mecánicos (Imagen 20. Tanques floculadores mecánicos.), pero que hace 12 (doce) años no se encuentran en funcionamiento, afectando directamente el correcto proceso de tratamiento del agua. Por estos motivos se ha construido una estructura improvisada con el objetivo

de disminuir la velocidad del recurso hídrico y realizar un papel de floculador hidráulico horizontal para mantener y no afectar los floc formados.

Imagen 20. Tanques floculadores mecánicos.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

Esta estructura cuenta con unas dimensiones de; 5.94 m de largo, 0.35 m de ancho y 0.35 m de alto. Los tabiques tienen unas dimensiones de; 0.26 de largo, 0.04 m de ancho y 0.24 de altura. (Imagen 20. Tanques floculadores mecánicos.)

Imagen 21. Floculadores hidráulico de flujo horizontal.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

Los floculadores mecánicos que se encuentran fuera de servicio presentan unas dimensiones de; 3.1 metros de largo, 1.1 metros de ancho y 2.1 metros de profundidad.

Imagen 22. Floculadores mecánicos fuera de servicio.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018
Imagen 23. Floculadores mecánicos fuera de servicio.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

Los parámetros de diseño para floculadores hidráulico de flujo horizontal son los siguientes:

Tiempo de detención y gradiente de velocidad deben determinarse a través de pruebas de laboratorio

El gradiente medio de velocidad debe estar entre 20 s^{-1} y 70 s^{-1} y el tiempo de detención (t_d) entre 20 y 30 minutos; éstos deben determinarse teniendo en cuenta las pérdidas de carga y la longitud de trayectoria del flujo.

Se deben manejar profundidad del agua en el tanque entre 1.0 y 2.0 m.

Se recomienda que el espaciamiento entre el extremo de la pantalla y el muro sea igual a 1,5 veces la separación entre las pantallas. Además, las pantallas deben cruzarse como mínimo en $1/3$ del ancho de la unidad.

El floculador debe diseñarse de manera que la velocidad del agua a través del tanque de 0.1 m/s a 0.6 m/s. (RAS-TITULOC, 2013)

Tabla 7. Rangos de gradiente de velocidad y tiempo de retención.

Gradiente de velocidad de mezcla	10 seg^{-1} a 70 seg^{-1}
Tiempo de retención hidráulica	20 minutos a 40 minutos

(Resolucion 0330, 2017)

Las unidades de mezcla rápida y lenta deben ubicarse lo más cerca posible. Para caudales menores a 250 litros/segundos, el tipo de floculador podrá ser mecánico o hidráulico.

En nuestro caso es un floculador hidráulico dado que el caudal con el que trabaja es de 28 L/s, tiene una base de 0,35m y una altura de 0,35m.

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{Q}{b * h}$$

$$v = \frac{0,028 m^3/s}{0,35m * 0,35m}$$

$$v = 0,23 m/s$$

Tiempo de mezcla = 20 minutos

La distancia total recorrida por el agua debe ser:

$$L = v * t$$

$$L = 0,23 \frac{m}{s} * 20 min * \frac{60 s}{1 min} = 276m$$

El volumen de agua a mezclar en cada periodo de 20 minutos es:

$$Q = \frac{V}{\theta}$$

$$V = Q * \theta = 0,028 \frac{m^3}{s} * 20 min * \frac{60 s}{1 min}$$

$$V = 33 m^3$$

El área transversal requerida de un canal entre pantallas es:

$$Q = a * v$$

$$a = \frac{Q}{v} = \frac{0,028 m^3/s}{0,23 m/s}$$

$$a = 0,12 m^2$$

La distancia entre pantallas de 0,50m, la profundidad del agua seria:

$$d = \frac{0,12 m^2}{0,50m} = 0,24m$$

Como $d < 0,9$ m, **no cumple**

Con un borde libre de 0,11m, la profundidad total del tanque sería:

$$H = 0,24 + 0,11 = 0,35m$$

Como $H < 1$ m **no cumple**

El espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque es de 0,10m:

Para un ancho útil de la cámara de floculación de 0,35m, la longitud efectiva de cada canal será:

$$l = 0,35m - 0,10m = 0,25m$$

Por lo tanto, el número requerido de canales será:

$$N = \frac{276m}{0,25m} = 1104 \text{ Canales}$$

El número de canales actuales es de 11 canales, **no cumple**

Con un espesor de pantallas de 4cm. La longitud total interior de la cámara de floculación será:

$$L = 1104 * 0,12 + 1104 * 0,04 = 179m$$

La longitud total actual es de 17,3m, **no cumple**

La pérdida por fricción en el tanque, según la fórmula de Manning, será:

$$\begin{aligned} n \text{ para concreto} &= 0,013 \\ R &= \frac{0,35m * 0,24m}{0,35m + 2 * 0,24m} = 0,1m \\ hf &= \frac{(nv)^2 L}{R^{\frac{4}{3}}} = \frac{\left(0,013 * \frac{0,23m}{s}\right)^2 * 1104 * 0,25m}{0,1^{\frac{4}{3}}} = 0,05m \end{aligned}$$

La pérdida adicional será, según la ecuación:

$$h = \frac{3(N-1)v^2}{2g} = \frac{3(1104) * 0,23^2}{2 * 9,8}$$
$$h = 8,93 \text{ m}$$

Las pérdidas adicionales dieron un valor incoherente dado que las medidas reales del floculador existentes en la PTAP no son adecuadas

La pérdida total será, según la ecuación

$$H = Hf + h = 0,05 + 8,93 = 8,98m$$

El valor de pérdida total también es incoherente

El gradiente de velocidad para una temperatura de 21° C será, según la ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{gH}{vt}} = \sqrt{\frac{9,8 * 8,98}{0,979 * 10^{-6} * 20 \text{ min} * \frac{60s}{1 \text{ min}}}}$$
$$G = 274 \text{ s}^{-1}$$

Gradiente de velocidad $10s^{-1} - 70s^{-1}$, **no cumple** (Resolución 0330, 2017)

El número adimensional de Camp:

$$Gt = 274 * 20 * 60 = 328487$$

La falta de operación de los floculadores mecánicos afecta directamente el proceso de potabilización del recurso hídrico, esto se evidencia en la variación en los resultados de cada uno de los parámetros fisicoquímicos.

La estructura construida improvisadamente con el objetivo de realizar la mezcla del coagulante del sulfato de aluminio tipo B es ineficiente, ya que el escaso número de tabiques (11) hace que el tránsito del recurso hídrico por la estructura presente con una velocidad muy alta y por ende el tiempo de retención no supere los 2 minutos, tiempo en el cual el coagulante no alcanza su efecto óptimo.

2.10 SEDIMENTACIÓN

El proceso de sedimentación se lleva a cabo en 2 unidades de tanques sedimentadores.

Imagen 24. Tanques sedimentadores (2 unidades).



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

En la PTAP se realiza la sedimentación en el tanque con el objetivo de disminuir la velocidad del recurso hídrico y con esto evitar el rompimiento de los floc formados y sedimentar las partículas de mayor tamaño.

Imagen 25. Tanques de sedimentación. (2 unidades)



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

Se cuenta con dos unidades de sedimentación primaria cada uno con las siguientes dimensiones; 6.4 m de largo, 3 m de ancho y 2.8 m de profundidad.

Imagen 26. Tanque sedimentador. (2 unidades)



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

El tanque de sedimentación posterior cumple la función de sedimentar las partículas de menor tamaño que no se han sedimentado previamente y haciendo que estos caigan por su propio peso permitiendo la rápida clarificación.

Se cuenta con dos unidades de sedimentación secundaria y presentan las mismas dimensiones de los tanques de sedimentación primaria.

Imagen 27. Tanque de sedimentación. (2 unidades)



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

Parámetros de diseño

- Tiempo de detención: La unidad debe diseñarse de forma que permita un tiempo de detención entre 2 h y 4 h.
- Carga superficial: Debe estar entre 15 m³ /m². día y 30 m³ /m² día
- Velocidad de flujo por los orificios: El agua del efluente debe tener un flujo entre 0.10 a 0.15 m/s.
- Velocidad del flujo: El sedimentador de flujo horizontal debe diseñarse de forma que permita una velocidad horizontal del flujo de agua de máximo 1 cm/s.
- Velocidad de salida del agua: La salida del agua del sedimentador debe ser menor de 1.0 l/s/m.
- Altura del agua: La altura del nivel del agua debe estar entre 4 m y 5 m
- Pendiente longitudinal: La pendiente longitudinal del fondo debe ser mayor al 2%, entre 5% y 10%, para facilitar el deslizamiento del sedimento.
- Distancia de la pantalla difusora: Se debe instalar entre 0,7 y 1,00 m de distancia de la pared de entrada. Tasa superficial Debe estar entre 20 y 45 m³ /m² día
- Descarga de lodos: Debe existir un dispositivo de descarga apropiado de lodos que permita un vaciado de la unidad en máximo seis horas.

- Dimensiones: Para tanques rectangulares, la relación entre el ancho y el largo es de 1:4 a 1:8 y la relación entre el largo y la profundidad debe estar entre 5:1 y 25:1 (RAS-TITULOC, 2013)

Tabla 13. Parámetros de referencia de diseño de sedimentación (Resolucion 0330, 2017)

Tipo de sedimentador	Carga superficial ($m^3/m^2/d$)	Tiempo de retención hidráulica (h)	Velocidad de flujo (cm / s)
Flujo horizontal	15 – 30	2 – 4	< 1
Flujo vertical	20 – 30 (máx. 60)	2 – 4	< 1
Manto de lodos	30 – 120	1,0 – 1,5	2,15 – 5

Tabla 14 Parámetros de referencia de diseño de sedimentación de alta tasa (Resolucion 0330, 2017)

Tipo de sedimentador	Carga superficial ($m^3/m^2/d$)	Tiempo de retención hidráulica (min)	Velocidad crítica de sedimentación (cm/s)
Módulos angostos L=0,6m	100 – 110	10 – 20	15 – 30
Módulos angostos L = 1,2 m	120 – 185		
Módulos profundos L > 1,2m	200 – 300		

Tabla 15 Tipo de módulo de sedimentador alta tasa (Resolucion 0330, 2017)

Tipo de módulo de alta tasa	Factor de forma
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Tubos ondulados	1,3
Otras secciones tubulares	1,33 – 1,42

Tabla 16 Numero de Hazen (Ricardo Lopez Cualla, 2003)

Condiciones	Remoción %							
	87,5	80	75	70	65	60	55	50
n = 1	7,00	4,00	3,00	2,30	1,80	1,50	1,30	1,00
n = 3	2,75		1,66					0,76

n = 4	2,37		1,52					0,73
Máximo teórico	0,88		0,75					0,50

Condiciones de diseño

Como la PTAP presenta dos sedimentadores iguales, se calcula un sedimentador con el caudal que se bombea que es 28 L/s y no con el caudal de cada sedimentador que sería 14L/s, esto se hace por el sistema de lavado, cuando se realiza el proceso de lavado se deja funcionando solamente un sedimentador y este debe cumplir todos los parámetros

Caudal = 28 L/s

Remoción de partículas de diámetro = $d = 0,05 \text{ mm}$

Porcentaje de remoción = 75

Temperatura = 21° C

Viscosidad cinemática = $0,00960 \text{ cm}^2/\text{s}$

Grado del sedimentador = $n = 1$ (sin deflector)

Relación longitud = ancho = 4:1

Calculo de los parámetros de sedimentación

Velocidad de sedimentación de la partícula, $d_s = 0,05 \text{ mm}$

$$V_s = \frac{g}{18} \frac{(P_s - P)}{\mu} d^2 = \frac{981 (2,65 - 1)}{18 \cdot 0,00960} * (0,005)^2$$

$$V_s = 0,234 \text{ cm/s}$$

De la tabla N° 16 se obtiene $n = 1$ y remoción del 75%

$$\frac{\theta}{t} = 3$$

La profundidad útil de sedimentación, H , igual a 2,5m, el tiempo que tardaría la partícula de diámetro igual a 0,05 mm en llegar al fondo sería de:

$$t = \frac{H}{V_s} = \frac{250}{0,234} = 1068 \text{ seg}$$

Periodo de retención hidráulico será:

$$\theta = 3 * t = 3 * 1068 = 3203 \text{ s} = 0,89 \text{ h}$$

Periodo de retención hidráulica debe tener un valor que se encuentra comprendido entre 2h a 4h , no cumple (Resolucion 0330, 2017)

Volumen del tanque será:

$$V = \theta * Q = 3203 * 0,028 = 89,67 \text{ m}^3$$

El área superficial de tanque:

$$As = \frac{V}{H} = \frac{89,67}{2,50} = 35,87 \text{ m}^2$$

Dimensiones del tanque serán L: B = 4:1

$$B = \sqrt{\frac{As}{4}} = \sqrt{\frac{35,87}{4}} = 2,99 \text{ m}$$

$$L = 4 * B = 4 * 2,99 = 11,98 \text{ m}$$

Las dimensiones reales son las siguientes: base 3m y largo 12m

Carga hidráulica superficial para el tanque será:

$$q = \frac{Q}{As} = \frac{0,028}{35,87} = 0,0007806 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s} = 67,44 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$$

Carga hidráulica debe tener un valor que se encuentra comprendido entre 15 y 30 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$, **no cumple** (Resolucion 0330, 2017)

$$Vo = q$$

$$Vo = 0,0007806 \text{ m/s} = 0,078 \text{ cm/s}$$

Diámetro menor

$$do = \sqrt{\frac{Vo * 18 * \mu}{g * (Ps - P)}} = \sqrt{\frac{0,078 * 18 * 0,00960}{981 * 165}} = 0,0028 \text{ cm} = 0,03 \text{ mm}$$

$$\frac{\theta}{t} = \frac{Vs}{Vo} = \frac{0,234}{0,078} = 3$$

Velocidad horizontal

$$W = H * B$$

$$Vh = \frac{Q}{W} = \frac{VoL}{H}$$

$$Vh = \frac{Q}{W} = \frac{0,028}{2,5 * 2,99} = 0,374 \text{ cm/s}$$

$$Vh = \frac{VoL}{H} = \frac{0,078 * 11,98}{2,5} = 0,374 \text{ cm/s}$$

Velocidad horizontal máxima

$$Vh \text{ max} = 20Vs = 20 * 0,234 = 4,68 \text{ cm/s}$$

Velocidad resuspensión máxima

$$Vr = \sqrt{\frac{8k}{f} g(Ps - p)d}$$

$$Vr = \sqrt{\frac{8 * 0,04}{0,03} * 981 * 165 * 0,005} = 9,29 \text{ cm/s}$$

Almacenamiento de lodos

Relación longitud: profundidad de lodos = 10

Profundidad máxima

$$\frac{L}{10} = \frac{11,98}{10} = 1,2m$$

Profundidad máxima adoptada = 1m

Profundidad mínima adoptada= 0,8m

Pendiente longitudinal (en L/3)

$$\frac{0,2}{\left(\frac{L}{3}\right)} = \frac{0,2}{\left(\frac{11,98}{3}\right)} * 100 = 5\%$$

Pendiente longitudinal (en 2L/3)

$$\frac{0,2}{\left(\frac{2L}{3}\right)} = \frac{0,2}{\left(\frac{2 * 11,98}{3}\right)} * 100 = 2,5\%$$

El sedimentador, no cumple con el periodo de retención y la carga superficial en sedimentador convencional de flujo horizontal, estos parámetros se encuentran indicados en la resolución 0330, por lo cual se opta por proponer un nuevo diseño de sedimentador tasa alta, para cumplir con el periodo de retención y la carga superficial.

2.10.1 Manejo de lodos

Cuando se diseña el sedimentador su principal objetivo es eliminar los lodos acumulados en el sedimentador y se debe tener en cuenta cómo se va a destinar el volumen de los lodos almacenados, los lodos se mueven hacia una tolva de lodos donde son extraídos mediante una tubería de desagüe. En la PTAP El Matadero, los lodos son enviados al alcantarillado, realizan un lavado en los sedimentadores cada mes, cada sedimentador posee válvulas las cuales ayudan para realizar el lavado.

2.11 FILTRACIÓN

En el proceso de filtración se presenta dos unidades y cada una de estas con unas dimensiones de; 2.6 m de largo, 2.93 m de ancho y 1.8 m de profundidad. La lámina de agua está a 0.9 m.

Imagen 28. Tanque de filtración. (2 unidades)



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

La filtración se realiza por método descendente y se cuenta con un lecho filtrante de antracita grava y arena. Para el lavado de estos filtros se tienen dos válvulas independientes que permiten que se pueda lavar un filtro mientras la otra unidad sigue trabajando y no afectar el proceso de tratamiento del agua.

Imagen 29. Filtros y lecho filtrante.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

Imagen 30. Válvulas de cierre para lavado de filtros.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

Tabla 17. Principales características de filtros (Jairo Romero Rojas, Acuípurificación, 1997)

Características	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena	Filtros de alta tasa
Tasa de filtración	2-5(<12 m/d)	120 m/d	180 – 480 m/d
Medio	Arena	Arena	Arena y antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado: fino a grueso	Estratificado: grueso a fino
Duración carrera	20 – 60 días	12 – 36 horas	12 – 36 horas
Pérdida de carga	Inicial: 0,6m Final : 1,2m	Inicial: 0,3m Final: 2,4 – 3m	Inicial: 0,3m Final: 2,4 – 3m
Agua de lavado	No usa	2 – 4% del agua filtrada	6% del agua filtrada
Profundidad del medio	0,6 – 1,0m	0,60 – 0,75m	Antracita: 0,4-0,6m Arena: 0,15 – 0,3m
Profundidad de grava	0,30m	0,30 – 0,45m	0,30 – 0,45m
Drenaje	Tubería perforadora	Tubería perforadora Falsos fondos	Tubería perforadora Falsos fondos

Tabla 18. Características de Filtración convencional (Resolucion 0330, 2017)

Parámetro	Filtración lenta con lecho simple	Filtración rápida con lecho simple	Filtración rápida con lecho mixto
Tasa del filtración ($m^3/m^2/d$)	7-14	<120	180-350
Profundidad del medio (m)	0,8 – 1,0	0,6 – 0,9	Antracita: 0,4 – 0,6 Arena: 0,15 – 0,3

El lavado de filtros consiste, en hacer pasar agua ascensionalmente a través del lecho filtrante, a una velocidad tal que los granos de medio filtrante se muevan a través del flujo ascensional, la velocidad ascensional del agua es 10 mm/s a 14 mm/s. (Jairo Romero Rojas, Acuípurificación, 1997)

Imagen 31. Tanques de sedimentación.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

Como la PTAP presenta dos sistemas de filtración iguales, se calcula un filtro con el caudal que se bombea que es 28 L/s y no con el caudal de cada filtro que sería 14L/s, esto se hace por el sistema de lavado, cuando se realiza el proceso de lavado se deja funcionando solamente un filtro y este debe cumplir todos los parámetros. El sistema de filtración rápida para el agua se hará a una tasa normal de (Cs) 250 $m^3/m^2 \cdot d$. El lavado ascensional debe hacerse a una tasa de 1.4 cm/s durante 15 minutos después de una carrera de filtración de 30 h. Caudal ($Q=2420 m^3/dia$)

Determinación del número de filtros

$$N = 0,044\sqrt{Q}$$
$$N = 0,044\sqrt{2420 \text{ m}^3/\text{dia}} = 2 \text{ Filtros}$$

Dimensiones de un filtro

$$Qu = \frac{2420}{2} = 1210 \text{ m}^3/\text{dia} = 14 \text{ L/s}$$

Área del filtro

$$A = \frac{Qu}{Cs} = \frac{1210 \text{ m}^3/\text{dia}}{250 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}} = 4,84 \text{ m}^2$$

Dimensiones de los filtros

Asumimos una relación $\frac{L}{B} = 3$

$$B = \sqrt{\frac{A}{3}} = \sqrt{\frac{4,84}{3}} = 1,3 \text{ m}$$

$$L = 3 * B = 3 * 1,3 \text{ m} = 3,8 \text{ m}$$

Dimensiones de los lechos filtrantes Teniendo en cuenta la Tabla 17, determinamos que el medio filtrante estará compuesto por una capa de 0.60 m de antracita, 0.30 m de arena y 0.4 m de grava.

Canaletas de lavado

canaletas de lavado $Nc=2$

Distancia entre canaleta centro a centro

$$\frac{L}{Nc} = \frac{3,8}{2} = 1,9 \text{ m}$$

Determinación del caudal del lavado

$$V = 0,014 \text{ m/s}$$

$$Ql = V * A = 0,014 \text{ m/s} * 3,8 \text{ m} * 1,8 \text{ m} = 0,07 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal de una canaleta

$$Qc = \frac{Ql}{Nc}$$
$$Qc = \frac{0,07 \text{ m}^3/\text{s}}{2} = 0,035 \text{ m}^3/\text{s}$$

El ancho de la canaleta es 0,35 m, la profundidad de la lámina de agua será:

$$Ho = \left(\frac{Qc}{1.375 * ac} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_o = \left(\frac{0,03}{1.375 * 0,35} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_o = 0,17m$$

La altura de la canaleta de 0,30 m

El volumen de agua requerido para lavado será:

$$V = Q * \theta = 0,07 * 15 * 60$$

$$V = 61 m^3$$

Volumen de agua filtrada en 30 horas es:

$$V_f = Q_f * T_f = 1210 m^3/d * 30 h * (1d/24h)$$

$$V_f = 1512,5 m^3$$

Porcentaje de agua filtrada requerida para el lavado es:

$$\% = \frac{V}{V_f} = \frac{61}{1512,5} * 100\%$$

$$\% = 4,03\%$$

2.12 DESINFECCIÓN

Para el proceso de desinfección en la PTAP de La Palma Cundinamarca, se utiliza un tanque de 500 L y se le adiciona 400 gr de cloro granulado y este tiene un tiempo de duración de aproximadamente 6 horas.

Imagen 32. Clorador.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

Se recarga 3 veces al día cuando la PTAP tiene un funcionamiento de 24 horas. Estas dosis son calculadas para una caudal de 23 L/s.

Imagen 33 Clorador.



Fotografía de Ludwig Correa-La Palma 2018

2.13. EVALUACIÓN GENERAL

En general, es evidente que las mayorías de las estructuras no se encuentran en óptimas condiciones para obtener una excelente potabilización del agua, la razón de justifica en los floculadores mecánicos que no funcionan y el floculador de flujo horizontal que posee la PTAP no cumple con los parámetros para realizar una buena mezcla lenta, también podemos observar que los sedimentadores no cumplen con los periodos de retención ni con la carga hidráulica, con lo anterior, se recomienda realizar mantenimientos a todas las estructuras de la PTAP.

3. ANALISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Este indicador muestra el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

La Resolución 2115 de 2007, artículo 15, establece una clasificación del nivel de riesgo en salud, teniendo en cuenta los resultados arrojados por el IRCA, que determina los siguientes rangos y puntajes de riesgo: Entre (0-5) se encuentra sin riesgo; el agua es apta para el consumo humano y se debe continuar la vigilancia, (5.1-14) se encuentra con nivel de riesgo bajo; el agua no es apta para el consumo humano y es susceptible de mejoramiento, (14.1-35) se encuentra en riesgo medio; el agua no es apta para el consumo humano, debe haber una gestión directa de la persona prestadora, (35.1-80) se encuentra en nivel de riesgo alto; el agua no es apta para el consumo humano, requiere de gestión directa de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos de acuerdo a su competencia y (80.1-100) se encuentra inviable sanitariamente; el agua se considera no apta para el consumo humano y requiere de una gestión directa de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional de acuerdo a su competencia. De esta forma, el valor del IRCA es de cero puntos (0) cuando cumple con los valores aceptables para cada uno de estos parámetros y de cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple con ninguno de ellos. (IRCA, 2014)

Tabla 8. Valor de estudio de IRCA para año 2013. (Subdirección de salud ambiental, 2014)

Municipio	IRCA rural	IRCA urbano	IRCA %
La Palma	42,93	22,43	31,97

3.1 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 con base en capítulo 2 artículo 2 de la resolución 2115 de 2007:

Tabla 9. Tabla de valores mínimos exigidos para consumo humano. (CITA)

Característica física	Unidad o medida	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de platino cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades nefelometrías de turbiedad (UNT)	2
Ph	Unidades de Ph	(6,5 – 8,5)

3.1.1 Color

Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

La extracción acuosa de sustancias de origen vegetal

La descomposición de la materia

La materia orgánica de la materia

La presencia elementos de hierro, magnesio y entre otros componentes metálicos

En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados. Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color verdadero al que queda luego de que el agua ha sido filtrada. (Ada Barrenechea Martel, 2004)

Cuadro 1. Valor mínimo de calidad para color en el agua potable. (Ministro de la protección social & ministro de ambiente, vivienda y desarrollo, 2017)

Color aparente	Unidades de platino cobalto (UPC)	15
----------------	-----------------------------------	----

A continuación, se muestra los valores obtenidos en las pruebas realizadas por el operario de la PTAP del municipio de La Palma Cundinamarca y suministradas por parte del personal de la PTAP:

- SEPTIEMBRE 2017 (Anexo 1. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados por la PTAP (septiembre)).

Tabla 10. Datos de laboratorio para parámetro de color tomando tomados por la PTAP (junio).

sep-17	COLOR			
	V. Experimental		V. norma calidad	Cumple
	Cruda	Tratada		
01-sep	334	11	<15	OK
02-sep	280	13		OK
03-sep	387	12		OK
04-sep	279	8,9		OK
05-sep	280	9,1		OK
06-sep	510	9		OK
07-sep	358	12		OK
08-sep	244	14		OK
09-sep	174	0,19		OK
10-sep	124	0,8		OK
11-sep	174	7		OK
12-sep	126	0,8		OK
13-sep	215	4		OK
14-sep	251	5		OK
15-sep	488	5		OK
16-sep	510	4		OK
17-sep	448	6		OK
18-sep	400	6		OK
19-sep	933	5		OK
20-sep	126	17		NO
21-sep	998	8		OK
22-sep	820	10		OK
23-sep	533	14		OK
24-sep	998	12		OK
25-sep	526	8		OK

Imagen 34. Parámetro fisicoquímico color (septiembre).

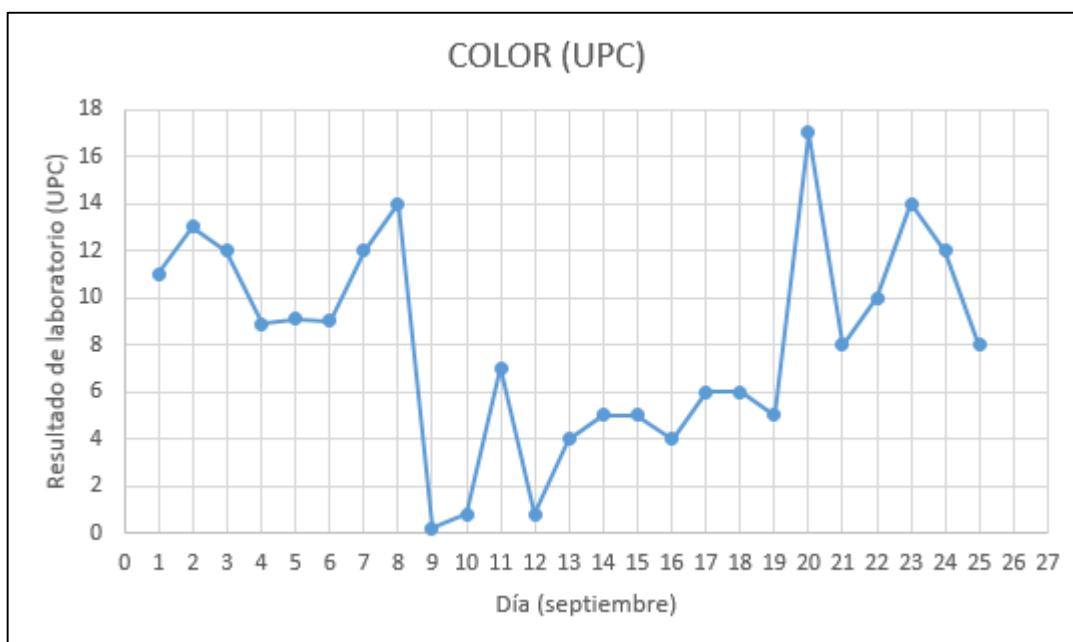


Tabla 11. Medidas de tendencia para valores de color suministrados por la PTAP.

Medidas de tendencia	
Media	8,0716
Mediana	8
Moda	12
Varianza	18,98271744

Se evidencia que en días específicos se suministró al municipio con agua con valores de color muy cerca del límite y adicionando que uno de estos días el recurso hídrico no cumplió con las condiciones mínimas que se exigen para el suministro de agua potable al municipio. Como también hay dos datos en la que el agua que llega a los usuarios tiene valores cercanos al cero.

- JUNIO 2017 (Anexo 2. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados por la PTAP (junio).

Tabla 12. Datos de laboratorio para parámetro de color tomados por la PTAP (junio).

jun-17	COLOR			
	V. Experimental		V. norma calidad	Cumple
Cruda	Tratada			
1 de junio	334	14	<15	OK
2 de junio	280	16		OK

3 de junio	387	13	OK
4 de junio	279	8,9	OK
5 de junio	280	9,1	OK
6 de junio	510	12	OK
7 de junio	358	11	OK
8 de junio	244	13	OK
9 de junio	174	9	OK
10 de junio	124	8	OK
11 de junio	174	7	OK
12 de junio	126	0,8	OK
13 de junio	215	7	OK
14 de junio	251	8	OK
15 de junio	488	9	OK
16 de junio	510	12	OK
17 de junio	448	11	OK
18 de junio	400	11	OK
19 de junio	933	14	OK
20 de junio	975	10	OK
21 de junio	998	9	OK
22 de junio	820	9	OK
23 de junio	533	11	OK
24 de junio	998	12	OK
25 de junio	526	10	OK
26 de junio	na	Na	na
27 de junio	462	9	OK
28 de junio	486	7	OK
29 de junio	460	12	OK
30 de junio	290	10	OK

Imagen 35. Parámetro fisicoquímico color (junio).

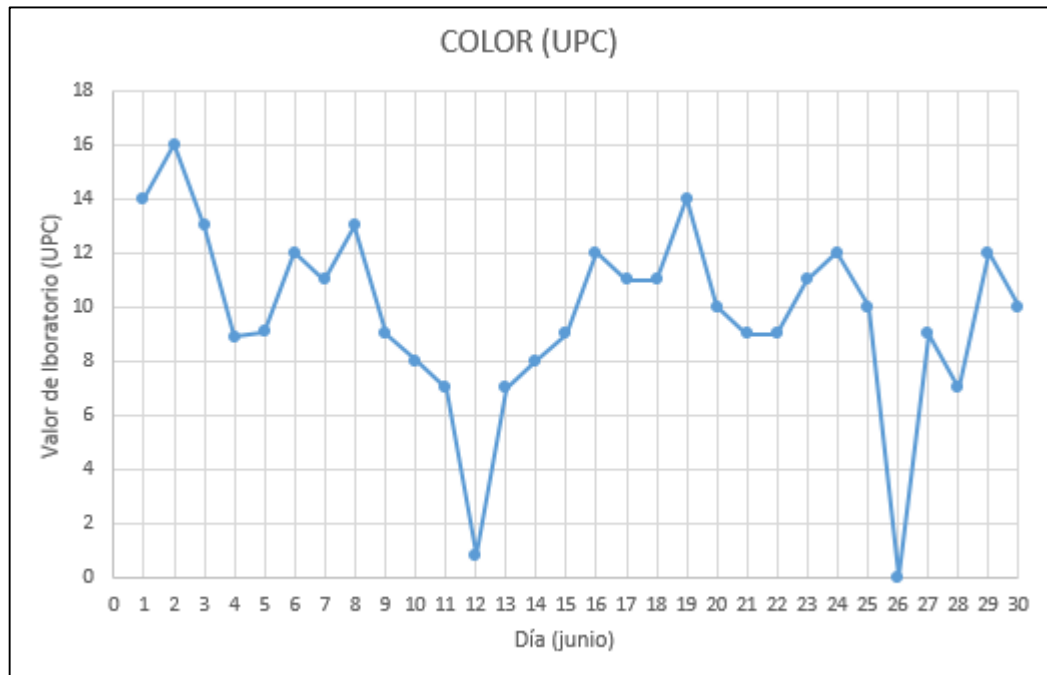


Tabla 13. Medidas de tendencia para valores de color suministrados por la PTAP (junio).

Medidas de tendencia	
Media	10,09655172
Mediana	10
Moda	9
Varianza	8,013436385

Para el mes de junio se puede ver que los valores son más estandarizados, que van desde la media exigida por la norma hasta valores al límite del valor máximo. Y en la gráfica siguiente, se puede evidenciar que hay picos tanto en el máximo como en el mínimo.

- MAYO 2017 (Anexo 3. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados por la PTAP (mayo).

Tabla 14. Datos de laboratorio para parámetro de color tomando tomados por la PTAP (junio).

may-17	COLOR			
	V. Experimental		V. norma calidad	Cumple
	Cruda	Tratada		
1 de mayo	336	12	<15	OK
2 de mayo	334	13		OK
3 de mayo	354	12		OK
4 de mayo	0	0		Na
5 de mayo	378	11		OK
6 de mayo	360	10		OK
7 de mayo	280	9		OK
8 de mayo	282	9		OK
9 de mayo	301	12		OK
10 de mayo	315	11		OK
11 de mayo	299	10		OK
12 de mayo	278	11		OK
13 de mayo	254	9		OK
14 de mayo	448	11		OK
15 de mayo	400	12		OK
16 de mayo	933	12		OK
17 de mayo	975	14		OK
18 de mayo	860	10		OK
19 de mayo	605	9		OK
20 de mayo	405	8		OK
21 de mayo	448	9		OK
22 de mayo	400	8		OK
23 de mayo	933	9		OK
24 de mayo	975	8		OK
25 de mayo	998	7		OK
26 de mayo	420	10		OK
27 de mayo	530	11		OK
28 de mayo	998	11		OK
29 de mayo	526	12		OK
30 de mayo	na	Na		na
31 de mayo	462	9		OK

Imagen 36. Parámetro fisicoquímico color (mayo).

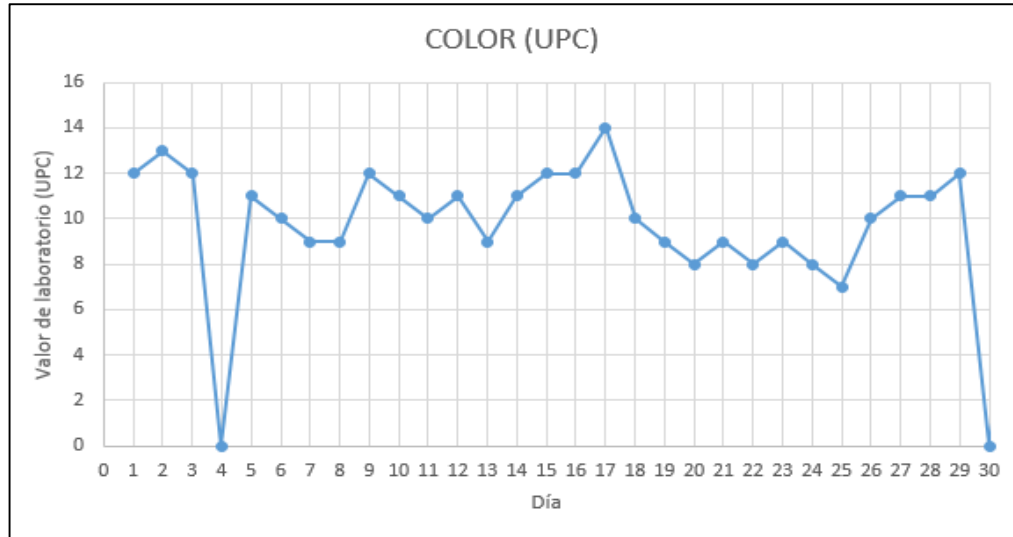


Tabla 15. Medidas de tendencia para valores de color suministrados por la PTAP (junio).

Medidas de tendencia	
Media	9,966666667
Mediana	10
Moda	9
Varianza	6,098888889

El mes de mayo se presentan unos valores de color en el agua tratada, en donde se concentran por arriba de la media y con un pico como se puede ver en la anterior gráfica.

- AUDITORIA JUNIO (Anexo 4.)

Tabla 16. Datos de laboratorio para parámetro de color tomados en auditoría (junio).

13-jun-17					
PARAMETRO			LABORATORIO		
NOMBRE	UNIDADES	NORMA CALIDAD	SECRETARIA	CONTRATADO	PTAP
TURBIEDAD	UNT	<2	1,04	1,04	1,04
COLOR	UPC	<15			12
CLORO RESIDUAL	MG/LT	(0,3 - 2)	1,08	1,08	1,08

PH	U	(6,5 - 9)	7,2	7,2	7,2
----	---	-----------	-----	-----	-----

- AUDITORIA JULIO (Anexo 5.)

Tabla 17. Datos de laboratorio para parámetro de color tomando tomados en auditoría (julio).

25-jul-17					
PARAMETRO			LABORATORIO		
NOMBRE	UNIDADES	NORMA CALIDAD	SECRETARIA	CONTRATADO	PTAP
TURBIEDAD	UNT	<2			0,78
COLOR	UPC	<15			12
COLOR RESIDUAL	MG/LT	(0,3 - 2)	1,5	1,5	1,5
PH	U	(6,5 - 9)	7,9	7,9	7,9

3.1.1.1 Evaluación

En los resultados de las pruebas para el parámetro de color se evidencia unos valores cercanos entre si y que se acercan al valor mínimo de calidad exigido en la norma, de lo que se puede interpretar que la PTAP requiere ciertas adecuaciones o remodelaciones de las estructuras, por las cuales se está potabilizando el recurso hídrico ya que están llegando a su fin de vida útil o se encuentran en deterioro. Además se comprueba que el recurso hídrico captado presenta condiciones con alta riesgo para el consumo humano.

3.1.2 Olor y sabor

Es una caracteriza en el agua la falta de olor y sabor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, ya que el agua es un recurso sin olor. Las fuentes de olores en el agua pueden ser de origen; natural o artificial. Respecto a las primeras incluyen gases, sales, compuestos inorgánicos o compuestos orgánicos de los organismos acuáticos y demás. De origen artificial pueden ser orgánicos e inorgánicos y están probablemente más definidos, al poder identificarse la fuente concreta productora del problema. (Reglamentacion Técnico Sanitaria)

Cuadro 2. Valor de calidad mínimo para consumo humano de olor y sabor. (Reglamentacion Técnico Sanitaria)

Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
--------------	--------------------------	-----------

A continuación, se muestra los valores obtenidos en las pruebas realizadas por el operario de la PTAP del municipio de La Palma Cundinamarca y suministradas por parte del personal de la PTAP:

• SEPTIEMBRE 2017 (Anexo 1.)

Tabla 18. Datos de laboratorio para parámetro de olor y sabor tomando tomados por la PTAP (septiembre).

sep-17	OLOR Y SABOR			
	V. Experimental		V. norma calidad	Cumple
	Cruda	Tratada		
1 de septiembre	A	A	ACEPTABLE O NO ACEPTABLE	OK
2 de septiembre	A	A		OK
3 de septiembre	A	A		OK
4 de septiembre	A	A		OK
5 de septiembre	A	A		OK
6 de septiembre	A	A		OK
7 de septiembre	A	A		OK
8 de septiembre	A	A		OK
9 de septiembre	A	A		OK
10 de septiembre	A	A		OK
11 de septiembre	A	A		OK
12 de septiembre	A	A		OK
13 de septiembre	A	A		OK
14 de septiembre	A	A		OK
15 de septiembre	A	A		OK
16 de septiembre	A	A		OK
17 de septiembre	A	A		OK
18 de septiembre	A	A		OK
19 de septiembre	A	A		OK
20 de septiembre	A	A		OK
21 de septiembre	A	A		OK
22 de septiembre	A	A		OK
23 de septiembre	A	A		OK
24 de septiembre	A	A		OK
25 de septiembre	A	A		OK

• JUNIO 2017 (Anexo 2.)

Tabla 19. Datos de laboratorio para parámetro de olor y sabor tomando tomados por la PTAP (junio).

jun-17	OLOR		
	V. Experimental		V. norma calidad
	Cruda	Tratada	
1 de junio	A	A	OK
2 de junio	A	A	OK
3 de junio	A	A	OK
4 de junio	A	A	OK
5 de junio	A	A	OK
6 de junio	A	A	OK
7 de junio	A	A	OK
8 de junio	A	A	OK
9 de junio	A	A	OK
10 de junio	A	A	OK
11 de junio	A	A	OK
12 de junio	A	A	OK
13 de junio	A	A	OK
14 de junio	A	A	OK
15 de junio	A	A	OK
16 de junio	A	A	OK
17 de junio	A	A	OK
18 de junio	A	A	OK
19 de junio	A	A	OK
20 de junio	A	A	OK
21 de junio	A	A	OK
22 de junio	A	A	OK
23 de junio	A	A	OK
24 de junio	A	A	OK
25 de junio	A	A	OK
26 de junio	na	na	na
27 de junio	A	A	OK
28 de junio	A	A	OK
29 de junio	A	A	OK
30 de junio	A	A	OK

•MAYO 2017 (Anexo 3.)

Tabla 20. Datos de laboratorio para parámetro de olor y sabor tomando tomados por la PTAP (mayo).

may-17	OLOR		
	V. Experimental		V. norma calidad
	Cruda	Tratada	
1 de mayo	A	A	OK
2 de mayo	A	A	OK
3 de mayo	A	A	OK
4 de mayo	Na	Na	na
5 de mayo	A	A	OK
6 de mayo	A	A	OK
7 de mayo	A	A	OK
8 de mayo	A	A	OK
9 de mayo	A	A	OK
10 de mayo	A	A	OK
11 de mayo	A	A	OK
12 de mayo	A	A	OK
13 de mayo	A	A	OK
14 de mayo	A	A	OK
15 de mayo	A	A	OK
16 de mayo	A	A	OK
17 de mayo	A	A	OK
18 de mayo	A	A	OK
19 de mayo	A	A	OK
20 de mayo	A	A	OK
21 de mayo	A	A	OK
22 de mayo	A	A	OK
23 de mayo	A	A	OK
24 de mayo	A	A	OK
25 de mayo	A	A	OK
26 de mayo	A	A	OK
27 de mayo	A	A	OK
28 de mayo	A	A	OK
29 de mayo	A	A	OK
30 de mayo	Na	Na	na
31 de mayo	A	A	OK

3.1.2.1 Evaluación

La percepción del olor y sabor en el recurso hídrico no es atribuida un factor exacto o medible, sino es más una apreciación, y ésta tiene, por lo tanto, un carácter subjetivo. El olor raramente es indicativo de la presencia de sustancias peligrosas en el agua, pero sí puede indicar la existencia de una elevada actividad biológica. Por ello, en el caso de aguas potable, no debería apreciarse olor alguno. En el caso analizado se muestra que la percepción del operario, es que el agua cumple el standard y no presenta olor ni un sabor incómodo para el consumo de los usuarios.

3.1.3 Turbiedad

Es producida por materiales en suspensión como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y demás microorganismos. Incide directamente en la productividad y el flujo de energía dentro del ecosistema, La turbiedad define el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada en suspensión. Debido a que los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua puesto que limita el paso de luz a través de ella (Sena, Universidad del tolima, & Corpoica)

La turbidez constituye un obstáculo para la eficacia de los tratamientos de desinfección, y las partículas en suspensión pueden ocasionar gustos y olores desagradables por lo que el agua de consumo debe estar exenta de las mismas. Por otra parte, la transparencia del agua es especialmente importante en el caso de aguas potables y también en el caso de industrias que producen materiales destinados al consumo humano, tales como las de alimentación, fabricación de bebidas, etc. (Rodier J, 1989)

Cuadro 3. Valor de calidad mínimo para consumo humano de turbiedad. (Ministro de la protección social & minsitro de ambiente, vivienda y desarrollo, 2017)

Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)	2
-----------	--	---

- SEPTIEMBRE 2017 (Anexo 1.)

Tabla 21. Datos de laboratorio para parámetro de turbiedad tomados por la PTAP (septiembre).

sep-17	TURBIEDAD			
	V. Experimental		V. Norma Calidad	Cumple
	Cruda	Tratada		
1 de septiembre	19	1,43	<2	OK
2 de septiembre	22	1,6		OK
3 de septiembre	15,4	1,48		OK
4 de septiembre	6,91	0,34		OK
5 de septiembre	6,94	0,6		OK
6 de septiembre	6,9	0,9		OK
7 de septiembre	12,6	1,69		OK
8 de septiembre	12,1	1,71		OK
9 de septiembre	13	0,9		OK
10 de septiembre	11	0,7		OK
11 de septiembre	10	0,9		OK
12 de septiembre	9,8	0,6		OK
13 de septiembre	13,4	1,48		OK
14 de septiembre	15	1,39		OK
15 de septiembre	25,6	1,3		OK
16 de septiembre	28	1,8		OK
17 de septiembre	25	1,73		OK
18 de septiembre	8,02	0,79		OK
19 de septiembre	30,1	1,57		OK
20 de septiembre	6,79	1,06		OK
21 de septiembre	37,2	1,27		OK
22 de septiembre	33,6	1,52		OK
23 de septiembre	29,2	1,68		OK
24 de septiembre	38,4	1,56		OK
25 de septiembre	29,7	1,48		OK

Imagen 37. Parámetro fisicoquímico turbiedad (septiembre).

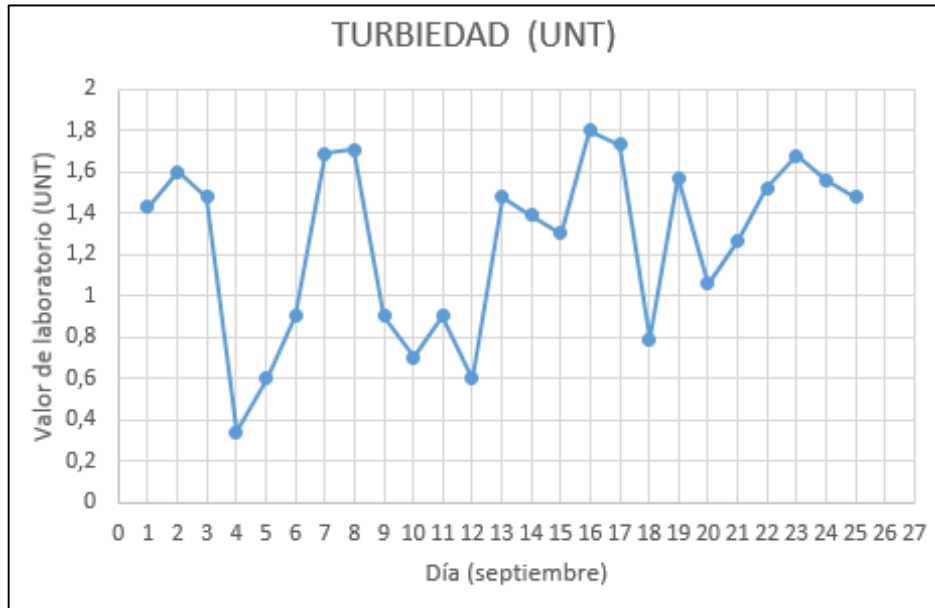


Tabla 22. Medidas de tendencia para valores de turbidez suministrados por la PTAP (septiembre).

Medidas de tendencia	
Media	1,2592
Mediana	1,43
Moda	1,48
Varianza	0,17276736

Con base a los resultados y los valores exigidos por la norma de calidad de la resolución 2115 de 2007, cada una de las muestras cumple y es apta para el consumo humano.

- JUNIO 2017 (Anexo 2.)

Tabla 23. Datos de laboratorio para parámetro de turbiedad tomados por la PTAP (junio).

jun-17	TURBIEDAD			
	V. Experimental		V. Norma Calidad	Cumple
Cruda	Tratada			
1 de junio	19	1,43	<2	OK

2 de junio	22	1,6	OK
3 de junio	15,4	1,48	OK
4 de junio	6,91	0,34	OK
5 de junio	6,94	0,6	OK
6 de junio	6,9	0,9	OK
7 de junio	12,6	1,69	OK
8 de junio	12,1	1,71	OK
9 de junio	13	0,9	OK
10 de junio	11	0,7	OK
11 de junio	10	0,9	OK
12 de junio	9,8	0,6	OK
13 de junio	13,4	1,48	OK
14 de junio	15	1,39	OK
15 de junio	25,6	1,3	OK
16 de junio	28	1,8	OK
17 de junio	35	1,73	OK
18 de junio	8,02	0,79	OK
19 de junio	30,1	1,57	OK
20 de junio	35,3	1,13	OK
21 de junio	37,2	1,27	OK
22 de junio	33,6	1,52	OK
23 de junio	29,2	1,68	OK
24 de junio	38,4	1,56	OK
25 de junio	29,7	1,48	OK
26 de junio	na	Na	Na
27 de junio	25,6	1,54	OK
28 de junio	27,2	1,24	OK
29 de junio	25,8	1,4	OK
30 de junio	21,4	0,88	OK

Imagen 38. Parámetro fisicoquímico turbiedad (junio).

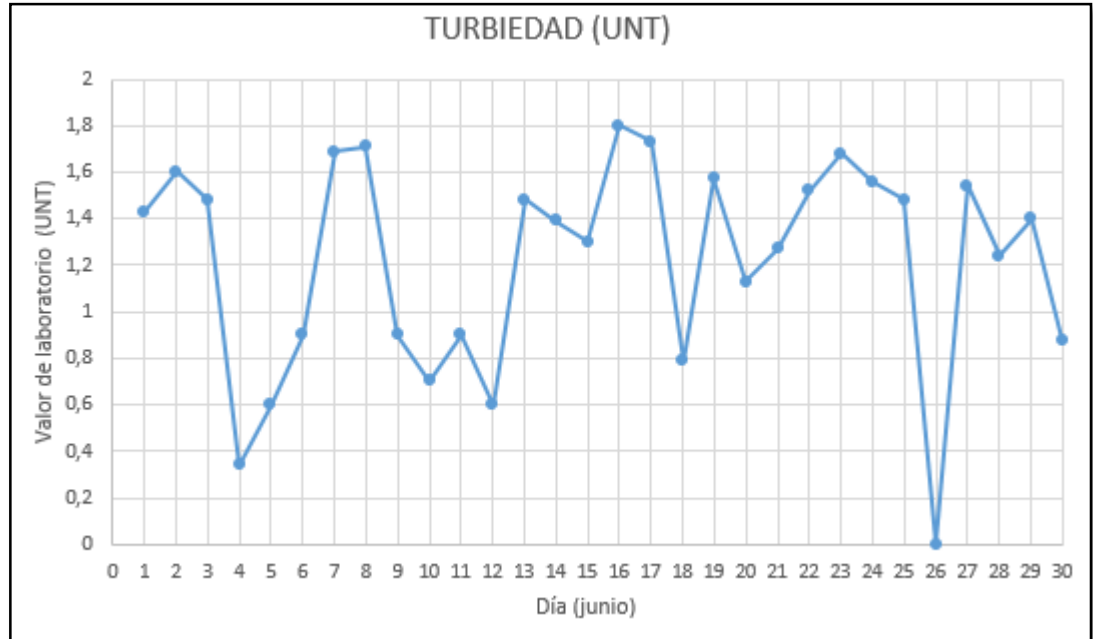


Tabla 24. Medidas de tendencia para valores de turbidez suministrados por la PTAP (junio).

Medidas de tendencia	
Media	1,2704
Mediana	1,39
Moda	0,9
Varianza	0,139088889

En este mes en términos de turbiedad se presenta una gran varianza entre valores con picos altos cercanos a 2 que es el valor máximo permitido y valores cercanos a cero que es el ideal, como se evidencia en la tabla de datos y la gráfica, pero aun así el recurso hídrico tratado cumple con los valores exigidos por la norma.

- MAYO 2017 (Anexo 3.)

Tabla 25. Datos de laboratorio para parámetro de turbiedad tomados por la PTAP (mayo).

may-17	TURBIEDAD			Cumple
	V. Experimental		V. Norma Calidad	
	Cruda	Tratada		
1 de mayo	19,2	1,38	<2	OK
2 de mayo	18,8	1,86		OK
3 de mayo	22	1,2		OK

4 de mayo	Na	0	OK
5 de mayo	27	1,8	OK
6 de mayo	24	1,5	OK
7 de mayo	18	1,4	OK
8 de mayo	20	1	OK
9 de mayo	28	1,8	OK
10 de mayo	32	1,9	OK
11 de mayo	29	1,6	OK
12 de mayo	27	1,2	OK
13 de mayo	24	1,5	OK
14 de mayo	35	1,73	OK
15 de mayo	8,2	0,79	OK
16 de mayo	30,1	1,57	OK
17 de mayo	35,3	1,13	OK
18 de mayo	31	1,2	OK
19 de mayo	28	0,89	OK
20 de mayo	24	0,91	OK
21 de mayo	35	1,73	OK
22 de mayo	8,02	0,79	OK
23 de mayo	30,1	1,57	OK
24 de mayo	35,3	1,13	OK
25 de mayo	37,2	1,27	OK
26 de mayo	33,6	1,52	OK
27 de mayo	29,2	1,68	OK
28 de mayo	38,4	1,56	OK
29 de mayo	29,7	1,48	OK
30 de mayo	Na	0	na
31 de mayo	25,6	1,54	OK

Imagen 39. Parámetro fisicoquímico turbiedad (mayo).

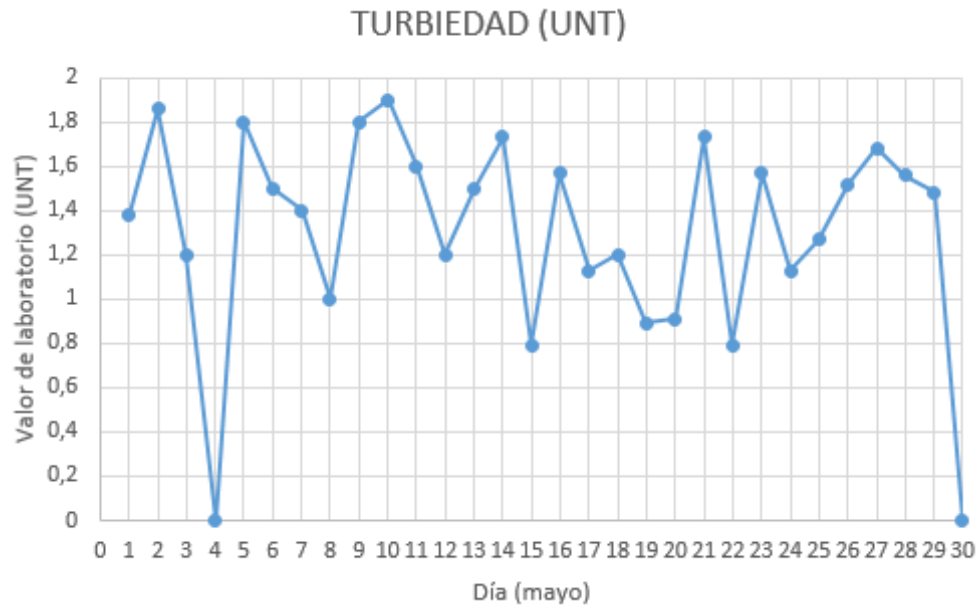


Tabla 26. Medidas de tendencia para valores de turbidez suministrados por la PTAP (mayo).

Medidas de tendencia	
Media	1,310645161
Mediana	1,48
Moda	1,2
Varianza	0,213599584

Las muestras de agua este mes, tienen un grado de igualdad más marcado, con un rango de (1 – 1,6) NTU, lo que quiere decir que en este mes se cumplió con el requerimiento de la norma y se presentaron unas muestras de agua con características similares o un proceso de potabilización homogéneo.

• AUDITORIA JUNIO (Anexo 4.)

Tabla 27. Datos de laboratorio para parámetro de turbiedad tomados en auditoría (junio).

13-jun-17					
PARAMETRO			LABORATORIO		
NOMBRE	UNIDADES	NORMA CALIDAD	SECRETARIA	CONTRATADO	PTAP
TURBIEDAD	UNT	<2	1,04	1,04	1,04
COLOR	UPC	<15			12
COLORO RESIDUAL	MG/LT	(0,3 - 2)	1,08	1,08	1,08
PH	U	(6,5 - 9)	7,2	7,2	7,2

• AUDITORIA JULIO (Anexo 5.)

Tabla 28. Datos de laboratorio para parámetro de turbiedad tomados en auditoría (julio).

25-jul-17					
PARAMETRO			LABORATORIO		
NOMBRE	UNIDADES	NORMA CALIDAD	SECRETARIA	CONTRATADO	PTAP
TURBIEDAD	UNT	<2			0,78
COLOR	UPC	<15			12
COLORO RESIDUAL	MG/LT	(0,3 - 2)	1,5	1,5	1,5
PH	U	(6,5 - 9)	7,9	7,9	7,9

Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU.

3.1.3.1 Evaluación

El parámetro de la turbidez se puede tomar como uno de los más importantes a tratar, ya que en este no solo se interviene el aspecto físico del agua, sino el químico. Una buena turbidez, es un buen indicador de calidad del agua, además de la confianza que genera un buen puntaje de turbidez en los usuarios.

En general se puede evidenciar que día a día se presentan diferentes valores que se encuentran dentro del rango establecido en la resolución 2115 de 2007, encontrándose una media cercana a 1,25. Con esto se podría concluir que el proceso llevado a cabo en la PTAP es óptimo y adecuado para la calidad del recurso hídrico. Y que contrasta con las auditorias hechas por los entes reguladores en donde se obtuvieron valores dentro de lo exigido.

3.1.4 Ph

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia, siendo ésta una de las propiedades más importantes del agua. El rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. Por definición, el pH es en realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua. (Krupah, 2016)

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 6,5 y 8,5. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. El pH tiene una gran influencia en la coagulación. Valores por encima o por debajo del pH óptimo producen malos resultados.

Cuadro 4. Rango de calidad mínimo para consumo humano de Ph. (Ministro de la protección social & ministro de ambiente, vivienda y desarrollo, 2017)

Ph	Unidades de Ph	(6,5 – 8,5)
----	----------------	-------------

- SEPTIEMBRE (Anexo 1.)

Tabla 29. Datos de laboratorio para parámetro de Ph tomados por la PTAP (septiembre).

sep-17	Ph			
	V. Experimental		V. Norma Calidad	Cumple
Cruda	Tratada			
1 de septiembre	7,8	7,91	<2	OK

2 de septiembre	7,8	8,1	OK
3 de septiembre	7,63	7,71	OK
4 de septiembre	7,7	7,79	OK
5 de septiembre	7,62	7,83	OK
6 de septiembre	8,16	8,19	OK
7 de septiembre	7,24	7,91	OK
8 de septiembre	7,4	7,4	OK
9 de septiembre	7,24	7,91	OK
10 de septiembre	7,4	7,4	OK
11 de septiembre	7,69	7,81	OK
12 de septiembre	7,48	7,7	OK
13 de septiembre	7,4	7,6	OK
14 de septiembre	7,9	7,85	OK
15 de septiembre	7,7	7,8	OK
16 de septiembre	7,9	8	OK
17 de septiembre	7,9	7,86	OK
18 de septiembre	7,9	7,79	OK
19 de septiembre	7,8	7,83	OK
20 de septiembre	8,17	8,11	OK
21 de septiembre	7,69	7,81	OK
22 de septiembre	7,48	7,7	OK
23 de septiembre	7,71	7,8	OK
24 de septiembre	7,1	7,7	OK
25 de septiembre	7,52	7,81	OK

Imagen 40. Parámetro fisicoquímico Ph (septiembre).

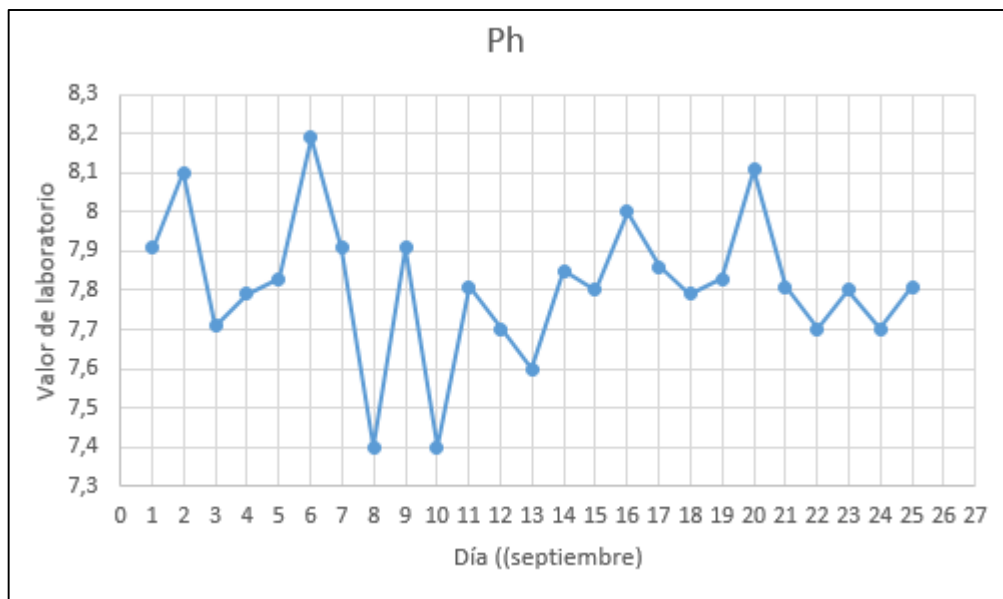


Tabla 30. Medidas de tendencia para valores de Ph suministrados por la PTAP (septiembre).

Medidas de tendencia	
Media	7,8128
Mediana	7,81
Moda	7,91
Varianza	0,03267616

El agua tratada el mes de septiembre ha cumplido con los parámetros establecidos, manteniéndose en la media del rango exigido que es de (6,5 – 8,5) y como evidencia que un gran porcentaje de los datos están entre (7,6 – 7,9).

• JUNIO (Anexo 2.)

Tabla 31. Datos de laboratorio para parámetro de Ph tomados por la PTAP (junio).

jun-17	Ph			
	V. Experimental		V. Norma Calidad	Cumple
	Cruda	Tratada		
1 de junio	7,72	7,41	<2	OK
2 de junio	10	7,5		OK
3 de junio	7,54	7,71		OK
4 de junio	7,79	7,71		OK
5 de junio	7,42	7,77		OK
6 de junio	8,26	8,26		OK
7 de junio	7,34	7,31		OK
8 de junio	7,4	7,4		OK
9 de junio	7,24	7,31		OK
10 de junio	7,4	7,4		OK
11 de junio	7,8	7,81		OK
12 de junio	7,45	7,2		OK
13 de junio	7,5	7,2		OK
14 de junio	7,6	7,4		OK
15 de junio	7,9	7,85		OK
16 de junio	7,71	7,4		OK
17 de junio	7,1	7,2		OK

18 de junio	8,08	7,86	OK
19 de junio	7,79	7,69	OK
20 de junio	7,82	7,83	OK
21 de junio	7,45	7,31	OK
22 de junio	7,53	7,7	OK
23 de junio	7,71	7,8	OK
24 de junio	7,1	7,1	OK
25 de junio	7,52	7,33	OK
26 de junio	na	Na	Na
27 de junio	7,49	7,35	OK
28 de junio	7,5	7,6	OK
29 de junio	7,1	7	OK
30 de junio	7,6	7,5	OK

Imagen 41. Parámetro fisicoquímico Ph (junio).

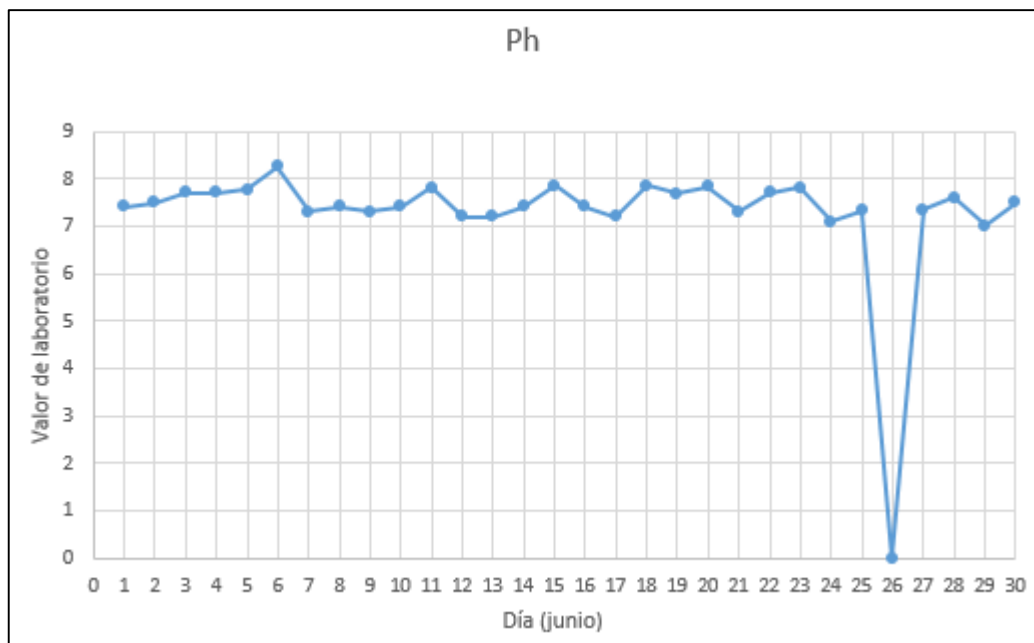


Tabla 32. Medidas de tendencia para valores de Ph suministrados por la PTAP (junio).

Medidas de tendencia	
Media	7,5032
Mediana	7,4
Moda	7,4
Varianza	0,08652576

En los datos de mayo se presenta una inconsistencia debido a que la PTAP ese día no opero y se tiene este dato como cero, exceptuando este dato se evidencia que las muestras de agua se encuentran en el rango recomendado y cumplen con los parámetros exigidos en la potabilización de recurso hídrico.

- MAYO (Anexo 3.)

Tabla 33. Datos de laboratorio para parámetro de Ph tomados por la PTAP (mayo).

may-17	Ph			
	V. Experimental		V. Norma Calidad	Cumple
	Cruda	Tratada		
1 de mayo	7,6	7,8	<2	OK
2 de mayo	7,62	7,54		OK
3 de mayo	7,3	7,4		OK
4 de mayo	na	0		OK
5 de mayo	7,2	7,2		OK
6 de mayo	7,2	7,1		OK
7 de mayo	7,2	7,2		OK
8 de mayo	7,2	7,2		OK
9 de mayo	7,4	7,2		OK
10 de mayo	7,6	7,6		OK
11 de mayo	7,4	7,5		OK
12 de mayo	7,4	7,4		OK
13 de mayo	7,2	7,2		OK
14 de mayo	7,86	7,86		OK
15 de mayo	7,79	7,79		OK
16 de mayo	7,83	7,83		OK
17 de mayo	7,78	7,78		OK
18 de mayo	7,6	7,7		OK
19 de mayo	7,4	7,3		OK
20 de mayo	7,3	7,3		OK
21 de mayo	7,86	8,1		OK
22 de mayo	7,79	8		OK
23 de mayo	7,83	8,8		OK
24 de mayo	7,78	8,1		OK
25 de mayo	7,81	8		OK
26 de mayo	7,7	8,2		OK
27 de mayo	7,8	8		OK
28 de mayo	7,7	7,9		OK
29 de mayo	7,81	8,1		OK

30 de mayo	na	0		Na
31 de mayo	7,85	7,9		OK

Imagen 42. Parámetro fisicoquímico Ph (mayo).

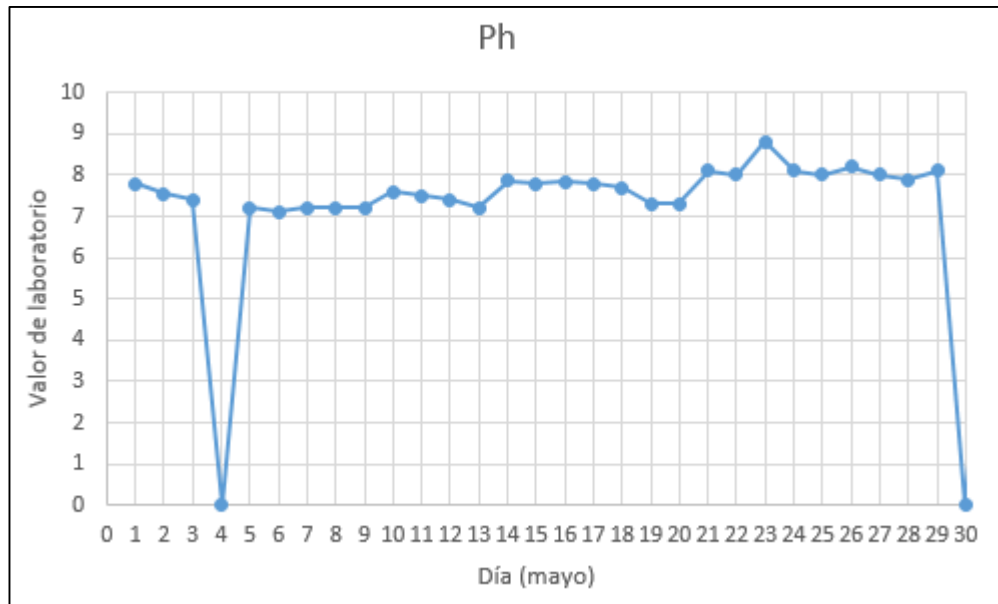


Tabla 34. Medidas de tendencia para valores de Ph suministrados por la PTAP (mayo).

Medidas de tendencia	
Media	7,193548387
Mediana	7,7
Moda	7,2
Varianza	3,715203538

Mayo es un mes donde la PTAP del municipio de La Palma Cundinamarca, presenta dos días sin operación que son los días que presentan un valor cero, además de esto se presentan dos días en los cuales el agua presenta valores por encima de 8,5 valor establecido como el máximo Ph que debe tener el agua tratada.

3.1.4.1 Evaluación

Como análisis general de Ph de cada uno de los meses; se tiene una media de 7,5 y que está dentro del rango ideal para un correcto proceso de potabilización, cabe resaltar también que se presentan 4 excepciones de acuerdo a su rango de calidad

exigido por la resolución 2115 de 2007, que no afectan la salud humana, pero si el proceso de coagulación.

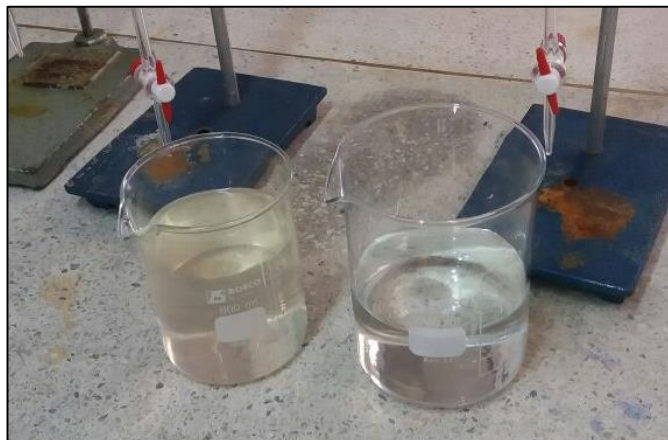
3.2 TEST DE JARRAS

La coagulación química y la dosificación apropiada de reactivos deben ser seleccionadas por la simulación del paso de clarificación en un laboratorio a escala. La Prueba de Jarras es la que mejor simula la química de la clarificación y la operación llevada a cabo. Un arreglo simple de vasos de precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas similares. Esta prueba se realiza con el fin de determinar la concentración óptima de coagulante necesaria para obtener un floc de las mejores características. (Hernan Restrepo, 2009)

La PTAP del municipio de La Palma Cundinamarca, realizan las pruebas de test de jarras, pero no le llevan un control o registro a los resultados que se obtienen de este. Por tal motivo, no fue posible recopilar los datos.

3.3 PRUEBAS DE LABORATORIO EN UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

Imagen 43. Muestras agua tratada y cruda.



Fotografía de Brandon García- Universidad Católica de Colombia 2018

3.3.1 Agua cruda

Teniendo en cuenta las condiciones en el transporte del recurso hídrico, para que este conserve al máximo sus propiedades y características reales en sitio como lo son; transportar el recurso hídrico en envases oscuros y refrigerados.

Se analizan las muestras de agua, que han sido previamente tomadas de la fuente de abastecimiento de la PTAP de El Matadero, teniendo en cuenta las condiciones en el transporte del recurso hídrico, para que este conserve al máximo sus propiedades y características reales en sitio como lo son; transportar el recurso hídrico en envases oscuros y refrigerados.

Imagen 44. Equipo para determinar parámetros físicos químicos del agua.



Fotografía de Brandon García- Universidad Católica de Colombia 2018

Los parámetros físicos analizados y con sus respectivos resultados fueron los siguientes para el agua cruda fueron los siguientes:

Tabla 35. Valores obtenidos en laboratorio Universidad Católica de Colombia para agua cruda.

Agua cruda		
Conductividad	300	microsiemens/cm
Resistividad	2,63	K Ω /cm
Sol. Suspendidos	203	mg/L

Salinidad	0,2	
PH	7,87	Ph
Turbidez	15	NTU
Color	126	UPC
Temperatura	21,2	C°

3.3.2 Agua tratada

A la muestra que se ha tomado a la salida de la PTAP de La Palma Cundinamarca, cuando ya se ha terminado el proceso de potabilización, se le realizaron los siguientes estudios de laboratorio y estos fueron los resultados obtenidos:

3.3.2.1 Parámetros fisicoquímicos

Tabla 36. Valores obtenidos en laboratorio Universidad Católica de Colombia para agua tratada.

Agua tratada		
Conductividad	387	microsiemens/cm
Resistividad	2,58	KΩ/cm
Sol. Suspendidos	206	mg/L
Salinidad	0,2	
PH	7,21	Ph
Turbidez	3	NTU
Color	10	UPC
Temperatura	21,2	C°
Aluminio	0,064	mg/L

De aquí se puede analizar que la muestra de agua analizada no cumple con los parámetros exigidos para el parámetro de la turbidez, ya que se encuentra por encima de 2

•Aluminio

Para determinar el parámetro químico del agua de cantidad de aluminio existente en la muestra de agua tratada, el método usado fue aluminon para cantidades entre (0,008 y 0,800 mg/L)

Imagen 45. Dosificación sobre de



Fuente propia. Universidad Católica de Colombia 2018

La muestra de agua se le agrega el ácido ascórbico en polvo.

Imagen 46. Muestra de agua tratada.



Fuente propia. Universidad Católica de Colombia 2018

Se añade el contenido del sobre de aluminio AluVer 3 en polvo. Se agita para disolver los reactivos y se deja el tiempo requerido en el equipo. El valor obtenido al finalizar el laboratorio fue de 0,064 mg/L, cumpliendo con el valor mínimo establecido en la resolución 2115 de 2007.

Tabla 37. Rango de calidad mínimo para consumo humano de aluminio. (Ministro de la protección social & ministro de ambiente, vivienda y desarrollo, 2017)

Elemento Químico	Al ³⁺ (mg/L)	0,2
------------------	-------------------------	-----

• Test de jarras

La prueba de jarras es la técnica más extensamente usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros para la potabilización del agua. En ella se tratan de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio.

Radica en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo cada una con una dosis de coagulante diferente y la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (rpm). La temperatura del agua también influye grandemente en la efectividad de la coagulación y en la velocidad de formación del floculo. Según disminuye la temperatura del agua debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular, con el objetivo de lograr o asegurar la formación de flóculos adecuados (DANIELA CASTRILLÓN & MARIA DE LOS ÁNGELES, 2012).

- **Alcalinidad**

La PTAP de La Palma Cundinamarca utiliza como coagulante el sulfato de aluminio tipo B. Una de las técnicas usadas para hallar la dosis correcta de coagulante a aplicar al agua que se va a tratar es la alcalinidad.

Imagen 47. Muestra de agua tratada para alcalinidad.



Fuente propia. Universidad Católica de Colombia 2018

En el laboratorio destinado para aguas de la Universidad Católica de Colombia, se utilizaron dos sustancias para detectar la dosis de coagulante por medio de coagulante:

Imagen 48. Adición de naranja de metilo.



Fuente propia. Universidad Católica de Colombia 2018

Al tener las respectivas cantidades de sustancias a utilizar ahora hacer reaccionar de la siguiente manera:

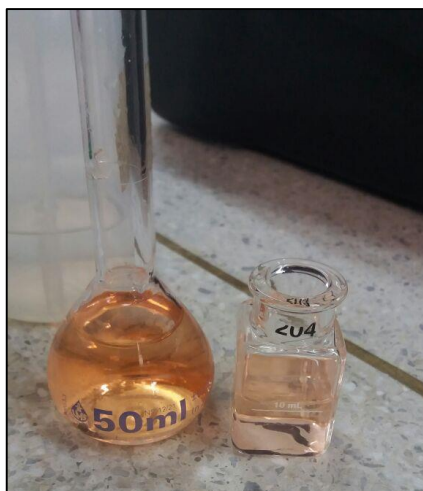
Fenolftaleína + Hidróxido de sodio = 0,8 ml

Naranja de metileno+ Ácido sulfúrico = 10,5 ml

$10,5 \text{ ml} + 0,8 \text{ ml} = 11,3 \text{ ml}$

$11,3 \text{ ml} \times 10 = 113 \text{ ml}$ de coagulante sulfato de aluminio tipo B.

Imagen 49. Muestra naranja de metilo y fenolftaleína.



Fuente propia. Universidad Católica de Colombia 2018

• **Prueba de Jarras**

Se inició realizando un ajuste a la cantidad de coagulante ideal hallada por medio de la alcalinidad, que era inicialmente para una muestra 1000 ml y se halló para una muestra de 800 ml, como se muestra a continuación:

$$113 \text{ -----} > 1000 \text{ ml}$$

$$X \text{ -----} > 800 \text{ ml}$$

$$X = 90,4 \text{ ml}$$

Luego de esto se continuó con el proceso indicado para realizar el test de jarras adicionándole 1,6 gr de bentonita con el objetivo de acelerar la formación del floc en las muestras estudiadas, con un número de 6 muestras cada una se le agrego una cantidad de 800 ml de agua cruda, a cada una se le agrego una dosis de coagulante de sulfato de aluminio tipo B como se evidencia en la Tabla 38, y se mezcló a 100 (rpm) durante un minuto y luego a 20 (rpm) durante 30 minutos para así a cada una de las muestras volver a analizar sus propiedades fisicoquímicas y determinar cuál es la dosis más adecuada según el PH. Los datos obtenidos se muestran a continuación;

Tabla 38. Resultados obtenidos en laboratorio de Universidad Católica de Colombia para cada una de las muestras en test de jarras.

N° de muestra	Unidades	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante	MI	60	70	80	90,4	100	130
Turbidez	UNT	6	7	6	7	5	8
Conductividad	µsiemens/cm	377	371	356	351	350	339
Resistividad	Ωomnio/cm	2,69	2,75	2,8	2,85	2,86	2,94
Solidos suspendidos	mg/L	198	194	190	187	186	181
Salinidad		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Temperatura	C°	18,2	18,3	18,2	18,2	18,2	18,2
Ph	Unidades de Ph	8,05	7,97	7,95	7,87	7,85	7,81

En la anterior tabla se puede evidenciar que la menor turbidez, se ha presentado con la dosis de coagulante de 100 ml de sulfato de aluminio tipo B, lo que quiere decir que estas muestras o en general el recurso hídrico captado en esos momentos

la óptima dosis de coagulante será la de 100 ml cada 800 ml de agua (Rodier J, 1989)

3.3.3 Evaluación

Imagen 50. Turbidez de test de jarras

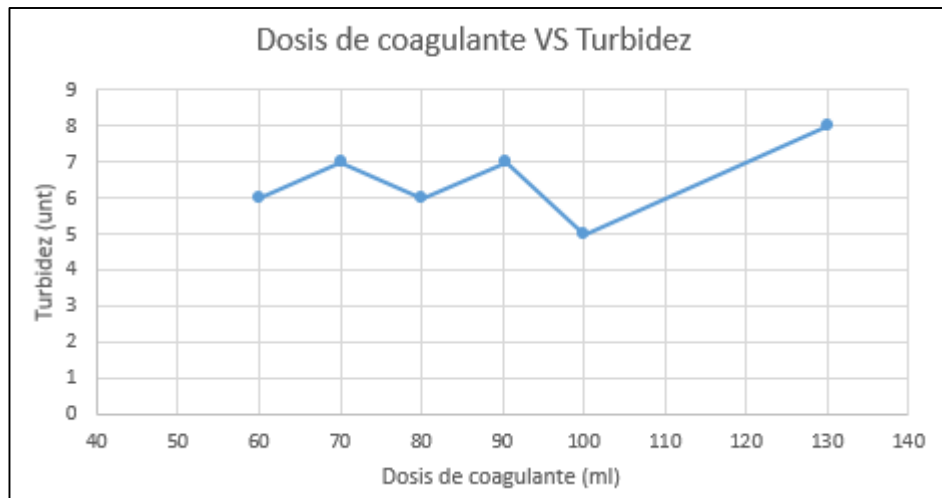


Tabla 39. Medidas de tendencia para valores de turbidez en test de jarras.

Medidas de tendencia	
Media	6,5
Mediana	6,5
Moda	6
Varianza	0,916666667

En la gráfica anterior se puede evidenciar que cada una de las muestras de agua tiene un comportamiento independiente, esto quiere decir que no se tiene un tratamiento lineal, exponencial o constante a diferentes dosis de coagulantes. Teniendo como mejor resultado de turbidez en la simulación en el test de jarras un valor de 5 UNT.

Imagen 51. Ph de test de jarras

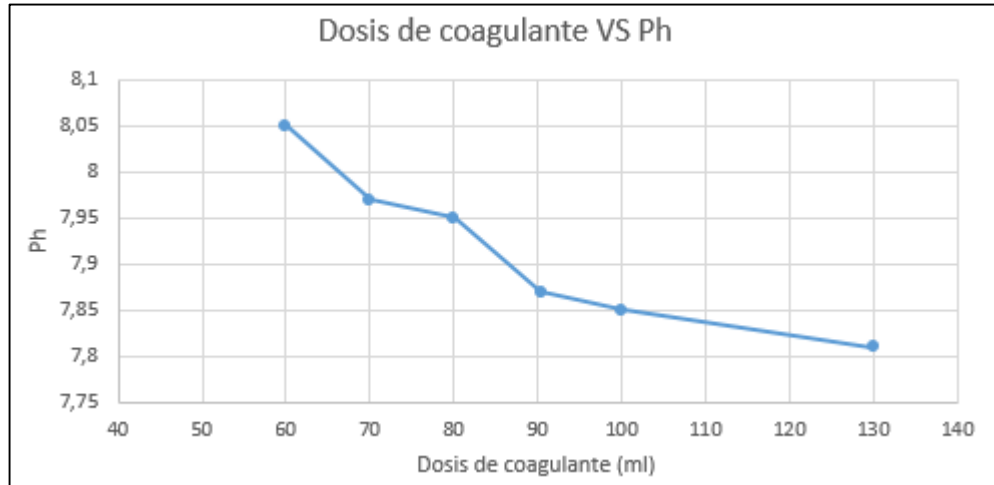


Tabla 40. Medidas de tendencia para valores de Ph en test de jarras.

Medidas de tendencia	
Media	7,916666667
Mediana	7,91
Moda	no aplica
Varianza	0,006622222

En la anterior grafica se puede evidenciar tanto, que el agua está entre el rango recomendado de (6,5 – 8,5) y también que se tiene o comportamiento de disminución de Ph a medida que la dosis de coagulante es mayor.

4. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

4.1 CANALETA PARSHALL

Propuesta de mejora de la canaleta Parshall, con un caudal de entrada de 45L/s el cual fue calculado para 25 años, con una profundidad de 0,50m y una garganta de 0,76m. La sumergencia máxima Hb/Ha será 0,60 para que no ocurra flujo sumergido o ahogado.

Tabla 41. Parámetros iniciales en canaleta Parshall.

Exponente: n	1.547		
Coefficiente: k	0.176		
Longitud paredes sección convergente	A	0,466	m
Longitud sección convergente	B	0,457	m
Ancho de la salida	C	0,178	m
Ancho entrada sección convergente	D	0,259	m
Profundidad total	E	0,381	m
Longitud de la garganta	F	0,152	m
Longitud de la sección divergente	G	0,305	m
Longitud de las paredes sección divergente	K	0,025	m
Diferencia de elevación entre salida y cresta	N	0,057	m

Según el caudal inicial que está en el rango 0.8 a 55 L/s, se toma un ancho de garganta de 7,6 cm (3")

Se calcula la profundidad de agua H_a por la ecuación correspondiente

$$Q = 0,176 H_a^{1,547}$$

$$H_a = \left(\frac{0,045}{0,176} \right)^{\frac{1}{1,547}}$$

$$H_a = 0,41 \text{ m} = 41 \text{ cm}$$

Cálculo de la canaleta en la sección de medida

$$W' = \frac{2}{3}(D - W) + W$$

$$W' = \frac{2}{3}(0,259 - 0,076) + 0,076$$

$$W' = 0,2 \text{ m}$$

Cálculo de la velocidad en la sección de medida

$$V_a = \frac{Q}{w' * h_a}$$

$$V_a = \frac{0,045}{0,2 * 0,41} = 0,55 \text{ m/s}$$

Cálculo de la energía total disponible

Energía específica (E1)

$N = 5,7 \text{ cm}$

$$E1 = \frac{V1^2}{2g} + H_a + N$$

$$E1 = \frac{0,55^2}{2 * 9,81} + 0,41 + 0,057 = 0,49 \text{ m}$$

Cálculo de la velocidad antes del resalto
Energía específica (E2)

$$E2 = \frac{V2^2}{2g} + H2$$

$$V2 = \frac{Q}{W * H2}$$

$$V2 = \frac{0,045}{0,076 * H2}$$

Iguamos las energías específicas (E1 = E2)

$$0,49 = \left(\frac{0,045}{0,076 * H2}\right)^2 * \frac{1}{2 * 9,8} + H2$$

$$H2^3 - 0,49H2^2 + 0,016$$

$$H2 = 0,29m$$

$$V2 = \frac{0,045}{0,076 * 0,29} = 2,04 \text{ m/s}$$

$v > 2\text{m/s}$, **no cumple** (RAS-TITULOC, 2013)

Determinación de la lámina de agua en el resalto

$$Hb = H2 - N$$

$$Hb = 0,29 - 0,057$$

$$Hb = 0,23m$$

Chequeo grado de sumergencia S

$$S = \frac{Hb}{Ha} = \frac{0,23}{0,41} = 0,56$$

$$S = 0,56$$

La sumergencia $< 0,60$, si cumple (RAS-TITULOC, 2013)

Cálculo número de Froude

Aplicando la ecuación del resalto hidráulico

$$\frac{H3}{H2} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 * Nf^2} - 1)$$

$$Nf^2 = \frac{V2^2}{g * H2}$$

$$Nf = \sqrt{\frac{V2^2}{g * H2}}$$

$$Nf = \sqrt{\frac{2,04 \text{ m/s}^2}{9,8 * 0,29}} = 1,21 \text{ (No cumple segun RAS)}$$

El resalto es estable ya que el Froude oscila entre 1,7 – 2.5 o 4.5 – 9.0. En caso de que no se encuentre en este intervalo, se recomienda se puede colocar abajo una persiana que manualmente se pueda graduar por un operario, hasta lograr la estabilidad requerida, aunque esta práctica no se recomienda porque se puede presentar rompimiento del microflóculo formado previamente en el resalto de la canaleta.

Cálculo de la lámina de agua al final del trecho divergente

$$H3 = \frac{H2}{2} (\sqrt{1 + 8 * Nf^2} - 1)$$

$$H3 = \frac{0,29}{2} (\sqrt{1 + 8 * 1,21^2} - 1)$$

$$H3 = 0,37m$$

Cálculo de la lámina de agua al final de la canaleta

N = 5,7cm

K = 2,5 cm

$$H4 = H3 - (N - K)$$

$$H4 = 0,37 - (0,057 - 0,025)$$

$$H4 = 0,34m$$

Cálculo del tiempo medio de mezcla

G = 30,5 cm

$$td = \frac{G'}{Vm}$$

Cálculo de la velocidad media

$$Vm = \frac{V3 + V4}{2}$$

$$V3 = \frac{Q}{W * H3} = \frac{0,045}{0,076 * 0,37}$$

$$V3 = 1,59 \text{ m/s}$$

$$V4 = \frac{Q}{C * H4} = \frac{0,045}{0,178 * 0,34}$$

$$V4 = 0,75 \text{ m/s}$$

$$Vm = \frac{V3 + V4}{2} = \frac{1,59 + 0,75}{2} = 1,17 \text{ m/s}$$

$$td = \frac{G'}{Vm} = \frac{0,305}{1,17}$$

$$td = 0,26s$$

td < 1 s, cumple (Resolucion 0330, 2017)

Cálculo del gradiente de velocidad, G

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \Delta h}{\mu t d}}$$

Cálculo de la pérdida de carga Δh

$$E1 = E4 + \Delta h$$

$$\frac{V1^2}{2g} + Ha + N = \frac{V4^2}{2g} + H4 + (N - K) + \Delta h$$

$$\Delta h = \frac{V1^2}{2g} + Ha + N - \frac{V4^2}{2g} - H4 - (N - K)$$

$$\Delta h = \frac{0,55^2}{2 * 9,8} + 0,41 + 0,057 - \frac{0,75^2}{2 * 9,8} - 0,34 - (0,057 - 0,025)$$

$$\Delta h = 0,09$$

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \Delta h}{\mu t d}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9797 * 0,09}{0,00112 * 0,26}} = 1709,42 \text{ s}^{-1}$$

Según la recomendación del rango de gradientes de la resolución 03330 del 2017, debe estar en el intervalo: $1000 \leq G \leq 2000 \text{ s}^{-1}$, por lo tanto, $G = 1709,42 \text{ s}^{-1}$ cumple. (Resolucion 0330, 2017)

4.2 FLOCULADOR

El nuevo floculador hidráulico de flujo horizontal a diseñar tiene un caudal de 45 L/s, suponemos una velocidad de 0,2m/s

$$v = 0,2 \text{ m/s}$$

Tiempo de mezcla = 25 minutos

La distancia total recorrida por el agua debe ser:

$$L = v * t$$

$$L = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 25 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 300 \text{ m}$$

El volumen de agua a mezclar en cada periodo de 20 minutos es:

$$Q = \frac{V}{\theta}$$

$$V = Q * \theta = 0,045 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 25 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$V = 67,5 \text{ m}^3$$

El área transversal requerida de un canal entre pantallas es:

$$Q = a * v$$

$$a = \frac{Q}{v} = \frac{0,045 \text{ m}^3/\text{s}}{0,2 \text{ m/s}}$$

$$a = 0,23 \text{ m}^2$$

La distancia entre pantallas de 0,35m, la profundidad del agua sería:

$$d = \frac{0,23 \text{ m}^2}{0,35 \text{ m}} = 0,64 \text{ m}$$

Como $d < 0,9 \text{ m}$, se adopta una separación entre pantallas de 0,23m con la cual:

$$d = \frac{0,23 \text{ m}^2}{0,23 \text{ m}} = 1 \text{ m}$$

Con un borde libre de 0,30m, la profundidad total del tanque sería:

$$H = 1 + 0,30 = 1,30 \text{ m}$$

El espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque será:

$$1,5 * 0,35 \text{ m} = 0,53 \text{ m}$$

Para un ancho útil de la cámara de floculación de 5m, la longitud efectiva de cada canal será:

$$l = 5 \text{ m} - 0,53 \text{ m} = 4,48 \text{ m}$$

Por lo tanto, el número requerido de canales será:

$$N = \frac{300 \text{ m}}{4,48 \text{ m}} = 67 \text{ Canales}$$

Con un espesor de pantallas de 4cm. La longitud total interior de la cámara de floculación será:

$$L = 67 * 0,23 + 66 * 0,03 = 17 \text{ m}$$

La pérdida por fricción en el tanque, según la fórmula de Manning, será:

$$n \text{ para concreto} = 0,013$$

$$R = \frac{1 \text{ m} * 0,35 \text{ m}}{0,35 \text{ m} + 2 * 1 \text{ m}} = 0,1 \text{ m}$$

$$hf = \frac{(nv)^2 L}{R^{\frac{4}{3}}} = \frac{\left(0,013 * \frac{0,2 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2 * 67 * 4,48 \text{ m}}{0,1^{\frac{4}{3}}} = 0,03 \text{ m}$$

La pérdida adicional será, según la ecuación:

$$h = \frac{3(N-1)v^2}{2g} = \frac{3(66) * 0,2^2}{2 * 9,8}$$

$$h = 0,4 \text{ m}$$

La pérdida total será, según la ecuación

$$H = H_f + h = 0,04 + 0,4 = 0,44m$$

El gradiente de velocidad para una temperatura de 21° C será, según la ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{gH}{\nu t}} = \sqrt{\frac{9,8 * 0,44}{0,979 \times 10^{-6} * 25 \text{min} * \frac{60s}{1 \text{min}}}}$$

$$G = 54s^{-1}$$

Gradiente de velocidad $10s^{-1} - 70s^{-1}$, cumple (Resolucion 0330, 2017)

El numero adimensional de Camp:

$$Gt = 54 * 25 * 60 = 81959$$

4.3 SEDIMENTADOR TASA ALTA

En la propuesta de mejoramiento se propondrán dos sedimentadores tasa alta iguales, se calcula un sedimentador tasa alta con el caudal proyectado a los 25 años que es 45 L/s y no con el caudal de cada sedimentador alta tasa que sería 22,5L/s, esto se hace por el sistema de lavado, cuando se realiza el proceso de lavado se deja funcionando solamente un sedimentador alta tasa y este debe cumplir todos los parámetros.

Para calcular los parámetros básicos de diseño de un sedimentador de tasa alta, con un caudal de 45 L/s, temperatura de 21°C, viscosidad cinemática igual a $0,960 \times 10^{-6} m^2/s$.

Utilizando placas planas de 2,40 m x 1,20m x 0,01m y un área útil de sedimentación de tasa de 6m x 2,35m se tiene:

Carga superficial

$$C_s = \frac{Q}{A} = \frac{0,045 * 86400}{6 * 2,35} = 276 m/d$$

Carga superficial 200 a 300 m/d, **cumple** (Resolucion 0330, 2017)

Velocidad promedio de flujo

$$V_o = \frac{Q}{A * \text{sen } \theta} = \frac{0,045 * 86400}{6 * 2,35 * \text{sen}(60)} = 318,4 m/d = 0,22m/min$$

Utilizando una separación entre placas de 6cm, la longitud relativa de sedimentación es:

Longitud relativa del sedimentador en flujo laminar:

$$L = \frac{l}{d} = \frac{120}{6} = 20$$

Longitud de transición

$$L' = \frac{0,013Vod}{v} = \frac{0,013 * 0,22 * 0,06}{60 * 0,96x10^{-6}} = 3$$

Longitud relativa corregida

$$L' < L \Rightarrow Lc = L - L' = 20 - 3 = 17$$

La velocidad crítica de asentamiento o carga superficial de sedimentación de alta tasa será:

$$V_{sc} = \frac{Sc Vo}{\text{Sen } \theta + Lc \text{ Cos } \theta} = \frac{1 * 318,4}{\text{sen}(60) + 17 \text{ Cos}(60)} = 34 \text{ m/d}$$

El número de Reynolds será:

$$NRE = \frac{Vo d}{v} = \frac{318,4 * 0,06}{86400 * 0,96x10^{-6}} = 230$$

El tiempo de retención en las celdas será:

$$t = \frac{l}{vo} = \frac{1,2}{0,22} = 5,4 \text{ min}$$

El tiempo de retención en el tanque de sedimentación es:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{6 * 2,35 * 3,30}{0,045 * 60} = 17 \text{ min}$$

Tiempo de retención 10 a 20 minutos, **cumple** (Resolucion 0330, 2017)

El número de placas planas será:

$$N = \frac{Ls \text{ Sen } \theta + d}{d + e} = \frac{5 * \text{sen}(60) + 0,06}{0,06 + 0,01} = 63$$

4.3.1 Manejo de lodos

Después de realizar los procesos unitarios en los análisis y ensayos del estudio de tratabilidad del agua cruda, durante la operación del sistema, se determina la disposición final y aprovechamiento de los lodos. Para esto se realizan los laboratorios de pH, temperatura, sólidos totales, humedad, entre otros, para medir los residuos de contaminación que entran al sistema de potabilización. Se realiza un análisis multicriterio para la evacuación con el fin de definir su descarga periódica o su descarga continua y la metodología de transporte. Los lodos evacuados deben

ser sometidos a técnicas de homogenización, complementadas con tratamiento de deshidratación, bajo ninguna circunstancia se permite la descarga de lodos sin previo tratamiento.

Se propone realizar una deshidratación por lagunas de secado, es una técnica manual donde se deben de tener mínimo dos lagunas, para que se realicen los procesos de homogeneización, deshidratación y espesamiento. Diseñada por un parámetro de carga de solidos comprendido entre 80 kg/m²/d para regiones secas y 40 kg/m²/d para regiones húmedas, la profundidad deberá estar entre 0,5 a 1,2 metros (Resolucion 0330, 2017).

4.4 FILTRACIÓN

En la propuesta de mejoramiento se propondrán dos filtros de alta tasa iguales, se calcula un filtro alta tasa con el caudal proyectado a los 25 años que es 45 L/s y no con el caudal de cada filtro alta tasa que sería 22,5L/s, esto se hace por el sistema de lavado, cuando se realiza el proceso de lavado se deja funcionando solamente un sedimentador alta tasa y este debe cumplir todos los parámetros.

El sistema de filtración rápida para el agua se hará a una tasa normal de (Cs) 250 m³/m²*d. El lavado ascensional debe hacerse a una tasa de 1.4 cm/s durante 15 minutos después de una carrera de filtración de 30 h. Caudal (Q=3888 m³/dia)

Determinación del número de filtros

$$N = 0,044\sqrt{Q}$$

$$N = 0,044\sqrt{3888 \text{ m}^3/\text{dia}} = 3 \text{ Filtros}$$

Dimensiones de un filtro

$$Qu = \frac{3888}{3} = 1296 \text{ m}^3/\text{dia} = 15L/s$$

Área del filtro

$$A = \frac{Qu}{Cs} = \frac{1296 \text{ m}^3/\text{dia}}{180 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}} = 7,20 \text{ m}^3$$

Dimensiones de los filtros

Asumimos una relación $\frac{L}{B} = 3$

$$B = \sqrt{\frac{A}{3}} = \sqrt{\frac{7,20}{3}} = 1,5m$$

$$L = 3 * B = 3 * 1,5m = 4,5m$$

Dimensiones de los lechos filtrantes Teniendo en cuenta la Tabla 17, determinamos que el medio filtrante estará compuesto por una capa de 0.60 m de antracita, 0.30 m de arena y 0.4 m de grava.

Canaletas de lavado

2 canaletas de lavado $N_c=2$

Distancia entre canaleta centro a centro

$$\frac{L}{N_c} = \frac{4,5}{2} = 2,3m$$

Determinación del caudal del lavado

$$V = 0,014 \text{ m/s}$$

$$Ql = V * A = 0,014 \text{ m/s} * 4,6m * 1,5m = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal de una canaleta

$$Q_c = \frac{Ql}{N_c}$$

$$Q_c = \frac{0,1 \text{ m}^3/\text{s}}{2} = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

El ancho de la canaleta es 0,4 m, la profundidad de la lámina de agua será:

$$H_o = \left(\frac{Q_c}{1.375 * a_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_o = \left(\frac{0,05}{1.375 * 0,4} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_o = 0,20m$$

La altura de la canaleta de 0,40 m

El volumen de agua requerido para lavado será:

$$V = Q * \theta = 0,1 * 15 * 60$$

$$V = 90 \text{ m}^3$$

Volumen de agua filtrada en 30 horas es:

$$V_f = Q_f * T_f = 1296 \text{ m}^3/\text{d} * 30 \text{ h} * (1\text{d}/24\text{h})$$

$$V_f = 1620 \text{ m}^3$$

Porcentaje de agua filtrada requerida para el lavado es:

$$\% = \frac{V}{V_f} = \frac{91}{1620} * 100\%$$

$$\% = 5,60\% \text{ (cumple)}$$

4.5 DESINFECCIÓN

La desinfección que se utiliza en la PTAP es hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) en cual viene en forma granular, tiene la ventaja en su manipulación la cual es muy fácil a comparación con los otros procesos, no es toxico mientras no sea ingerido, posee una alta solubilidad, no requiere de equipos especiales para la dosificación, es de fácil trasporte y sufre pocas alteraciones. (RAS-TITULOC, 2013)

La desinfección es muy importante en el tren de tratamiento de agua potable, se realizan varios procesos de desinfección tales como dióxido de cloro (ClO_2), hipoclorito de sodio (NaClO), hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCI})_2$), la radiación con luz ultravioleta y la ozonización. Se utiliza la desinfección para garantizar el impedimento del crecimiento microbial en la red de distribución o en la conducción.

Cuando se utiliza la desinfección por cloración se emplea en un tanque de contacto, antes del almacenamiento, para tener un tiempo de contacto menor a 20 minutos para garantizar la desinfección del agua. Para determinar la dosis que se debe utilizar, se emplea el valor Ct- concentración aplicada por tiempo de detención igual a K. Como la operación de la PTAP permite el 90% a 95% de la remoción de coliformes dado que la turbiedad del agua está entre 1 y 2 UNT, se determina el valor K en función a la temperatura. (Resolucion 0330, 2017)

Tabla 29. Parámetros de Desinfección por cloración (1-2 UNT) (Resolucion 0330, 2017)

Valores de Ct=K (mg-min/l) para inactivación de Coliformes totales por Cloro libre para log 3																
Dosis de cloro aplicada mg/L	10° C				15° C				20° C				25° C			
	pH				pH				pH				pH			
	6	6,5	7	7,5	6	6,5	7	7,5	6	6,5	7	7,5	6	6,5	7	7,5
<=0,4	37	44	52	63	25	30	35	42	18	22	26	31	12	15	18	21
0,6	38	45	54	64	25	30	36	43	19	23	27	32	13	15	18	22
0,8	39	46	55	66	26	31	37	44	20	23	28	33	13	16	19	22
1	40	47	56	67	27	32	38	45	20	24	28	34	13	16	19	23
1,2	40	48	57	69	27	32	38	46	20	24	29	35	14	16	19	23
1,4	41	59	58	70	28	33	39	47	21	25	29	35	14	17	20	24
1,6	42	50	60	72	28	33	40	48	21	25	30	36	14	17	20	24
1,8	43	51	61	74	29	34	41	49	22	26	31	37	15	17	21	25
2	44	52	62	75	29	35	42	50	22	26	31	38	15	18	21	25
2,2	45	53	64	77	30	35	43	51	22	27	32	39	15	18	21	26
2,4	45	54	65	70	30	36	43	53	23	27	33	39	15	18	22	26

2,6	46	55	66	80	31	37	44	54	23	28	33	40	16	19	22	27
2,8	47	56	67	82	31	37	45	55	24	28	34	41	16	19	23	27
3	48	57	69	83	32	38	46	56	24	29	34	42	16	19	23	28

El agua tratada por la PTAP tiene un Ph de 7,5 aproximadamente, con la temperatura promedio del municipio que es 21 grados centígrados y una dosis de 0.8 mg de dosis aplicada, el valor de K es 33.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de los dos tipos de floculadores diseñados, se encontró que la mejor opción es el floculador hidráulico horizontal. Esto debido a que en la PTAP se cuenta con el espacio requerido y a diferencia del floculador mecánico presenta la ventaja de ser más económico, requiere un mantenimiento mínimo y además cumple perfectamente con las especificaciones requeridas según la resolución 0330 de 2017.

Con el diseño del sedimentador propuesto, se evidencia la necesidad de un manejo sustentable del material sedimentado por la estructura, con el fin de generar un menor impacto ambiental. Para esto se requiere la construcción de una piscina de lodos, que genera un mejor uso del material sedimentado y se pueda aprovechar con diferentes fines.

Con base en los valores de los parámetros fisicoquímicos que se presentan a diario, se evidencia una alta variabilidad día a día, lo que muestra que la fuente de abastecimiento del recurso hídrico del municipio posee problemas de contaminación y peligro para el consumo humano por lo tanto, se requieren las técnicas, equipos adecuados y sofisticados para realizar el tratamiento de potabilización y cumplir con los parámetros exigidos en la resolución 2115 de 2007.

Se evidencia que la gestión y el compromiso del ente administrativo con la PTAP es débil. Por lo tanto, se requiere de la inversión ya sea; pública, privada o mixta. Con el fin de mejorar las condiciones administrativas y operativas de la PTAP y finalmente con esto obtener un mejor recurso hídrico final, en donde la beneficiada sea la población consumidora.

En laboratorio de la universidad Católica de Colombia se analizó el agua tratada en la PTAP y que fue transportada cumpliendo con las especificaciones y se obtuvo un valor de turbidez (3), que esta fuera de la norma. Además en el análisis estadístico, que se realizó para los parámetros fisicoquímicos se presentan inconsistencias, que al momento de realizarse el test de jarras se comprueban y se detecta que el agua no cumple con el parámetro de turbidez según la resolución 2115 de 2007.

De acuerdo al análisis de cada una de las estructuras se comprobó, que es necesaria la intervención en cada una de ellas (Canaleta parshall, floculador, sedimentador, estructuras de filtración y clorador), ya que no cumplen los requerimientos hidráulicos. Por lo que se ha realizado el diseño y presentado la mejor opción en términos de hidráulicos y economía.

6. RECOMENDACIONES

Incluir la turbidez entre las determinaciones mínimas o básicas, teniendo una mayor frecuencia para el monitoreo de la calidad del agua potable captadas de fuentes superficiales, aún en el caso de pequeñas y medianas ciudades, dada la rapidez de la obtención del resultado y el bajo costo en su determinación.

Realizar un formato, en donde el personal de la PTAP encargado de realizar las pruebas y laboratorios más específicamente test de jarras, pueda plasmar los resultados y se tenga evidencia de estos mismos, ya sea con el fin de sustentar la eficiencia del proceso u otros.

Construir una piscina de lodos, en donde se deposite todo el material sedimentado y residual del proceso de potabilización, ya sea con fines; de reutilización como material de abono en cultivos o simplemente para no hacer llegar este material nuevamente a las fuentes hídricas.

Hacer uso de los diferentes coagulantes que se encuentran en el mercado, ya que se evidencia que el sulfato tipo B, no va a cumplir los requerimientos exigidos por la resolución 2115 de 2007, en todas las ocasiones y diferentes condiciones que ingresa el recurso hídrico a la PTAP.

Preparar al operario de la PTAP en cuanto a lo que son las nuevas técnicas, suministrar los elementos de nueva y alta tecnología que se presentan en la actualidad, así mismo como los equipos adecuados para realizar los procesos de potabilización.

BIBLIOGRAFÍA

- iStockphoto LP. (2017). <http://www.istockphoto.com/>. Recuperado el 15 de 09 de 2017, de <http://sanitariosperu.blogspot.com.co/>
- Ada Barrenechea Martel. (2004). *ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA* (Vol. 1). Lima. Recuperado el 29 de 04 de 2018, de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- CDC. (22 de 06 de 2015). *CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION*. Obtenido de <https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/public/chlorine-disinfection.html>
- DANIELA CASTRILLÓN, & MARIA DE LOS ÁNGELES. (2012). *DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS ÓPTIMAS DEL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B EN FUNCIÓN DE LA TURBIEDAD Y EL COLOR PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE VILLA SANTANA*. Pereira. Recuperado el 29 de 04 de 2018, de <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/6281622H565.pdf>
- E.S.P., E. P. (2014). *Captación La Salada*. La Palma Cundinamarca: Dirección de aseguramiento de la prestación.
- Echenique, R., Giannuzzi, L., & Ferrari, L. (diciembre de 2006). Drinking water: problems related to water supply in Bahía Blanca, Argentina. *scielo*, 14(2). Recuperado el 21 de 11 de 2017, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432006000200001
- GAMBA, S. M. (2011). Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15022/T41.11%20S55p.pdf?sequence=2>
- Hernan Restrepo. (2009). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE*. Universidad Nacional de Colombia, medellin. Recuperado el 29 de 04 de 2018, de http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf
- IRCA. (24 de 11 de 2014). *Instituto de Vivienda y Reforma Urbana de Bucaramanga*. Recuperado el 29 de 04 de 2018, de

<http://www.invisbu.gov.co/observatorio/eje-transversal/gestion-del-riesgo/agua/item/130-indice-de-riesgo-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano-irca>

Jairo Romero Rojas. (1997). *Acuipurificación* (Vol. 2). Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería. Recuperado el 12 de 04 de 2018

Jairo Romero Rojas. (2000). *Tratamiento de aguas residuales* (Vol. 1). Esc. colombiana ingeniería. Recuperado el 02 de 04 de 2018

Jersyn, B. (22 de 12 de 2013). *Fuentes de Abastecimiento de Agua*. Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <http://sanitariosperu.blogspot.com.co/2013/12/fuentes-de-abastecimiento-de-agua.html>

Jhon Rojas. (10 de 2010). *civilgeeks.com*. Recuperado el 20 de 05 de 2018, de <https://civilgeeks.com/2010/10/08/obras-de-captacion-sistema-de-agua-potable/>

JIMÉNEZ, M. A. (04 de 2017). Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14485/4/PROYECTO%20DE%20GRADO%20PTAP%20FOMEQUE.pdf>

Krupah, M. (1 de 9 de 2016). *Agua Viva*. Obtenido de <http://www.marionkuprat.com/el-ph-del-agua-potable/>

La Palma Cundinamarca. (2014). *Revision de la situacion actual de aspectos tecnicos de la infraestructura existente en agua potable y saneamiento basico del municipio de la palma cundinamarca*. Bogota: Empresas Públicas de Cundinamarca S.A. Recuperado el 03 de 2018, de www.epc.com.co/docs/estudios/LA%20PALMA%20VF.doc

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. (22 de 06 de 2007). *MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL*. Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/Documents/resolucion%202115%20de%202007,MPS-MAVDT.pdf>

Ministro de la proteccion social, & minsitro de ambiente, vivienda y desarrollo. (2017). *Resolucion 2115*. Recuperado el 02 de 05 de 2018, de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf

- Noya Romero, H. C. (2016). Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/2697/1/DIAGNOSTICO%20RAPIDO%20PARA%20EVALUAR%20PLANTAS%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20POTABLE%20CONVENCIONALES.pdf>
- NÚÑEZ, A. C. (24 de 10 de 2016). Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4195/3/Diagnostico%20de%20la%20PTAP%20San%20Antonio-%20Asociacion%20Sucuneta.pdf>
- Organization, E. a. (2015). *SUSTAINABLE SANITATION AND WATER MANAGEMENT*. Recuperado el 21 de 11 de 2017, de <https://www.sswm.info/content/sedimentation>
- Perea-Torres, L. (2014). Influence of the Flow Control (Declining Rate – Constant Rate) on the Filtration Process in Drinking Water Treatment. *redalyc*, 18(2). Recuperado el 21 de 11 de 2017, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47732595001>
- PEREZ, C. (10 de 2016). Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13991/4/DIAGN%20STICO%20Y%20EVALUACI%20N%20PTAP%20GUATEQUE%20ZAI%20CAMILA%20PEREZ%20CUADROS%20503120.pdf>
- RAS - Ministerio de Vivienda, C. y. (18 de 06 de 2014). Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>
- RAS-TITULO A. (1 de 11 de 2000). *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia*. Recuperado el 14 de 09 de 2017, de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf
- RAS-TITULO B. (14 de 07 de 2003). *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia*. Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO B%20030714.pdf>
- RAS-TITULO C. (4 de 12 de 2013). *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia*. Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/Titulo%20C%20-%20Dic%204%202013.pdf>

- Reglamentación Técnico Sanitaria . (s.f.). *Análisis de agua*. Recuperado el 29 de 04 de 2018, de http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf
- Resolución 0330. (08 de 07 de 2017). *Ministro de vivienda, ciudad y territorio*. Recuperado el 08 de 04 de 2018, de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>
- Ricardo Lopez Cualla. (2003). *Elemento de diseño para acueducto y alcantarillados* (Vol. 2). Colombia: Escuela colombiana de ingeniería. Recuperado el 03 de 04 de 2018
- Rodier J. (1989). *Análisis de las aguas*. Recuperado el 29 de 04 de 2018, de https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf
- Rodriguez, O. O. (2016). Life cycle assessment of four potable water treatment plants in northeastern Colombia. *scielo*, 11(2). Recuperado el 21 de 11 de 2017, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2016000200268
- romero, j. (2009). *Calidad del agua*. E. Colombiana de Ingeniería.
- Sánchez-Martín, J. (9 de 2012). Improvement of the flocculation process in water treatment by using moringa oleifera seeds extract. *Scielo*, 29(3). Recuperado el 21 de 11 de 2017, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322012000300006
- SCSS. (10 de 2010). Recuperado el 15 de 09 de 2017, de [civilgeeks.com: https://civilgeeks.com/2010/10/08/obras-de-captacion-sistema-de-agua-potable/](https://civilgeeks.com/2010/10/08/obras-de-captacion-sistema-de-agua-potable/)
- Sena, Universidad del tolima, & Corpoica. (s.f.). *plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río totare*. Recuperado el 29 de 04 de 2018, de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_totare/diagnostico/l_211calidad_de_aguas.pdf
- Sorlini S1, & Collivignarelli MC. (2015). *Publmed.gov*. Recuperado el 21 de 11 de 2017, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25746653>

- Subdirección de salud ambiental. (2014). *Informe nacional de calidad del agua, IRCA*. Recuperado el 02 de 05 de 2018, de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/informe-nacional-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano-ano-2013-con-base-en-el-irca.pdf>
- SUSAN IRWIN. (21 de 08 de 2002). Recuperado el 15 de 09 de 2017, de http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/laderas_andinas/paginas/OBRAS%20DE%20TOMA.htm
- Tovar, C. T. (2013). Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <http://revistas.usc.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/267#.WbrGR8jyiM8>
- trickscollections. (2017). Recuperado el 15 de 09 de 2017, de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-lateral.html>
- V.Saritha, & N. Srinivas. (2015). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. 7. Recuperado el 21 de 11 de 2017, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-014-0262-y>
- Wagner, G., & phineiro, R. (2001). *Upgrading Water Treatment Plants*. TJ international Ltd, Padstow, Cornwall.
- Water, H. (2011). *hunter water corporation*. Recuperado el 23 de 11 de 2017
- WHO. (2011). *WHO*. Recuperado el 23 de 11 de 2017, de water sanitation health: http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/fs2_13.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados por la PTAP (septiembre).

N.º	PUNTO DE MUESTREO	1. PARÁMETROS QUÍMICOS												2. POTENCIAL DE HIERRO (D.L.P.H)										3. APLICACIÓN RESULTADO APLICADO PARA LA POTABILIZACIÓN			
		1.1. CANTIDAD DE SUSTANCIAS QUÍMICAS						1.2. TURBIDIDAD ANIONES Y MINERALES						1.3. COLOR APARENTE (SAZ PLANTA, HIERRO, CROMO)		1.4. pH		1.5. POTENCIAL DE HIERRO EN LA HORTICULTURA		UNIDADES	RESULTADO	UNIDADES	RESULTADO				
		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES	RESULTADO								
		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES	RESULTADO										
		TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN			TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN				
1	CRAS#6-29	0	0	0	0	19	1,63	82,47	0	124	11	98,71	0	A	A	A	7,8	7,91	CRAS#6-29	1,2	0						
2	planta	0	0	0	0	22	1,8	92,79	0	260	18	96,98	0	A	A	A	7,8	8,3	planta	1,1	0						
3	planta	0	0	0	0	15,4	1,48	90,39	0	387	12	96,90	0	A	A	A	7,63	7,71	planta	1,2	0						
4	MARIAROBAYO	0	0	0	0	6,61	0,84	95,980	0	279	8,8	98,81	0	A	A	A	7,7	7,79	MARIAROBAYO	1,5	0						
5	planta	0	0	0	0	4,84	0,6	91,38	0	280	6,1	98,73	0	A	A	A	7,62	7,83	planta	1,52	0						
6	planta	0	0	0	0	6,3	0,9	96,96	0	310	9	98,24	0	A	A	A	8,16	8,19	planta	1,18	0						
7	CRAS#6-29	0	0	0	0	12,6	1,68	96,38	0	168	12	98,65	0	A	A	A	7,24	7,91	CRAS#6-29	1,33	0						
8	MARIAROBAYO	0	0	0	0	10,1	1,71	92,67	0	244	14	94,26	0	A	A	A	7,4	7,4	MARIAROBAYO	1	0						
9	MARIAROBAYO	0	0	0	0	13	0,9	92,98	0	274	11,9	99,69	0	A	A	A	7,24	7,91	MARIAROBAYO	1,1	0						
10	planta	0	0	0	0	11	0,7	93,64	0	324	0,8	99,99	0	A	A	A	7,4	7,4	planta	0,75	0						
11	planta	0	0	0	0	10	0,9	93,00	0	274	7	93,88	0	A	A	A	7,69	7,81	planta	1,4	0						
12	CRAS#6-29	0	0	0	0	8,8	0,6	93,88	0	128	0,8	99,37	0	A	A	A	7,48	7,7	CRAS#6-29	1	0						
13	MARIAROBAYO	0	0	0	0	13,4	1,48	98,98	0	215	4	98,24	0	A	A	A	7,4	7,6	MARIAROBAYO	1,3	0						
14	MARIAROBAYO	0	0	0	0	13	1,89	96,77	0	231	5	99,01	0	A	A	A	7,9	7,85	MARIAROBAYO	0,99	0						
15	planta	0	0	0	0	29,8	1,2	94,20	0	488	1	96,98	0	A	A	A	7,7	7,8	planta	1,8	0						
16	planta	0	0	0	0	28	1,8	93,57	0	612	4	99,22	0	A	A	A	7,9	8	planta	1,8	0						
17	CRAS#6-29	0	0	0	0	35	1,73	95,08	0	448	8	98,68	0	A	A	A	7,9	7,86	CRAS#6-29	1,52	0						
18	MARIAROBAYO	0	0	0	0	8,62	0,79	95,15	0	400	6	98,1	0	A	A	A	7,9	7,79	MARIAROBAYO	1,13	0						
19	MARIAROBAYO	0	0	0	0	30,1	1,97	94,78	0	633	5	99,68	0	A	A	A	7,8	7,83	MARIAROBAYO	1,2	0						
20	planta	0	0	0	0	6,79	1,06	94,39	0	126	17	98,11	0	A	A	A	8,17	8,11	planta	1,1	0						
21	planta	0	0	0	0	17,3	1,27	96,93	0	898	8	99,20	0	A	A	A	7,69	7,81	planta	1,4	0						
22	CRAS#6-29	0	0	0	0	33,6	1,32	95,43	0	820	10	98,78	0	A	A	A	7,48	7,7	CRAS#6-29	1,8	0						
23	MARIAROBAYO	0	0	0	0	25,2	1,68	94,25	0	520	18	97,26	0	A	A	A	7,71	7,8	MARIAROBAYO	1,4	0						
24	MARIAROBAYO	0	0	0	0	36,4	1,96	95,69	0	998	12	98,80	0	A	A	A	7,1	7,7	MARIAROBAYO	1,5	0						
25	planta	0	0	0	0	26,7	1,48	95,02	0	526	8	98,48	0	A	A	A	7,52	7,81	planta	1,7	0						

Anexo 2. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados por la PTAP (junio).

N.º	PUNTO DE MUESTREO	1. PARÁMETROS QUÍMICOS												2. POTENCIAL DE HIERRO (D.L.P.H)										3. APLICACIÓN RESULTADO APLICADO PARA LA POTABILIZACIÓN			
		1.1. CANTIDAD DE SUSTANCIAS QUÍMICAS						1.2. TURBIDIDAD ANIONES Y MINERALES						1.3. COLOR APARENTE (SAZ PLANTA, HIERRO, CROMO)		1.4. pH		1.5. POTENCIAL DE HIERRO EN LA HORTICULTURA		UNIDADES	RESULTADO	UNIDADES	RESULTADO				
		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES	RESULTADO										
		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES		UNIDADES				UNIDADES	RESULTADO								
		TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN	TRAT	UN			TRAT	UN	TRAT	UN				
1	planta	0	0	0	0	19	1,63	82,47	0	124	11	98,71	0	A	A	A	7,72	7,91	planta	0,5	0						
2	planta	0	0	0	0	22	1,8	92,79	0	260	18	96,98	0	A	A	A	7,7	7,9	planta	1,8	0						
3	planta	0	0	0	0	15,4	1,48	90,39	0	387	12	96,90	0	A	A	A	7,59	7,71	planta	1,2	0						
4	MARIAROBAYO	0	0	0	0	6,61	0,84	95,980	0	279	8,8	98,81	0	A	A	A	7,8	7,91	MARIAROBAYO	1,5	0						
5	MARIAROBAYO	0	0	0	0	4,84	0,6	91,38	0	280	6,1	98,73	0	A	A	A	7,4	7,8	MARIAROBAYO	0,75	0						
6	MARIAROBAYO	0	0	0	0	6,3	0,9	96,96	0	310	9	98,24	0	A	A	A	8,16	8,19	MARIAROBAYO	0,9	0						
7	CRAS#6-29	0	0	0	0	12,6	1,68	96,38	0	168	12	98,65	0	A	A	A	7,24	7,91	CRAS#6-29	1,33	0						
8	MARIAROBAYO	0	0	0	0	10,1	1,71	92,67	0	244	14	94,26	0	A	A	A	7,4	7,4	MARIAROBAYO	1	0						
9	MARIAROBAYO	0	0	0	0	13	0,9	92,98	0	274	11,9	99,69	0	A	A	A	7,24	7,91	MARIAROBAYO	1,1	0						
10	planta	0	0	0	0	11	0,7	93,64	0	324	0,8	99,99	0	A	A	A	7,4	7,4	planta	0,75	0						
11	planta	0	0	0	0	10	0,9	93,00	0	274	7	93,88	0	A	A	A	7,69	7,81	planta	1,4	0						
12	CRAS#6-29	0	0	0	0	8,8	0,6	93,88	0	128	0,8	99,37	0	A	A	A	7,48	7,7	CRAS#6-29	1	0						
13	MARIAROBAYO	0	0	0	0	13,4	1,48	98,98	0	215	4	98,24	0	A	A	A	7,4	7,6	MARIAROBAYO	1,3	0						
14	MARIAROBAYO	0	0	0	0	13	1,89	96,77	0	231	5	99,01	0	A	A	A	7,9	7,85	MARIAROBAYO	0,99	0						
15	planta	0	0	0	0	29,8	1,2	94,20	0	488	1	96,98	0	A	A	A	7,7	7,8	planta	1,8	0						
16	planta	0	0	0	0	28	1,8	93,57	0	612	4	99,22	0	A	A	A	7,9	8	planta	1,8	0						
17	CRAS#6-29	0	0	0	0	35	1,73	95,08	0	448	8	98,68	0	A	A	A	7,9	7,86	CRAS#6-29	1,52	0						
18	MARIAROBAYO	0	0	0	0	8,62	0,79	95,15	0	400	6	98,1	0	A	A	A	7,9	7,79	MARIAROBAYO	1,13	0						
19	MARIAROBAYO	0	0	0	0	30,1	1,97	94,78	0	633	5	99,68	0	A	A	A	7,8	7,83	MARIAROBAYO	1,2	0						
20	planta	0	0	0	0	6,79	1,06	94,39	0	126	17	98,11	0	A	A	A	8,17	8,11	planta	1,1	0						
21	planta	0	0	0	0	17,3	1,27	96,93	0	898	8	99,20	0	A	A	A	7,69	7,81	planta	1,4	0						
22	CRAS#6-29	0	0	0	0	33,6	1,32	95,43	0	820	10	98,78	0	A	A	A	7,48	7,7	CRAS#6-29	1,8	0						
23	MARIAROBAYO	0	0	0	0	25,2	1,68	94,25	0	520	18	97,26	0	A	A	A	7,71	7,8	MARIAROBAYO	1,4	0						
24	MARIAROBAYO	0	0	0	0	36,4	1,96	95,69	0	998	12	98,80	0	A	A	A	7,1	7,7	MARIAROBAYO	1,5	0						
25	planta	0	0	0	0	26,7	1,48	95,02	0	526	8	98,48	0	A	A	A	7,52	7,81	planta	1,7	0						

Anexo 3. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados por la PTAP (mayo).

Z O N A	D I S T R I C T O	M U N I C I P A L	C O D I G O	1. IDENTIFICACION Y LOCALIZACION												2. PARAMETROS FISICOQUIMICOS												3. POTENCIAL DE CONTAMINACION												4. CALIDAD RESIDUAL APUDAS PARA LA POTABILIZACION																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
				1.1. IDENTIFICACION DEL MUNICIPIO				1.2. IDENTIFICACION DEL CANTON				1.3. IDENTIFICACION DEL ESTABLECIMIENTO				2.1. TEMPERATURA AMBIENTE Y SUPERFICIE				2.2. COLOR APUDAS				2.3. CLOROS APUDAS				3.1. METODO DE MUESTREO				3.2. METODO DE ANALISIS				4.1. METODO DE MUESTREO				4.2. METODO DE ANALISIS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
				NOMBRE DEL MUNICIPIO				NOMBRE DEL CANTON				NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO				TEMPERATURA AMBIENTE				TEMPERATURA SUPERFICIE				COLOR APUDAS				CLOROS APUDAS				METODO DE MUESTREO				METODO DE ANALISIS				METODO DE MUESTREO				METODO DE ANALISIS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
				INDICACION				INDICACION				INDICACION				INDICACION				INDICACION				INDICACION				INDICACION				INDICACION				INDICACION				INDICACION																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG	DH	DI	DJ	DK	DL	DM	DN	DO	DP	DQ	DR	DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	EE	EF	EG	EH	EI	EJ	EK	EL	EM	EN	EO	EP	EQ	ER	ES	ET	EU	EV	EW	EX	EY	EZ	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG	FH	FI	FJ	FK	FL	FM	FN	FO	FP	FQ	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY	FZ	GA	GB	GC	GD	GE	GF	GG	GH	GI	GJ	GK	GL	GM	GN	GO	GP	GQ	GR	GS	GT	GU	GV	GW	GX	GY	GZ	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG	HH	HI	HJ	HK	HL	HM	HN	HO	HP	HQ	HR	HS	HT	HU	HV	HW	HX	HY	HZ	IA	IB	IC	ID	IE	IF	IG	IH	II	IJ	IK	IL	IM	IN	IO	IP	IQ	IR	IS	IT	IU	IV	IW	IX	IY	IZ	JA	JB	JC	JD	JE	JF	JG	JH	JI	IJ	JK	KL	LM	LN	LO	LP	LQ	LR	LS	LT	LU	LV	LW	LX	LY	LZ	MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG	MH	MI	MJ	MK	ML	MM	MN	MO	MP	MQ	MR	MS	MT	MU	MV	MW	MX	MY	MZ	NA	NB	NC	ND	NE	NF	NG	NH	NI	NJ	NK	NL	NM	NN	NO	NP	NQ	NR	NS	NT	NU	NV	NW	NX	NY	NZ	OA	OB	OC	OD	OE	OF	OG	OH	OI	OJ	OK	OL	OM	ON	OO	OP	OQ	OR	OS	OT	OU	OV	OW	OX	OY	OZ	PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG	PH	PI	PJ	PK	PL	PM	PN	PO	PP	PQ	PR	PS	PT	PU	PV	PW	PX	PY	PZ	QA	QB	QC	QD	QE	QF	QG	QH	QI	QJ	QK	QL	QM	QN	QO	QP	QQ	QR	QS	QT	QU	QV	QW	QX	QY	QZ	RA	RB	RC	RD	RE	RF	RG	RH	RI	RJ	RK	RL	RM	RN	RO	RP	RQ	RR	RS	RT	RU	RV	RW	RX	RY	RZ	SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG	SH	SI	SJ	SK	SL	SM	SN	SO	SP	SQ	SR	SS	ST	SU	SV	SW	SX	SY	SZ	TA	TB	TC	TD	TE	TF	TF	TH	TI	TJ	TK	TL	TM	TN	TO	TP	TQ	TR	TS	TT	TU	TV	TW	TX	TY	TZ	UA	UB	UC	UD	UE	UF	UG	UH	UI	UJ	UK	UL	UM	UN	UO	UP	UQ	UR	US	UT	UU	UV	UW	UX	UY	UZ	VA	VB	VC	VD	VE	VF	VG	VH	VI	VJ	VK	VL	VM	VN	VO	VP	VQ	VR	VS	VT	VU	VV	VW	VX	VY	VZ	WA	WB	WC	WD	WE	WF	WG	WH	WI	WJ	WK	WL	WM	WN	WO	WP	WQ	WR	WS	WT	WU	WV	WW	WX	WY	WZ	XA	XB	XC	XD	XE	XF	XF	XH	XI	XJ	XK	XL	XM	XN	XO	XP	XQ	XR	XS	XT	XU	XV	XW	XX	XY	XZ	YA	YB	YC	YD	YE	YF	YG	YH	YI	YJ	YK	YL	YM	YN	YO	YP	YQ	YR	YS	YT	YU	YV	YW	YX	YY	YZ	ZA	ZB	ZC	ZD	ZE	ZF	ZG	ZH	ZI	ZJ	ZK	ZL	ZM	ZN	ZO	ZP	ZQ	ZR	ZS	ZT	ZU	ZV	ZW	ZX	ZY	ZZ

Anexo 4. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados en auditoria (junio).

epc
EQUIPO TECNICO
DE CALIDAD EXCELENTE

CHEQUEO DE CALIDAD. RESULTADOS DE LABORATORIO
ARAN LOS RESULTADOS DE LAS MUESTRAS TOMADAS EN LAS CIUDADES PARA LOS TRES LABORA
PRESTADOR *Laboratorio Analisis* NPO *1001* SITIO DE TOMA *10.01*
FECHA *13 06 2017* FUENTES *Quebrada J. Salva*

PARAMETRO	UNIDADES	NORMA DE CALIDAD	LABORATORIO			POSSIBLE CAUSA DE DIVERGENCIA PARA CADA PARAMETRO O SUSTANCIA.
			1 SECRETARIA DE SALUD VIGILANCIA	2 CONTRATADO AUTOCONTROL	3 PTAP CONTROL	
COLIFORMES FECALES	UFCh100 ml	0				
COLIFORMES TOTALES	UFCh100 ml	0				
TURBIEDAD	UNT	<2	1.04	1.04	1.04	
COLOR	UPC	<15				
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	(0,3-2,0)	1.08	1.08	1.08	
p.H.	u	(6,5-8,0)	7.2	7.2	7.2	
ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	<200				
DUREZA	mg/l CaCO ₃	<300				
CLORUROS	mg/l Cl	<250				
SULFATOS	mg/l SO ₄	<250				
FOSFATOS	mg/l PO ₄	<0,5				

Anexo 5. Datos de laboratorio para parámetros fisicoquímicos tomados en auditoria (julio).

CHEQUEO DE CALIDAD. RESULTADOS DE LABORATORIO
ANAN LOS RESULTADOS DE LAS MUESTRAS TOMADAS EN IGUAL FECHA POR LOS TRES LABORATORIOS CITADOS.

PRESTADOR Alcaldia MPIO La Palma SITIO DE TOMA 1005
Tras 2A Calle 4 Fuente N: 9 Agua Sucia

FECHA: HORA 1:00 AM DIA 25 MES 07 AÑO 2017

PARAMETRO	UNIDADES	NORMA DE CALIDAD	LABORATORIO			POSIBLE CAUSA DE DIVERGENCIA PARA CADA PARAMETRO O SUSTANCIA.
			1 SECRETARIA DE SALUD VIGILANCIA	2 CONTRATADO AUTOCONTROL	3 PIAP CONTROL	
COLIFORMES FECALES	UFC/100 ml	0				
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	0				
TURBIEDAD	UNT	< 2			0.78	
COLOR	UPC	< 15			12	
CLORO RESIDUAL	mg/lit Cl ₂	(0.3-2.0)	1.5	1.5	1.5	
p.H.	"	(6.5-9.0)	7.9	7.9	7.9	
ALCALINIDAD	mg/lit CaCO ₃	< 200				
DUREZA	mg/lit CaCO ₃	< 300				
CLORUROS	mg/lit Cl	< 250				
SULFATOS	mg/lit SO ₄	< 250				
FOSFATOS	mg/lit PO ₄	< 0.5				

FIRMAS REPRESENTANTES EN TOMAS DE MUESTRAS

FUNSIONARIO DE SANIDAD HOSPITAL SAN JOSE LA PALMA [Signature] C.C. # 3078193 L.P.

REPRESENTANTE LABORATORIO CONTRATADO [Signature] C.C. 23.555.651 D.B. 19

OPERARIO PLANTA ACUEDUCTO LA PALMA [Signature] C.C. 3090.930 L.P. [Signature]

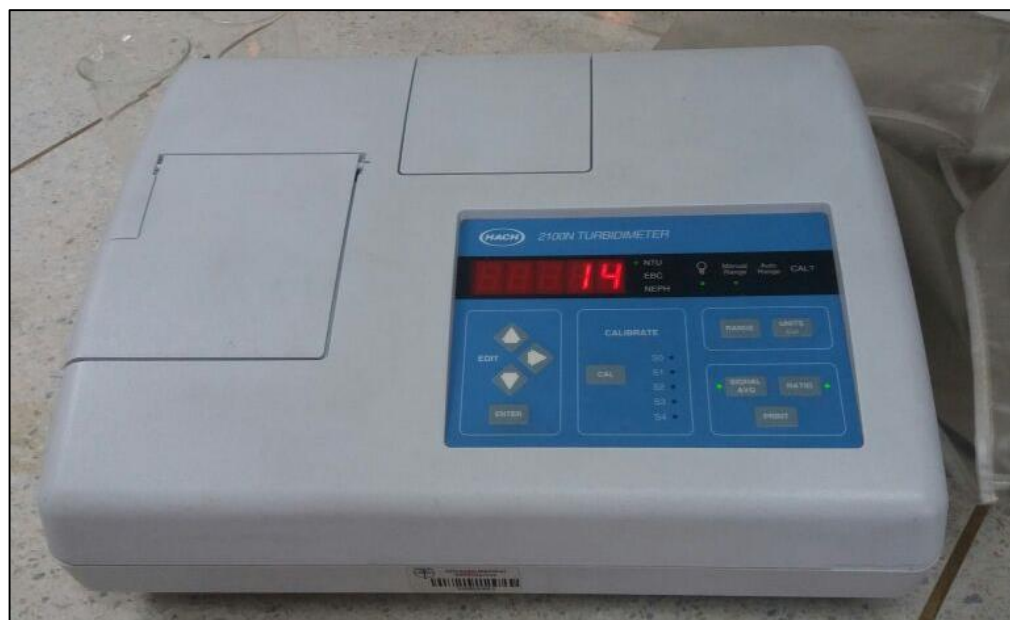
Anexo 6. Equipo para determinar parámetros fisicoquímicos del agua. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 7. Determinación de parámetros físicos químicos para agua cruda y tratada.



Anexo 8. Determinación del parámetro de color para agua cruda y tratada.



Anexo 9. Proceso para determinación de aluminio existente en muestra de agua tratada. Universidad Católica de Colombia.

Método 8012
Sobres de reactivo en polvo
 Campo de aplicación: Para agua y aguas residuales
 1 Adaptación de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

Aluminio
 Método Aluminón¹
 (0,008-0,800 mg/l)

Antes de comenzar el análisis:
 La determinación de aluminio que requiere una digestión previa.
 Lavar los artículos de vidrio con ácido clorhídrico 6.0 N y con agua destilada antes de usarlos, para evitar los contaminantes absorbidos en el vidrio.
 Para obtener resultados de precisión, la temperatura de la muestra debe estar entre 20-25 °C (68-77°F).

Se requieren los siguientes elementos:

Elemento	Cantidad
Sobres de reactivo de aluminio AluVer 3 en polvo	2
Sobres de reactivo de ácido ascórbico en polvo	2
Sobres de reactivo de Bleaching 3 en polvo	2
Tubo mezclador, graduado de vidrio, 50-ml, con tapón	1
Cubeta de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10-ml	2


Nota: En la página 6 encontrará información para realizar el pedido de fongibles y repuestos.


Procedimiento reactivo en polvo

Programas almacenados

10 Aluminio, Aluminón

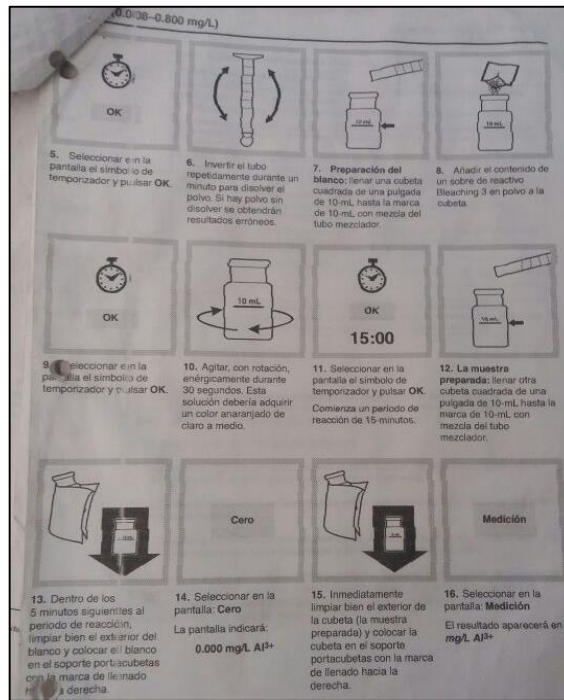
Inicio





1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados
2. Seleccionar el test.
3. Llenar un tubo mezclador graduado de 50-ml, hasta la marca de 50-ml, con muestra. Añadir el contenido de un sobre de ácido ascórbico en polvo.
 Tapar el tubo e invertir despacio varias veces para disolver el polvo.
4. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de aluminio AluVer 3 en polvo. Tapar el tubo.
 En presencia de aluminio se formará un color rojo-naranja.

Anexo 10. Pasos a seguir para determinar cantidad de aluminio en muestra de agua, según el equipo utilizado. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 11. Equipo utilizado para determinar cantidad de aluminio presente en muestra de agua tratada. Universidad Católica de Colombia.



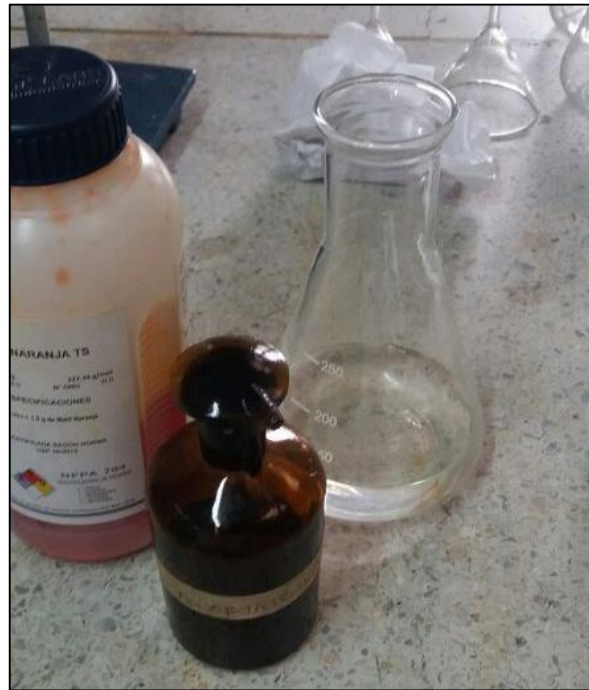
Anexo 12. Valor de aluminio obtenido para muestra de agua trata. Universidad Católica de Colombia.



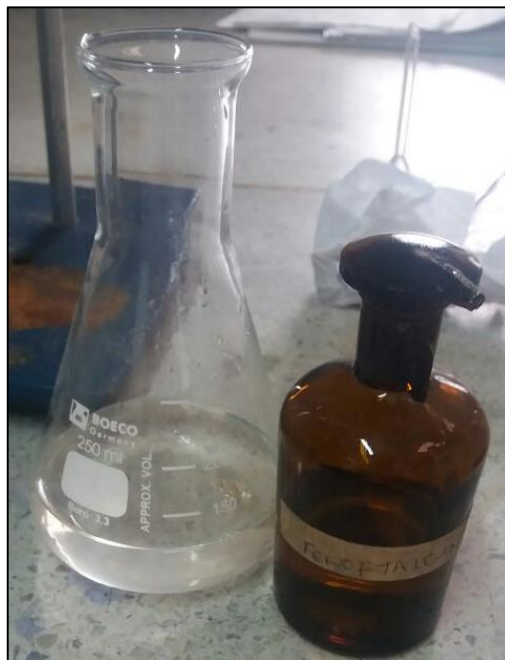
Anexo 13. Muestra de agua tratada analizada para cantidad de aluminio. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 14. Muestra de agua tratada, fenolftaleína y naranja de metilo. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 15. Muestra a reaccionar con fenolftaleína. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 16. Muestra a reaccionar con naranja de metilo. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 17. Adición de cloruro a muestra de agua para causar reacción. Universidad Católica de Colombia.



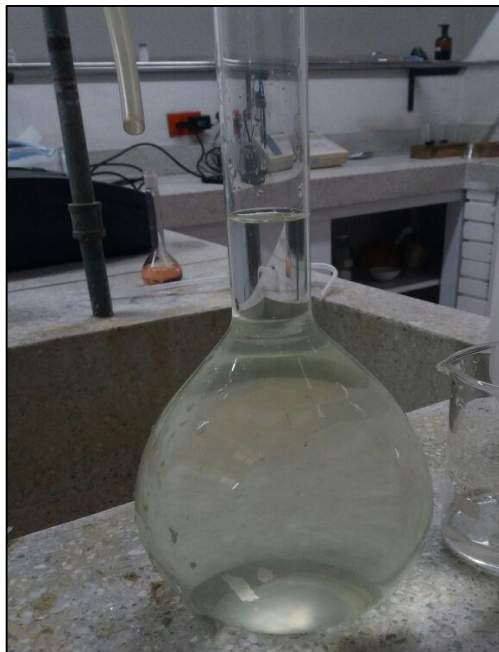
Anexo 18. Adición de a muestra de agua y causar reacción. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 19. Mezcla de bentonita para simular turbidez mayor a la real, en el agua cruda a analizar en el test de jarras. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 20. Cantidad de coagulante a adicionar a cada una de las muestras de agua cruda. Universidad Católica de Colombia.



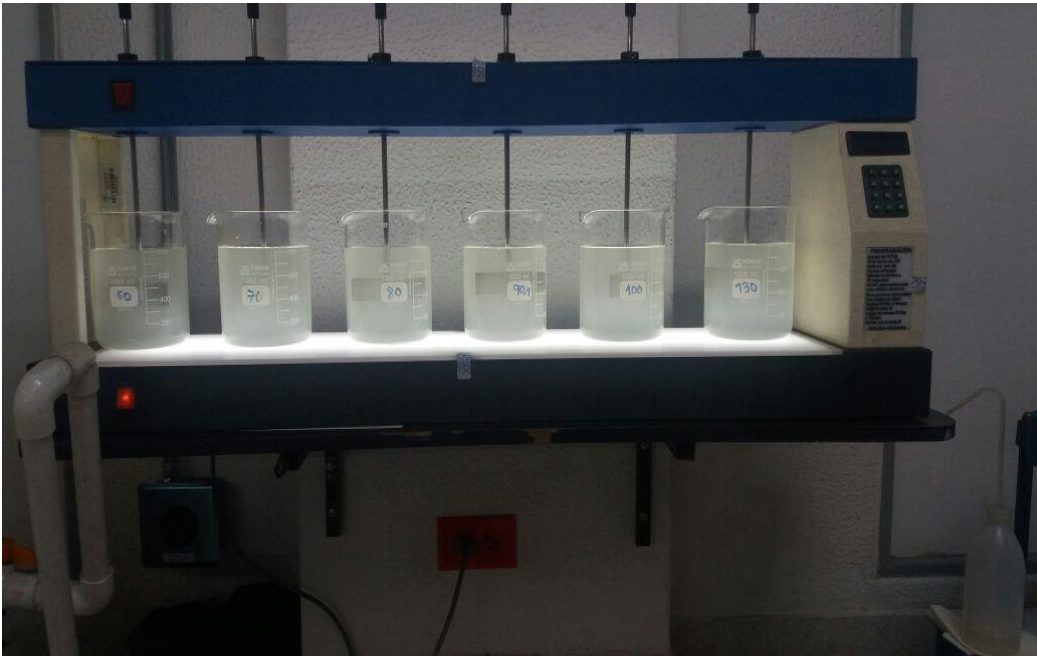
Anexo 21. Adición muestras de agua cruda de 800 ml para agua cruda. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 22. Adición de coagulante a cada una de las muestras con su cantidad en ml correspondiente.



Anexo 23. Montaje de las muestras de agua cruda en el equipo para realizar análisis de test de jarras. Universidad Católica de Colombia.



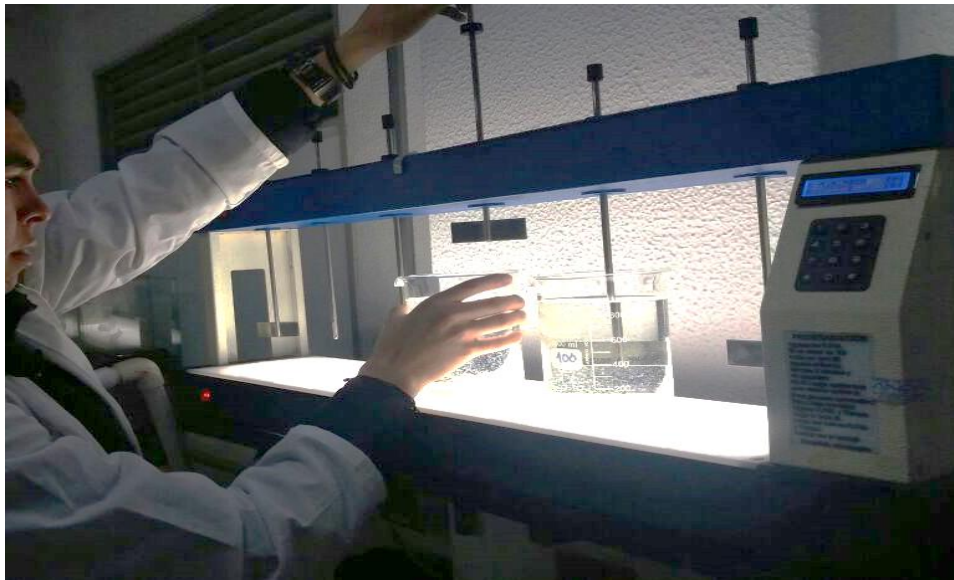
Anexo 24. Formación de floc en cada una de las muestras. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 25. Formación de floc en muestras de agua cruda analizadas. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 26. Desmote de las muestras de agua cruda del equipo para test de jarras y su posterior análisis de parámetros fisicoquímicos de cada una de ellas. Universidad Católica de Colombia.



Anexo 27. Determinación de los parámetros fisicoquímicos a muestras de agua después de test de jarras. Universidad Católica de Colombia.

