

PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS CON
AYUDANTES DE COAGULACIÓN NATURALES

En la planta de tratamiento de agua potable de la empresa aguas de Facatativá.

INFORME FINAL DE LA OPCIÓN DE GRADO PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

MARIA CAMILA CASTAÑEDA CORTES

IC-014-2015/1

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTA, OCTUBRE 2015

PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS CON
AYUDANTES DE COAGULACIÓN NATURALES

En la planta de tratamiento de agua potable de la empresa aguas de Facatativá.

MARIA CAMILA CASTAÑEDA CORTES

IC-014-2015/1

Informe final de opción de grado, presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil

Tutor: MSc. Ing. Aurora Velasco Rivera

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTA, OCTUBRE 2015

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD

MAYOR GENERAL EDUARDO ANTONIO HERRERA BERBEL

RECTOR

BRIGADIER GENERAL (R) HUGO RODRÍGUEZ DURAN

Vicerrector General

CAPITÁN NAVÍO (R) RAFAEL ANTONIO TOVAR MONDRAGÓN

Vicerrector Administrativo

DRA. MARTHA LUCÍA BAHAMÓN JARA

Vicerrector Académico

DR. FERNANDO CANTOR RINCÓN

Vicerrector de Investigaciones

CR. (R) ING. JOSÉ OCTAVIO DUQUE LÓPEZ MSc

Decano de la Facultad de Ingeniería

ING. JORGE LUIS CORREDOR RIVERA

Director Ingeniería Civil

Bogotá D.C, Julio de 2015

Señores

COMITÉ DE OPCIÓN DE GRADO

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad Militar Nueva Granada

Ref.: Presentación de trabajo de grado

En cumplimiento del reglamento de la facultad para el desarrollo de la opción de grado, me permito presentar para los fines pertinentes el trabajo de grado titulado PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS CON AYUDANTES DE COAGULACIÓN NATURALES en la planta de tratamiento de agua potable de la empresa aguas de Facatativá.

La tutora del trabajo de grado es la Ingeniera MSc. Aurora Velasco Rivera.

Atentamente,

Maria Camila Castañeda Cortes

APROBACIÓN

El trabajo de grado titulado PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS CON AYUDANTES DE COAGULACIÓN NATURALES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA EMPRESA AGUAS DE FACATATIVÁ elaborado por la estudiante Maria Camila Castañeda Cortes, cumple con los requerimientos del programa de Ingeniería Civil y es aprobado por el tutor.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es muy importante para mi vida profesional y personal, porque marca el final de una importante etapa de formación académica como Ingeniera y el inicio de nuevos proyectos.

En primer lugar agradecerles a mis padres por su constante apoyo, paciencia y esfuerzo siempre serán el motor de mis sueños y los merecedores de mis triunfos.

Al Doctor German Pontony Moreno Barrios gerente de la empresa Aguas de Facatativá, al Ingeniero Víctor Galindo y a todo el equipo del acueducto infinitas gracias por toda su colaboración, sus aportes en este proyecto y su apoyo incondicional a lo largo de la elaboración del mismo.

A la Ingeniera Aurora Velasco Rivera, quien con su conocimiento y experiencia, como tutora fue fundamental en la culminación de este proyecto; muchas gracias por toda la orientación brindada.

A todo el grupo de docentes de la Facultad de Ingeniería Civil que de una u otra forma hicieron parte de mi proceso de formación mis más sentidos y sinceros agradecimientos.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS	11
INTRODUCCIÓN.....	14
1. GENERALIDADES	15
1.1 ANTECEDENTES	15
1.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE FACATATIVÁ.....	18
1.2.1 Descripción del sistema.....	19
1.2.2 Sistema de embalses	19
1.2.3 Pozos de agua subterránea	20
1.2.4 Cobertura en la prestación del servicio de Acueducto	21
1.2.5 Demanda actual y proyectada	21
1.2.6 Almacenamiento.....	22
1.2.7 Redes de Distribución.....	23
1.2.8 Acueductos Rurales	24
1.3 UBICACIÓN	27
1.4 JUSTIFICACIÓN	29
1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	29
1.6 OBJETIVOS	30

1.7	METODOLOGÍA.....	30
2.	MARCO TEÓRICO	32
2.1	MARCO CONCEPTUAL.....	32
2.1.1	Fuentes de abastecimiento	33
2.1.2	Tratamiento del agua potable	34
2.1.3	Coagulación.....	36
2.1.4	Materiales naturales usados como coagulantes.....	40
2.1.5	Almidón de yuca	41
2.2	MARCO CONTEXTUAL	43
2.2.1	Descripción de los procesos	45
2.3	MARCO LEGAL.....	60
3.	METODOLOGÍA.....	64
3.1	PROCEDIMIENTO	65
3.2	REACTIVOS Y MATERIALES	66
3.3	DETERMINACIÓN DEL COLOR	69
3.4	DETERMINACIÓN DEL PH.....	69
3.5	DETERMINACIÓN DE LA TURBIEDAD	69
3.6	PROCEDIMIENTO	70
3.7	OBTENCIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA	71

3.8	RESULTADOS	72
3.8.1	Color	72
3.8.2	Turbiedad	73
3.8.3	Comportamiento del pH	73
4.	CONCLUSIONES	75
5.	RECOMENDACIONES.....	76
	BIBLIOGRAFÍA.....	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de embalses. Fuente: (Bolívar, 2013).....	19
Tabla 2. Pozos de agua subterránea. Fuente: (Bolívar, 2013).	20
Tabla 3. Cobertura en la prestación del servicio. Fuente: (Bolívar, 2013).....	21
Tabla 4. Demanda proyectada 2035. Fuente: (Bolívar, 2013).	22
Tabla 5. Redes de acueducto. Fuente: (Bolívar, 2013).	23
Tabla 6. Infraestructura de acueductos generales. Fuente: (Bolívar, 2013).....	24
Tabla 7. Información General de la EAF. Fuente: Elaboración propia.....	28
Tabla 8. Principales productos empleados en la coagulación. Fuente: (Chaparro, 2014)	39
Tabla 9. Coagulantes naturales más comerciales. Fuente: (Guzmán, 2013).	40
Tabla 10. Normatividad Colombiana. Fuente: Elaboración propia.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la EAF. [Fotografía]. (2015). Recuperado de http://www.google.es/	28
Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología empleada. Fuente: Elaboración propia.	31
Figura 3. Proporción de agua en la tierra. Fuente: http://cmapspublic.ihmc.us/	33
Figura 4. Fuentes de abastecimiento. Fuente: Elaboración propia (Ciencias, 2015).	34
Figura 5. Esquema de tratamiento. Fuente: elaboración propia.	35
Figura 6. Esquema del proceso de coagulación. Fuente: Elaboración propia.	37
Figura 7. Características del agua. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 8. Diagrama del proceso de extracción de almidón de yuca. Fuente: (CSB, 2015)	42
Figura 9. Usos para el almidón de yuca. Fuente: elaboración propia; (Alarcón, 2015).	43
Figura 10. Aguas de Facatativá. Fuente: Elaboración propia.	44
Figura 11. Organigrama de la EAF. Fuente: (Bolívar, 2013).	45
Figura 12. PTAP Facatativá. Fuente: Elaboración propia.	46
Figura 13. Servigenerales Facatativá. Fuente: www.servigeneralesfacatativa.com	48
Figura 14. Laboratorio de medidores. Fuente: www.acueductofacatativa.com	49
Figura 15. Laboratorio de aguas. Fuente: /www.acueductofacatativa.com	49

Figura 16. Vactor de la empresa Aguas de Facatativá. Fuente: Elaboración Propia.	50
Figura 17. Vivero EAF. Fuente: Elaboración propia.	51
Figura 18. Aireador y cámara de aquietamiento. Fuente: elaboración propia.....	52
Figura 19. Canaleta Parshall. Fuente: Elaboración propia.	54
Figura 20. Floculador EAF. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 21. Floculadores	55
Figura 22. Sedimentadores EAF. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 23. Filtros EAF. Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 24. Desinfección EAF. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 25. Tanque de la Guapucha. Fuente: Elaboración propia.	59
Figura 26. Tanque de distribución de la EAF. Fuente: Elaboración propia.....	59
Figura 27. Procedimiento del ensayo del test de jarras. Fuente: Elaboración propia.	66
Figura 28. Esquema general del Test de Jarras. Fuente: http://www.drcalderonlabs.com/	68
Figura 29. Tabla de unidades de color de HAZEN. Fuente: www.drcalderonlabs.com	69
Figura 30. Resultado de los parámetros fisicoquímicos. Fuente. Elaboración propia	70
Figura 31. Dosificación de prueba. Fuente: Elaboración propia.	71

Figura 32. Grafica de resultados de Color. Fuente: Elaboración Propia.....	72
Figura 33. Grafica de resultados de Turbiedad. Fuente: Elaboración Propia	73
Figura 34. Grafica de resultados del pH. Fuente: Elaboración Propia	74

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, se enfoca básicamente en el proceso de coagulación del sistema de tratamiento de agua potable de la empresa Aguas de Facatativá, donde los ayudantes de coagulación son el eje central del desarrollo de este proyecto.

Gracias a las continuas exigencias que se han ido generando desde la antigüedad, la humanidad se enfocó científica y tecnológicamente a mejorar la calidad del agua; fueron evolucionando a tal punto de adoptar patrones de calidad, empleando diferentes procesos que continúan mejorando los sistemas existentes.

Esta investigación surge a partir del desarrollo laboral, como auxiliar de la Subgerencia Técnico Operativo en la empresa Aguas de Facatativá, donde se evidenció la necesidad de generar una contingencia ante el desabastecimiento de la sustancia química sulfato de aluminio, que funciona como ayudante de coagulación y a su vez generar el menor impacto ambiental posible y una disminución de costos para el municipio de Facatativá.

Los métodos utilizados surgieron a partir de la búsqueda de sustancias naturales, que funcionaran como ayudantes de coagulación. Se seleccionó el almidón de yuca como mejor opción a tratar, gracias a sus características físico-químicas y los beneficios económicos que facilitarían el desarrollo del proyecto.

Con a esta investigación, se logró desarrollar la dosificación ideal de almidón de yuca que cumple con los objetivos inicialmente planteados.

1. GENERALIDADES

La potabilización del recurso hídrico es el principal medio de aseguramiento de la calidad de vida del ser humano. Es por eso que al transcurrir de los años la humanidad se ha encargado de investigar e innovar con diferentes alternativas que facilitan el tratamiento

1.1 ANTECEDENTES

En la antigüedad, el tratamiento del agua no fue tenido en cuenta como un factor relevante, simplemente la calidad se limitaba a aspectos físicos como olor, color y sabor; posteriormente se iniciaron las construcciones de acueductos cuyo único objetivo era la distribución del recurso hídrico. En la Edad Media se generaron problemas de salud pública, ocasionados por el crecimiento de las ciudades y la mala disposición de aguas residuales de los habitantes, lo que daría inicio a las investigaciones científicas y lo que hoy en día se conoce como ingeniería sanitaria.

Pero el tratamiento del agua inició con un procedimiento básico, efectivo y práctico, que consistía en hervir el agua. Investigaciones basadas en registros orales, sitúan los primeros procesos de coagulación en 1500 a.C, donde los egipcios usaban sulfato de aluminio para facilitar la sedimentación de materiales y así poder realizar una mejor remoción. Las continuas exigencias para mejorar la calidad del agua, fueron evolucionando de la mano de investigaciones científicas y avances tecnológicos, hasta el punto de adoptar patrones de calidad del recurso hídrico con fines de abastecimiento a las comunidades, empleando diferentes operaciones y procesos para acondicionar el agua de las fuentes de captación (Chaparro, 2014).

En Paris en el año de 1806 se construyó una planta de tratamiento con procesos de sedimentación y filtración. Una sedimentación realizada durante 12 horas continuas y una filtración por medio de filtros de arena y carbón. Luego de estos procesos básicos hacia el siglo XX, en Europa se establecieron procedimientos mucho más

efectivos llamados filtración lenta sobre arena, pero la investigación siguió su curso y los científicos lograron grandes avances relacionados con enfermedades asociadas al consumo del agua. Descubrieron que la turbiedad era la prueba física de que partículas peligrosas para el ser humano se refugiaban en las fuentes de recursos hídricos y serían de origen patógeno.

Luego del perfeccionamiento paulatino de estos procedimientos de tratamiento apareció el Cloro fue descubierto en 1774 por el químico Karl Wilhelm Scheele. Se utilizó en Francia y en Inglaterra como desinfectante general y en 1908 en New Jersey como agente desinfectante primario mejorando las condiciones sanitarias para el consumo.

En el año de 1881 la coagulación entró a jugar un papel importante en el tratamiento del agua en Inglaterra. El coagulante más conocido y efectivo a la época era el sulfato de aluminio.

Un aspecto importante que aceleró el proceso de investigación e innovación del tratamiento del agua fue la Revolución Industrial, durante la cual todos los procedimientos industriales generaron vertimientos hacia las fuentes superficiales y otros tipos de poluciones; causando altos índices de contaminación ambiental y poco a poco fueron desencadenando una serie de enfermedades asociadas al consumo del recurso hídrico. En parte, de este momento histórico surgió la necesidad de implementar legislaciones y normatividades técnicas en los procedimientos, con el fin de asegurar y proteger la salud de los consumidores. Las nuevas tecnologías descubiertas en el siglo XX permitieron mejorar las expectativas de vida en más de un 50% (Ramírez, 2015).

En América el Imperio Maya fue una de las principales civilizaciones encargada de dar inicio a los sistemas de tratamiento y distribución del agua, con el objetivo de abastecer la población principalmente a los sistemas de riego de los cultivos. El agua almacenada se recolectaba en cisternas llamadas "Chultuns". Pero la colonización española en Latinoamérica obligó a los nativos a dejar sus sistemas tradicionales y a implementar los métodos europeos. (Ballen, 2006).

Los sistemas de tratamiento de aguas en Colombia son prácticas recientes, solo el 10% de las aguas residuales es tratada a pesar de contar con una capacidad de infraestructura del 20%. En Bogotá el primer acueducto construido fue en mayo de 1757 llamado Agua Nueva, la obra más importante de la época. El acceso al agua potable en Colombia y la calidad de estos servicios ha aumentado significativamente durante la última década por el control y la demanda del recurso. Sin embargo, existen desafíos importantes, como la cobertura insuficiente de los servicios especialmente en zonas rurales y una calidad inadecuada. En comparación con algunos otros países de América Latina, el sector está caracterizado por altos niveles de inversiones y de recuperación de costos, la existencia de algunas grandes empresas públicas eficientes y una fuerte y estable participación del sector privado local.

Desde la fundación del municipio de Facatativá en 1538, el abastecimiento de agua se hacía por medio de recolección en las fuentes públicas, como la pila en el barrio Santa Rita ubicado en uno de los parques principales del municipio. En el año de 1946 se construyó el primer acueducto municipal, bajo el control de la entidad encargada del direccionamiento de los sistemas de acueductos departamentales "Acuamarca" y en 1972 se construyó la primera etapa de la planta de tratamiento de agua potable el "Gatillo", conformada por un embalse llamado "Gatillo 2".

Para mejorar la capacidad de la planta, se perforaron 3 pozos subterráneos y a mediados de 1987, se llevó a cabo la optimización de la planta de tratamiento después de la conformación de la "Empresa de Obras Sanitarias de Cundinamarca", este crecimiento organizacional promovió la construcción de dos embalses más "Gatillo 1" y "Gatillo 3" y ampliaciones en la planta de tratamiento, gracias a la gestión de la empresa de obras sanitarias de Cundinamarca.

Alrededor de 1992, la entidad prestadora del servicio sufrió transformaciones administrativas por el acuerdo 006 del 10 de septiembre de 1992; donde se iniciaron labores de mejoramiento en la prestación del servicio, representando mejoras,

construcción del embalse "Gatillo 0", construcción del edificio administrativo y perforación de 5 pozos profundos.

Desde ese entonces la empresa se ha encargado de trabajar en la renovación de los sistemas de macro medición y micro medición además de la construcción de los laboratorios de calidad de agua y de medidores. El año de 2012, según el acuerdo 023 del 20 de diciembre del 2012, administrativamente la empresa se convierte en lo que hoy en día se conoce como "Empresa Aguas de Facatativá Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios EAF SAS ESP; cuya administración, es la encargada del inicio de la ejecución del plan maestro de alcantarillado, optimización de la planta de tratamiento central y los proyectos más importantes para el municipio en los últimos años, los cuales son el funcionamiento del embalse mancilla (inaugurada el 14 de diciembre del 2014) y la construcción del embalse Santa Marta, cuyas obras son los ejes principales para el crecimiento del municipio de Facatativá (Bolívar, 2013).

1.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE FACATATIVÁ

La empresa de servicios de acueducto y alcantarillado del municipio de Facatativá se constituyó por acuerdo No. 6 del 10 de septiembre de 1992, como establecimiento público descentralizado del orden municipal; el concejo municipal de Facatativá mediante acuerdo No 018 de 1999 del 09/11/1999 se transforma la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Facatativá en una empresa industrial y comercial del estado del orden municipal; mediante Escritura Publica 1.542 del 22 de julio de 2009 fue trasformada la naturaleza jurídica a sociedad por acciones simplificada con capital 100% de recursos públicos

Mediante Acuerdo No 023 de fecha 20 de diciembre de 2012, el concejo municipal de Facatativá acordó y aprobó la modificación de la denominación (razón social) y de la sigla de la empresa la cual paso a ser Aguas De Facatativá, Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios E.A.F S.A.S E.S.P, para todos los

efectos legales y comerciales, posteriormente le fue otorgada escritura pública número 0019 del 11 de enero de 2013 de la Notaria Primera del Circulo de Facatativá (Bolívar, 2013).

1.2.1 Descripción del sistema

Según el informe general el sistema de acueducto del municipio de Facatativá, se abastece de manera complementaria de fuentes superficiales y subterráneas. Como fuente superficial se emplean las aguas del río Botello y de la quebrada Mancilla, las cuales se captan por medio de cuatro embalses superficiales, denominados Gatillo Cero, Uno, Dos y Tres, los cuales proveen una capacidad de almacenamiento de 510.000 m³.

En épocas de invierno el caudal promedio del río Botello es cercano a 6,5 m³/s, mientras que en verano el caudal puede disminuirse a un promedio de 0,060 m³/s, cuando es necesario utilizar el recurso subterráneo, para lo cual existen siete pozos profundos, la captación de estas agua se hace por sistema de bombeo.

1.2.2 Sistema de embalses

Nombre del Embalse	Año de Construcción	Capacidad de Almacenamiento M ³
Gatillo 0	1995	400.000
Gatillo 1	1985	30.000
Gatillo 2	1976	40.000
Gatillo 3	1985	40.000
Total	Actual	510.000
Mancilla	Entregado	320.000
Santa marta	En construcción	310.000
Total		1.140.000

Tabla 1. Sistema de embalses. Fuente: (Bolívar, 2013).

1.2.3 Pozos de agua subterránea

Nombre del Pozo	Año de construcción	Profundidad m	Caudal Estimado lps
Cartagenita	1973	300	35
Manablanca	1985	433	35
San Rafael I	1987	277	35
Deudoro Aponte	1993	396	55
San Rafael III	1994	307	48
La Guapucha II	2008	222	55
La Guapucha III	2008	228	45
Total			308

Tabla 2. Pozos de agua subterránea. Fuente: (Bolívar, 2013).

Se cuentan con dos plantas de tratamiento de agua potable, la planta Gatillo con una capacidad instalada de 280 lps y la planta La Guapucha con un caudal de 80 lps, estas plantas son de tipo convencional con los procesos de aireación, floculación, sedimentación, filtración y cloración. En cuanto al almacenamiento de agua potable se cuenta con los tanques de La Guapucha con una capacidad de 2.300 m³ y los tanques de Pueblo Viejo con una capacidad de 3.850 m³.

El agua tratada es distribuida al municipio por gravedad después de un bombeo hacia los tanques de Pueblo Viejo, garantizando un servicio con presiones que cumplen con los requisitos exigidos en el RAS.

El municipio de Facatativá cuenta con servicio las 24 horas del día y este sistema de distribución tiene dos sectores claramente diferenciados, el correspondiente al sector central de municipio y el que corresponde al barrio Cartagenita, donde existe una asociación de usuarios a la cual la EAF SAS ESP le vende el agua en bloque y ésta se encarga de su distribución y comercialización así como de la operación de las redes.

Los barrios altos del sector norte del municipio reciben el agua directamente de la planta La Guapucha y el resto, de los tanques de almacenamiento de Pueblo Viejo ubicados en la parte alta cercana a la planta Gatillo. La zona de influencia de la

planta La Guapucha puede ser completamente independiente por manejo de válvulas del área de servicio de la planta Gatillo.

Las redes matrices contemplan tuberías con diámetros que van de 16” a 6”, las redes secundarias en su mayoría con diámetros de 4” y 3” y algunas redes menores con diámetro de 2”. El material de las tuberías está compuesta de la siguiente manera: Tuberías en hierro fundido 2.5%, asbesto cemento 33% y PVC 64.5%, en los diferentes diámetros. Se presentan continuos daños en las tuberías de A.C., por el acartonamiento de este material (Bolívar, 2013).

1.2.4 Cobertura en la prestación del servicio de Acueducto

Año	N° de usuarios	M³ facturados	Cobertura
1993	9.234		
2003	16.223	2.905.309	96.7%
2004	16.695	3.563.942	98.9%
2005	17.295	3.635.725	99.6%
2006	18.234	3.693.864	100%
2007	20.048	3.751.995	100%
2008	20.830	3.809.479	100%
2009	21.380	3.774.540	100%
2010	21.757	3.548.564	100%
2011	22.369	3.674.758	100%
2012	24.402	3.745.329	100%
Usuarios sector Cartagenita		1.238	
IANC		35%	

Tabla 3. Cobertura en la prestación del servicio. Fuente: (Bolívar, 2013).

1.2.5 Demanda actual y proyectada

Según proyecciones con datos del DANE en el casco urbano de Facatativá para el año 2013 la población es de 127.226 habitantes, de los cuales 114,616 son de la

parte urbana con una demanda de agua potable de 268 lps. Siendo en la realidad la demanda al día de hoy 210 lps.

Esta demanda, como se dijo anteriormente está siendo cubierta por el río Botello y sus afluentes, igualmente se cuenta con un sistema de pozos profundos para cubrir la demanda en época de sequía.

Con los resultados anteriores se proyectó la demanda al año 2035, se estima una población de 166.117 habitantes, una dotación de 139.1 l/s y una demanda de 386.3 l/s, asumiendo pérdidas de 20% la cual se refleja en el siguiente cuadro:

Año	Población urbana	Demanda (l/s)
2010	107.538	262.1
2015	119.294	273.9
2020	130.810	300.2
2025	142.673	328.9
2030	154.395	355.6
2035	166.117	386.3

Tabla 4. Demanda proyectada 2035. Fuente: (Bolivar, 2013).

1.2.6 Almacenamiento

Para el sistema de almacenamiento se cuenta con una capacidad instalada de 6.150 m³ repartidos en 10 tanques a través de los cuales se distribuye por la totalidad del casco urbano, y parcialmente al sector rural. Del volumen de almacenamiento existente solamente 3.960 m³ corresponden a volumen de compensación, los cuales no son suficientes para garantizar el buen funcionamiento del sistema; igualmente, y teniendo en cuenta la proyección de población para el año 2020 el volumen de compensación requerido es de 7.260 m³ lo que implica un déficit de 3.300 m³ respecto al volumen actual.

Con base en lo anterior, y acorde con lo consignado por la firma Hidroconsulta Ltda., se requiere adelantar los estudios y diseños de un tanque que supla este déficit.

1.2.7 Redes de Distribución

Las redes de distribución del sistema de acueducto están extendidas a lo largo y ancho de la ciudad en diámetros que oscilan entre 2" y 16". Aproximadamente un 33% es de asbesto cemento, 64.5% en PVC y 2.5% en HF. En las redes de asbesto cemento se presenta una alta frecuencia de daños, sobre todo en los diámetros menores de 6", lo cual se ve reflejado en bajas presiones, y afectaciones en la calidad del agua y continuidad del servicio; igualmente la sectorización es deficiente razón por la cual los barrios altos se ven afectados por deficientes presiones, con mayor frecuencia en verano.

Con relación al Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, la empresa cuenta con un estudio a nivel de factibilidad, propuesto por la firma Hidroconsulta Ltda. En el año 2001, que incluye los sectores de expansión definidos en los acuerdos 06 y 07 de 1993, antes de la adopción del POT de 2001; al respecto es preciso actualizar la información en lo concerniente a las proyecciones de redes para las zonas de expansión teniendo en cuenta los ajustes efectuados al POT; así mismo llevar a diseño las obras requeridas en el corto, mediano y largo plazo, para que la empresa pueda garantizar un servicio eficiente y de buena calidad.

Redes de acueducto		
Longitud total	167.0 km	100%
Asbesto cemento AC	55.5 km	33%
Hierro fundido HF	4.0 km	2.5%
PVC	107.5 km	64.5%

Tabla 5. Redes de acueducto. Fuente: (Bolívar, 2013).

1.2.8 Acueductos Rurales

En la actualidad cuenta con 12 asociaciones de usuarios legalmente constituidas, teniendo como máxima autoridad a los suscriptores que las componen. De los 12.510 habitantes del sector rural para el año 2012 (según DANE), se estima que la cobertura de agua potable es del 92%. Se viene adelantando el proceso de fortalecimiento a los acueductos rurales por parte de la administración municipal a través de la EAF SAS ESP, para su administración y operación, en este caso los acueductos de las veredas de Cuatro Esquinas de Bermeo, Paso Ancho, Tierra Grata, Moyano y el de la vereda de Tierra Morada. Aclarando que para la operación del sistema de Bermeo se constituyeron 3 diferentes asociaciones de usuarios para su manejo; Asobermeo, Asoarrayanes y Asopasoancho.

INFRAESTRUCTURA ACUEDUCTOS VEREDALES							
Acueducto Veredas	Pozos Profundos		Captación	Planta	Tanque de Almacenamiento	Redes	
	Existente	Estudio	Existente	Existente	Existente	Conducción	Distribución
Cuatro Esquinas de Bermeo, Paso Ancho, Tierra Grata y Moyano	15 LPS	Estudio hidráulico, caseta de operaciones, red eléctrica, equipo bomba motor.	Estación de rebombeo para 6 LPS	15 LPS	300 m ³	700 mL 4" PVC	25300 mL PVC de 4", 3", 2 1/2", 2", 1"
Tierra Morada, Tierra Grata	6 LPS	Estudio hidráulico, caseta de operaciones, red eléctrica, equipo bomba motor.	Estación de rebombeo para 6 LPS	6 LPS	200 m ³	3" PVC 400 mL	8300 mL PVC de 3", 2", 1"
Tierra Grata	1,5 LPS		Superficial 2LPS	1,5LPS	150m ³	2"PVC 10ML	3600 mL PVC de 3", 2", 1.5"
Tierra Morada parte Media			Superficial 2LPS		15m ³	1"PVC 1000ML	2000 mL PVC de 1" a 1/2"
La Tribuna		Estudio geoelectrico para agua subterranea	Si	3 LPS	80 m ³		
Prado	5 LPS no esta en servicio	Estudio geoelectrico y redes de conduccion y distribucion	Superficial 6LPS	6 LPS	20 m ³	2300 mL 3" PVC	2500 mL PVC de 2", 1 1/2"
Mancilla Cerro Negro K-46			Superficial 3LPS	1 a 3 LPS	100 m ³	3000 mL 2" a 1 1/2" PVC	3000 mL 2" a 1 1/2" PVC
San Rafael Parte Media			Superficial 3LPS	3 LPS	100 m ³	4" a 2" PVC 3000 mL	800 mL PVC de 2"
Pueblo Viejo Parte Alta	2 LPS		Superficial 2LPS	2 LPS	30 m ³	1 1/4" - 1" 300 mL	1500 mL PVC de 1 1/2", 1 1/4" y 1"
Mancilla Puente Pino			Superficial 3LPS	3 LPS	90 m ³	2" 2000 mL	5000 mL PVC de 2"
San Rafael Parte Alta			Superficial 2LPS		50 m ³	2" PVC 300 mL	5000 mL PVC de 2"
Mancilla Sector Moravia	5 LPS no esta en servicio						

Tabla 6. Infraestructura de acueductos generales. Fuente: (Bolívar, 2013).

Los sistemas de acueducto rurales del municipio de Facatativá están abastecidos en su gran mayoría por fuentes superficiales de quebradas y nacederos de cada una de las veredas y en algunos casos con agua subterránea. La siguiente información fue tomada del informe de diagnóstico - antecedentes de los servicios públicos domiciliarios de la empresa Aguas de Facatativá:

- El acueducto para las veredas de Cuatro Esquinas de Bermeo, Paso Ancho, Tierra Grata y Moyano fue construido por la administración municipal en asocio con la comunidad del sector, el sistema consta de un pozo profundo, caseta de operaciones, 2 estaciones eléctricas, 2 tanques de almacenamiento, una planta de tratamiento, una estación de re-bombeo, redes de conducción e impulsión y redes de distribución, sistema que inicio su construcción en el año de 2003 y se terminó en el 2007 cuenta con micro medición.
- El acueducto para las veredas de Tierra Morada, Tierra Grata parte alta fue construido por la administración municipal, proyectado para reforzar los sistemas de los acueductos de Tierra Morada Parte Media y Tierra Grata, el sistema consta de un pozo profundo, estación eléctrica, caseta de operaciones, red de conducción, planta de tratamiento, tanque de almacenamiento y redes de distribución general. Su construcción se realizó a partir del año 2004 y está en proceso de terminación; cuenta con micro medición.
- El acueducto de la vereda de Tierra Grata, es abastecido por una fuente superficial y una subterránea a través de la explotación de un pozo profundo, cuenta con estación eléctrica caseta de operaciones, planta de tratamiento, tanque de almacenamiento y redes de distribución. Cuenta con otro sistema de agua superficial, tanque de almacenamiento y redes de distribución este sistema no posee planta de tratamiento, tienen micro medición. Su infraestructura esta en regular estado.

- El acueducto de Tierra Morada Parte Media, es abastecido por fuente superficial, bocatoma, tanques de distribución, red de conducción y redes de distribución no posee planta de tratamiento. El sistema lleva más de 10 años en funcionamiento y presenta parte de la infraestructura en regular estado, no cuenta con micro medición.
- El acueducto de la Tribuna, el sistema es alimentado por una fuente superficial, bocatoma, desarenador, línea de conducción, desarenador, planta de tratamiento, tanques de almacenamiento y redes de distribución, en su gran mayoría su infraestructura está en buen estado y cuentan con micro medición.
- El acueducto de Prado cuenta con una fuente de suministro superficial, bocatoma, desarenador, conducción, planta de tratamiento, tanques de almacenamiento, redes de distribución y la perforación de un pozo profundo sin todo el sistema que se requiere para la puesta en funcionamiento, el componente de redes de distribución es insuficiente y las tuberías están en mal estado, existen sectores que no cuentan con el servicio de acueducto y no poseen sistema de micro medición.
- El acueducto Mancilla Cerro Negro K-46, es abastecido por una fuente superficial, posee bocatoma, planta de tratamiento, tanques de almacenamiento, redes de conducción y distribución, el sistema está en buen estado y no cuentan con micro medición instalada.
- El acueducto San Rafael Parte Media cuenta con una fuente superficial, bocatoma, conducción, planta de tratamiento, tanque de almacenamiento y redes de distribución, en buen estado.
- El Acueducto Pueblo Viejo Parte Alta, cuenta con dos fuentes de abastecimiento una superficial y un pozo profundo, línea de conducción, planta de tratamiento, tanques de almacenamiento, planta de tratamiento,

estación de re-bombeo, cuentan con micro medición el sistema se encuentra en buen estado.

- El acueducto Mancilla Puente Pino, es alimentado por fuente superficial, bocatoma, desarenador. Línea de conducción, planta de tratamiento, tanque de almacenamiento, red de distribución, cuentan con micro medidor, el sistema se encuentra en buen estado tienen un sector sin la prestación del servicio.
- El acueducto San Rafael Parte Alta, este sistema se viene construyendo a la fecha en su primera etapa, cuenta con bocatoma, conducción, tanque de almacenamiento, red eléctrica estación de re-bombeo, tanques de almacenamiento parte alta y redes de distribución, no poseen micro medidores, planta de tratamiento e implementación de redes en los sectores que hacen falta.
- El acueducto de Mancilla sector Moravia, solo cuenta con la perforación de un Pozo profundo, sin todos los componentes que se requieren para la puesta en marcha.

1.3 UBICACIÓN

La investigación se llevó a cabo, en la planta de tratamiento potable y sus laboratorios de calidad de la Empresa Aguas De Facatativá Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios EAF SAS ESP, está ubicada en la Carrera 1 Sur con Calle 16, Departamento de Cundinamarca, República de Colombia (Ver figura 1 y cuadro1).

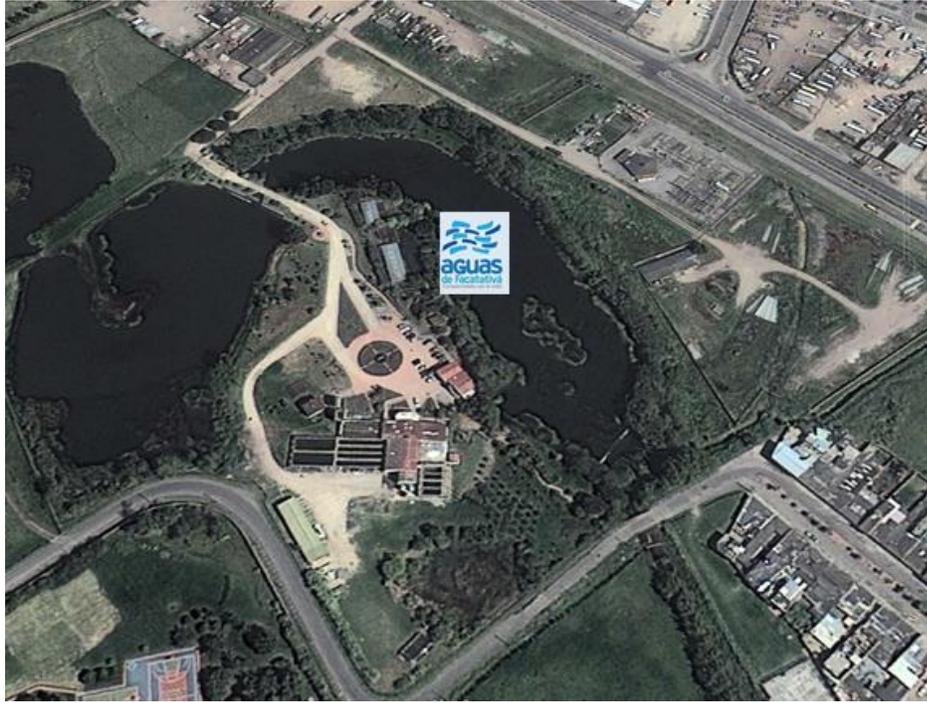


Figura 1. Ubicación de la EAF. [Fotografía]. (2015). Recuperado de <http://www.google.es/>.

Información General

Nombre	Empresa aguas de Facativá, acueducto, alcantarillado, aseo y servicios complementarios E.A.F. S.A.S. E.S.P
Nit	800188600-0
Dirección	Carrera 1 sur calle 16
Domicilio	Facativá
Teléfono	842-5999
Dirección página web	www.acueductofacativá.com

Tabla 7. Información General de la EAF. Fuente: Elaboración propia.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Contribuir en las operaciones que se realizan en la empresa, donde se involucran diferentes áreas de la Ingeniería Civil, indudablemente es la culminación en la formación profesional para un estudiante de Ingeniería Civil. Poder participar en una investigación cuyo fin es la optimización de procesos, beneficios económicos y ambientales para la empresa y para el municipio de Facatativá es definitivamente una experiencia favorable para la competitividad laboral. Por tal razón decidí enfocarme en la investigación, orientada a la implementación de nuevas materias primas como el almidón de yuca al sistema de tratamiento de agua potable y a su vez conocer de primera mano el desarrollo de las actividades que se realizan a lo largo de estos diferentes procedimientos, logrando así estar mejor preparada a la hora de desempeñarme por completo en el campo laboral.

1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa Aguas de Facatativá encontró que durante las épocas de invierno, el consumo de sulfato de aluminio se incrementaba considerablemente, debido a que el agua llegaba a la planta de tratamiento con mayor turbidez. Por esta razón se llevó a cabo un plan de contingencia que generara menor costo de insumos químicos mediante el uso de ayudantes de coagulación y nuevos procedimientos ambientalmente sostenibles. Para ello personal de la empresa Aguas de Facatativá y una estudiante de la Universidad Militar Nueva Granada realizaron pruebas de laboratorio con énfasis en un ayudante de coagulación natural el almidón de yuca con el fin de disminuir la dosificación de sulfato de aluminio mejorando las condiciones económicas de forma ambientalmente sostenible.

De acuerdo con lo anterior, el problema se puede formular a través de la siguiente pregunta: ¿Qué dosificación de almidón de yuca se puede utilizar para optimizar los procesos de coagulación y reducir costos en la planta de tratamiento de la empresa Aguas de Facatativá?

1.6 OBJETIVOS

GENERAL

Realizar una investigación basada en diferentes dosificaciones de un ayudante de coagulación natural, que permita mejorar la eficiencia en los procesos del tratamiento del agua y reducir costos operacionales.

ESPECÍFICOS

- Estudiar los tipos de ayudantes de coagulación y elegir el más adecuado desde el punto de vista de eficiencia y reducción de costos.
- Realizar una matriz que incluya las diferentes dosificaciones de la propuesta donde se representen los parámetros de impacto económico y ambiental.
- Elegir la alternativa más adecuada que represente reducción de costos y sea ambientalmente sostenible.

1.7 METODOLOGÍA

Durante el desarrollo de la investigación, se llevó cabo una metodología (ver figura 2) que ajustó aspectos cualitativos y cuantitativos, debido a que la investigación se realizó en la planta y en los laboratorios de la empresa Aguas de Facatativá, la cual exige procesos cuantitativos en cuanto a productividad de la planta y también cualitativas por la ejecución de la investigación. Para desarrollar la metodología se siguieron los siguientes pasos:

Recopilar la información necesaria de posibles investigaciones referentes al tema.

Realizar presencia en la planta de tratamiento para la ejecución de pruebas, solicitud de información técnica y materiales.

Realizar las pruebas necesarias que aseguren los resultados del proyecto.

Concluir y proponer posibles dosificaciones de la materia prima estudiada.

Elaborar y presentar el informe final al comité de opción de grado.

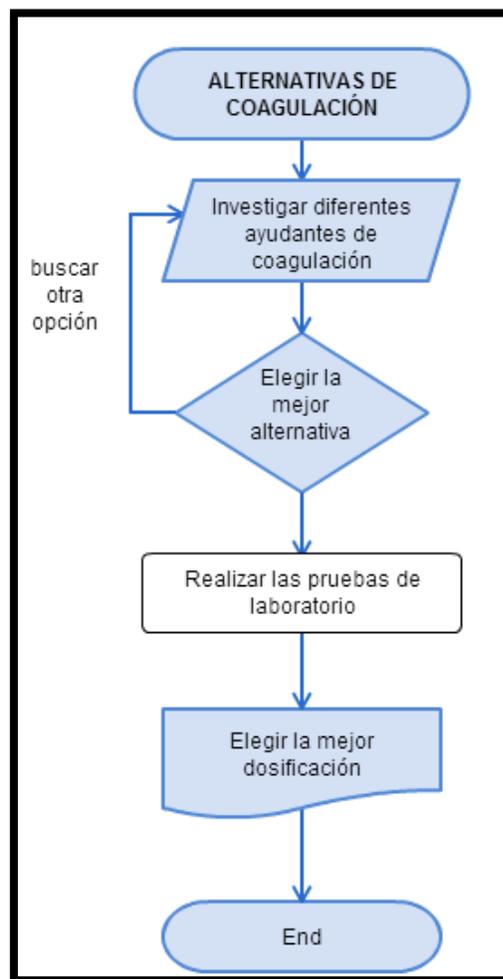


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología empleada. Fuente: Elaboración propia.

2. MARCO TEÓRICO

El agua es uno de los compuestos más importantes en la vida. Esta sustancia es indispensable para el ser humano y debido a su estructura química es el solvente universal. Como se encuentra en la naturaleza, este recurso no es apto para el consumo humano, debido a la presencia de microorganismos patógenos capaces de generar enfermedades; el agua potable es el tipo de agua que puede ser consumida gracias a procesos de tratamientos químicos y físicos; este tipo de tratamiento se rige bajo una normatividad técnica y de calidad a nivel internacional.

2.1 MARCO CONCEPTUAL

El agua potable es el tipo de agua apta para consumo humano, se convirtió en uno de los aspectos más esenciales para el ser humano; es lamentable saber que en la actualidad gran parte de la humanidad carece de este vital recurso. El agua contaminada es más que un agua sucia, este vital recurso consigue albergar miles de microorganismos patógenos que pueden ser mortales, la mayoría de enfermedades virales se pueden relacionar con el consumo de agua contaminada.

Realizar el tratamiento tiene un costo que por lo general lo realiza una empresa asociada al estado la cual es la encargada de distribuirla a la comunidad, para las personas que no cuentan con facilidad de acceso o carecen de infraestructura obtienen este recurso mediante empresas privadas por medio de carro tanques. Los costos dependen de varios aspectos como características de las fuentes de abastecimiento, demanda, infraestructura y estrato social.

La producción del agua se realiza por medio de una cadena de procesos cuya base de selección de alternativas depende de las características físicas y químicas de las fuentes del recurso hídrico. Este proceso se denomina potabilización, el estado ideal del recurso hídrico consiste en que sea incolora, inodora y sin sabor. Esta producción se puede realizar a partir de cualquier fuente del recurso hídrico ya sea

de tipo subterránea como los pozos o superficial como lagos y ríos. El producto de este tratamiento no debe contener sólidos suspendidos y disueltos. No solo es importante el tratamiento que se le da en la fuente de captación, también es importante realizar mantenimientos y controles a las redes de acueducto debido a que son agentes de corrosión y pueden afectar la calidad del agua.

2.1.1 Fuentes de abastecimiento

El recurso hídrico se encuentra en la superficie terrestre en gran proporción, la cual se divide en agua dulce y agua salada. El agua salada está presente en mayor porcentaje que el agua dulce que solo corresponde al 2%; una proporción de esta agua dulce se encuentra en las capas glaciares, ríos, lagos, lagunas y subterráneamente (Ver figura 3). Gracias al ciclo del agua estos acuíferos se pueden reabastecer continuamente, pero este reabastecimiento depende de diferentes patrones naturales como la precipitación y la conservación de los ecosistemas. El agua no es un recurso que se pueda crear pero si se le realiza el debido tratamiento podría ser un recurso inagotable, aunque se encuentra en el planeta Tierra en un gran porcentaje, sólo una pequeña porción es apta para el consumo humano.

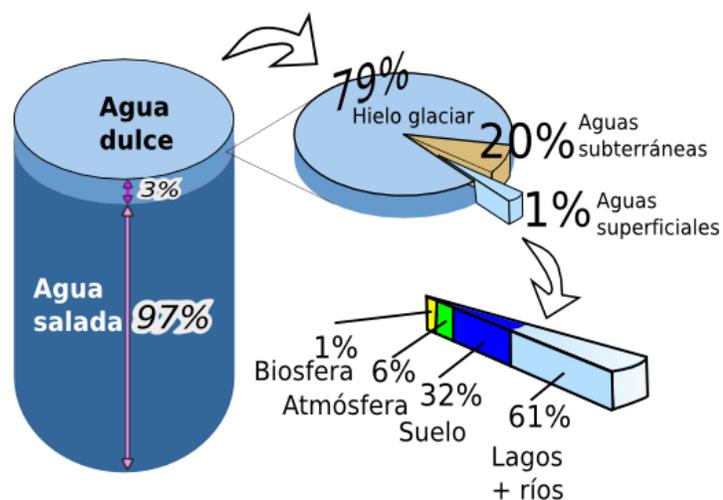


Figura 3. Proporción de agua en la tierra. Fuente: <http://cmapspublic.ihmc.us/>.

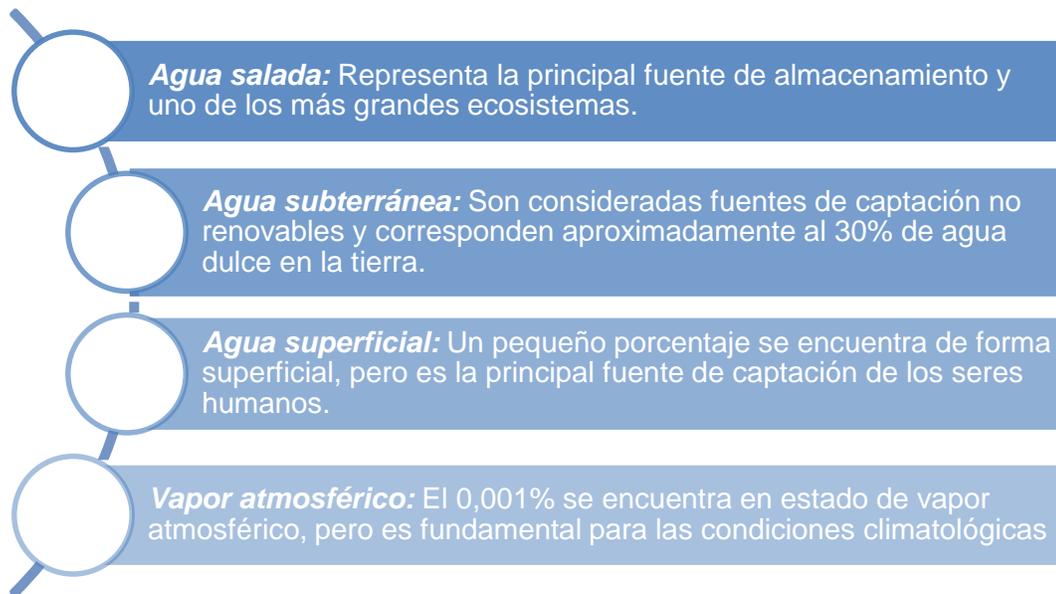


Figura 4. Fuentes de abastecimiento. Fuente: Elaboración propia (Ciencias, 2015).

2.1.2 Tratamiento del agua potable

La contaminación en agua se puede identificar fácilmente mediante pruebas de olor, sabor y color, pero requiere de otras pruebas para realizar el correspondiente tratamiento y así dejarla apta para el consumo humano. Los contaminantes son bacterias, patógenos, parásitos y virus; son organismos vivos de fácil propagación pero los contaminantes generados por los residuos industriales y agrícolas, pueden contener metales pesados, insecticidas y fertilizantes, capaces de generar fuertes alteraciones a la salud humana. La mejor forma de prevenir enfermedades asociadas a este recurso hídrico se basa en buenas medidas sanitarias que detienen propagación de estos microorganismos.

Existen cuatro tipos de plantas de tratamiento las cuales son:

- Plantas de Tratamiento Convencional
- Plantas de Tratamiento Compactas
- Plantas de Tratamiento Modular
- Plantas de Agua Residual

Las plantas convencionales realizan un tratamiento integrado y para seleccionar el tipo de tratamiento se realizan pruebas de laboratorio. A estas plantas se les denomina (PTAP), tienen como objetivo eliminar los microorganismos, sustancias químicas y otros componente que sean nocivos para la salud de los seres humanos; deben operar continuamente para ello se construyen mínimo dos unidades para cada proceso, el volumen de almacenamiento debe ser mayor a la demanda máxima diaria para el periodo de diseño.

Esquema de funcionamiento de la PTAP:



Figura 5. Esquema de tratamiento. Fuente: elaboración propia.

- **Almacenamiento de agua cruda:** Este almacenamiento se realiza para las épocas de sequía, cuando en las fuentes de abastecimiento, se presentan reducciones de caudal o contaminación accidental. En este almacenamiento previo se pueden remover algunos sólidos suspendidos; pero puede favorecer el desarrollo de organismos como algas y hongos.
- **Pre-cloración:** Se recomienda en la mayoría de los casos para obtener una mejor calidad de agua, aunque no reduce el color, facilita las condiciones a

tratar en los otros procedimientos. Destruye parcialmente gérmenes y bacterias y elimina significativamente el sabor. Sin embargo se pueden generar subproductos llamados trihalometanos (THM), los cuales se forman cuando se emplea el cloro como desinfectante, produciendo efectos negativos sobre la salud como el cáncer y determinados defectos de nacimiento en recién nacidos (CSB, 2015).

- **Aireación:** No siempre es necesario realizar este procedimiento; solo cuando el agua contenga gases en exceso, por lo general son de origen subterráneo y cuando necesite de oxígeno para realizar otras reacciones químicas durante el proceso.
- **Coagulación:** Es un proceso químico encargado de la desestabilización eléctrica de las partículas que forman la turbiedad y el color, mediante la adición de sustancias químicas aglutinantes. (Chaparro, 2014)
- **Floculación:** Proceso físico que consiste en una agitación suave y de forma continua cuyo objetivo es la formación de flocs para realizar posteriormente su remoción con mayor facilidad.
- **Sedimentación:** Este es un proceso físico en el cual se realiza una remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión de un volumen de agua cuando el peso específico es mayor que el del fluido y también está limitado a diferentes características.
- **Filtración:** Se realiza por un medio poroso para remover las partículas y los coloides suspendidos, el fluido pasa por estos medios mejorando sus características para una mejor desinfección.
- **Desinfección:** Es la encargada de la desactivación o eliminación de microorganismos patógenos presentes en el agua; se logra por medio de agentes químicos.

2.1.3 Coagulación

Este es uno de los procedimientos más importantes, porque facilita a los demás debido a que es un sistema integrado, se realiza mediante la adición de sustancias

químicas con el fin de remover color, turbiedad, eliminar bacterias, microorganismos, destrucción de algas y otros tipos de sustancias. Este procedimiento inicia al momento de mezclar el fluido con sales de aluminio o de hierro (Chaparro, 2014). Se divide en dos tipos de reacciones:

- a) Reacciones Químicas: Mezcla del fluido con el coagulante seleccionado.
- b) Reacciones Físicas: Transporte del fluido mezclado con sustancias salinas mejorando el contacto.

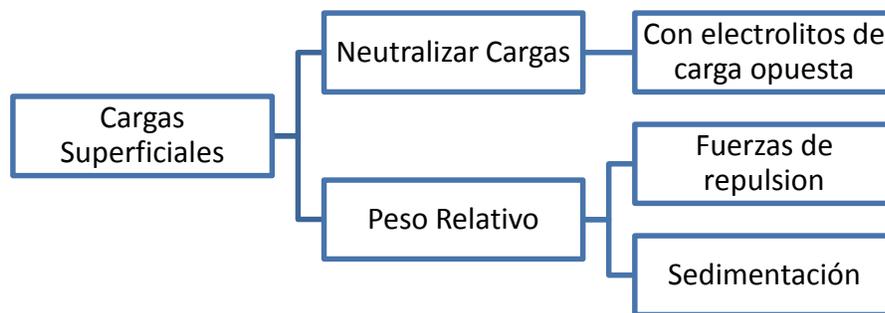


Figura 6. Esquema del proceso de coagulación. Fuente: Elaboración propia.

Tiene una característica particular y es que no puede ser corregida posteriormente, en caso de no obtener los resultados deseados. Las características que influyen durante el proceso se centran en las características químicas y físicas del agua, donde por medio de pruebas de laboratorio se determina la dosificación del coagulante y se escogen otros tipos de parámetros como el punto de aplicación, el tiempo, la intensidad y el dispositivo de mezcla.

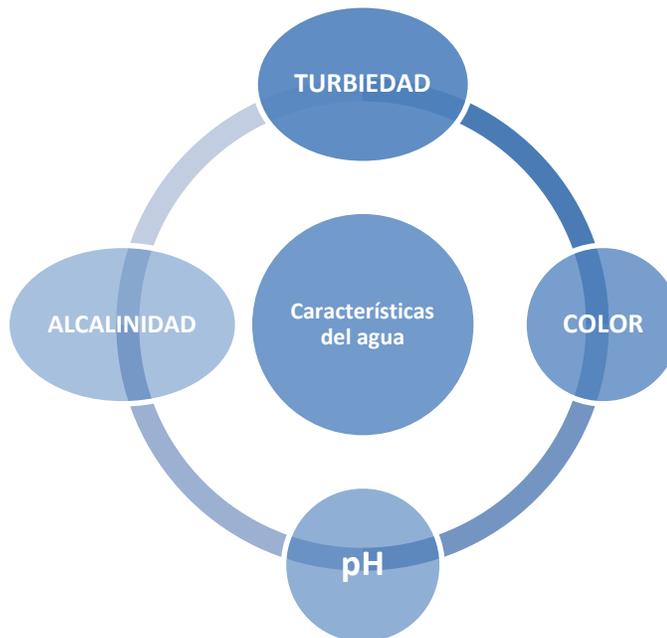


Figura 7. Características del agua. Fuente: Elaboración propia.

Productos químicos: Existe una gran cantidad de productos químicos capaces de favorecer este procedimiento a continuación se mostraran los más utilizados en la Tabla:

Productos químicos	Función
Ácido clorhídrico	Ajuste de pH
Ácido peracético	Oxidación
Ácido fluosílico	Fluoración
Harina de maíz o yuca	Auxiliar de floculación y filtración
Amonio	Formación de Cloraminas
Cal virgen	Ajuste de pH y estabilización
Cal hidratada	Ajuste de pH y estabilización
Carbonato de sodio	Ajuste de pH y estabilización
Carbón activado	Remoción de sabor, olor y compuestos orgánicos
Cloruro férrico	Coagulación
Cloro	Desinfección y oxidación
Dióxido de carbono	Re-carbonatación y ajuste de pH
Dióxido de cloro	Desinfección y oxidación
Fluoruro de calcio	Fluoración
Hidroxiclорuro de aluminio y hierro	Coagulación
Hipoclorito de calcio y de sodio	Desinfección y oxidación

Ozono	Desinfección y oxidación
Permanganato de potasio	Desinfección y oxidación
Peróxido de hidrogeno	Desinfección y oxidación
Polímeros sintéticos	Auxiliar de coagulación, floculación y filtración
Soda caustica	Ajuste de pH
Sulfato de aluminio	Coagulación
Sulfato de amonio	Formación de Cloraminas
Sulfato de cobre	Control de algas
Sulfato ferroso	Coagulación
Sulfato férrico	Coagulación

Tabla 8. Principales productos empleados en la coagulación. Fuente: (Chaparro, 2014)

Dosificación: Los coagulantes más utilizados son los coagulantes metálicos como sulfato de aluminio y cloruro de poli-aluminio; pero también existen los coagulantes polielectrolitos. Se presentan a continuación las características principales de los coagulantes más utilizados:

- **Cal hidratada:** Se utiliza en plantas de medio a pequeño porte ($Q < 1\text{m}^3/\text{s}$). Su mezcla se lleva a cabo en tanques y posteriormente a los dosificadores.
- **Cal Virgen:** Se utiliza cuando el consumo de cal es considerablemente alto o en estaciones de gran capacidad ($Q > 1\text{m}^3/\text{s}$)
- **Sulfato de aluminio:** Tiene diferentes presentaciones como líquido, en polvo y granular; en la mayoría de los casos la dosificación se realiza por gravedad.
- **Hipoclorito de Sodio:** La presentación es de tipo líquida.
- **Hipoclorito de Calcio:** Se encuentra comercialmente en forma granulada.

La dosificación se basa en el medio de suministro de una determinada sustancia química al fluido a tratar y se realiza mediante el ensayo del Test de Jarras. Este laboratorio es capaz de mostrar cual es la dosis de coagulante que proporcionara una desestabilización más rápida para permitir la formación de floc deseado. Los dosificadores tienen la cualidad de utilizar el producto químico en cualquier estado es decir dosificadores en seco (polvo) y dosificadores en solución.

2.1.4 Materiales naturales usados como coagulantes

La naturaleza es lo más importante que el ser humano debe cuidar, proporciona miles de productos que ni la tecnología ha podido superarlos, existen tantos productos que son desconocidos por un gran porcentaje de la humanidad. Los productos naturales que se usan como coagulantes son derivados de semillas, plantas, raíces, flores y frutos, se usan para reducir la turbidez, microorganismos, ablandar el agua etc. (Guzmán, 2013)

Los coagulantes naturales más conocidos en Colombia, usualmente son utilizados en actividades ajenas al tratamiento del agua. Como por ejemplo una planta muy reconocida últimamente por sus beneficios a la salud; la Moringa una planta no toxica de origen tropical, aunque no es de origen colombiano es muy comercial en este país y es uno de los coagulantes con más investigaciones asociadas al tratamiento del agua como coagulante natural.

A continuación se relacionaran en la tabla los coagulantes más comunes:

Nombre	Uso
Taninos	Curtido de pieles
Cactus	Grandes fuentes de retención de agua
Moringa	Planta de origen tropical, presta beneficios para la salud del ser humano
Algas	Utilizadas en la comida tradicional japonesa
Almidón	Estabilizante, emulgente y gelificante

Tabla 9. Coagulantes naturales más comerciales. Fuente: (Guzmán, 2013).

2.1.5 Almidón de yuca

La yuca se utiliza principalmente como alimento para el ser humano, pero se han descubierto otros tipos de usos como la extracción del almidón. Este almidón es un polímero.

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es una especie de raíces amiláceas que se cultiva en los trópicos, es uno de los productos más utilizados en los países latinoamericanos este producto es originario de América tropical y aproximadamente antes de 1600, los exploradores portugueses la llevaron a África y Asia. "La yuca se siembra hoy en 92 países donde alimenta a más de 500 millones de personas". (Alarcón, 2015)

No se debe considerar simplemente como un cultivo para consumo humano, puesto que una parte apreciable de la producción es procesada y se mercadea convertida en almidón y en otros productos (Cock, 1989).

El almidón es el carbohidrato más importante en la actividad humana por su función alimenticia y por sus múltiples aplicaciones en la industria y el comercio. Es el carbohidrato de mayor abundancia después de la celulosa, representa una de las importantes reservas de energía de las plantas además se encuentra diversas fuentes una de ellas es los cereales. Los almidones de raíces y tubérculos son más fáciles de obtener debido a su sencillo procedimiento; su obtención sólo requiere de molienda, tamizado, separación con agua, sedimentación y secado (Ver figura 7) (CSB, 2015).

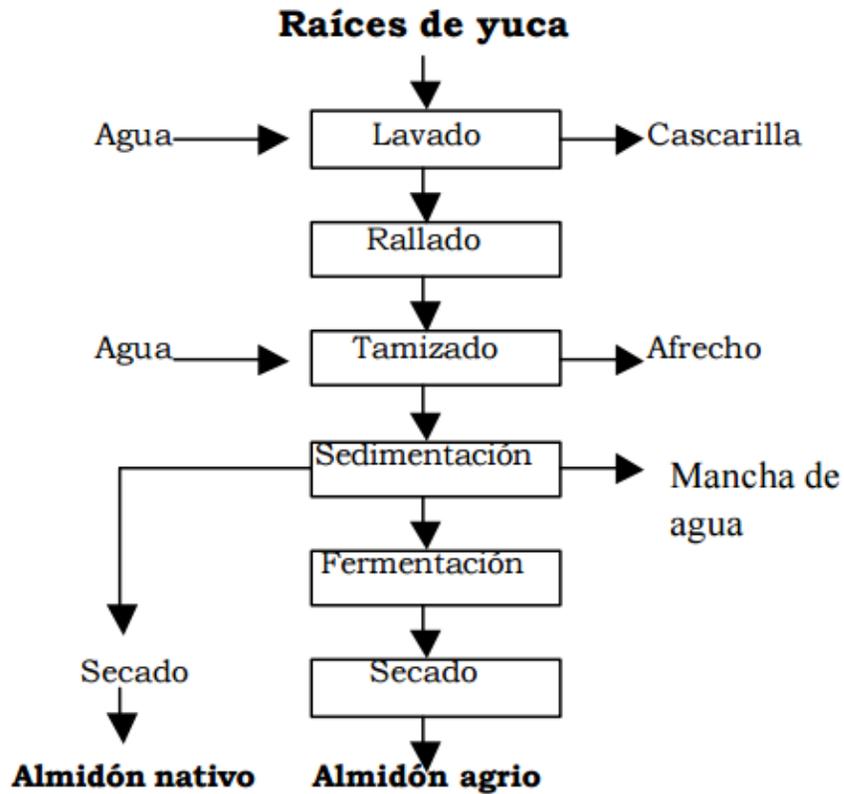


Figura 8. Diagrama del proceso de extracción de almidón de yuca. Fuente: (CSB, 2015)

El almidón es de fácil comercialización y es un producto muy versátil en el mercado actual; a continuación se representan en la tabla 8 otros diferentes usos del almidón de yuca.

Uso	Descripción
Industria de Alimentos	Se usa solo o mezclado, en la elaboración de macarrones y de diversas harinas; con éstas se preparan pudines, pasteles, galletas, obleas, bizcochos, almojábanas, cremas, helados, sopas, ensaladas, embutidos y otros productos

	alimenticios.
Industria del Papel	Se denomina almidón no modificado (almidón-NM). El tratamiento que recibe este producto comprende tres operaciones: el refinado (o tamizado), la purificación (operación estrictamente industrial) y el secado.
Pegantes	Es la materia prima de las bases pegantes con que se elaboran ya sea productos adhesivos o pegantes económicos.
Industria Textil	Es el ingrediente más abundante y económico de su tipo; por tal motivo es el más utilizado, tiene dos características importantes sólo con él pueden tratarse los tejidos muy blancos y se degrada menos que el almidón proveniente de otras fuentes. Un tejido puede engomarse de manera temporal o permanente.
Industria Química	Se usa en la para obtener alcoholes, glucosa y acetona; para fabricar explosivos, colorantes, pilas secas e impresiones dentales; y en la coagulación del caucho.
Industria Minera	Se usa en minería como floculante y como componente de las soluciones empleadas en la perforación de pozos de petróleo.

Figura 9. Usos para el almidón de yuca. Fuente: elaboración propia; (Alarcón, 2015).

2.2 MARCO CONTEXTUAL

La Empresa Aguas de Facatativá tiene como objeto social la prestación de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado, Aseo, como desarrollo de su objeto ejecutan todas las actividades conexas y complementarias según Capítulo 1 Artículo 4 del Acuerdo 012 de Abril 06 del 2009 emitido por el Consejo Municipal de Facatativá.

Cumple con las expectativas de los consumidores a través de la prestación de servicios de acueducto, alcantarillado, aseo y servicios complementarios, calibración de medidores de agua potable fría, análisis de agua para el consumo humano.



Figura 10. Aguas de Facatativá. Fuente: Elaboración propia.

Cuentan con la tecnología adecuada y funcionarios idóneos con actitud de servicio que direccionan a la organización hacia la mejora continua de la eficacia, la eficiencia y la efectividad de los procesos, preservando y manteniendo el equilibrio del recurso hídrico. Además brindan servicios con calidad aplicando buenas prácticas profesionales, cumpliendo con las normas NTC ISO 9001, NTC ISO IEC 17025, NTC GP1000, MECI y requisitos de ley aplicables.

El siguiente esquema representa el organigrama de la empresa:

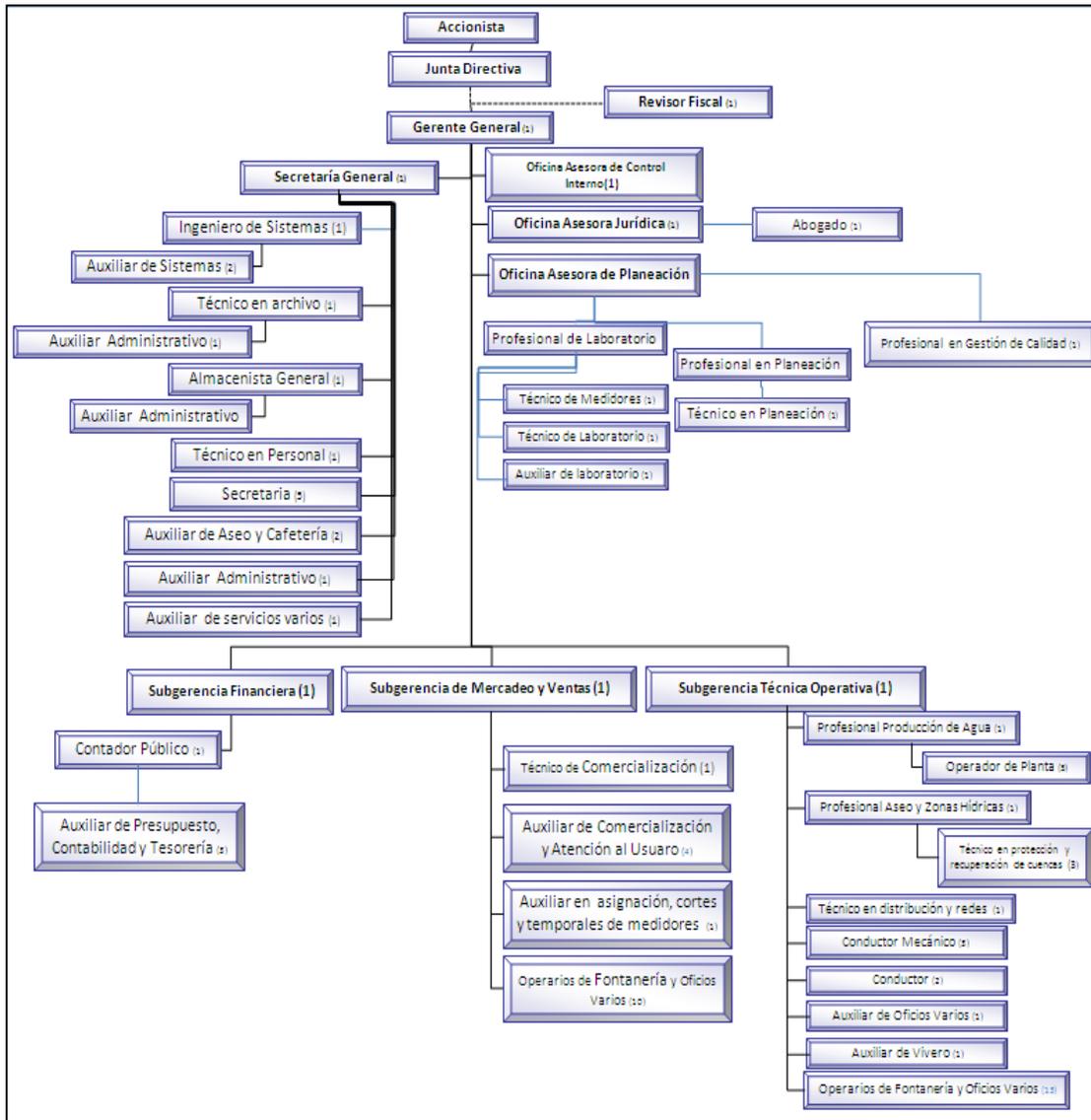


Figura 11. Organigrama de la EAF. Fuente: (Bolívar, 2013)

2.2.1 Descripción de los procesos

Según el equipo de trabajo de la planta de tratamiento de la empresa y a falta de documentación escrita, se realizó una recolección de información referente a los procesos que se realizan durante el tratamiento.

Acueducto: El sistema de acueducto del Municipio de Facatativá, se abastece de manera complementaria de fuentes superficiales y subterráneas. Como fuentes superficiales se emplean las aguas del Río Botello y la quebrada Mancilla, las cuales se captan por medio de 4 embalses superficiales, denominados gatillo 0, 1, 2 y 3, las aguas subterráneas se captan a través de 7 pozos: Cartagenita, Manablanca, Deudoro Aponte, Guapucha II Y III, Y San Rafael II Y III.

Dentro del proceso de tratamiento de agua se realizan actividades de aireación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección del agua, con el fin de proceder a distribuir agua potable a la población que cumpla con todas y cada una de las especificaciones que contempla el Decreto 1575 del 2007. La Empresa Aguas de Facatativá abastece a todo el casco urbano del Municipio de Facatativá con excepción de 1.293 usuarios, los cuales son atendidos por la asociación de usuarios del sector – TRIPLE A DE CARTAGENITA.



Figura 12. PTAP Facatativá. Fuente: Elaboración propia

Alcantarillado: El casco urbano del municipio de Facatativá se divide actualmente en dos grandes sectores para la prestación del servicio de alcantarillado. El primero, el sector central o antiguo del municipio y sus alrededores con aproximadamente el 85% de la población urbana, la cual cuenta con alcantarillado combinado y conduce sus aguas hasta la planta de tratamiento PTAR I SECTOR SANTA MARTA.

El segundo sector, Cartagenita, parte de Manablanca Y Santa Marta, con el 15% restante de la población, vierte todas sus aguas al cauce del río Botello.

En la actualidad el municipio de Facatativá cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados ubicada a 1,5 km del casco urbano, cuenta con dos zanjones de oxidación de los cuales uno de estos salió de servicio en el proceso de optimización de la planta en el año 2007. Esta PTAR Faca I, recibe todas las aguas servidas de toda la zona central de Facatativá. La planta se terminó de construir en el año 1997 por la Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR, para un caudal máximo de diseño de 187 L/s y en la actualidad está bajo la operación de la Administración Municipal.

La empresa, presentó en el mes de febrero de 2007 ante la CAR el plan de saneamiento y manejo de vertimientos PSMV; y se atendieron las observaciones y requerimientos por parte de la corporación en Septiembre de 2009. A la fecha se encuentra aprobado el PSMV por medio de la Resolución 909 del 11 de Abril del 2011 (Santos, 2007).

Aseo: El servicio de aseo es operado actualmente por la empresa de Servigenerales SA ESP, bajo la interventoría de una firma especializada, quien a su vez es vigilada por la empresa. El objeto del contrato es la operación especializada del servicio público de aseo en los componentes de barrido y limpieza de vías y áreas públicas, recolección y transporte hasta el sitio de disposición final, mantenimiento de áreas verdes y gestión comercial en el área urbana, en la zona rural y centros poblados del municipio de Facatativá. Este servicio en la zona de Cartagenita es prestado por la Asociación de usuarios – TRIPLE A CARTAGENITA.

El contrato involucra los elementos esenciales para la prestación del servicio de aseo de forma eficaz, como: procesos para la prestación del servicio, personal, equipos y herramientas, horarios y frecuencias de acuerdo con las condiciones presentes (Bolívar, 2013).



Figura 13. Servigenerales Facatativá. Fuente: www.servigeneralesfacatativa.com

Servicio de laboratorio de medidores: La empresa cuenta con un laboratorio de calibración de medidores por método gravimétrico. La alta dirección de la empresa ha definido para la prestación de los servicios de calibración y ensayos, se encuentra referenciado en el formato E-SG01.

Con el fin de garantizar la independencia e imparcialidad durante la realización de los ensayos y calibraciones y prevenir que los funcionarios involucrados en la prestación del servicio de laboratorio sedan ante influencias y presiones que puedan tener impacto negativo en la calidad de su trabajo, garantizando su confidencialidad con el manejo de la información, evitando su participación en actividades que comprometan la competencia, juicio e integridad operativa se delega la responsabilidad para la dirección técnica al profesional de laboratorio.



Figura 14. Laboratorio de medidores. Fuente: www.acueductofacatativa.com.

Servicio de laboratorio de aguas: La empresa en el año 2005 construyó, amplió y remodelo el laboratorio de aguas para garantizar un ambiente de trabajo limpio, confortable y seguro; con fuentes de energía, iluminación y con condiciones ambientales que facilitan el correcto desempeño de los ensayos y que avalan el control de la calidad del agua que llega a los usuarios.



Figura 15. Laboratorio de aguas. Fuente: [/www.acueductofacatativa.com](http://www.acueductofacatativa.com).

Venta de agua y servicio de carro-tanque: Entiéndase esta venta de agua como el servicio que presta la empresa, transportando el agua potable en carro tanque. La empresa cuenta con este medio de transporte en tanque de acero inoxidable que permite trasladar 8.5 m³ de agua tratada, para ser suministrada a las veredas y comunidades que la necesiten, y llevarla a los sitios donde no llegan las redes de acueducto. Esta venta se hace también a otras empresas y asociaciones de acueductos.

Prestación del servicio equipo succión presión: La empresa cuenta con dos equipos de succión presión de alta tecnología que le permite prestar un servicio especializado en limpieza de pozos sépticos y estructuras sanitarias (redes de alcantarillado). Este servicio lo proporciona la empresa a los usuarios y a los municipios vecinos o a quienes lo requieran, siempre y cuando cumplan con las condiciones técnicas y de seguridad necesaria para su funcionamiento.



Figura 16. Vector de la empresa Aguas de Facativá. Fuente: Elaboración Propia.

Vivero: Mediante acuerdo 018 de 1999 emitido por el concejo municipal, le fue delegado a la Empresa Aguas de Facativá, Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios EAF SAS ESP, el cuidado y manejo ambiental de las cuencas hidrográficas.

Para dar cumplimiento a lo establecido en el acuerdo y lograr el objetivo, se construyó un vivero con la infraestructura adecuada para la producción técnica de especies forestales nativas con existencias suficientes para suministrarles a los interesados a precios de fomento con el fin de ampliar la cobertura forestal.



Figura 17. Vivero EAF. Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Descripción de los procedimientos en la planta

La llegada de las aguas se hace a dos estructuras diferentes. Las aguas de los pozos profundos llegan al aireador de cascada y las aguas de la fuente superficial a la cámara de quietamiento.

AIREACIÓN: Para realizar la aireación del agua cruda captada en los pozos profundos referidos se tiene dos (2) estructuras conocidas como *aireadores tipo cascada* operando en paralelo, los cuales consisten en una serie de escalones por donde el agua cae con una lámina delgada y a alta velocidad, aumentando su contacto con el aire y por ende con el oxígeno del mismo provocando un aumento en la concentración de oxígeno disuelto y produciendo la oxidación de los iones anteriormente mencionados precipitándolos.

Estas estructuras están construidas en concreto reforzado y en su parte superior tienen un canal o cámara de quietamiento donde llega el agua bombeada desde los pozos profundos, el cual mide 4,25 m de largo, 0,80 m de ancho y 0,50 m de profundidad, de allí el agua sale por rebose en un vertedero rectangular de cresta

gruesa con 4,25 m de ancho y 0,06 m de carga sobre la cresta y va cayendo por seis (6) escalones de 0,30 m de huella y 0,30 m de contrahuella hasta caer o entrar a la cámara de quietamiento principal, la cual consisten en un canal rectangular que tiene 4,25 m de largo, 1,00 m de ancho y 3,84 m de profundidad. El aireador No 1 se encuentra a un nivel más alto que el aireador No 2 y el primero descarga en caída libre sobre la cámara de quietamiento del segundo.

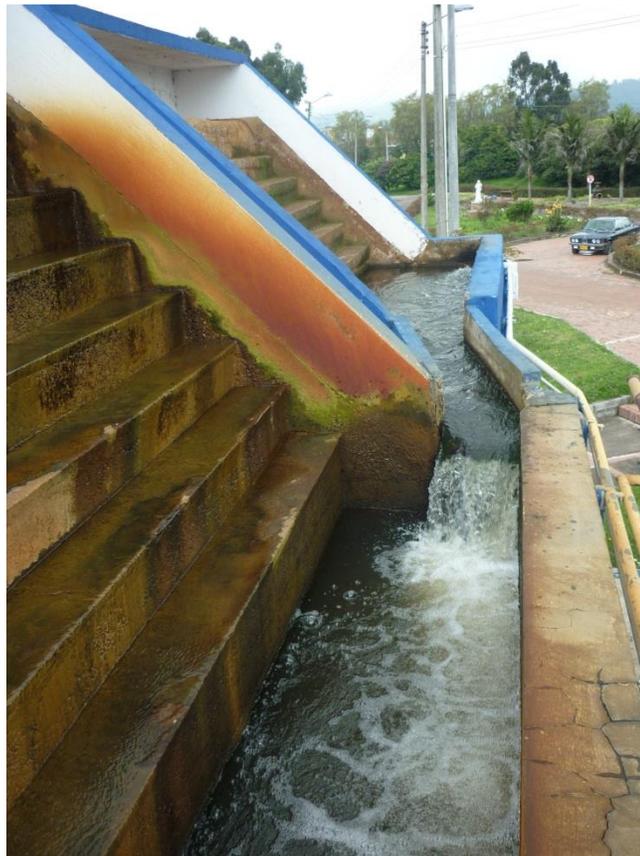


Figura 18. Aireador y cámara de quietamiento. Fuente: elaboración propia.

CÁMARA DE QUIETAMIENTO: Las aguas bombeadas del Embalse El Gatillo llegan por la parte inferior de una cámara de quietamiento de sección de 4,25 x 1,00 m con una altura de 3,98 m, La cámara está colocada inmediatamente después del último escalón del aireador y cumple también con la función de mezclar las aguas aireadas de los pozos con las aguas del embalse.

De la cámara de quietamiento sale un canal de 0,85 m de ancho y 0,91 m de altura, al final del cual se coloca una canaleta Parshall para medición y mezcla. El canal va exteriormente adosado al exterior del Floculador. (Santos, 2007)

COAGULACIÓN: El proceso de coagulación mezcla rápida consiste en desestabilizar electrostáticamente mediante la dosificación de una sustancia denominada “Coagulante” para que los coloides que van suspendidos en el agua afluyente a la PTAP se aglomeren formando partículas más grandes y de mayor densidad que la del agua llamadas “Flocs” y sean decantadas en un posterior proceso de sedimentación.

El coagulante aplicado al agua en la PTAP “El Gatillo” es Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) tipo 3 líquido, además este proceso requiere que al agua se le suministre una cantidad de energía tal que se genere una turbulencia que favorezca la mezcla entre el coagulante y la masa de agua para que la desestabilización se haga lo más eficiente posible.

En la PTAP “El Gatillo” la turbulencia requerida o resalto hidráulico es creado mediante una canaleta Parshall de 0,30 m de ancho de garganta y ubicada en el canal que transporta el agua desde la cámara de quietamiento hasta los floculadores, la cual además de cumplir con este propósito también sirve como dispositivo de aforo del caudal de ingreso a la planta en un rango entre 3,11 L/s y 455,60 L/s y generando un gradiente de velocidad para el caudal de diseño (280 L/s) de $2175 s^{-1}$.



Figura 19. Canaleta Parshall. Fuente: Elaboración propia.

FLOCULACIÓN: El proceso de floculación consiste en mezclar o agitar lentamente la masa de agua para que se favorezca la aglomeración, mediante diferentes mecanismos, de los coloides desestabilizados en el proceso de coagulación anterior; de tal forma que se formen partículas de mayor peso y densidad que el agua, denominadas “*Flocs*” para que puedan ser decantados en un proceso de sedimentación posterior.

En la PTAP “El Gatillo” existen dos (2) estructuras o unidades de floculación tipo “*Alabama*” construidas en concreto reforzado y que operan en paralelo, pero no tiene codos girados hacia arriba sino tabiques en concreto que hacen la misma función de los codos cuando a través de ellos pasa la masa de agua, cada unidad trata teóricamente la mitad del caudal que ingresa al sistema y miden 4 m de ancho,

14,96 m de largo y una profundidad promedio de 3 m, con un tiempo de retención nominal para el caudal de diseño (280 L/s) de 18,70 min. Cada unidad de floculación cuenta con tres (3) zonas diferenciadas por el gradiente de velocidad generado en cada una: para el caudal de diseño en la zona 1 se genera un gradiente de velocidad de $40,1 \text{ s}^{-1}$, en la zona 2 se genere un gradiente de $29,6 \text{ s}^{-1}$ y en la zona 3 se genera un gradiente de velocidad de $20,7 \text{ s}^{-1}$, la zonas se enumeran en el sentido del flujo, nótese que el gradiente va disminuyendo para que el floc que se forma no se rompa y la sedimentación posterior se dé con buena eficiencia.

Se tiene que cada zona en las unidades de floculación están compuestas por cámaras por donde fluye el agua y se genera el gradiente de velocidad requerido de acuerdo con las dimensiones de las mismas: en la zona 1 existen siete (7) cámaras de 1,41 m de largo y 1,20 m de ancho y el espacio que simula el codo tiene una altura de 1,20 m de ancho y 0,46 m de altura; en la zona 2 existen diez (10) cámaras de 1,41 m de largo y 1,20 m de ancho y el espacio que simula el codo tiene una altura de 1,20 m de ancho y 0,59 m de altura y en la zona 3 existen siete (7) cámaras de 2,16 m de largo y 1,20 m de ancho y el espacio que simula el codo tiene una altura de 1,20 m de ancho y 0,69 m de altura.



Figura 20. Floculador EAF. Fuente: Elaboración propia.

SEDIMENTACIÓN: El proceso de sedimentación consiste en decantar por acción de la gravedad los flocs formados en el anterior proceso de floculación. En la PTAP “El Gatillo” existen dos (2) estructuras o unidades de sedimentación convencional o de flujo turbulento operando en paralelo y dos (2) estructuras o unidades de sedimentación de alta tasa o de flujo laminar operando también en paralelo.



Figura 22. Sedimentadores EAF. Fuente: Elaboración propia.

FILTRACIÓN: El proceso de filtración consiste en hacer pasar la masa de agua que proviene de las unidades o estructuras de sedimentación por un lecho poroso con diferentes granulometrías, la cual va aumentando en el sentido del flujo, con el objeto de remover la turbiedad o partículas que no alcanzaron a ser removidas en el proceso de sedimentación.

En la PTAP “El Gatillo” del municipio de Facatativá-Cundinamarca este proceso se realiza mediante cuatro (4) filtros de tasa declinante, es decir, la entrada del agua a las estructuras se realiza de manera sumergida y que la pérdida de carga en ellos va aumentando a medida que los lechos se van colmatando; estas unidades están dispuestas para operar en paralelo tratando cada una teóricamente un cuarto del caudal total que ingrese al sistema de tratamiento y tienen sistema de autolavado.

Cada filtro posee en su lecho filtrante una capa de grava que funciona como lecho de soporte (0,40 m), una capa de antracita (0,45 m) y otra de arena (0,20 m) con falso fondo tipo californiano con de viguetas invertidas en V; también tienen un área efectiva de filtración de 21,60 m², representada en un ancho de 3,00 m y un largo de 7,20 m; y están diseñados para trabajar con una carga mínima sobre el lecho filtrante de 0,60 m.



Figura 23. Filtros EAF. Fuente: Elaboración propia

DESINFECCIÓN: Este proceso consiste en la dosificación de una sustancia o agente desinfectante al agua filtrada para que este destruya o inactive los microorganismos patógenos que puedan estar presentes y producir un efecto residual para proteger la calidad del agua tratada en su tránsito por las redes de distribución. La desinfección en la PTAP “El Gatillo” se realiza aplicando una dosis de cloro gaseoso (Cl₂) al agua en el canal de agua filtrada mediante un sistema de dosificación automatizado.



Figura 24. Desinfección EAF. Fuente: Elaboración propia.

PLANTA LA GUAPUCHA: La planta de potabilización La Guapucha es alimentada por dos fuentes de abastecimiento, la superficial proveniente de la Quebrada Mancilla y subterránea el Pozo Guapucha. El sistema está integrado por los siguientes procesos: aireación, cámara de quietamiento, mezcla rápida mediante Canaleta Parshall, floculación tipo Alabama, sedimentación acelerada con placas de asbesto cemento de alta densidad de 1 cm de espesor; filtración descendente por gravedad con filtros a rata constante y autolavado. (Santos, 2007)

ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABILIZADA: En cuanto al almacenamiento de agua potable se cuenta con los tanques de La Guapucha con una capacidad de 2.300 m³, los cuales no cuentan con cubierta y los Tanques de Pueblo Viejo con una capacidad de 3.850 m³ para un total de almacenamiento de 6.150 m³.



Figura 25. Tanque de la Guapucha. Fuente: Elaboración propia.



Figura 26. Tanque de distribución de la EAF. Fuente: Elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN: El agua tratada es distribuida al municipio por gravedad después de un bombeo hacia los tanques de Pueblo Viejo, garantizando un servicio con presiones que cumplen con los requisitos exigidos en el RAS; el municipio de Facatativá cuenta con servicio las 24 horas del día.

El sistema de distribución tiene dos sectores claramente diferenciados, el correspondiente al sector central de municipio y el que corresponde al barrio Cartagenita, donde existe una asociación de usuarios a la cual la EAF SAS ESP le vende el agua por interconexión y ésta se encarga de su distribución y comercialización así como de la operación de las redes.

Los barrios altos del sector norte del municipio reciben el agua directamente de la planta La Guapucha y el resto, de los tanques de almacenamiento de Pueblo Viejo ubicados en la parte alta cercana a la planta Gatillo. Las redes matrices contemplan tuberías con diámetros que van de 16" a 6", las redes secundarias en su mayoría

con diámetros de 4” y 3” y algunas redes menores con diámetro de 2”. El material de las tuberías está compuesta de la siguiente manera: Tuberías en hierro fundido 2.5%, asbesto cemento 33% y PVC 64.5%, en los diferentes diámetros. Se presentan continuos daños en las tuberías de A.C., por el acartonamiento de este material. (Bolívar, 2013).

2.3 MARCO LEGAL

A continuación se representa mediante la tabla 10, un resumen de la normatividad colombiana respecto a la prestación del servicio público y el tratamiento del agua:

NORMA	COMENTARIOS Y OBSERVACIONES
CONSTITUCIÓN POLITICA	
Artículo 366.	<p>El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado.</p> <p>Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable</p>
Artículo 367.	<p>La ley fijará las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta además de los criterios de costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos.</p> <p>Los servicios públicos domiciliarios se prestarán directamente por cada municipio cuando las características técnicas y económicas del servicio y las conveniencias generales lo permitan y aconsejen, y los departamentos cumplirán funciones de apoyo y coordinación.</p> <p>La ley determinará las entidades competentes para fijar las</p>

tarifas.

Artículo 370.

Corresponde al Presidente de la República señalar, con sujeción a la ley, las políticas generales de administración y control de eficiencia de los servicios públicos domiciliarios y ejercer por medio de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el control, la inspección y vigilancia de las entidades que los presten.

RESOLUCIÓN

2115 de 2007

Resolución del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 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

240 de 2004

Por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas

0811 de 2008

En la que los Ministerios de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, fijan los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución

1096 de 2000

El Ministerio de Desarrollo Económico adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

Documento en que se señalan 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 que adelanten las Entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de

acueducto, alcantarillado y aseo o quien haga sus veces.

DECRETO

1575 de 2007

Decreto del Ministerio de Protección Social por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano

1541 de 1978

Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974:

"De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.

3930 de 2010

Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979

Así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

155 de 2004

Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.

4742 de 2005.

Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas

373 de 1997

Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Modificada por la Ley 812 de 2003, publicada en el Diario Oficial No. 45.231, de 27 de junio de 2003, "Por la cual se aprueba el Plan Nacional de Desarrollo 2003-2006, hacia un Estado comunitario".

LEY	
142 de 1994	Ley de competencia, protección de los derechos de los usuarios, define marco de derecho privado de los servicios y reglas básicas de operación de los servicios Intervención del Estado en los servicios públicos, conforme a las reglas de competencia
9 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias
NORMA	
RAS	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Sección II. TÍTULO B Sistemas de Acueducto.

Tabla 10. Normatividad Colombiana. Fuente: Elaboración propia

3. METODOLOGÍA

En Septiembre del 2104 el municipio de Facatativá se vio afectado por la presencia del Fenómeno del Niño, ocasionando sequías generando la disminución de la oferta hídrica para la población del casco urbano; se originaron situaciones de emergencia que afectaron de manera considerable la calidad de vida de la población y el medio ambiente circundante.

Por lo anterior surgió la necesidad de diseñar e implementar procesos que permitan prevenir, mitigar y/o controlar las consecuencias de dichos eventos, por lo que se generó la necesidad de elaborar el *Plan de Contingencias del Fenómeno del Niño*, cuyo objetivo fue el de mejorar los dispositivos de prevención por medio de programas de educación, mantenimiento y planes estratégicos y así orientar las acciones necesarias, para actuar en caso de emergencias.

El plan de contingencia del fenómeno del niño se elaboró teniendo en cuenta las directrices de la Resolución 154 del 19 de Marzo del 2014 “Por la cual se adoptan los lineamientos para la formulación de los Planes de Emergencia y Contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo y se dictan otras disposiciones”.

Durante el desarrollo del plan de contingencia se evidenciaron diferentes necesidades donde principalmente se escogió la opción (d) para darle temprana solución; a continuación se describen las diferentes necesidades mencionadas:

- a) Realizar una actualización de la planta de tratamiento Gatillo, debido a que su infraestructura evidencia problemas estructurales, y la demanda actual del municipio se ha incrementado notablemente por la llegada de varios proyectos de vivienda.
- b) Generar un sistema de tratamiento de lodos que permita realizar un uso adecuado de este producto del tratamiento de la planta debido a que su disposición le está generando gastos económicos a la empresa.

- c) Realizar jornadas del uso eficiente del agua con el fin de concientizar a la población para realizar un consumo eficiente del recurso hídrico y conocer las posibles consecuencias de carácter medio ambiental y de salud pública derivado del posible desabastecimiento de la misma.
- d) Se presentó un desabastecimiento del Sulfato de Aluminio, lo que generó retrasos en el sistema de potabilización, para tal medida y con el objetivo de reducir costos se planteó buscar ayudantes de coagulación natural que mejoraran los residuos de Sulfato de Aluminio en el producto final.

Para mejorar el proceso de coagulación se realizó una recolección de información de los diferentes ayudantes de coagulación natural y se escogió el almidón de yuca por sus características físico-químicas, la facilidad de obtención y su valor económico.

Se procedió a realizar las pruebas de laboratorio utilizando el método del Test de Jarras para identificar la dosificación que represente la mejor formación de flocs en el proceso de coagulación. La prueba de jarras es la técnica más 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. Existe en el mercado una gran variedad de equipos para pruebas de jarras, pero en toda su versatilidad debe radicar en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo y la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (rpm) (Castrillón, 2014).

3.1 PROCEDIMIENTO

Esta prueba de laboratorio busca determinar la dosis apropiada de coagulante que se debe suministrar al agua para optimizar el proceso de sedimentación. En si es la simulación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación con diferentes dosis de coagulante; para establecer cuál es la dosis óptima se hace por

comparación visual y se procede a escoger la muestra en la cual se puedan ver los flocs de mayor tamaño y que presente menor turbiedad.

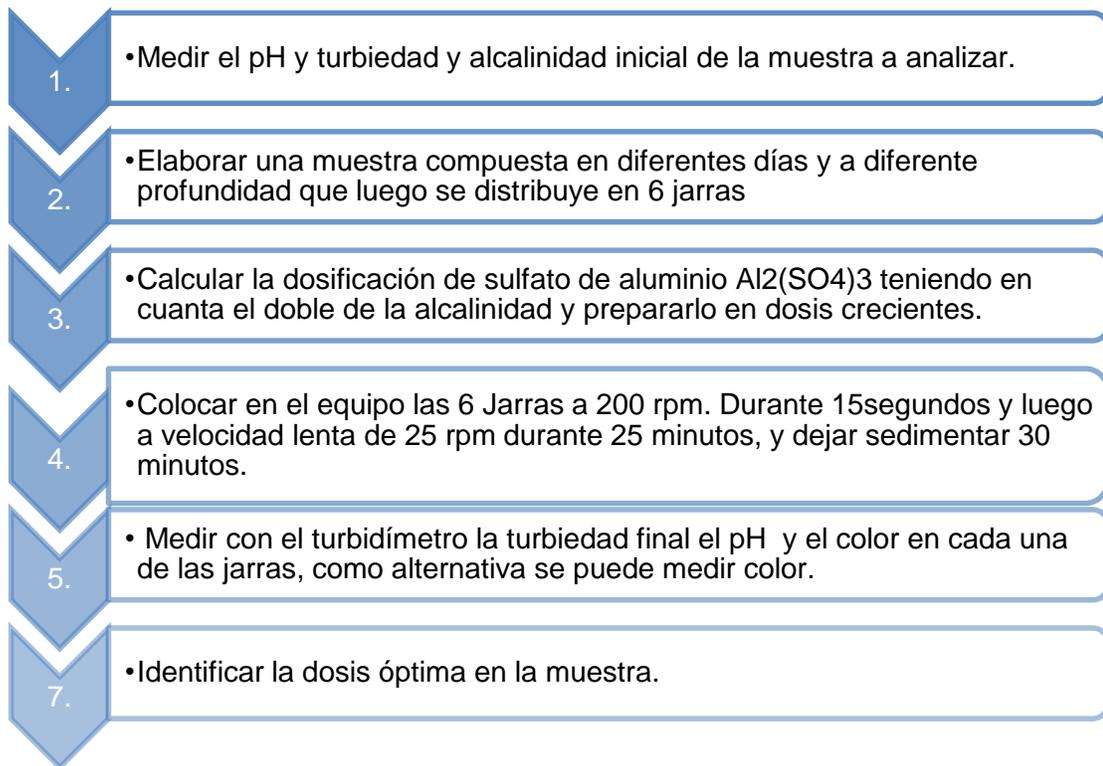


Figura 27. Procedimiento del ensayo del test de jarras. Fuente: Elaboración propia.

3.2 REACTIVOS Y MATERIALES

A continuación se describen los materiales utilizados y una descripción de los reactivos necesarios para el desarrollo del laboratorio:

- 6 L de muestra para analizar:

Es una combinación de muestras individuales de la fuente de captación, se tomaron a intervalos predeterminados con el fin de minimizar los efectos de variabilidad de la muestra individual. La función de las muestras compuestas es la de minimizar el

efecto de las variaciones de la concentración de los elementos que se están analizando.

-Vasos de precipitado (6 de 2000ml):

Estos vasos de precipitado son de vidrio más resistente (Pirex) o de plástico; tienen forma cilíndrica, poseen un fondo plano y están graduados pero no calibrados, esto provoca que la graduación sea inexacta. Poseen componentes de Teflón y otros materiales resistentes a la corrosión y su capacidad varía desde el mililitro hasta litro uno o más litros.

-Turbidímetro:

Instrumento nefelométrico que mide la turbidez causada por partículas suspendidas en un líquido. Haciendo pasar un rayo de luz a través de la muestra se mide la luz reflejada por las partículas en un ángulo de 90° con respecto al rayo incidente. Las lecturas se dan en NTU (Unidades Nefelométrías de Turbidez).

-pH metro:

Instrumento que tiene un sensor (electrodo) que utiliza el método electroquímico para medir el pH de una disolución.

-Pipetas graduadas:

Este instrumento se utiliza para medir o transvasar pequeñas cantidades de líquido. Suelen ser de vidrio con forma de un tubo transparente que termina en una de sus puntas de forma cónica, y tiene una graduación indicando distintos volúmenes.

-Floculador:

Equipo de agitación de 4 o 6 plazas que permite acoplar vasos hasta 1000 ml forma alta o 2000 ml forma baja. Tiene una regulación electrónica digital de la agitación desde 15 a 200 r.p.m. Cuenta con un tiempo de funcionamiento regulable de 1 a

999 minutos o en continuo y unas varillas agitadoras forma pala fija en acero inoxidable. AISI 304, fácilmente intercambiables y regulables en altura.

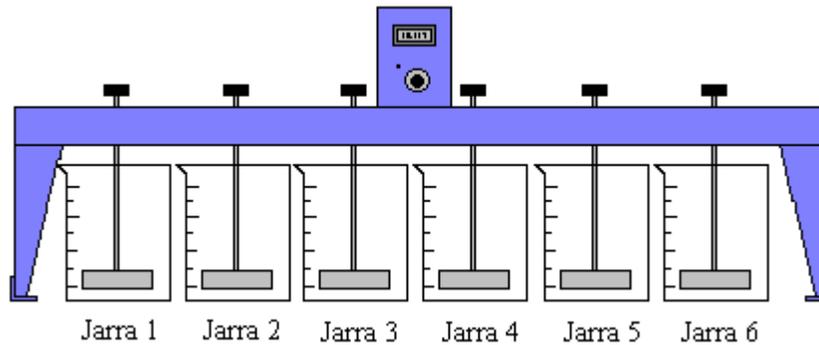


Figura 28. Esquema general del Test de Jarras. Fuente: <http://www.drcalderonlabs.com/>

-Solución stock de sulfato de aluminio/almidón de yuca:

Es una solución cercanamente saturada de Sulfato de Aluminio referida en base seca. El factor de conversión para expresar en base seca el sulfato de aluminio líquido es de 0.46. El almidón en polvo es usado comercialmente para la industria alimenticia.

-Indicador metil-naranja:

Es un colorante azoderivado, con cambio de color de rojo a naranja-amarillo entre pH 3,1 y 4,4. El nombre del compuesto químico del indicador es sal sódica de ácido sulfónico de 4-Dimetilaminoazobenceno. La fórmula molecular de esta sal sódica es $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ y su peso molecular es de 327,34 g/mol.¹ Se usa en una concentración de 1 gota al 0.1% por cada 10 ml de disolución.

3.3 DETERMINACIÓN DEL COLOR

El color es una una medida que le confieren al agua los materiales contaminantes. Para su medición se utiliza la escala de Hazen.

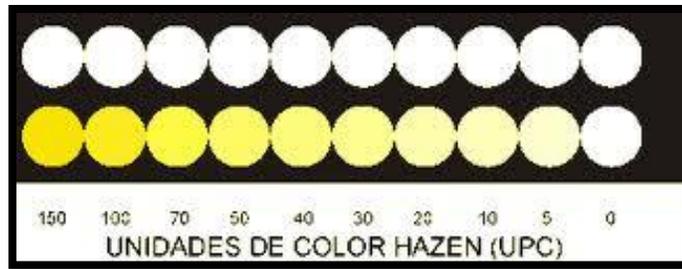


Figura 29. Tabla de unidades de color de HAZEN. Fuente: www.drcalderonlabs.com.

3.4 DETERMINACIÓN DEL PH

Se midió en una probeta graduada, bien limpia y seca 30 mL de solución de ácido acético 0.05 M. Se colocaron 5 mL de solución de ácido acético 0.05 M en cada uno de los seis tubos de ensayo y se agregaron 2 gotas de un indicador diferente en cada tubo, se agitó bien y se observó el color que obtuvo, procedió a comparar con el patrón de colores y se anotó el rango de pH obtenido.

Se midieron en una probeta graduada bien limpia, y seca 30 ml de solución de hidróxido de amonio 0.05 M. Se procedió a colocar 5 ml de hidróxido de amonio en cada uno de los otros seis tubos de ensayo. Se agregaron 2 gotas del indicador diferente en cada tubo y se procedió como en el paso anterior del ácido acético.

3.5 DETERMINACIÓN DE LA TURBIEDAD

Para obtener el parámetro de la turbiedad se puede utilizar un turbidímetro o nefelómetro, el cual es un aparato que hace pasar un haz de luz en una porción del

agua a observar y mide que tanta luz es absorbida por la muestra, de esta manera podemos tener una buena idea de la cantidad partículas suspendidas en ella.

3.6 PROCEDIMIENTO

- a) Se tomaron muestras directamente de la fuente de abastecimiento del municipio "El embalse Gatillo 0"; esta recolección se efectuó en el mes de Noviembre del 2014, a temperatura ambiente promedio de 22°C y a diferente profundidad y luego se mezclaron en un recipiente con una capacidad de 60 litros y se procedió a realizar las pruebas fisicoquímicas iniciales:

Parámetros	Resultados
Turbiedad	70 UNT
Color	85 CU
Temperatura	22°C
pH	6,5

Figura 30. Resultado de los parámetros fisicoquímicos. Fuente. Elaboración propia

- b) El almidón de yuca se obtuvo de una compra en un establecimiento comercial.
- c) Se prepararon dos soluciones de referencia, con 2 ml de Sulfato de Aluminio con una pureza del 98% aproximadamente, en un litro de agua destilada.
- d) Se prepararon dos soluciones de referencia de almidón de yuca, con 2g en un litro de agua destilada.

3.7 OBTENCIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA

Se realizó el procedimiento general del Test de Jarras, para la dosificación diaria del sulfato de aluminio basándose en los parámetros fisicoquímicos. En cada uno de los 6 vasos precipitados se agregó una porción de la muestra; las concentraciones suministradas fueron de 0, 10, 20, 30, 40, 50 mg/l. se procedió a realizar la mezcla a 200rpm durante 15 s; según el método de (Solis, 2012). Luego se incrementó a 25 rpm durante 25 min donde se evidenció una mínima formación de flocs; finalmente se dejó sedimentar durante 30 min. Y se midieron los parámetros fisicoquímicos finales; se repitió 3 veces más este procedimiento y al mejor se le llamó mezcla (a).

Con la concentración óptima de sulfato de aluminio (mezcla a =30 mg/l), se prepararon mezclas de sulfato: almidón en las siguientes proporciones:

Almidón		Sulfato
	2 g	28 mg/l
	4 g	26 mg/l
	6 g	24 mg/l
	8 g	22mg/l
	10 g	20 mg/l
	12 g	18 mg/l

Figura 31. Dosificación de prueba. Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó la misma velocidad empleada en la prueba piloto, pero en la mezcla lenta se agregó la concentración del almidón de yuca y en la rápida la dosificación de sulfato de aluminio y finalmente se midieron de nuevo los parámetros fisicoquímicos.

3.8 RESULTADOS

Evaluando la efectividad de las mezclas propuestas, se compararon los resultados obtenidos durante el Test de Jarras; enfocándose en la efectividad de remoción de partículas suspendidas.

3.8.1 Color

Las diferencias mostradas en la figura 32 señala que la dosificación de 2g:28mg/L obtuvo un valor de 7.41, que representa el color más bajo.

Referencia	Dosificación
1	0
2	2g-28mg/L
3	4g-26mg/L
4	6g-24mg/L
5	8g-22mg/L
6	10g-20mg/L
7	12g-18mg/L

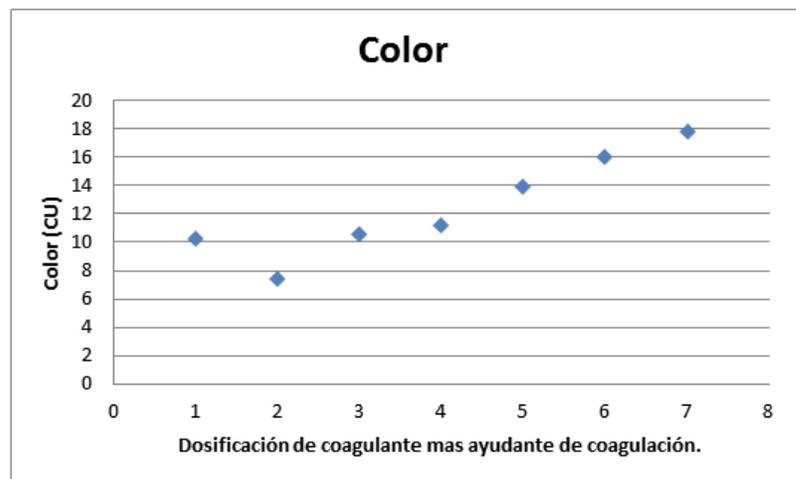


Figura 32. Grafica de resultados de Color. Fuente: Elaboración Propia

3.8.2 Turbiedad

Se puede evidenciar en la figura 33 que las mezclas 0, 2 y 3 se comportan de manera similar con respecto a las demás muestras. Las diferencias oscilan entre 0,2 UNT en promedio. De las mezclas analizadas la opción 2 sigue representando la mejor opción de dosificación a escoger.

Referencia	Dosificación
1	0
2	2g-28mg/L
3	4g-26mg/L
4	6g-24mg/L
5	8g-22mg/L
6	10g-20mg/L
7	12g-18mg/L

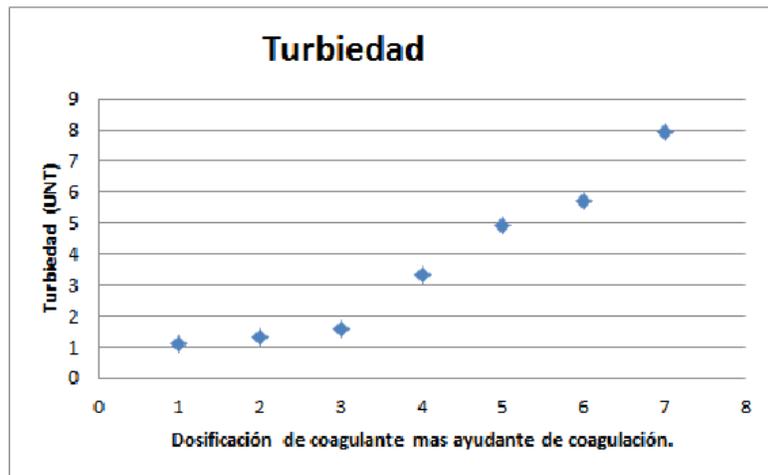


Figura 33. Grafica de resultados de Turbiedad. Fuente: Elaboración Propia

3.8.3 Comportamiento del pH

Según la gráfica 34 se puede observar como la mezcla número 2 se acidificó con respecto a las otras mezclas notablemente.

El pH inicial de la mezcla (a) fue de 6.5 y en promedio eliminando la primera muestra el pH es de 6.15, lo que demuestra que en general este tratamiento acidifica la mezcla.

Referencia	Dosificación
1	0
2	2g-28mg/L
3	4g-26mg/L
4	6g-24mg/L
5	8g-22mg/L
6	10g-20mg/L
7	12g-18mg/L

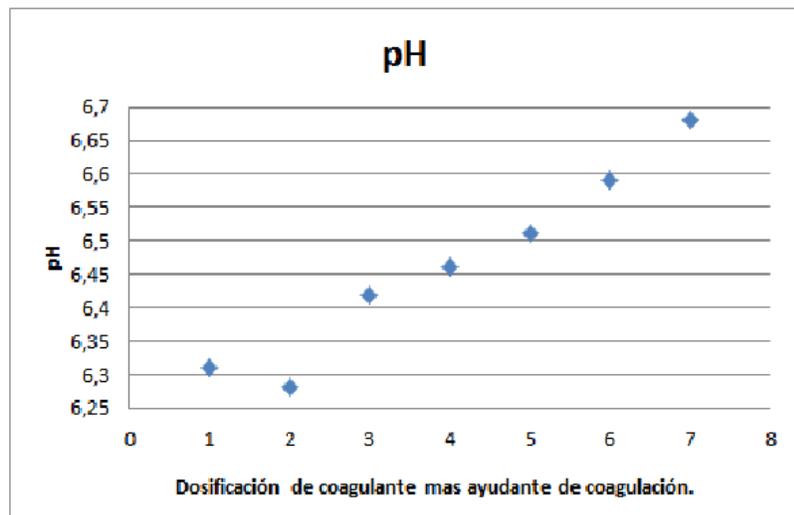


Figura 34. Grafica de resultados del pH. Fuente: Elaboración Propia

4. CONCLUSIONES

El almidón de yuca representa un producto natural con un gran potencial como ayudante de coagulación en la planta de tratamiento de agua potable, siendo este un recurso económico, de fácil comercialización, operación y no requiere un almacenamiento

La dosificación recomendada para el acueducto de Facatativá es 4g:26mg/L teniendo en cuenta la caracterización del agua en esta época seca. Obviamente la dosificación cambia en caso de que llegue el invierno.

Una menor dosificación de sulfato permitiría mejorar los parámetros de carbono orgánico total (COT) y demanda química de oxígeno (DQO), además representa una disminución de costos importante para la empresa.

Respecto a los resultados de turbiedad y color, se evidenció que existe una relación directa en función de la remoción si la turbiedad es mayor hay mayor remoción de color.

Incluir como materia prima el almidón de yuca en el proceso de coagulación, representa una rentabilidad económica debido a que su valor comercial es menor que el del sulfato de aluminio, al disminuir una porción de la dosificación del sulfato y reemplazarlo por el almidón de yuca disminuiría costos para la empresa y el municipio. Además no requiere de inversión inicial simplemente realizar las pruebas rutinarias realizando esta dosificación recomendada.

Al ser el almidón de yuca un agente natural, es biodegradable y no genera ningún tipo de impacto ambiental, siendo un producto ambientalmente sostenible.

Esta dosificación le permitirá a la empresa Aguas de Facatativá contar con una alternativa en caso de problemas de suministro de sulfato de aluminio.

5. RECOMENDACIONES

Según la investigación realizada se encontró que existen otros tipos de posibles ayudantes de coagulación, que podrían emplearse en una planta de tratamiento, este trabajo es el inicio de investigación de otras alternativas con el fin de comparar y seleccionar la mejor.

Durante el desarrollo laboral como auxiliar de la subgerencia técnico-operativo, se evidenciaron diferentes proyectos que podrían contribuir al desarrollo de esta empresa y en particular a generar un beneficio al municipio de Facatativá; como por ejemplo el diseño de un tratamiento de lodos, que permita reducir los residuos de este producto mejorando el costo de desecho del mismo, la actualización de la planta de la empresa es primordial, desarrollar este proyecto sería un gran avance para esta empresa.

Invito a los estudiantes de Ingeniería que deseen desarrollar su práctica a comunicarse con el Ingeniero Javier Bolívar de la empresa Aguas de Facatativá quien será de gran ayuda.

En cuanto al desarrollo del proyecto se recomienda realizar el procedimiento con base en una mezcla patrón con sulfato de aluminio, con el objetivo se usarla como indicador.

La dosificación recomendada solo se realizó para una planta de tratamiento de agua potable cuya fuente de suministro es agua superficial. Por tal motivo antes de emplearla en un sistema es necesario realizar todo el procedimiento y escoger la dosificación ideal.

La investigación queda abierta para realizar la dosificación con otros posibles ayudantes de coagulación como por ejemplo la Moringa o realizar el procedimiento para una planta de tratamiento de aguas residuales.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, F. (2015). *Desarrollo de Agroempresas Rurales y Unidad de Comunicaciones*.
Obtenido de Almidón agrario de yuca en Colombia:
http://cadenahortofruticola.org/admin/bibli/287almidon_agrio_yuca.pdf
- Ambiental, L. d. (29 de septiembre de 2014). *Coagulación – Sedimentación*. Obtenido de
file:///C:/Users/USUARIO/Documents/UMNG/plantas%20de%20t/03_AAPyA.pdf
- Ambiental, L. d. (s.f.). *Coagulación – Sedimentación (Prueba de jarras)*. Recuperado el 23 de
abril de 2013, de Práctica No. 3: [http://dicyg.fi-
c.unam.mx:8080/labsanitaria/documentos/03_AAPyA.pdf](http://dicyg.fi-c.unam.mx:8080/labsanitaria/documentos/03_AAPyA.pdf)
- Andes, U. d. (s.f.). *Practica No. 2- Ensayo De Jarras*. Recuperado el 24 de abril de 2013, de
Ingeniería civil y ambiental: <http://157.253.198.142/Potabilizacion/Laboratorio2.pdf>
- Andina, C. (2009). *Atlas de las Dinámicas del Territorio Andino: Población y bienes expuestos
a amenazas naturales*. Lima: Feriva S.A.
- Ballen, J. (2006). Historia de los distemas de aprovechamiento de agua lluvia. VI SEREA -
*Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água 5 a 7
de junho de 2006*, (pág. 4). João Pessoa (Brasil).
- Bolívar, J. L. (2013). *Informe De Diagnostico - Antecedentes De Los Servicios Públicos
Domiciliarios*. Facatativá.
- Calle, L. (Febrero de 2015). *Catedras Bogota universidad NAcional*. Obtenido de Principales
características físicas y químicas del agua: [http://www.catedras-
bogota.unal.edu.co/web/ancizar/2013-1/ancizar_2013_/js/Leonardo%20Calle%20-
%20Caracter%3%ADsticas%20fisicoquimicas%20del%20agua.pdf](http://www.catedras-bogota.unal.edu.co/web/ancizar/2013-1/ancizar_2013_/js/Leonardo%20Calle%20-%20Caracter%3%ADsticas%20fisicoquimicas%20del%20agua.pdf)
- Castrillón Daniela, G. M. (26 de Septiembre de 2014). *Universidad Tecnológica De Pereira*.
Obtenido de Biblioteca UTP:
<http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/6281622H565.pdf>
- CEPIS. (1 de Julio de 2015). *Centro panamericano de ingeniería sanitaria*. Obtenido de
<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacep/e/servi.html>
- Chaparro, T. (2014). Normatividad - Criterios de selección de tecnologías. *Notas de aula 1*.
- Ciencias, A. N. (25 de Agosto de 2015). *El agua potable segura es esencial*. Obtenido de
<https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Overview/index.html>

- Clavijo, Y. (Noviembre de 2014). *Evaluación De La Planta De Tratamiento De Agua Potable Del Municipio De Garzón – Huila*. Obtenido de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11706/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20planta%20de%20tratamiento%20de%20agua%20potable%20del%20municipio%20de%20Garz%C3%B3n%20-%20Huila.pdf>
- Collazos, d. (11 de julio de 2008). *Tratamiento de aguas residuales*. Recuperado el 9 de abril de 2013, de UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA: http://www.ing.unal.edu.co/catedra/drs_diaz_collazos/Salud,%20Calidad%20y%20Tratamiento%20de%20AR/AGUASRESIDUALES.pdf
- Consult, L. (2008). *Plan maestro de acueducto y alcantarillado*.
- CSB, C. S. (27 de Septiembre de 2015). *Serveis de Vigilància Ambiental Qualitat i Intervenció Ambiental*. Obtenido de Agencia de Salud Publica: http://www.aspb.cat/quefem/docs/THM_esp.pdf
- Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, M. d. (Noviembre de 2000). *Reglamento tecnico fel sector de agua potable y saneamiento basico RAS - 2000*. Obtenido de Seccion II, Titulo C, Sistemas de potabilizacion : http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/5._Sistemas_de_potabilizacion.pdf
- Distrital, U. (Cap 17). *Calidad de aguas*. Recuperado el 9 de abril de 2013, de Demanda quimica de Oxigeno : http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap17.pdf
- Distrital, U. (s.f.). *Pruebas de Tratabilidad*. Recuperado el 23 de abril de 2013, de capitulo 21: http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap21.pdf
- Empresa Aguas De Facatativa. (2013). *Programa Uso Eficiente Y Ahorro De Agua*. Facatativa.
- ESP, E. S. (2014). *Manual De Calidad*. Facatativá.
- Federación Nacional De Cultivadores De Cereales Y Leguminosas. (2012). De Nuevo El Fenómeno Del Niño. *El Cerealista*, 8.
- Fundación Iberoamericana De Seguridad Y Salud Ocupacional. (S.F.). Recuperado el 04 de 09 de 2014, de <http://www.fiso-web.org/imagenes/publicaciones/archivos/4109.pdf>
- Guzmán, L. V. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *U.D.C.A. Actualiad & Divulgación Científica*, 1 - 11.

- Heyman., G. C. (26 de Septiembre de 2014). *Universidad Nacional De San Martín*. Obtenido de Escuela Académica Profesional De Ingeniería Sanitaria:
<http://es.scribd.com/doc/72329741/METODO-DE-JARRAS>
- Ideam, L. d. (julio de 1997). *METODOS DE ANALISIS*. Recuperado el 09 de abril de 2013, de
http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_D_QO.htm
- Meza Pérez Arturo, B. M. (29 de septiembre de 2014). *Floculación-Coagulación Como Postratamiento Del Efluente De Un Reactor Anaerobio Que Trata Vinazas Tequileras*. Obtenido De <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01336e14.pdf>
- Ministerio De Vivienda. (2014). *Lineamientos de política de gestión del riesgo de desastres en la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo*. Bogotá.
- Osorno, H. A. (2009). *Evaluación Del Proceso De Coagulación – Floculación De Una Planta De Tratamiento De Agua Potable* . Recuperado El 24 De Abril De 2013, De Universidad Nacional De Colombia sede Medellín:
http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf
- Ramírez, F. (2 de Agosto de 2015). *El Agua Potable*. Obtenido de
<http://www.elaguapotable.com/index.htm>
- Residuales, I. d. (s.f.). *Caracterización De Aguas Residuales Por DBO Y DQO* . Recuperado el 9 de abril de 2013, de <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/dboydqo2.pdf>
- Rudy Solís Silvan, J. R. (2012). Mezclas Con Potencial Coagulante Para Clarificar Aguas Superficiales. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28 (3) , 229-236.
- Saldarriaga Valderrama, J. G. (2013). *Hidráulica de plantas*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Sandra Sanchez, M. P. (2 de Diciembre de 2014). *Propuesta Para El Mejoramiento De La Planta De Tratamiento De Agua Potable Del Municipio De Bituima, Cundinamarca*. Obtenido De
<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15022/T41.11%20S55p.pdf?sequence=2>
- Santos Sanabria, R. (2007). *Consultoría Para La Ampliación Y Optimización De La Planta De Potabilización "La Guapucha" Del Sistema De Acueducto De La Ciudad De Facatativá*. Facatativá.

Santos, S. R. (2007). *Consultoría Para La Ampliación Y Optimización De La Planta De Potabilización "La Guapucha" Del Sistema De Acueducto De La Ciudad De Facatativá*. Facatativá.

Social, M. d. (14 de febrero de 2015). *Resolución número 2115 de 2007* . Obtenido de <http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/NewsDetail.asp?ID=16364&IDCompany=3>

Solis, R. L. (2012). Mezclas Con Potencial Coagulante Para Clarificar Aguas Superficiales. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28 (3), 229-236.

ANEXOS
