

**IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN
PARA ACUEDUCTOS RURALES EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN**

**TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD PRACTICA PROFESIONAL
EMPRESARIAL**

Requisito parcial para optar al título de Ingeniera Ambiental

ANGELA CRISTINA LOAIZA LEITON



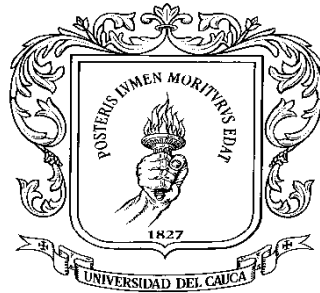
**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN CAUCA**

**IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN
PARA ACUEDUCTOS RURALES EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN**

ANGELA CRISTINA LOAIZA LEITON

DIRECTOR:

Ph, D. JAVIER ERNESTO FERNANDEZ MERA



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN CAUCA**

TABLA DE CONTENIDO	PÁGINA
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE ANEXOS	6
1. INTRODUCCIÓN	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3. JUSTIFICACIÓN	11
4. OBJETIVOS	13
4.1. OBJETIVO GENERAL	13
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
5. MARCO TEORICO	14
5.1. Marco normativo	14
5.2. Marco Conceptual	14
5.3. Alternativas de desinfección	15
5.3.1. Desinfección mediante luz ultravioleta	15
5.3.2. Ozono	15
5.3.3. Solución con Yodo	15
5.4. Cloro	16
5.5. Curva de demanda de cloro	17
6. METODOLOGÍA	19
6.1. Contexto general	19
6.2. Selección del acueducto rural para la implementación	19
6.3. Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua seleccionado	20
6.4. Selección y diseño del sistema	20
6.5. Selección del desinfectante	21
6.5.1. Cloración por tabletas	21
6.5.2. Cloración con gas	21
6.5.3. Cloración usando solución de hipoclorito de Sodio	22
6.5.4. Electrólisis de cloruro de sodio in situ	22
6.5.5. Cloración con hipoclorito de Calcio	23
6.6. Selección del sistema de dosificación	23
6.6.1. Sistema de dosificación con bomba de diafragma	23
6.6.2. Sistemas dosificadores por goteo o flujo constante	23
6.7. Métodos seleccionados	24
6.7.1. Instalación y requerimientos de instalación	24
6.7.2. Descripción general del sistema a implementar	25
6.8. Seguimiento y evaluación	25
6.8.1. Análisis de laboratorio	25
6.8.2. Determinación de la eficiencia en la operación del sistema	25
7. RESULTADOS Y DISCUSION	26
7.1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	26
7.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN	28
7.2.1. Determinación de la dosis por medio de la Curva demanda de cloro	36
7.2.2. Caudal a dosificar	37

7.2.3. Dosificador de cabeza constante	38
7.3. SEGUIMIENTO Y EVALUACION DEL SISTEMA DE DESINFECCION	38
CONCLUSIONES	39
RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFIA	44
ANEXOS	44
	45
	47

LISTA DE TABLAS	PAGINA
Tabla 1. Características Físicas	14
Tabla 2. Parámetros a analizar	26
Tabla 3. Resumen parámetros calidad de agua de agua cruda.	28
Tabla 4. resultados calidad de agua cruda parámetros microbiológicos	29
Tabla 5. Resumen datos de calidad de agua del parámetro pH en el sistema de tratamiento.	32
Tabla 6. Resumen datos de calidad de agua del parámetro turbiedad (UNT) en el sistema de tratamiento.	33
Tabla 7. Resumen datos de calidad de agua del parámetro color (UPC) en el sistema de tratamiento.	33
Tabla 8. Resultados calidad de agua cruda parámetros microbiológicos en red de distribución	33
Tabla 9 Resumen datos de calidad de agua en los parámetros cloro residual en el sistema de desinfección.	40
Tabla 10 Resumen datos de calidad de agua en los parámetros Coliformes Totales en el sistema de desinfección.	40
Tabla 11 Resumen datos de calidad de agua en los parámetros E. Coli en el sistema de desinfección.	41
Tabla 12 Resumen datos de calidad de agua en los parámetros cloro residual en el sistema de desinfección después de purga.	42

LISTA DE FIGURAS	PAGINA
Figura 1. Curva de demanda de cloro	17
Figura 2. Ubicación corregimiento	19
Figura 3. Dosificador de cloro	25
Figura 4. Fotografías sistema de captación	29
Figura 5. Dimensión del filtro dinámico	30
Figura 6. Fotografías filtro dinámico	30
Figura 7. Dimensión estructura filtros gruesos ascendentes	31
Figura 8. Fotografía estructura filtros gruesos ascendentes	32
Figura 9. Fotografías ventosas y pasos	34
Figura 10. Dimensiones tanque de almacenamiento	35
Figura 11. Fotografía tanque de almacenamiento	35
Figura 12. Fotografía caseta de protección y tanque de asbesto cemento	36
Figura 13. Curva 2 demanda de cloro	37
Figura 14. Balance de masa para determinar la cantidad de cloro a preparar	38
Figura 15. Fotografías construcción dosificador de cabeza constante	39
Figura 16. Fotografías actividad de purga de taques y tuberías	41
Figura 17. Fotografías capacitación junta de acueducto	43
Figura 18. Fotografías capacitación líderes juntas de acción comunales	43

LISTA DE ANEXOS	PAGINA
ANEXO 1. RESULTADOS Ph	48
ANEXO 2. RESULTADOS TURBIEDAD (NTU)	48
ANEXO 3. RESULTADOS COLOR (UPC)	49
ANEXO 4. RESULTADOS LABORATORIO CURVA DEMANDA DE CLORO	49
ANEXO 5. RESULTADOS CLORO RESIDUAL	51
ANEXO 6. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS SISTEMA DE DESINFECCIÓN	51
ANEXO 7. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS SISTEMA DE DESINFECCIÓN	51

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mi abuela por su protección, guía y valentía.

A mi esposo Rigoberto y a mi hija Valeria por su amor, comprensión, ayuda y su apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera.

A mis padres por darme la vida, por acompañarme y apoyarme durante todo mi proceso educativo.

Al Ingeniero Javier Ernesto Fernandez Mera por su orientación, su disposición, apoyo y ayuda en el desarrollo de mi trabajo así, como por todas las asesorías prestadas.

Al acueducto interveredal de Calibío y a su junta administradora (ASOCALIBIO), por su disponibilidad y por brindarme la posibilidad de aplicar mi conocimiento.

A la Secretaria de Salud Municipal en especial a Robert Tombe por su disposición y ayuda en los muestreos.

A todos mis compañeros y amigos por su acompañamiento y ayuda a lo largo de toda mi carrera.

A todos mis profesores, por compartir sus conocimientos los cuales crearon todas las bases para mi futuro profesional.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia todas las comunidades se enfrentan al reto de tener mejores sistemas para la potabilización, para esto se guían con el decreto 1575 de 2007, el cual establece un sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano, el decreto 2115 de 2007, por el cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano y la RAS 2000 que es el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

Todas estas legislaciones definen los valores admisibles, en los cuales se debe mantener el agua cruda que se trata para que llegue a ser de alta calidad y por tanto para que su consumo no represente ningún peligro para el ser humano, lo que representa gran interés ambiental y de salud pública.

Existen muchas formas para mejorar la calidad del agua para consumo humano. Las más comunes son la decantación y el filtrado, seguidas por la desinfección. La eliminación de los organismos patógenos y la desinfección se pueden lograr de muchas formas, pero la más común es mediante la adición de cloro (OPS, 2009).

En la zona rural del municipio de Popayán Cauca, existe una alta deficiencia en sus sistemas de tratamientos debido a la mala calidad de sus instalaciones para el tratamiento del agua de consumo, por tal motivo, para reducir y controlar los problemas anteriormente mencionados se diseñó, implementó y se evaluó un sistema de desinfección de agua cruda para la comunidad del corregimiento de Calibío. En varios puntos se estudió la calidad después del tratamiento y sus resultados en cuanto a la reducción de enfermedades causadas por la contaminación del recurso hídrico junto con la Secretaria de Salud Municipal.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es el elemento principal para los seres vivos, este líquido inoloro, insípido e incoloro tiene muchas propiedades que lo hacen vital, además se encuentra presente en muchos procesos tanto químicos como fisiológicos y es esencial para la supervivencia.

El derecho al agua tiene por fin garantizar a cada ser humano una cantidad mínima de agua de buena calidad y suficiente para la vida y la salud, por tanto, el agua se ha convertido en un bien tan accesible en la sociedad actual que a veces olvidamos porqué sale a través de un grifo, o donde va una vez escapa por el desagüe, tampoco se reflexiona sobre lo necesaria que puede llegar a ser para el desenvolvimiento de la humanidad (Gómez *et al*, 2005).

En el caso de Colombia, este aspecto está regulado por el Decreto 1575 de 2007, el cual fija los criterios y los parámetros que debe cumplir el agua que se suministra para consumo humano, cuando el porcentaje de aceptabilidad se encuentra entre el 95% y el 100%, se considera que el agua es apta para consumo humano. La cobertura de acueducto en el departamento del Cauca es del 81,8%, la de alcantarillado es del 64,5% y la de aseo es del 58,5 % (DANE, 2005). En el municipio de Popayán, la cobertura total de acueducto es de 94,84%, en la cabecera municipal es de 98% y la cobertura rural es de 76,08% (DP, 2009).

En la actualidad las propiedades características de este líquido varían mucho dependiendo de diferentes factores, entre los que se encuentran: los desechos orgánicos, desechos inorgánicos, bacterias, parásitos, entre otros. Estos factores influyen de manera directa e indirecta en la aparición de diversas enfermedades que afectan la vida cotidiana de las personas, ya que mediante estos agentes es muy común que las condiciones normales del agua cambien ocasionando con esto una alteración que repercute en la salud de los ciudadanos, además la falta de acceso al agua potable, junto al saneamiento y la higiene deficientes, es lo que más contribuye a las 1,8 millones de defunciones anuales debidas a enfermedades diarreicas a nivel mundial (OMS, 2007). En Popayán, la primera causa de mortalidad en población de 1-4 años, son las enfermedades infecciosas intestinales 11 casos por cada 1.000 habitantes (SSDC, 2010), es un valor bastante alto, algo preocupante en comparación con otras ciudades en Colombia como se tiene en Antioquia, el índice de mortalidad por EDA (Enfermedad Diarreica Aguda) es de 3.08 por cada 100.000 habitantes, en Caldas es del 1.22, en Nariño es del 5.49 y el 70% de la mortalidad por EDA se concentra en el 50%

de la población que tiene menor porcentaje de acceso a fuentes de agua mejorada (MINSALUD,2013).

En el municipio de Popayán se cuenta con más de 30 acueductos rurales, sus instalaciones son muy precarias y no son las adecuadas para tratar el agua, además no se tiene el conocimiento adecuado de las personas que lo administran para hacerlo viable y efectivo.

Frente a la complejidad ambiental descrita anteriormente, se plantea que la desinfección del agua, constituye en una estrategia que permita acercarse a promover ese conocimiento integral, también que permita a la comunidad de Calibío a participar de los procesos que conlleven a soluciones de los problemas ambientales locales, como lo es su calidad de agua.

3. JUSTIFICACIÓN

En el agua y en el medio ambiente siempre están presentes los microorganismos y de los miles de familias y variedades de ellos, la gran mayoría no son nocivos al hombre y a los seres vivos, inclusive convivimos con ellos y son parte de los procesos de la vida. Algunos otros esta demostrado que son la causa de las terribles enfermedades que causaban tantas muertes, por esto se buscó la manera de evitar o disminuir la incidencia de contaminación de las aguas potables y sus fuentes, dando inicio a la ciencia de la higiene.

Uno de los primeros tratamientos implementados para tratar de evitar las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua fue la sedimentación y filtración, que disminuyen la carga microbiana pero no garantizan la desinfección total (Rocha, 2011). Además, se ha detectado que las principales causas de morbilidad asociada a las aguas sin tratamiento son: enfermedad diarreica aguda, poli parasitismo intestinal, enfermedad ácido péptica y enfermedades dermatológicas (Rocha, 2011). Lo que hace necesario algún tipo de tratamiento del efluente captado, para reducir la cantidad de microorganismos.

Para la desinfección del agua, el cloro y sus derivados son por mucho los agentes desinfectantes que más se emplean en el mundo (Rocha, 2011) además de que es económico, de fácil medición y dosificación. Los principales compuestos de cloro utilizados son: cloro gas, hipocloritos (sódico y cálcico), dióxido de cloro y cloraminas (Olmedo, 2008).

En este tipo de desinfección se generan subproductos del cloro, se trata en general de compuestos orgánicos clorados, muchos de los cuales tienen comprobada su capacidad tóxica y/o mutagénica para el hombre, los subproductos más importantes por su consideración en la salud humana de la cloración son: Trihalometanos, ácidos acéticos halogenados (Olmedo, 2008). Pero en todo este proceso de desinfección tiene mayor importancia el control del riesgo agudo para evitar las enfermedades producidas por el agua cruda, lo cual implica que se debe clorar esta así se corra el riesgo de generar subproductos nocivos; La desinfección es tal vez el tratamiento más importante y de mayor trascendencia en la potabilización del agua.

En la zona rural del municipio de Popayán, es claro que la mayoría de los acueductos no cuentan con la tecnología adecuada para tratar el agua, esto genera que las enfermedades relacionadas con ella, sean mayores para esta zona, entre estas enfermedades esta la EDA (Enfermedad Diarreica Aguda) la

cual presentó para el año 2007, 6523 casos (SSM, 2008) en esta ciudad, por esto se ve de gran importancia la implementación de un sistema de desinfección en estos acueductos para reducir el riesgo microbiológico.

En la implementación existe una necesidad obvia de sistemas de tratamiento de agua más fiables y sencillos que puedan ser mantenidos por técnicos locales (Visscher *et al*, 1992) y operados también por las comunidades y para esto, se propone la implementación de un sistema de desinfección por cloro que cumpla con las características necesarias para la comunidad rural y que sirva como caso de estudio para su posterior replicación en diferentes acueductos rurales del municipio de Popayán.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Contribuir al mejoramiento de la calidad del agua en acueductos rurales mediante la selección, implementación y evaluación de un sistema de desinfección por goteo en la comunidad de Calibio, Municipio de Popayán.

4.2. Objetivos Específicos

1. Diagnosticar el sistema de tratamiento en el acueducto rural de Calibio, zona rural del Municipio de Popayán.
2. Implementar un sistema de desinfección por Cloro en el acueducto rural de Calibio.
3. Evaluar el sistema de desinfección por Cloro implementado en el acueducto rural de Calibio.

5. MARCO TEORICO

En el presente capitulo se hace una revisión del marco normativo que regula la calidad del agua entregada por los sistemas de abastecimiento y algunas definiciones que ellas hacen, se consideró importante tener en cuenta las diferentes alternativas de desinfección que existen.

5.1. MARCO NORMATIVO

RESOLUCIÓN NÚMERO 2115 (22 JUN 2007)

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

ARTÍCULO 2º.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.

El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan la tabla1.

Tabla 1, Características Físicas

CARACTERISTICAS FÍSICAS	EXPRESADAS COMO	VALOR MAXIMO ACEPTABLE
Color Aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	2

5.2. MARCO CONCEPTUAL

Coliformes

Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano.

Escherichia coli - E-coli

Bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la galactosidasa y glucoronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano.

Desinfección

La desinfección de las aguas se realiza con cloro ya que este es el desinfectante mayormente utilizado para este proceso. Se refiere a la inactivación de los microorganismos especialmente los patógenos que son causantes de enfermedades, que pueden causar daños en los consumidores de agua, y cuya intensidad y gravedad varía dependiendo de muchos factores entre ellos: edad y condición física de la persona infectada, así como del tipo de microorganismo causante de la enfermedad y de la intensidad o concentración en el agua del agente infeccioso (Rocha, 2011).

Desde hace más de 90 años, la cloración desempeña una función trascendental en la protección de los sistemas de abastecimiento de agua potable contra enfermedades infecciosas transmitidas por el agua. La filtración y la desinfección con cloro del agua potable han sido responsables de gran parte del 50% de aumento de la expectativa de vida en los países desarrollados durante el siglo XX (Ramírez, 2013).

5.3. Alternativas de desinfección

5.3.1. Desinfección mediante luz ultravioleta

La luz solar es un desinfectante natural, principalmente como agente desecante. La radiación ultravioleta, a dosis concentrada, posee la propiedad de destruir bacterias y esporas en virtud de la longitud de la onda de sus rayos, intensificando la desinfección. La eficacia de la desinfección de esta técnica depende de la calidad del agua que va a ser tratada. Por tanto se emplea en casos muy particulares (Sánchez, 1997).

5.3.2. Ozono

Poderoso agente oxidante que al aplicarlo al agua destruye la materia orgánica, eliminando gran parte del color y del olor cuando se aplica en dosis suficiente. Su desventaja consiste en no tener poder residual para enfrentar una recontaminación posterior al tratamiento. En general los costos de capital y de operación de un sistema de ozonización son altos por lo que no es un sistema muy utilizado en países en vías de desarrollo (Sánchez, 1997).

5.3.3. Solución con Yodo

El yodo es eficaz contra las bacterias, virus, quistes de amebas y otros microorganismos transmitidos por el agua. Sin embargo, su disponibilidad y su uso han sido bastante limitados. Su principal desventaja es su alto costo (10 veces

más alto que el del cloro) y se requieren dosis de 10 a 15 mg/l para alcanzar una desinfección satisfactoria (Sánchez, 1997).

5.4. Cloro

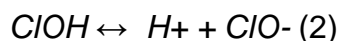
Cuando este se disuelve en agua limpia en cantidad suficiente, destruye la mayoría de los organismos causantes de enfermedades, sin poner en peligro a las personas (OPS, 2009).

Reacciones del cloro en el agua

Las reacciones que tienen lugar entre el cloro y el agua, aunque en principio parecen muy simples, no siempre lo son, ya que el agua objeto de la cloración no sólo es H₂O, sino que en ella hay diversas sales y materias orgánicas en solución y suspensión. Pero trataremos en principio sólo de las reacciones de equilibrio que tienen lugar al reaccionar el cloro con el agua, que son reacciones de hidrólisis, se originan ácidos hipocloroso y clorhídrico:



El ácido clorhídrico es neutralizado por la alcalinidad del agua y el ácido hipocloroso se ioniza, descomponiéndose en iones hidrógeno e iones hipoclorito:



La constante de ionización del anterior equilibrio es:

$$[\text{H}^+]. [\text{ClO}^-] / [\text{ClOH}] = K_i \quad (3)$$

La constante de ionización K_i varía con la temperatura. La constante de hidrólisis de la reacción (1) es de tal orden que no existe en el agua una concentración apreciable de Cl₂ a no ser que la concentración de H⁺ sea elevada, es decir, que el pH del agua sea bajo, menor de 3, y haya una concentración total de cloruros mayor de 1.000 mg/l.

A las temperaturas ordinarias del agua, la hidrólisis del cloro es prácticamente completa en algunos segundos y la ionización del ácido hipocloroso es una reacción reversible instantánea. El sentido de esta reacción, es fácil ver que se encuentra dirigido por la concentración de iones hidrógeno, es decir por el pH. Por tanto, se puede decir que según sea el pH del agua, se obtendrán unos porcentajes diversos de ClOH y ClO⁻, porcentajes que pueden calcularse mediante la ecuación (3) partiendo de la relación: (Pérez *et al*, 1995).

$$\frac{[ClOH]}{[ClOH] + [ClO^-]} = \frac{1}{1 + \frac{[ClO^-]}{[ClOH]}} \quad (4)$$

Y deduciendo de la ecuación 3 que:

$$\frac{[ClO^-]}{[ClOH]} = \frac{K_i}{[H^+]}$$

Sustituyendo en (4), resulta:

$$\frac{[ClOH]}{[ClOH] + [ClO^-]} = \frac{1}{1 + \frac{K_i}{[H^+]}} \quad (5)$$

5.5. Curva de demanda de Cloro

Al aplicar cloro a un agua que contiene agentes reductores, amoniaco y aminas orgánicas, si se mide y se construye una gráfica de la dosis aplicada contra los residuales obtenidos resulta una curva semejante a la de la **figura 1** comúnmente conocida como curva de demanda de cloro.

En dicha curva se observa un incremento inicial en los residuales de cloro seguido de una declinación y luego, finalmente, de otro incremento, a partir de un punto conocido como punto de quiebre. Inicialmente se satisface la demanda inmediata de cloro, a continuación las monocloraminas y dicloraminas aumentan, pero luego disminuyen. El segundo incremento se presenta a partir del punto de quiebre y cualquier cloro agregado produce residuales de cloro libre.

El análisis de la curva de demanda de cloro permite hacer las observaciones siguientes:

A-B:

El cloro reacciona inicialmente con los agentes reductores presentes y no forma un residual detectable. La dosis de cloro en el punto B representa la cantidad de cloro requerida para satisfacer la demanda ejercida por los agentes reductores del agua.

B-C:

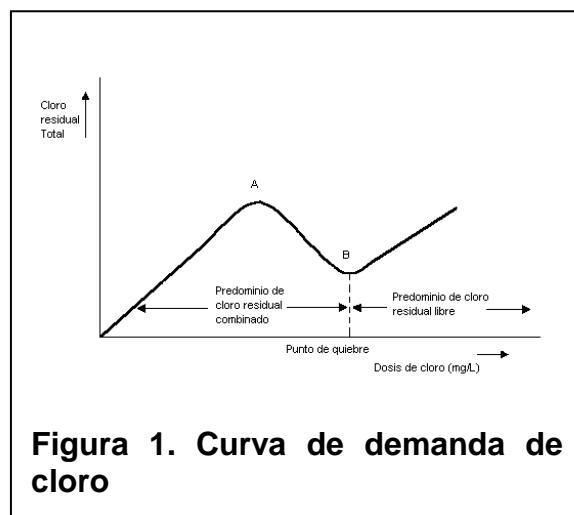
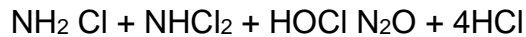


Figura 1. Curva de demanda de cloro

Una vez satisfecha la demanda ejercida por los agentes reductores o demanda inmediata de cloro, este reacciona con todo el amoníaco y las aminas orgánicas presentes para formar un residual de cloro combinado. Cuando todo el amoníaco y las aminas orgánicas han reaccionado con el cloro, empieza a formarse un residual de cloro libre. A una cierta concentración crítica, punto C, la concentración de cloro libre es lo suficientemente alta como para oxidar las cloraminas.

C-D:

Oxidación de las cloraminas:



La destrucción de las cloraminas reduce el cloro residual y es acompañada por la formación de óxido nitroso, nitrógeno y tricloruro de nitrógeno.

D:

Una vez completa la oxidación de los compuestos susceptibles de ser oxidados por cloro, todo el cloro agregado desarrolla un residual de cloro libre. El punto D, en el cual la oxidación de los productos del amoníaco es completa, se conoce como **punto de quiebre**.

El punto de quiebre ocurre, teóricamente, en una relación $\text{Cl}_2/\text{NH}_3 = 2/1$. En la práctica dicha relación tiene un valor cercano a 10/1.

La cantidad de cloro necesaria para obtener un residual determinado, después de un tiempo de contacto específico, es un parámetro muy importante en el diseño de plantas de purificación y tratamiento de aguas.

La determinación de la demanda de cloro permite cuantificar el número y la capacidad de los cloradores requeridos para la desinfección del agua, así como para decidir el tipo de agente desinfectante, recipientes, cantidades de cloro, etc.

Demanda de cloro = dosis de cloro – cloro residual

Evidentemente, la demanda de cloro varía para diferentes aguas; aun para la misma agua depende de la dosis de cloro aplicada, de la magnitud y tipo de residual deseado, del tiempo de contacto, del pH y de la temperatura. En general, a mayor tiempo de contacto y mayor temperatura del agua, más efectiva es la desinfección; por el contrario, a pH alto disminuye la concentración de ácido hipocloroso y por consiguiente disminuye la efectividad de la cloración, (Romero, 1996)

6.3. Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua seleccionado.

Se diagnosticaron diferentes estructuras y componentes del sistema, se hicieron evaluaciones de calidad de agua. En esta fase se incluyó la evaluación de la calidad del agua cruda y suministrada por el sistema de abastecimiento, estado general del sistema, capacidad y número de usuarios.

Durante esta fase se realizó la medición de caudales, determinación de la curva demanda de Cloro que permitan determinar la dosis requerida. Se realizó una reunión con la comunidad para la socialización del proyecto, una capacitación sobre las necesidades de usar la desinfección para la protección de la salud y sobre la importancia del agua.

6.4. Selección y diseño del sistema.

Al diseñar un sistema de tratamiento de agua, en especial en el área rural, debe tomarse a la desinfección no como un elemento más, sino como un componente vital del sistema. En muchos casos, quien diseña un sistema de provisión de agua en una pequeña comunidad no solo toma a la ligera la desinfección, sino que hasta prioriza la producción de agua.

En la etapa de selección de la técnica y el sistema de desinfección se deben tener en cuenta sus características y contrastarlas con las características de la planta, el lugar y la comunidad. Es un buen seguimiento tratar de complementar las mejores condiciones de la técnica y del sistema de desinfección con las de la fuente, lugar, sistema, población y sus características culturales. Esto es importante, pues la realidad indica que no hay lugar, sistema ni comunidad que sean perfectos.

La selección de la alternativa incluyó la evaluación de diferentes tipos de sistemas de desinfección, sin embargo un especial énfasis será realizado sobre las alternativas con Cloro. Una vez realizada la selección, se diseñó el esquema de desinfección y se realizó la adquisición de los componentes necesarios para su implementación, los cuales fueron suministrados por la junta de Acueducto (ASOCALIBIO). Posteriormente se realizó la implementación del sistema de desinfección por Cloro en la red de abastecimiento de la comunidad de Calibio.

6.5. SELECCIÓN DEL DESINFECTANTE

6.5.1. Cloración por tabletas

Este dispositivo utiliza tabletas de cloro las cuales se disuelven mediante el contacto con el agua que ingresa al tanque de almacenamiento. La disolución ocurre en la medida en que el flujo ingresa hacia el tanque de almacenamiento. El clorador de tableta funciona en sistemas de agua superficial así como en sistemas de agua de pozo perforado. Cada tableta puede desinfectar 26.000 galones de agua. No se requiere electricidad.

Las limitaciones para el uso del Cloro en tabletas está en su mayor costo comparado con otros dispositivo y que el residual de cloro no puede ser controlado, por lo tanto las concentraciones de cloro residual pueden ser muy variables, estando en algunos casos por arriba de la concentración máxima especificada en la Resolución 2115 (Ministerios de Protección Social y de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial, 2007) y en otros por debajo. El equipo en sí es más caro que el clorador por goteo (PAS, 2001). Su gran ventaja está en la facilidad para su manejo, la dosificación es simple y no requiere de grandes cuidados.

6.5.2. Cloración con gas

La forma más económica de clorar el agua es empleando gas cloro como germicida. Las plantas de tratamiento municipales y particulares que manejan grandes volúmenes de agua, emplean este compuesto por su menor costo en desinfección.

La forma de dosificar el cloro gaseoso es por medio de un diafragma de control que inyecta en forma regulada el gas que se evapora del tanque. Una bomba de alta presión bombea agua por una tubería que tiene un Venturi y se crea un vacío que succiona el gas cloro que se evapora del tanque, mezclándolo con el agua que se va a desinfectar.

La desventaja del uso del cloro es que se requiere de grandes tanques para su almacenamiento y traslado. La alta toxicidad del gas que causa daños aún a niveles de 0.1 ppm en el aire, hacen necesario el manejo de este producto solo con equipos especiales, con programas de salvamento y contingencias debidamente establecidos por personal capacitado, lo cual limita su utilización en sistemas rurales con baja supervisión.

6.5.3. Cloración usando solución de hipoclorito de Sodio

El hipoclorito de sodio (NaOCl) es un compuesto utilizado para la desinfección de superficies, desinfección de ropa hospitalaria y desechos, descontaminar salpicaduras de sangre, desinfección de equipos y mesas de trabajo resistentes a la oxidación, eliminación de olores y desinfección del agua. Debido a su alto poder oxidante, los equipos o muebles metálicos tratados con cloro, tienden a oxidarse rápidamente en presencia de hipoclorito de sodio.

Comercialmente el hipoclorito de sodio es vendido en una solución clara de ligero color verde-amarillento y un olor característico. Normalmente contiene una concentración de 5-6.5% cuando es utilizado como blanqueador y entre el 10 al 15% cuando es usado como agente desinfectante en sistemas de abastecimiento de agua. Estas concentraciones utilizadas son relativamente bajas y para un acueducto rural significa el transporte de grandes volúmenes de agua, en el cual se encuentra diluido el hipoclorito, por lo tanto no es aconsejable su uso para estos casos.

Una alternativa para su utilización de este producto es realizar la producción en situ.

6.5.4. Electrólisis de cloruro de sodio in situ

Dada su importancia, la desinfección no puede ser intermitente. En tal sentido, el aprovisionamiento continuo del desinfectante es un requisito fundamental que deberá ser tomado en cuenta al momento de seleccionar el mecanismo de desinfección. Es por ello que en pequeñas localidades o comunidades rurales alejadas o de difícil acceso, donde la continuidad del aprovisionamiento de hipoclorito no esté asegurada, ya sea por la disponibilidad del transporte o por la capacidad de adquirirlo en el momento oportuno, una alternativa que deberá ser evaluada es la generación de hipoclorito de sodio in situ.

La generación de hipoclorito in situ consiste en someter una solución de 30 gramos de cloruro de sodio/litro (3%) de concentración aproximada a un proceso de electrólisis, lo que permite obtener unos 400 litros al día de una solución estable con 5 a 7 g de cloro activo/litro (0,5 – 0,7%). A través de este mecanismo, es posible suministrar agua de calidad adecuada a una población de hasta 5.000 habitantes, ya sea por medio de sistemas convencionales de dosificación en sistemas comunales o directamente en las viviendas. Los dispositivos generadores de hipoclorito de sodio in situ requieren energía eléctrica para su funcionamiento, lo que exige contar con una fuente de energía estable. En caso de no contar con la misma, una alternativa será acondicionar el equipo con paneles

de energía y baterías. Estos dispositivos, hasta hace algunos años, eran inadecuados técnicamente para ser aplicados como una alternativa de solución para los países en desarrollo debido a su complejidad y elevado costo.

6.5.5. Cloración con hipoclorito de Calcio

El hipoclorito de calcio es más estable que el hipoclorito de sodio, y contiene una mayor concentración de cloro (30-75%). Al igual que el hipoclorito de sodio, el hipoclorito de calcio también aumenta el pH del agua, por lo que se aconseja acidificar el agua durante el proceso de la desinfección.

El hipoclorito de calcio está disponible como polvo blanco o tabletas, por lo que primero se debe preparar una solución, y sólo entonces inyectarla al agua tratada. La solubilidad de hipoclorito de calcio es relativamente baja, por lo que se disuelve mejor en agua suave. En cualquier caso, todas las formas de hipoclorito de calcio contienen residuos insolubles que forman sedimentos en la solución.

Su gran ventaja consiste en la facilidad para ser transportado y almacenado, y presenta una mayor estabilidad que el hipoclorito de sodio. Su mayor desventaja es la presencia de residuos que pueden causar obstrucción.

6.6. SELECCIÓN DE SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

6.6.1. Sistema de dosificación con bomba de diafragma

Estas bombas están equipadas con una cámara que tiene dos válvulas unidireccionales, una a la entrada y otra a la salida. La solución se incorpora en la cámara a través de la válvula de admisión a medida que se abre el diafragma y es forzada fuera de la cámara por la válvula de salida mientras se cierra el diafragma, el cual es impulsado por un motor eléctrico. El diafragma flexible está hecho de un material resistente a los efectos corrosivos de las soluciones de hipoclorito. La tarea de la bomba es elevar la solución por medio de una serie de golpes. El punto de aplicación puede ser un canal o un reservorio (presión atmosférica) o una tubería con agua bajo presión positiva.

El método más común de accionar las bombas de diafragma es con un motor eléctrico. Las de accionamiento hidráulico son menos comunes. Estas últimas pueden usarse cuando no se dispone de una fuente fiable de energía eléctrica. Una ventaja de este sistema es que con un dispositivo especial se puede calibrar la velocidad de dosificación del hipoclorito con la velocidad de flujo del agua. Una desventaja del accionamiento hidráulico es su complejidad mecánica, la que

frecuentemente resulta en problemas de operación y mantenimiento. La energía requerida para operar el hipoclorador es relativamente pequeña, generalmente de $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ HP. Es importante considerar la fiabilidad y la calidad de la fuente de energía al escoger este tipo de clorador.

6.6.2. Sistemas dosificadores por goteo o flujo constante

El elemento básico es un tubo PVC, este se ubica a un dispositivo flotante. La instalación debe incorporar un intervalo de aire en la tubería de descarga para evitar la posibilidad de sifonaje. También debe estar diseñado de modo que se excluya la posibilidad de que el contenido del tanque de solución se descargue todo de una vez accidentalmente en el canal de mezcla o la cámara de contacto si se rompe un accesorio o tubería o si ocurre otro tipo de derrame. El diseño de la instalación debe facilitar el manejo de los compuestos de cloro, la mezcla de soluciones y el ajuste de la dosificación. Se debe colocar un grifo de agua en un lugar conveniente para facilitar la preparación de las soluciones madre y para el aseo general.

La solución ingresa al tubo y fluye a la tasa deseada de alimentación hacia el punto de aplicación por medio de un orificio que se puede ajustar tan solo con cambiar la profundidad de inmersión de este. Además son fáciles de operar, mantener y reparar, y no requieren operadores especializados, tan solo requiere vigilancia para mantener su limpieza y evitar la obstrucción del orificio. Por su simpleza y bajo costo este método es el más utilizado en los acueductos rurales.

6.7. MÉTODOS SELECCIONADOS

El desinfectante seleccionado será el hipoclorito de calcio, en su versión en polvo. Este presenta una alta concentración y su facilidad para transportarlo a zona rural lo hacen muy atractivo para esta actividad, adicionalmente su gran estabilidad y facilidad para almacenarlo hacen de esta alternativa como la más opcionada para su implementación.

El método de dosificación que se escogió fue el dosificador por goteo, y se realizara por medio de un dosificador de cabeza constante, ya que como se menciona es un sistema de fácil manejo por parte del fontanero, de bajo costo para su manutención, y de construir fácilmente en el momento en que lo necesiten, además este nos permite encontrar la dosis optima de cloro a dosificar y para esto se realizó por medio de muestras de agua y por el método de DPD, la curva de demanda de cloro.

6.7.1. Instalación y requerimientos de instalación

Estos sistemas deben construirse con materiales que resistan la corrosión de una solución fuerte de hipoclorito. El tanque de solución puede ser de polietileno de alta densidad (PEHD), fibra de vidrio o de asbesto-cemento. El flotador puede hacerse con PVC o madera. No deben usarse aluminio, acero, cobre ni acero inoxidable porque se destruyen rápidamente, su instalación se hace como se muestra en la figura 3.

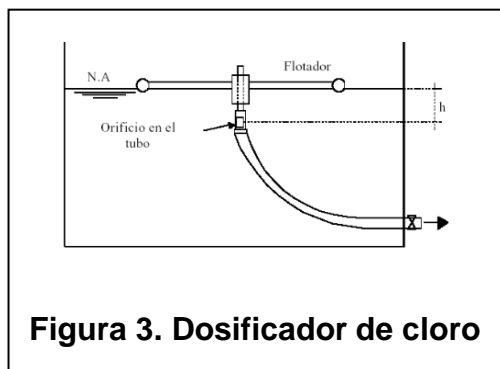


Figura 3. Dosificador de cloro

Este equipo es sencillo de instalar, como todos los equipos de carga constante. Su aplicación está limitada a aquellos casos en que la solución de hipoclorito puede fluir por gravedad hacia el sitio de mezcla, ya sea un canal, una cámara de contacto de cloro o directamente hacia un tanque de almacenamiento. La instalación debe incorporar un intervalo de aire en la tubería de descarga para evitar la posibilidad de sifonaje. También debe estar diseñado de modo que se excluya la posibilidad de que el contenido del tanque de solución se descargue todo de una vez accidentalmente en el canal de mezcla o la cámara de contacto si se rompe un accesorio o tubería o si ocurre otro tipo de derrame. El diseño de la instalación debe facilitar el manejo de los compuestos de cloro, la mezcla de soluciones y el ajuste de la dosificación. Se debe colocar un grifo de agua en un lugar conveniente para facilitar la preparación de las soluciones madre y para el aseo general.

6.7.2. Descripción general del sistema a implementar

El sistema estará compuesto de: un tanque almacenamiento comercial en plástico, con capacidad máxima de 500 L, donde se preparará la solución de cloro a dosificar, un dosificador de cabeza constante el cual será construido con la propia comunidad y una manguera de latex de 1/8 de pulgada para llevar la solución de cloro al tanque de almacenamiento donde se realizará la dosificación.

6.8. SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

Durante esta fase se realizó un taller de capacitación para la operación y el mantenimiento del sistema de desinfección con la Junta Administradora del Sistema y la participación de los líderes comunales, conjunto a esta se realizó una

presentación acerca de la importancia del agua, incluyendo en esta el ciclo del agua, los microorganismos que la contaminan, el marco jurídico que la rige, la importancia de la desinfección y el ahorro del agua.

El seguimiento se realizó de dos formas: una diaria realizada por la Junta Administradora en cabeza del fontanero, que incluye el buen funcionamiento del sistema y la cantidad de residual del cloro, mientras que otro seguimiento se realizó en desarrollo del presente trabajo y considera un mayor número de parámetros de calidad de agua, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros a analizar

Parámetro	Frecuencia	Punto de muestreo	MESES	TOTAL
			Coliformes Fecales (Recuento en placa)	1* Mes
Cloro Residual (kit de cloro)	1 * 2 Días	Salida del tanque Dos puntos de la red de distribución	2	90
pH (papel indicador, kit de pH)	1*Semana	Antes de desinfección Salida del tanque Punto de la red de distribución	2	48
Turbiedad (turbidímetros, nefelómetros)	1*Semana	Antes de desinfección Salida del tanque Punto de la red de distribución	2	48
Color (Colorímetro)	1*Semana	Antes de desinfección Salida del tanque Punto de la red de distribución	2	48

6.8.1. Análisis de laboratorio

Los análisis serán realizados con la colaboración de la Secretaria de Salud Municipal y la Alcaldía del municipio de Popayán. Los análisis se realizarán siguiendo los criterios de muestreo y conservación de acuerdo con los protocolos establecidos.

6.8.2. Determinación de la eficiencia en la operación del sistema.

Después de haber implementado la desinfección del agua cruda, se estableció la eficiencia del proceso determinando la remoción de coliformes fecales, tomando muestras de agua cruda y las muestras en la red de distribución. La eficiencia será calculada con base en la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{coli. fecales agua cruda} - \text{Coli. fecales en la red}}{\text{Coli. fecales agua cruda}} * 100$$

Los parámetros de calidad de agua en la red de distribución fue comparada con la normatividad colombiana de agua para consumo humano Decreto 2115 de 2007, por el cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua, lo que definirá si el agua es potable o no. Posteriormente con la información evaluada y definido las características de potabilidad se determinará el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano IRCA, que permite determinar el riesgo del sistema.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

El acueducto consta de los siguientes componentes: fuente de abastecimiento, la cual corresponde a la quebrada Clarete, un sistema de captación compuesto por un orificio lateral y muro de contención, un sistema de tratamiento el cual consiste de filtros en grava, línea de conducción al tanque de almacenamiento, tanque de almacenamiento, con una caseta de cloración y redes de distribución con tres ramales cada uno saliendo del tanque de almacenamiento.

- **FUENTE DE ABASTECIMIENTO:** corresponde a la microcuenca de la Quebrada Clarete, según el operador del sistema la fuente siempre mantiene abundante agua, especialmente en el periodo de lluvias, donde su caudal supera los 50 L/s. La calidad del agua presenta variaciones en términos de turbiedad, particularmente durante los periodos de lluvia, donde se genera arrastre de lodo desde la zona alta. La microcuenca cuenta con alguna zona de pastoreo, pequeños cultivos de pan coger y unas pocas viviendas que pueden estar influenciando la calidad del agua. Durante el periodo de Marzo a Octubre se evaluó la calidad del agua cruda en la fuente encontrando que se presenta contaminación fecal y arrastre de lodo. En la tabla 3 se presenta la información resumida de los parámetros medidos y en el anexo 1 al 5 se presenta los resultados específicos.

Estadístico	QUEBRADA CLARETE		
	Turbiedad (UNT)	Color (UPC)	pH (unidades)
Promedio	12,6	25,6	7,3
Máximo	18,2	34	7,4
Mínimo	10,5	18	7,1
Número de Datos	12	12	12

Tabla 4, resultados calidad de agua cruda parámetros microbiológicos

25-mar-14	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml	E. COLI NMP/100 ml
Quebrada Clarete	2420	308
Filtro Izquierdo, sin tratamiento	2420	345
Filtro Derecho, Con tratamiento	2420	547
Tanque Cortijo	2420	204
Red Distribución	2435	590

Acorde con los datos presentados en la tabla 4 y el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Colombiano (RAS, 2000), esta fuente de abastecimiento según su calidad de agua se puede clasificar como fuente de regular a deficiente, particularmente por la contaminación microbiológica, el color y la turbiedad.

- **SISTEMA DE CAPTACION:** compuesto por una pequeña presa, con orificio lateral y muro de contención. La presa cuenta con una compuerta que le permite hacer el lavado de fondo para retirar los lodos acumulados aguas arriba de la presa. Este mantenimiento se hace cada 6 meses, ya que no se puede lavar con facilidad. El operador reporta que el diámetro del orificio en la compuerta genera limitantes para la evacuación del agua por lo cual el lavado se dificulta, y por tanto se requiere de una gran mano de obra para realizar esta actividad. Se recomienda incrementar el diámetro del orificio de salida y la válvula para reducir este limitante.
- El orificio de captación presenta un diámetro de 4 pulgadas y permite captar un caudal de entre 9 L/s a 11,5 L/s.

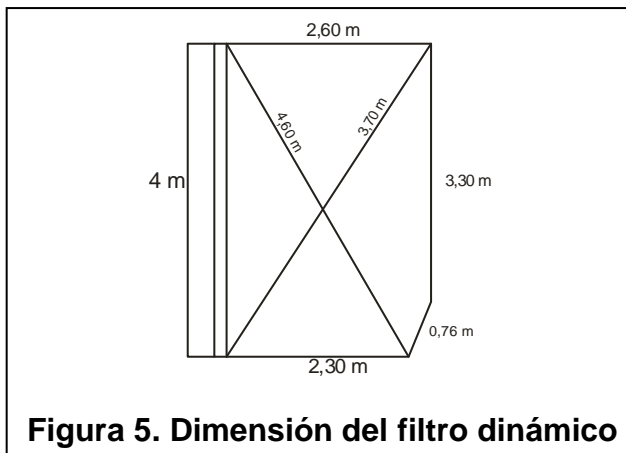


Figura 4. Fotografías sistema de captación

- **SISTEMA DE TRATAMIENTO**

Una vez captada el agua pasa al sistema de tratamiento el cual consiste en dos etapas de filtración en grava, en la primera etapa contiene un filtro dinámico y la segunda un filtro grueso de flujo ascendente.

El filtro dinámico es un lecho de grava mezclado con una malla de poli sombra en la superficie. Las dimensiones de la unidad se presentan en la figura 5 y en la figura 6 se presentan fotos del estado del filtro. El sistema de drenaje de fondo está conectado a una válvula de fondo que permite hacer el lavado.



Con base en las medidas que se presentan en la figura 5 se determinó el área superficial la cual corresponde a un valor de 10,3 m². Con esta área y considerando un caudal promedio de 10 L/s se estimó la velocidad de filtración en 3,4 m/h. Esta velocidad es mayor a la ideal para un filtro dinámico recomendada por Galvis *et al*, (1999) la cual es de 2 m/h. Esta mayor velocidad de operación del filtro puede tapar rápidamente la unidad, generar rebose y limitar la cantidad de agua requerida para el abastecimiento.



Figura 6. Fotografías filtro dinámico

Gravas: profundidad del filtro 70 centímetros, de los cuales 60 centímetros son de grava, distribuidas en tres capas: 1/4" a 1/2" ubicada como capas superficial, 1/2 "

a 3/4", como capa intermedia y 3/4" a 1" en el fondo del filtro. Las dos primeras se encontraron mezcladas.

Sistema de drenaje del fondo consta de una tubería de 3" de diámetro con orificios realizados de manera paralela, una separación de 5 cm entre ellos. El sistema cuenta con una válvula de compuerta conectada al sistema de drenaje de fondo para realizar el lavado de la unidad.

Se evaluó la capacidad del sistema para el lavado de fondo. El caudal evacuado fue de 8 L/s y la velocidad de lavado estimada con base en este caudal y el área superficial se determinó la velocidad de lavado, la cual correspondió a 2.8 m/h. Esta es considerada como baja para realizar el lavado de fondo de filtros en grava donde se requiere una velocidad mínima de 15 m/h (Galvis et al, 1999).

Debido a la baja posibilidad de lavado de fondo esta unidad requiere la extracción del lecho filtrante de tres a cuatro veces al año con una gran demanda de mano de obra para realizar esta actividad.

• FILTROS GRUESOS ASCENDENTES

La estructura consta de dos tanques que funcionan en paralelo, uno de ellos con medio filtrante (filtro 1) y el otro sin medio filtrante (filtro 2). El medio filtrante utilizado es grava de río, sin embargo no se logró establecer los diámetros ni el estado de las diferentes capas.

En la figura 7 se presentan las dimensiones de los filtros, con las cuales se estimó en 14,2 m² el área para cada filtro. Se midió el caudal para cada uno de los filtros, el cual se estimó en 4,8 L/s, lo cual representa una velocidad de filtración de 1,2 m/h, siendo está un poco alta, ya que la máxima que se recomendada es de 0,7 m/h (Galvis et al, 1999).

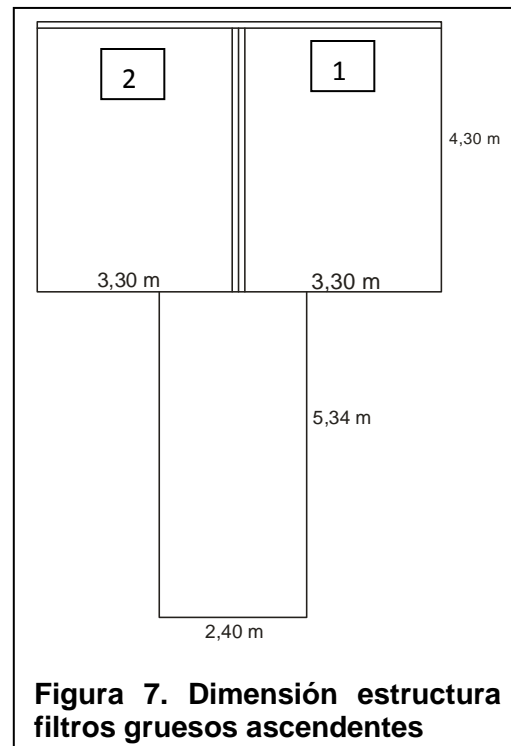


Figura 7. Dimensión estructura filtros gruesos ascendentes

La alta velocidad de filtración utilizada en este caso podría generar bajas eficiencias de remoción en términos de turbiedad, color y coliformes fecales, además de incrementos en las labores de operación y mantenimiento, tal como lo reporta Galvis et al, (1999),

Durante la inspección se midió la pérdida de carga en el filtro con lecho filtrante, alcanzando un valor de 19 centímetros; el cual es considerado como alto e indica que el filtro se encuentra colmatado o que la velocidad de filtración es demasiado alta y se ve la necesidad de un lavado total del lecho filtrante. No se pudo verificar el caudal de lavado de fondo, por lo que se presume que el sistema de drenaje no está funcionando adecuadamente, lo cual es otra razón más que sustenta la alta pérdida de carga registrada.



Figura 8. Fotografía estructura filtros gruesos ascendentes

- **EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

La eficiencia del sistema se estimó con base en datos de calidad de agua medidos durante el periodo de Marzo a octubre y se resumen en las Tablas 4 y 5. Información detallada se presenta en el Anexo 1 al 5.

Tabla 5. Resumen datos de calidad de agua del parámetro pH en el sistema de tratamiento.

Estadístico	PUNTOS MUESTREO			
	Filtro Izquierdo, sin tratamiento	Filtro Derecho, Con tratamiento	Tanque Cortijo	Red Distribución
Promedio	7,5	7,3	7,3	7,3
Máximo	7,6	7,5	7,4	7,4
Mínimo	7,4	7,2	7,2	7,2
Número de Datos	12	12	12	12

Tabla 6. Resumen datos de calidad de agua del parámetro turbiedad (UNT) en el sistema de tratamiento.

Estadístico	PUNTOS MUESTREO			
	Filtro Izquierdo, sin tratamiento	Filtro Derecho, Con tratamiento	Tanque Cortijo	Red Distribución
Promedio	15,7	10,2	13,5	10,9
Máximo	21,3	16,6	18,1	17,4
Mínimo	13,1	7,9	12,4	9,3
Número de Datos	12	12	12	12

Tabla 7. Resumen datos de calidad de agua del parámetro color (UPC) en el sistema de tratamiento.

Estadístico	PUNTOS MUESTREO			
	Filtro Izquierdo, sin tratamiento	Filtro Derecho, Con tratamiento	Tanque Cortijo	Red Distribución
Promedio	22,6	18,5	20,8	16,6
Máximo	32	25	25	21
Mínimo	15	15	17	11
Número de Datos	12	12	12	12

Tabla 8. Resultados calidad de agua cruda parámetros microbiológicos en red de distribución

23-may-14	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml	E. COLI NMP/100 ml
Tanque almacenamiento cortijo	2419,6	365,4
Tanque Cabuyera	2419,6	36,5
Vivienda Calibio	2419,6	101,4
Vivienda La Sabana	1203,6	28,5
Vivienda Luligo	2419,6	54,6

Tal como se presentó en la tablas 6 y 7 las eficiencias de remoción en términos de turbiedad y color son bajas o nulas, incluso para el caso de turbiedad en el filtro 1 (con lecho filtrante) la turbiedad se incrementa al pasar por la unidad, mostrando que el medio se encuentra colmatado y está desprendiendo lodo que ha sido retenido previamente. Mientras que para el filtro 2 (sin lecho filtrante) la eficiencia solo es del 20.6%, la cual se considera como baja ya que al no tener medio filtrante funciona como un sedimentador simple. Para el color la remoción fue del 27.7% y 11.7% para el filtro 1 y 2 respectivamente, valores que son igualmente bajos comparados con los reportados en la literatura por Fernández *et al*, 2006, Galvis *et al*, 1999, Sánchez *et al*, 2007.

De igual manera la eficiencia desde el punto de vista microbiológico es nulo o muy baja comparada con lo reportado en la literatura, donde se reportan remociones en Coliformes fecales superiores al 90%, Fernández *et al*, 2006, Galvis *et al*, 1999, Sánchez *et al*, 2007.

- **TUBERIA DE CONDUCCION**

A lo largo de la visita se pudo conocer toda la infraestructura que compone la distribución del agua hacia el tanque de almacenamiento, comprendiendo ramales de tubería de 3" de PVC presión, cambiando varias veces de diámetro y volviendo al original, con longitud de 2 kilómetros, posee varios pasos colgantes, estos se hallan expuestos, 18 ventosas, a las cuales el operador le ha abierto orificios artesanales para que no se acumule aire en la tubería y 6 pasos los cuales se encuentran en algunos en mal estado.



Figura 9. Fotografías ventosas y pasos

- **TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

El sistema consta de dos tanques de almacenamiento el Cortijo y La Cabuyera. El primero se considera el más importante ya que de él se desprenden toda la tubería de distribución, incluyendo la que alimenta al tanque de la Cabuyera.

El Tanque del Cortijo consta de 2 tanques de almacenamiento en cemento interconectados por medio de un bypass, que al estar abierto forma un solo volumen, su valor es aproximadamente 119,3 m³.

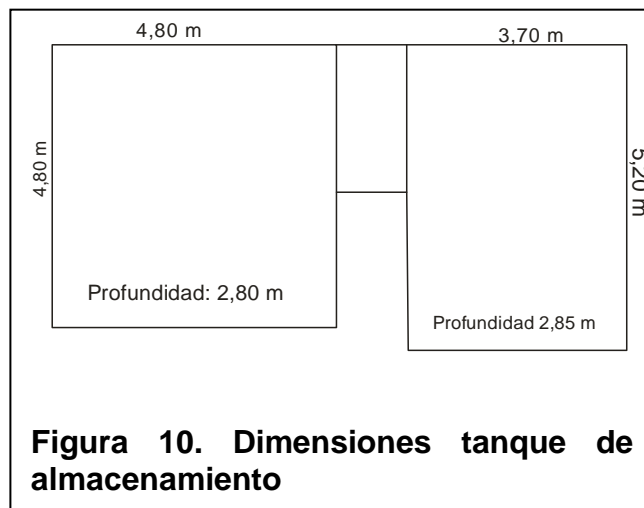


Figura 11. Fotografía tanque de almacenamiento

Caudal de entrada al tanque Cortijo

$$\frac{10,17 \text{ m}^3}{15 \text{ min}} = 0,68 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times \frac{1000 \text{ L}}{60 \text{ s}} = 11,3 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

- **SISTEMA DE DESINFECCIÓN**

Durante la inspección realizada se encontró un sistema compuesto por una caseta de protección ubicada sobre el tanque de almacenamiento. También se cuenta con un tanque de 500 L en asbesto cemento para la dosificación de cloro, sin embargo esto nunca fue utilizado y se encuentra en un alto grado de deterioro, lo cual lo inhabilita para un posterior uso en el sistema de desinfección que se

adopte. El sistema encontrado tampoco presentó una tubería de acceso a agua para la preparación de la solución desinfectante. En la figura 12 se presenta fotos del sistema de desinfección encontrado.

Por este motivo se sugiere la compra de un tanque de 500 L, la instalación de un collarín de derivación, para que el agua llegue a la mezcla y posteriormente al tanque de almacenamiento, este compromiso por parte de la junta de acueducto (ASOCALIBIO).



Figura 12. Fotografía caseta de protección y tanque de asbesto cemento

- **RED DE DISTRIBUCION**

Del tanque del cortijo se desprenden dos ramales en tuberías, algunas de PVC y algunas otras en asbesto cemento, los ramales alimentan a Calibio, La Sabana, Luligo, La Cabuyera, La Fortaleza, abasteciendo aproximadamente a 1000 familias.

7.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN

Una vez seleccionado el sistema de desinfección se realizaron ensayos de laboratorio tendientes a determinar la posible dosis a implementar, para ello tomaron muestras de agua de la red de distribución y se realizaron curvas de demanda de cloro.

7.2.1. Determinación de la dosis por medio de la Curva demanda de cloro

Se realizaron 3 curvas de demanda de cloro tomando concentraciones desde 0.1 mg/L hasta 2.2 mg/L y el cloro residual libre los cuales se promediaron y se

muestran en la figura 13, los resultados detallados de cada una de a las curvas se presenta en el anexo 6.

En las gráficas de curva de demanda de cloro tienden a un comportamiento ideal descrito anteriormente, se ve claramente el punto de quiebre ubicado a una dosis de aproximadamente 3.5 mg/L. Se observa que entre las dosis de 0.5 y 3.0 mg/L se encuentra la zona de formación de cloraminas y entre 3.0 y 3.5 mg/L la zona de su destrucción.

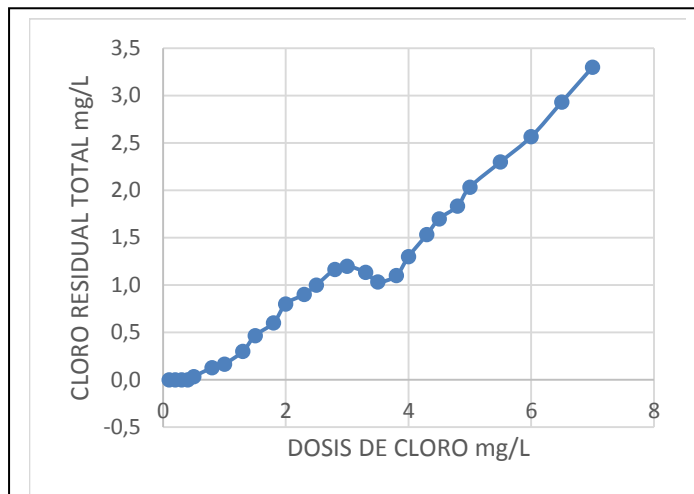


Figura 13. Curva 2 demanda de cloro

Un importante hallazgo de la curva indica que a partir de 1.0 mg/L se tendrá un cloro residual libre superior a 0.2 mg/L, límite mínimo establecido en la reglamentación Colombiana como cloro residual (Ministerios de Protección Social y del Ambiente, 2007).

Dado que en presente caso se está desinfectado aguas parcialmente crudas, la selección de la dosis debe responder a dos cosas: en la primera a la necesidad de garantizar un residual entre 0.2 y 1.0 mg/L tal como lo reglamente la resolución 2115 de 2007 y en la segunda a reducir la posibilidad de formación de sustancias indeseables en el agua tratada. En este sentido para minimizar la presencia de sustancias indeseables, la cloración deberá ser realizada en la zona de formación de aminas (Arboleda, 2000) y con la menor dosis posible (Macias *et al*, SF). Al observar la curva de demanda de cloro y las consideraciones realizadas anteriormente, se determina que la dosis apropiada para este caso debe estar entre 1.3 y 3.0 mg/L que permitirán residuales de cloro entre 0,3 y 1,2 mg/L, y específicamente se recomendará una dosis de 1,5 mg/L la cual genera un residual de 0,5 mg/L, el cual es suficientemente alto para realizar la desinfección pero bajo para minimizar la posible generación de sustancias indeseables.

7.2.2. Caudal a dosificar

Para estimar la cantidad de solución de cloro a dosificar se determinará el volumen útil del tanque de almacenamiento. Para ello se considerará que el dosificador no permite usar los últimos 20 cm del tanque, por lo tanto la altura útil del tanque será de 65 cm. También se considerará que la solución de cloro será preparada cada 60 horas, por lo tanto el caudal de dosificación será aquel que

corresponda a la división entre el volumen útil del tanque entre el tiempo de dosificación.

Volumen útil del tanque 500 L

$$volumen = \frac{h \times \pi}{3} \times (r1^2 + r2^2 + (r1 \times r2))$$

$$volumen = \frac{0,65 \times \pi}{3} \times (0,375^2 + 0,5^2 + (0,375 \times 0,5))$$

Volumen = 0,4 m³

Caudal a dosificar

$$\frac{0,4 \text{ m}^3}{2,5 \text{ dias}} \times \frac{1000 \text{ L}}{86400 \text{ s}} = 1,85 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Preparación de solución de hipoclorito de calcio

Para determinar la cantidad de hipoclorito requerida se realizará un balance de masa a la entrada del tanque de Almacenamiento, tal como se presenta en la figura 14.

Donde:

Q1= caudal de agua a desinfectar = 11.33 L/s

Q2= Caudal del dosificador =
1. 85 x10⁻³ L/s

C1= Dosis de cloro 1.5 mg/L

C2 x Q2 = Q3 x C1

1.85 x10⁻³ L/s x C2 = 11.33 L/s x 1.5 mg/L

C2= 9186, 48 mg/L

9186, 48 mg/L x 400 L = 3674594 mg x $\frac{1g}{1000 Mg}$ x $\frac{1 kg}{1000 g}$ = 3, 67 Kg

Se tiene el cloro con una pureza del 70 %

$\frac{3,67 \text{ kg}}{0,70} = 5,24 \text{ kg Cloro}$

Este es lo que se le debe añadir a los 400 litros de agua, para así formar la solución de hipoclorito de Calcio con una concentración de 1.5 mg/L requerida para la dosificación. Esta solución se debe ser preparada cada 60 horas, por lo tanto el consumo mensual del hipoclorito será de 62,8 kg/mes.

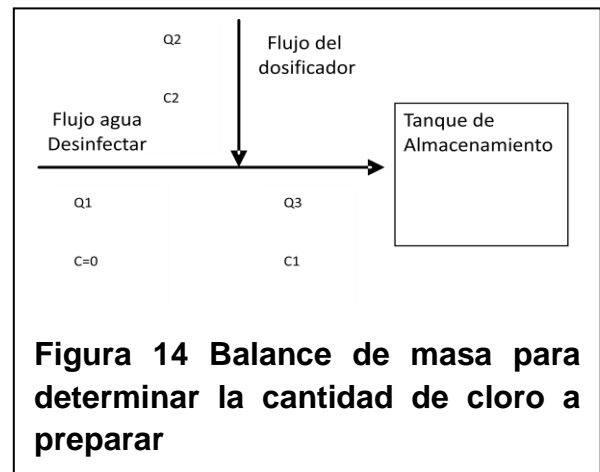


Figura 14 Balance de masa para determinar la cantidad de cloro a preparar

7.2.3. Dosificador de cabeza constante

Se construyó en material de PVC presión de una (1) pulgada. Para ello se realizó un taller con la comunidad, especialmente con miembros de la Junta

Administradora del Acueducto, tal como se aprecia en las fotos de la figura 15. En este taller también se aprovechó para realizar la capacitación sobre la forma de preparar la solución de cloro y el buen uso de los elementos de protección necesario para ello.



Figura 15. Fotografías construcción dosificador de cabeza constante.

7.3. SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN

Para realizar el seguimiento se midió en los tanques de almacenamiento y en tres puntos de la red de distribución los parámetros cloro residual libre y coliformes totales y fecales, los cuales se resumen en las tablas 9, 10 y 11 respectivamente, mientras que los datos detallados se encuentran en los anexos 7 al 9.

De acuerdo con estos resultados alcanzados en cloro residual, observados durante las dos primera semanas de seguimiento se alcanzaron concentraciones de 0 mg/L de Cloro residual libre en la red de distribución, lo cual se atribuyó a varios factores entre ellos, a la vejez de las tuberías además que muchas todavía son de asbesto cemento y al estado de limpieza de los tanques almacenamiento. No obstante, cuando se inicia el proceso de desinfección y el agua es enviada a la red de distribución, es necesario hacer un ajuste posterior de las concentraciones debido a que siempre existe la posibilidad de contaminación por infiltración en la red o por otros factores ya mencionados.

Para superar esta limitante se realizó el lavado de los tanques de almacenamiento. Después de desarrollar esta actividad se determinaron, en todos los puntos evaluados de la red, concentraciones de cloro residual libre entre 0.2 mg/L y 1.0 mg/L como lo exige la Resolución 2115 de 2007.

Tabla 9 Resumen datos de calidad de agua en los parámetros cloro residual en el sistema de desinfección.

Cloro residual Mg/L				
Estadístico	Tanque Almacenamiento Cortijo	Tanque Cabuyera	Vivienda Calibio	Vivienda La Sabana
Promedio	1,53	0,9	0,36	0,25
Máximo	1,8	1,5	0,6	0,5
Mínimo	0,7	0	0	0
Número de Datos	26	20	26	23

La calidad microbiológica evaluada mediante coliformes (totales y fecales) y E.Coli, fue tomada dos veces durante el periodo de seguimiento por personal adscrito a la Secretaria de Salud Municipal de Popayán, y que se resumen en las tablas 10 y 11.

Tabla 10 Resumen datos de calidad de agua en los parámetros Coliformes Totales en el sistema de desinfección.

Estadístico	Coliformes Totales (NMP/100 ml)				
	Tanque Almacenamiento Cortijo	Tanque Cabuyera	Vivienda Calibio	Vivienda La Sabana	Vivienda Luligo
Promedio	0	2,5	15,5	114	181,5
Máximo	0	5	21	149	236
Mínimo	0	0	10	79	127
Número de Datos	2	2	2	2	2

Tabla 11 Resumen datos de calidad de agua en los parámetros E. Coli en el sistema de desinfección.

Estadístico	E. Coli (NMP/100 ml)				
	Tanque Almacenamiento Cortijo	Tanque Cabuyera	Vivienda Calibío	Vivienda La Sabana	Vivienda Luligo
Promedio	0	0	1,5	4,5	8,5
Máximo	0	0	3	9	17
Mínimo	0	0	0	0	0
Número de Datos	2	2	2	2	2

Los datos con las características microbiológicas del agua indican que la contaminación en los tanques fue controlada por la acción del hipoclorito dosificado. Sin embargo, la presencia de coliformes (totales y fecales), en la red demuestra que se puede estar presentando contaminación en la distribución ya sea por la introducción de aguas o por la posible formación de biopelícula en la red de distribución sin embargo se logra una eficiencia del 95% a lo largo de todo el sistema de distribución para este sistema de desinfección. Según los operadores esta red lleva muchos años en funcionamiento y nunca se le ha realizado una limpieza ni la desinfección de la misma. Por este motivo se procede a realizar la purga de los tanques y la tubería, como se puede observar en la figura 16, se aplica una dosis alta de cloro en los tanques de almacenamiento, se deja que tenga un tiempo de retención de aproximadamente 3 horas para verificar la concentración, y así realizar la purga de todo el sistema de conducción, pasado aproximadamente 1 día, se realizó la toma de muestras de cloro residual en varios puntos de la red, incluyendo el más alejado, teniendo como resultados los presentados en la tabla 12.



Figura 16, Fotografías actividad de purga de tanques y tuberías.

Tabla 12 Resumen datos de calidad de agua en los parámetros cloro residual en el sistema de desinfección después de purga.

Cloro residual Mg/L				
Estadístico	Tanque Almacenamiento Cortijo	Vivienda Calibio	Vivienda La Sabana	Vivienda Luligo
Promedio	5,2	3,6	2,8	1,3

Según los resultados obtenidos, se pudo verificar que el cloro llega a todos los puntos de la tubería, logrando así la eliminación de toda aquella materia orgánica presente, además de colaborar en que no se presente la formación de nueva biopelícula en ella.

Dentro de esas consideraciones, hay que destacar que en el medio rural el agua no siempre va del grifo al consumidor. En ocasiones se deja en depósitos (baldes y tanques) y en otras los pobladores deben buscarla y acarrearla desde puntos alejados (grifos públicos y fuentes).

Esas prácticas hacen que la contaminación de esas aguas sea frecuente. Surge entonces la necesidad de contar con medidas de seguridad luego de la desinfección para hacer frente a esa contaminación posterior. El residual de desinfectante se convierte entonces en una barrera contra la contaminación que casi seguramente ocurrirá dentro de la morada. El resultado de esta observación es que el desinfectante debe dejar un residual en la red.

El equipo de desinfección está ligado, como ninguna otra parte del sistema, a la junta de agua, al operador y hasta a los mismos usuarios. Por ello es que se debe encarar una doble actividad, primero de concientización a todo el espectro social (operador, junta de acueducto y a los usuarios) acerca de la necesidad de desinfectar, de sus bondades, de los riesgos de una desinfección inadecuada, de la importancia del ahorro y del manejo adecuado que esta debe tener. Para esta actividad se realizó una capacitación que, en primera instancia incluyó a la junta administradora del acueducto ASOCALIBIO, y después se hizo la capacitación con los líderes de la comunidad.

Es importante que los responsables de la instalación de un sistema de agua potable y de la implementación de la desinfección, comuniquen, informen y discutan estos aspectos con la comunidad una y otra vez hasta tener la seguridad de que se ha concientizado a la población y que no habrá rechazo a la desinfección a pesar de los inconvenientes



Figura 17, Fotografías capacitación junta de acueducto.



Figura 18, Fotografías capacitación líderes juntas de acción comunales.

Los usuarios tienen que haber entendido que existe una clara relación entre el agua y la salud y que la desinfección, aún con sus ligeros inconvenientes, es la barrera imprescindible para detener el riesgo de la enfermedad.

La segunda actividad que se debe encarar es la de capacitar en detalle al operador, a los operadores sustitutos y a los miembros de la junta de agua en los requisitos, en las formas operativas de la desinfección en general y en aquellos relacionados con el equipo o sistema específico que se está utilizando en la comunidad. La capacitación debe tener como resultado gente que actúe casi en forma automática en cuestiones de desinfección. Ello conlleva también la preparación de instrucciones que sean claras, comprensibles, aceptables y aceptadas por la junta y los operadores. Es decir que el respaldo técnico es vital. Las rondas de supervisión, refuerzo y apoyo por parte de personal capacitado que frecuentemente visite la comunidad son condición sino para que la desinfección no se detenga o discontinúe.

CONCLUSIONES

- La calidad del agua aunque por sus características físicas se clasificó como regular, su estudio microbiológico indica que por sus parámetros estaba de regular a deficiente y que para el uso doméstico requiere de tratamiento de desinfección.
- El sistema de tratamiento con base en gravas presenta graves limitantes para alcanzar un óptimo funcionamiento en la obtención de calidad de agua para consumo humano, debido al rastrillado superficial frecuente y al escaso periodo de retención del agua sobre el filtro se estima que no existe condiciones óptimas para el desarrollo de la acción biológica del filtro, por lo cual la eficiencia de estos filtros es menor a la de un filtro lento convencional.
- La implementación del sistema de desinfección (hipoclorito de Calcio) permitió reducir el riesgo microbiológico eliminando el 100% los coliformes (totales y fecales) en los tanques de almacenamiento. Sin embargo persisten limitaciones para reducir su concentración a valores de cero en la red de distribución, probablemente por la falta de una adecuada limpieza y desinfección en las tuberías que la componen.
- La implementación y evaluación del sistema de desinfección tal como se desarrolló en el presente proyecto, mantuvo su adecuado funcionamiento y la operación fue realizado por la propia comunidad involucrada. Este aspecto se considera importante ya que permite concluir que lo sencillo del sistema permite su manejo por operadores locales de baja escolaridad, con una capacitación previa.

RECOMENDACIONES

- Para garantizar y optimizar el proceso de desinfección se debe hacer limpieza de los tanques y las tuberías por parte de la junta de acueducto y mejorar las condiciones de aquellos que presentan rebosamiento, por medio de un flotador para que no se desperdicie el cloro.
- En un tiempo cercano hacer el rediseño de los filtros para que el proceso de remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica sea más efectivo reduciendo así la cantidad de cloro a suministrar y así mismo los gastos de mantenimiento.

- Recomendar a la Secretaría de Salud Municipal de Popayán la implementación de un programa de desinfección de agua en los acueductos rurales, que permita reducir el riesgo microbiológico que se presenta actualmente en estos sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

DECRETO 1575, "Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano". (Mayo), 2007.

DEFENSORIA DEL PUEBLO (DP), Diagnóstico sobre Calidad de Agua para Consumo Humano; Segundo Informe Defensoría, (octubre), 2006. p.8.

DUARTE R, Edisson, OLIVERO VERBEL, Jesús, JARAMILLO C, Beatriz E, Remoción de Cromo de Aguas Residuales de Curtiembres Usando Quitosan Obtenido de Desechos de Camarón, Scientia et Technica Año XV, No 42, Universidad Tecnológica de Pereira (Agosto), 2009.

FERNANDEZ M, Javier Ernesto, CRUZ M, Albeiro, BENAVIDES H, Edwin Jair, "Remoción de materia orgánica por filtración en Múltiples Etapas". En: Colombia Ingeniería Hoy ISSN: 0121-392X ed: editorial Universidad Del Cauca.24 fasc. p.20 - 27 ,2006

GALVIS C, Gerardo, Latorre M, Jorge, Jan Teun Visscher; "Filtración en Múltiples etapas"; CINARA, IRC; Colombia; 1999.

GÓMEZ Ricardo, DEL PALACIO Mampaso, SÁNCHEZ SEGURA Teresa, Un Ejemplo de Abastecimiento y Saneamiento a Ciudades. La Confederación Hidrográfica del Tajo. Observatorio Medioambiental, núm. 8 127-151, ISSN: 1139-1987, 2005. p.128.

MARCÉN LETOSA, Juan José, GRACIA ORTUBIA Mariano, CONCHA Germán, Agua de Bebida Saludable por Tubería. Una Misión (casi) Imposible, Simposio I: Usos Urbano- Industriales y funciones de salud de las aguas", Foro Interdisciplinar del Agua, Universidad de Zaragoza. p.3.

OLMEDO SÁNCHEZ, María Teresa, Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud, Higiene y Sanidad Ambiental, ISSN 1579-1734. Depósito legal GR-222/2002 (Granada. España), 2008.p.335, 336.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS), las enfermedades transmitidas por el agua; Red internacional para la promoción del tratamiento y el almacenamiento seguro del agua doméstica, Clasificación NLM: WA 675, ISBN 978 92 4 359522 1, 2007. p.10.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS), Medición del Cloro Residual en el Agua; Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud. Guía técnica No. 11. (Mayo), 2009. p.1.

OTÁLORA RODRIGUEZ, Alejandra Patricia. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de Caño Gandul. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2011. p 4-19, 4-26.

PÉREZ P, Jorge Arturo, Calidad de Agua, Tratamiento de Aguas, Universidad Nacional. p.1.

PÉREZ LÓPEZ, J A, ESPIGAREZ GARCÍA, M, Desinfección del agua, Universidad de Granada, Estudio Sanitario del Agua, 1995. p. 8.

REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000, Tratamiento de Aguas Residuales, Republica de Colombia, Ministerio de Desarrollo económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, (Noviembre: Bogotá), 2000.p.E6.

RESOLUCION 2115, “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”. (Junio), 2007.

ROCHA CASTRO, E, Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas, 2011.p. 5-1.

Romero R, Jairo Alberto, ACUIQUIMICA. Editorial Escuela Colombiana de ingeniería.1996. p. 7.

SÁNCHEZ TARRAGÓ, Nancy, Alternativas de Desinfección del Agua, Reporte Técnico de Vigilancia, Vol.2 No. 5, ISSN 1028-4338, (Abril), 1997.p. 3.

SECRETARIA DE SALUD DEPARTAMENTAL DEL CAUCA (SSDC), “Una información actualizada, concreta y consolidada del quehacer de las IPS en

relación con las atenciones y eventos que ocurren en la población”, Diagnostico Epidemiológico Departamento del Cauca, 2010. p. 61.

SECRETARIA DE SALUD MUNICIPAL (SSM), Plan de Salud del Municipio de Popayán 2008 – 2011. (Abril), 2008. p.21.

VISSCHER, J T, PARAMASIVAN, R, RAMAN, A, HEIJNEN, H A, Filtración Lenta en Arena, Tratamiento de Agua para Comunidades, Planeación, Diseño, Construcción y Mantenimiento, Centro Inter-Regional de Abastecimiento y remoción de Agua (CINARA), Documento Técnico 24 (Cali), 1992.p.1.

ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS pH

FECHA	PUNTOS DE MUESTREO				
	1	2	3	4	5
03-Mar-14	7,1	7,6	7,4	7,4	7,4
10-Mar-14	7,2	7,5	7,5	7,4	7,4
19-Mar-14	7,3	7,4	7,3	7,3	7,3
25-Mar-14	7,3	7,5	7,3	7,3	7,3
09-Abr-14	7,2	7,4	7,5	7,3	7,3
16-Abr-14	7,4	7,5	7,3	7,3	7,3
24-Abr-14	7,3	7,4	7,2	7,2	7,2
01-May-14	7,2	7,5	7,4	7,3	7,3
14-May-14	7,3	7,5	7,2	7,2	7,3
23-May-14	7,4	7,6	7,4	7,4	7,4
30-May-14	7,4	7,6	7,3	7,3	7,3
09-Jun-14	7,2	7,4	7,2	7,2	7,2

Tabla A1. Resultados pH

Muestra 1: Quebrada Clarete.
Muestra 2: filtro izquierdo, sin tratamiento.
Muestra 3: filtro derecho, con tratamiento.
Muestra 4: tanque receptor del agua.
Muestra 5: red de distribución.

ANEXO 2. RESULTADOS TURBIEDAD (NTU)

FECHA	PUNTOS DE MUESTREO				
	1	2	3	4	5
03-Mar-14	12,5	16,8	9,85	13,6	11,6
10-Mar-14	10,5	13,9	8,73	11,3	10,1
19-Mar-14	18,2	21,3	16,6	18,1	17,4
25-Mar-14	11,9	15,3	8,4	11,7	10,3
09-Abr-14	11,7	15,2	7,9	11,4	9,3
16-Abr-14	12,9	17,1	9,3	12,4	10,1
24-Abr-14	12,7	15,2	9,4	14,1	11,2
01-May-14	13,1	16,1	10,3	15,7	12,1
14-May-14	11,2	13,1	8,3	12,4	10,2
23-May-14	10,7	13,5	9,4	12,7	10,3
30-May-14	13,7	15,3	11,4	14,7	12,1
09-Jun-14	11,6	14,2	10,2	12,8	11,3

Tabla A2. Resultados turbiedad

Muestra 1: Quebrada Clarete.
Muestra 2: filtro izquierdo, sin tratamiento.
Muestra 3: filtro derecho, con tratamiento.
Muestra 4: tanque receptor del agua.
Muestra 5: red de distribución.

ANEXO 3. RESULTADOS COLOR (UPC)

FECHA	PUNTOS DE MUESTREO				
	1	2	3	4	5
03-Mar-14	28	26	19	20	15
10-Mar-14	21	24	16	18	11
19-Mar-14	34	32	25	24	21
25-Mar-14	26	22	17	19	13
09-Abr-14	27	24	16	18	18
16-Abr-14	29	27	18	22	20
24-Abr-14	28	26	19	21	16
01-May-14	30	25	20	23	18
14-May-14	23	19	15	17	13
23-May-14	21	15	18	20	17
30-May-14	22	16	20	25	19
09-Jun-14	18	15	19	22	18

Tabla A3. Resultados de color

Muestra 1: Quebrada Clarete.
 Muestra 2: filtro izquierdo, sin tratamiento.
 Muestra 3: filtro derecho, con tratamiento.
 Muestra 4: tanque receptor del agua.
 Muestra 5: red de distribución.

ANEXO 4. RESULTADOS LABORATORIO CURVA DEMANDA DE CLORO

SOLUCION MADRE DE
 CLORO 480 Mg/L

Dosis cloro mg/l	Cloro residuo al total	Dosis cloro mg/l	Cloro residuo l total
0,1	0	3	1
0,2	0	3,3	0,8
0,3	0	3,5	1,1
0,4	0	3,8	1,3
0,5	0,1	4	1,6
0,8	0,16	4,3	1,8
1	0,2	4,5	1,9
1,3	0,4	4,8	2
1,5	0,6	5	2,2
1,8	0,7	5,5	2,5
2	0,9	6	2,8
2,3	1	6,5	3,1
2,5	1,1	7	3,5
2,8	1,3		

Tabla A4.1. Resultados curva demanda de cloro

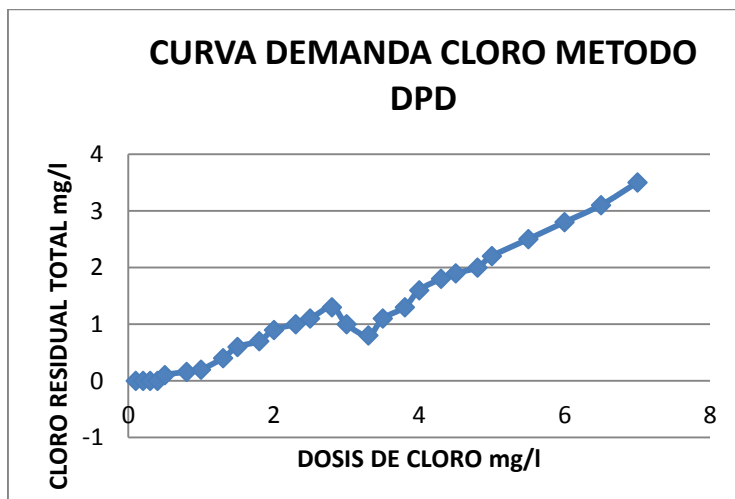


Figura A4.1, Curva demanda de cloro.

Dosis cloro mg/l	Cloro residual total	Dosis cloro mg/l	Cloro residual total
0,1	0	3	1,4
0,2	0	3,3	1,1
0,3	0	3,5	0,7
0,4	0	3,8	1
0,5	0	4	1,2
0,8	0,13	4,3	1,5
1	0,19	4,5	1,7
1,3	0,3	4,8	1,8
1,5	0,5	5	2
1,8	0,6	5,5	2,3
2	0,8	6	2,6
2,3	0,9	6,5	3
2,5	1	7	3,4
2,8	1,2		

Tabla A4.2. Resultados curva demanda de cloro

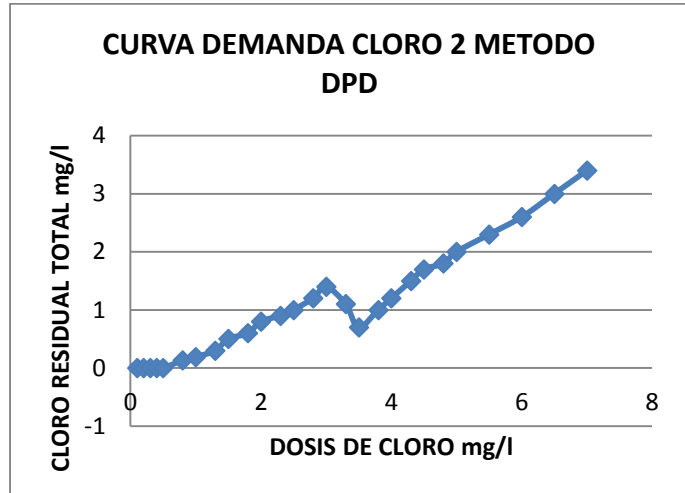


Figura A4.2, Curva 2 demanda de cloro.

Dosis cloro mg/l	Cloro residual total	Dosis cloro mg/l	Cloro residual total
0,1	0	3	1,2
0,2	0	3,3	1,5
0,3	0	3,5	1,3
0,4	0	3,8	1
0,5	0	4	1,1
0,8	0,09	4,3	1,3
1	0,11	4,5	1,5
1,3	0,2	4,8	1,7
1,5	0,3	5	1,9
1,8	0,5	5,5	2,1
2	0,7	6	2,3
2,3	0,8	6,5	2,7
2,5	0,9	7	3
2,8	1		

Tabla A4.3. Resultados curva demanda de cloro

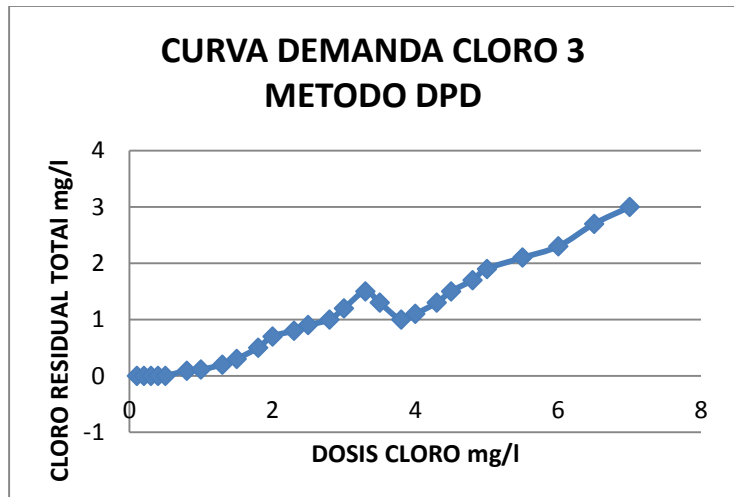


Figura A4.3, Curva 3 demanda de cloro.

ANEXO 5. RESULTADOS CLORO RESIDUAL

FECHA	CLORO RESIDUAL mg/L				FECHA	CLORO RESIDUAL mg/L			
	1	2	3	4		1	2	3	4
25-Ago	1,5	0	0	0	23-Sep	1,5	1	0,5	0,2
27-Ago	1	0	0	0	24-Sep	1,7	1,3	0,6	0,4
29-Ago	1,2	0,2	0	0	25-Sep	1,6		0,4	0,4
02-Sep	0,7	0	0	0	26-Sep	1,7	1,2	0,5	0,4
04-Sep	1,5	1	0	0	27-Sep	1,4		0,5	0,3
06-Sep	1,5	0,8	0,2	0	29-Sep	1,8	1,4	0,6	0,5
08-Sep	2	1,5	0,3	0,3	30-Sep	1,7	1,2	0,4	
10-Sep	1,8		0,4	0,3	02-Oct	1,6		0,4	0,4
12-Sep	1,5		0,5	0,3	03-Oct	1,8	1,3	0,5	0,4
15-Sep	1,6	1,2	0,6		04-Oct	1,5	1	0,3	0,3
17-Sep	1,5	1	0,5	0,3	06-Oct	1,6	1,2	0,4	0,3
19-Sep	1,6	1,1	0,5	0,3	08-Oct	1,7	1,3	0,5	0,3
22-Sep	1,4	1	0,4		10-Oct	1,5		0,4	0,4

Tabla A5. Resultados muestras cloro residual

ANEXO 6. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS SISTEMA DE DESINFECCION

27 agosto 2014	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml	E. COLI NMP/100 ml
MUESTRA 1	0	0
MUESTRA 2	5	0
MUESTRA 3	21	3
MUESTRA 4	149	9
MUESTRA 5	236	17

Muestra 1, Tanque almacenamiento
 Muestra 2, Tanque Cabuyera
 Muestra 3, vivienda Calibio
 Muestra 4, vivienda La Sabana
 Muestra 5, vivienda Luligo

Tabla A6. Resultados microbiológicos sistema de desinfección

ANEXO 7. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS SISTEMA DE DESINFECCION

4 octubre 2014	COLIFORMES TOTALES NMP/100ml	E. COLI NMP/100 ml
MUESTRA 1	0	0
MUESTRA 2	0	0
MUESTRA 3	10	0
MUESTRA 4	79	0
MUESTRA 5	127	0

Muestra 1, Tanque almacenamiento
 Muestra 2, Tanque Cabuyera
 Muestra 3, vivienda Calibio
 Muestra 4, vivienda La Sabana
 Muestra 5, vivienda Luligo

Tabla A7. Resultados microbiológicos sistema de desinfección