

**EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE DE LA VEREDA PALO SOLO DEL
MUNICIPIO DE AGUAZUL (CASANARE)**

**ÁLVARO IVÁN VARGAS VILLANUEVA
ANUAR ANXOR FLÓREZ OJEDA
LISETH MIREYA GLEEN RÍOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2009

**EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE DE LA VEREDA PALO SOLO DEL
MUNICIPIO DE AGUAZUL (CASANARE)**

**ÁLVARO IVÁN VARGAS VILLANUEVA
ANUAR ANXOR FLÓREZ OJEDA
LISETH MIREYA GLEEN RÍOS**

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental

Director:
OMAR ALEXANDER SALCEDO GORRAIZ
Ing. Sanitario y ambiental

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2009

DEDICATORIAS

A Dios por colmarme de tantas bendiciones. A mis padres Jeannette y Teobaldo por ser mí ejemplo a seguir. A mi esposo José Guillermo por su amor y su apoyo incondicional. A mi Hijo Diego Alejandro porque es la razón de mi ser, sentido en la vida y mi mayor felicidad. A mi Hija Nathalie porque aunque aún no ha nacido, ya forma parte de mí, de mi vida y de mi futuro... Te espero con mucha alegría.

Liseth Mireya Gleen Ríos

A Dios por sus inagotables bendiciones. A mis padres Isabel y Gabriel por su amor, ejemplo y apoyo. A Jenny por su incondicional amor, paciencia y comprensión como amiga y mujer y a todos aquellos que nos apoyaron y acompañaron en la realización de este trabajo.

Anuar Anxor Flórez Ojeda

A Dios por bendecirme. A mis padres Alvaro y Nelfa Lucero, por ser un ejemplo de vida. A Nelly por ser mujer y amiga como ninguna y a todos aquellos que nos brindaron su apoyo en la realización de este trabajo.

Álvaro Iván Vargas Villanueva

AGRADECIMIENTOS

A don Pedro Peralta de FERREAGUAS Y ASOCIADOS en la ciudad de Yopal, por su apoyo y confianza en la realización del presente trabajo.

A la Empresa de Servicios Públicos de Aguazul ESPA S.A. E.S.P., por la gestión adelantada en el mejoramiento del servicio de agua potable para la comunidad de la vereda Palo Solo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. FUNDAMENTO TEÓRICO	4
1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA	6
1.1.1 Turbiedad	7
1.1.2 Color	7
1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA	8
1.2.1 pH	9
1.3 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA	10
1.4 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE POTABILIZACIÓN DEL AGUA	11
1.4.1 Coagulación (mezcla rápida)	12
1.4.2 Floculación (mezcla lenta)	14
1.4.3 Sedimentación (decantación)	15
1.4.4 Filtración	17
1.4.5 Desinfección	19
2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	20
2.1 ESTUDIO TEÓRICO PRÁCTICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	21

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PTAP DE LA VEREDA PALO SOLO	22
2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DEL SISTEMA FLUIPACK	25
2.3.1 Aireación	26
2.3.2 Mezcla rápida	26
2.3.3 Floculación – sedimentación	28
2.3.4 Filtración	29
2.3.5 Desinfección	29
2.4 ELABORACIÓN DEL PLANO GENERAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA VEREDA PALO SOLO	30
2.5 INFORMACIÓN HISTÓRICA DE LA CALIDAD DEL AGUA TRATADA	30
2.6 IDENTIFICACIÓN DE LOS INSUMOS QUÍMICOS Y SU DOSIFICACIÓN	30
2.7 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE AGUA CRUDA Y TRATADA	32
2.8 REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE TRATABILIDAD	32
2.9 EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DEL SISTEMA FLUIPACK	33
3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA PLANTA	34
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA FUENTE Y LA CAPTACIÓN	34
3.2 REVISIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO FLUIPACK	36
3.3 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y EL CONSUMO	39
3.4 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL TRATADO	39
3.5 RESULTADOS HISTÓRICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA TRATADA	40

3.6 GRADO DE TRATAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA TRATADA	43
3.6.1 Calidad de la fuente y grado de tratamiento	43
3.6.2 Calidad del agua tratada	45
3.7 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRATABILIDAD	45
3.7.1 Preparación de insumos químicos	45
3.7.2 Dosis óptima de coagulante	45
3.7.3 Concentración óptima de coagulante	49
3.7.4 Gradiente y Tiempo óptimo de floculación	50
3.7.5 Demanda de cloro	52
3.8 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS	53
3.8.1 Evaluación de la preparación y dosificación de insumos químicos	53
3.8.1.1 Dosificación de coagulante	53
3.8.1.2 Dosificación de alcalinizante	54
3.8.1.3 Dosificación de desinfectante	54
3.8.2 Evaluación de la aireación	55
3.8.3 Evaluación de la mezcla rápida	56
3.8.4 Evaluación de la floculación-sedimentación	56
3.8.5 Evaluación de la filtración	58
3.8.5.1 Lechos filtrantes	58
3.8.5.2 Tasas de filtrado y lavado	59
3.8.5.3 Tiempo de lavado	59
3.8.5 Evaluación de la desinfección	61

3.9 EFICIENCIA DE LOS PROCESOS	61
4. CONCLUSIONES	65
5. RECOMENDACIONES Y SOLUCIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXO A. Prueba de trazadores en Flocculación - Sedimentación	71
ANEXO B. Planos generales de la PTAP de la vereda Palo Solo	73
ANEXO C. Fichas técnicas de los insumos	78

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Distribución de Tamaños de las partículas en el agua	8
Figura 2. Procesos Unitarios de una PTAP de filtración rápida	12
Figura 3. Clasificación de sistemas de filtración	18
Figura 4. Etapas de la metodología del estudio	20
Figura 5. Vista General de la PTAP FLUIPACK de la vereda Palo Solo	22
Figura 6. Sistema de rebombeo de agua tratada	24
Figura 7. Caseta del laboratorio	24
Figura 8. Esquema general de los procesos de la PTAP Palo Solo	25
Figura 9. Procesos de Tratamiento del sistema FLUIPACK	26
Figura 10. Bandejas de aireación y cono de mezcla rápida	27
Figura 11. Bombas de diafragma para dosificación de insumos	28
Figura 12. Punto de aplicación del hipoclorito de sodio	29
Figura 13. Captación de la PTAP de la vereda Palo Solo	36
Figura 14. Clasificación de la fuente (Tabla C.2.1 – RAS 2000)	44

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Factores que influyen en el proceso de coagulación	13
Tabla 2. Factores que influyen en el proceso de floculación	15
Tabla 3. Factores que influyen en el proceso de sedimentación	16
Tabla 4. Factores que influyen en el proceso de filtración	18
Tabla 5. Insumos químicos empleados en el tratamiento	31
Tabla 6. Características hidráulicas de la captación del pozo profundo	34
Tabla 7. Características del bombeo	35
Tabla 8. Determinación del caudal tratado	40
Tabla 9. Resultados análisis físico-químicos y microbiológicos remitidos Por Acualim	41
Tabla 10. Resultados análisis físico-químicos de agua tratada realizados en la PTAP	41
Tabla 11. Resultados análisis físico-químicos y microbiológicos del agua cruda y tratada en el estudio	43
Tabla 12. Resultados dosis óptima de coagulante de la muestra 1	46
Tabla 13. Resultados dosis óptima de coagulante de la muestra 2	47
Tabla 14. Resultados dosis óptima de coagulante de la muestra 3	48
Tabla 15. Resultados concentración óptima de coagulante de la muestra 2	50
Tabla 16. Resultados gradiente y tiempo óptimo de floculación de la muestra 2	51

Tabla 17. Tiempo Vs Gradiente óptimo de floculación	51
Tabla 18. Resultados demanda de cloro	52
Tabla 19. Resultados evaluación floculación – sedimentación	57
Tabla 20. Características físico-químicas del agua en los procesos de tratamiento	62
Tabla 21. Eficiencia de los procesos	63

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Prueba de trazadores en Floculación - Sedimentación	71
ANEXO B. Planos generales de la PTAP de la vereda Palo Solo	73
ANEXO C. Fichas técnicas de los insumos	78

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA VEREDA PALO SOLO DEL MUNICIPIO DE AGUAZUL (CASANARE)*

AUTORES: GLEEN RÍOS M.L., FLÓREZ OJEDA A.A., VARGAS VILLANUEVA A.I.**

PALABRAS CLAVES: Sistema de tratamiento, agua potable, características físico-químicas, ensayos de tratabilidad.

DESCRIPCIÓN:

La vereda palo solo del municipio de Aguazul cuenta con un sistema de tratamiento compacto de filtración rápida donde se ejecutan los procesos unitarios de aireación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección para la obtención del agua potable suministrada a la comunidad. El sistema fue construido en el año 2007 y su operación data desde mediados del año 2008, sin tener en cuenta criterios de tratabilidad en la preparación y dosificación de insumos químicos, ni aspectos técnicos que rigen la operación del mismo.

El objetivo del presente trabajo consistió en la evaluación técnica del sistema de tratamiento de agua potable para establecer las mejores condiciones de operación mediante el análisis de la información existente (planos de diseño, calidad del agua cruda y tratada, manual de operación), la realización de ensayos de tratabilidad, la revisión hidráulica y estructural y la determinación de la eficiencia de cada una de las unidades de proceso.

Como resultado del trabajo se logró establecer la dosis y concentración óptima de insumos químicos que deben emplearse para garantizar que la calidad del agua tratada cumpla con los límites de las características físico-químicas y microbiológicas establecidas en la resolución 2115 de 2007, así como también impartir las recomendaciones necesarias para la adecuada operación y mantenimiento de los componentes del sistema.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-químicas, Escuela de Ingeniería Química, Omar Alexander Salcedo Gorraiz

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL ASSESSMENT OF THE POTABLE WATER TREATMENT SYSTEM OF THE VEREDA PALO SOLO LOCATED IN THE DISTRICT O AGUAZUL (CASANARE)*

AUTHORS: GLEEN RÍOS L.M., FLÓREZ OJEDA A.A., VARGAS VILLANUEVA A.I.**

KEY WORDS: Potable Water, treatment system, physical-chemical characteristics, tratability tests.

DESCRIPTION:

The Palo Solo vereda located in the district of Aguazul has a compact rapid filtration water treatment system that executes the unitary process of ventilation, rapid mix, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection to obtain the potable water that is provided to the community. The system was built in 2007 and it has been operating since 2008, without considering several factors concerning technical criteria for the tratability and preparation of the appropriate dosage of chemicals, and other technical aspects that regulate this operation.

The objective of this research consisted in the technical evaluation of the potable water treatment system to establish better conditions of operation, through the analysis of existing information (design plans, quality of the crude and treated water, operation manual) carrying out tests of tratability, inspecting hydraulics and structural components, and by determining the efficiency of every single unit implicated in this process.

As a result derived from this research we accomplish to establish the optimum dosage and concentration of chemicals that must be used to ensure that the quality of the water fulfills and satisfies the limit of microbiological and physical-chemical characteristics established by the resolution 2115 of 2007, secondly the research pointed at the necessary recommendations for the adequate operation and maintenance of the components of the potable water treatment system.

* Research Monograph

** Physical-Chemical Engineering Faculty, School of Chemical Engineering, Omar Alexander Salcedo Gorraiz

INTRODUCCIÓN

Los esfuerzos del hombre por mejorar el medio ambiente en el que habita y elevar su calidad de vida, dependen generalmente de la disponibilidad de agua, existiendo una estrecha correlación esencial entre la calidad del agua y la salud pública, entre la posibilidad de acceder al agua y el nivel de higiene y entre la abundancia del agua y el crecimiento económico y turístico.

Las medidas dirigidas a ampliar y mejorar los sistemas públicos de prestación del servicio de agua potable, contribuyen a una reducción de la morbimortalidad, relacionada con las enfermedades entéricas, porque dichas enfermedades, están asociadas directa o indirectamente con el abastecimiento de aguas deficientes o provisión escasa de agua.

En las últimas décadas, el sector Colombiano de agua potable y saneamiento se sometió a varios procesos de centralización y descentralización. Desde la promulgación de una nueva política sectorial en 1994, los siguientes gobiernos han perseguido políticas básicas estables, promoviendo transferencias dirigidas a municipalidades, participación del sector privado, consolidación de la regulación, recuperación de costos y un sistema de subsidios cruzados.

En Colombia, los municipios tienen la responsabilidad de "asegurar que se presten a sus habitantes, de manera eficiente, los servicios domiciliarios de acueducto y alcantarillado por empresas de servicios públicos" (Art. 5, Ley 142 de 1994). Sustento que permite al Municipio de Aguazul (Casanare) a través de contratos interadministrativos con la Empresa de Servicios Públicos de Aguazul, ESPA S.A. E.S.P. colaborar armónicamente para la ejecución de proyectos relacionados con

el sector del agua potable y saneamiento básico; proyectos contemplados el Plan de Desarrollo Municipal 2004-2007 y el Programa de Gobierno "Huellas de esperanza" 2008-2011.

Entre el año 2006 y 2007 la ESPA S.A. E.S.P. ejecutó la construcción de 13 sistemas de tratamiento en algunas veredas del área rural del municipio de Aguazul. Estos sistemas fueron entregados a la comunidad, pero lamentablemente la población abandonó el manejo de los mismos por no disponer de los recursos necesarios para su operación y mantenimiento; hecho que significó el abandono y posterior deterioro de algunas estructuras hidráulicas.

Por esta razón a mediados de 2008, la ESPA S.A. E.S.P., dentro de las labores propias a desarrollar en su compromiso social con el fin de garantizar a la comunidad afectada la prestación continua del servicio de agua potable, adelantó y ejecutó las actividades relacionadas con el mantenimiento y operación de los 13 sistemas de tratamiento abandonados, entre los cuales se encuentra el de la vereda de Palo Solo (ubicada a 20 minutos sobre la vía que conduce de la cabecera municipal de Aguazul al municipio de Monterrey), consistente en una planta compacta de filtración rápida cuya instalación data desde el año 2006, aunque su funcionamiento se inició a mediados del año 2008.

El objetivo del presente trabajo, consistió en establecer las mejores condiciones de operación que permitan garantizar la calidad del agua suministrada a la población del corregimiento de Palo Solo del municipio de Aguazul en consonancia con lo establecido en la resolución 2115 de 2007, *por medio de la cual 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* en todo el territorio Nacional.

Para llevar a cabo el presente trabajo se estudiaron conceptos básicos sobre el tratamiento de aguas para consumo humano, se analizó la información histórica de la planta, se realizaron ensayos de tratabilidad, se evaluó el funcionamiento de cada una de las estructuras de proceso y se determinó la eficiencia de los mismos en función de los porcentajes de remoción de las características físico-químicas básicas de interés sanitario.

Los resultados mostraron que aunque el agua tratada por lo general cumple con los valores máximos de las características físico-químicas y microbiológicas analizadas, se requiere implementar el procedimiento de preparación y dosificación de insumos químicos de acuerdo a ensayos de tratabilidad que permitan establecer la dosis y concentración óptima de los mismos; Así como también realizar adecuaciones y modificaciones en los componentes hidráulicos de cada uno de los procesos para mejorar su eficiencia.

Por tanto, implementar las mejoras y recomendaciones relacionadas en el presente estudio, permitirán la correcta operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de agua potable de la vereda Palo Solo, en aras de garantizar la calidad del servicio prestado.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en el que vivimos. Tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza. Esta influencia no solo se debe a sus propiedades fisicoquímicas como molécula bipolar sino también a los constituyentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en ella.

Se considera que el agua es un solvente universal, debido a que es capaz de disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que tiene contacto, sean estas sólidas, líquidas o gaseosas, y de formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso.

Desde el punto de vista de la salud humana, el agua ayuda a eliminar las sustancias resultantes de los procesos bioquímicos que se desarrollan en el organismo humano, a través de los órganos excretores, en especial la orina y el sudor. Sin embargo, por esta misma propiedad, puede transportar una serie de tóxicos al organismo¹

Su forma molecular es H₂O. El agua pura solamente puede existir a nivel de laboratorio bajo condiciones muy especiales. El agua natural o cruda es la que se encuentra en la naturaleza y por lo general no reúne las condiciones necesarias para su consumo, debido a que cada vez los cursos de agua están más contaminados.

¹ ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD OPS/CEPIS. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004. 3 p.

El agua pura no se encuentra en forma natural porque está normalmente contaminada por el aire y el suelo. Las impurezas pueden ser orgánicas y/o inorgánicas ya sea disueltas, o en forma de material particulado. Estas impurezas pueden provenir de la degradación biológica de sustancias orgánicas que producen ácidos grasos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos; de sustancias inorgánicas como metales tóxicos, material particulado como arcillas y sedimentos y de microorganismos como bacterias, virus.

En la naturaleza el agua toma del suelo y del aire elementos y sustancias que cambian su condición original desde dos aspectos diferentes:

- Aspecto físico: Detectables a los sentidos (vista, gusto, olfato).
- Aspecto químico: Determinables en laboratorio.

Además, el agua adquiere muchos tipos de microorganismos que proceden de los excrementos de los animales y la gente, que han sido depositados en el suelo y arrastrados a las corrientes de agua por la lluvia. Estos microorganismos que adquiere el agua son los responsables de la mayor parte de las enfermedades que sufren los niños y personas adultas, como son: las diarreas, disentería, tifoidea, hepatitis, etc. Por tanto, el agua cruda o natural debe ser tratada para eliminar la contaminación y suciedad que ha tomado del aire y del suelo en su recorrido por la naturaleza.

El agua cruda al pasar por todos los procesos que tiene una planta de tratamiento se convierte en agua potable (siempre y cuando estos procesos sean bien realizados). Es importante destacar que entendemos por agua potable a aquella que:

- Es agradable a los sentidos. No debe verse sucia y no debe tener olor ni sabor.

- No tiene microorganismos patógenos, o sea, no debe tener microbios que causen enfermedades al hombre.
- No debe contener elementos o sustancias químicas en cantidades tales que hagan daño al cuerpo humano.

Tradicionalmente, las normas existentes para agua de consumo están dirigidas a regular los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que garanticen el cumplimiento de las tres características citadas anteriormente, y que definen el agua como apta para el consumo humano.

En Colombia, se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano mediante el decreto 1575 de 2007. El agua potable también debe cumplir con una serie de requisitos de calidad física, química y biológica establecidos en la resolución 2115 de 2007 (*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*).

1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etc.), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. Se consideran importantes las siguientes:

- Turbiedad
- Color
- Olor
- Sabor
- Temperatura

Por ser las más importantes, para los procesos de tratamiento del agua, se define a continuación los conceptos de turbiedad, color y pH.

1.1.1 Turbiedad. La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remetida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en un agua puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras arcillas, el limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos.²

La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño ...Véase figura 1... se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

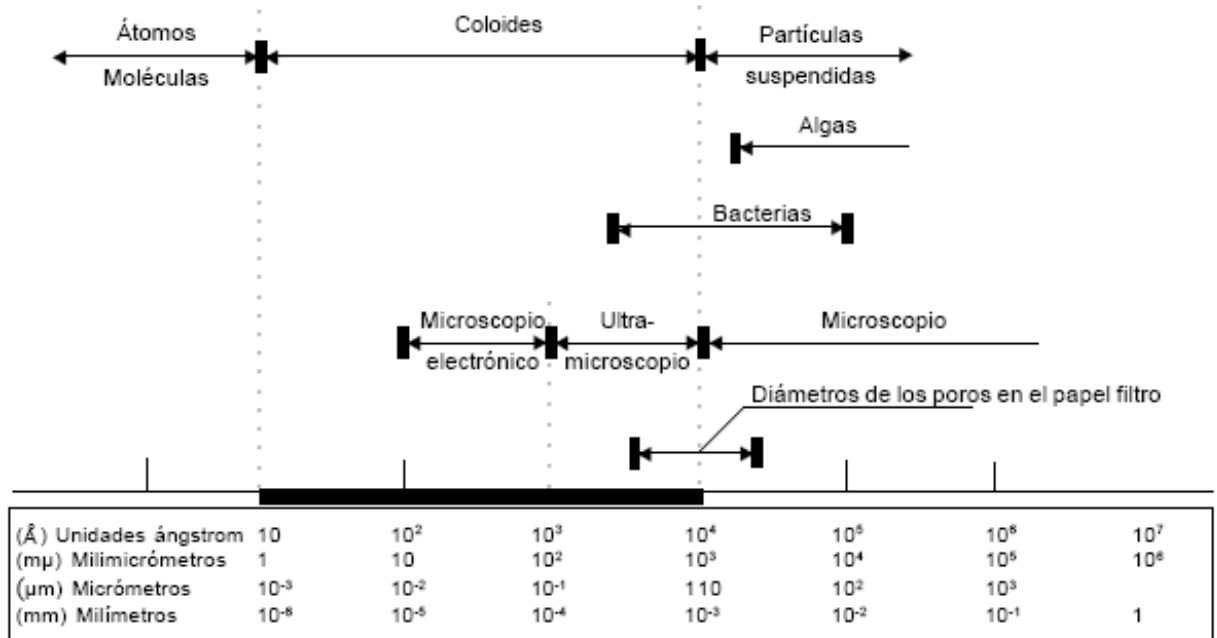
1.1.2 Color. Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella.

Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etc. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

- La extracción acuosa de sustancias de origen vegetal;
- La descomposición de la materia;
- La materia orgánica del suelo;
- La presencia de hierro, magnesio y otros compuestos metálicos; y
- una combinación de los procesos descritos.

² ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005. 107 p.

Figura 1. Distribución de Tamaños de las partículas en el agua



Fuente. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD OPS/CEPIS. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004. 7 p.

1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA

El agua puede disolver casi cualquier elemento o sustancia que encuentre en su recorrido. Debido a esta capacidad, el agua se conoce como el disolvente universal. Por esta razón, cualquier elemento o sustancia química podría estar presente en el agua.

La presencia de algunas de estas sustancias y elementos químicos en el agua puede no tener ninguna importancia. Sin embargo, existen muchas de ellas que

causan problemas, ya sea a la salud del hombre, al aspecto del agua o a los procesos de tratamiento. A continuación se presentan algunas de estas:

- Aceites y grasas: Producen olor y sabor.
- Agentes espumantes: Afectan los procesos de coagulación, sedimentación y filtración.
- Alcalinidad: Su presencia es importante para el proceso de coagulación.
- Amonio: Afecta el proceso de desinfección.
- Cloruros: Pueden producir sabor al agua.
- Dureza: Puede producir obstrucción de las tuberías y aumenta el consumo de jabón en el uso doméstico.
- Hierro: Produce sabor y manchas en la ropa.
- pH: Afecta el proceso de desinfección y tiene importancia en la producción de corrosión e incrustaciones en las tuberías.
- Plomo: Puede producir intoxicaciones agudas al hombre.
- Sulfatos: En grandes cantidades afectan el sabor del agua y pueden producir diarreas.

1.2.1 pH. El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9.

Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En algunos casos, se requerirá volver a ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua.³

1.3 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA

El agua contiene suficientes sustancias nutritivas para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos tales como virus, bacterias y protozoos, entre otros. Muchos de los microbios del agua provienen del contacto con el aire, el suelo, animales o plantas vivas o en descomposición, fuentes minerales o materia fecal.

Los microorganismos patógenos (que afectan la salud) de transmisión hídrica provienen de seres humanos y de animales de sangre caliente (animales domésticos, ganado y animales silvestres). Estos agentes microbianos llegan a los cursos de agua a través de las descargas de aguas residuales sin tratar o con tratamiento deficiente, drenaje de lluvias, descargas de plantas de procesamiento de carne de ganado y de aves y las escorrentías que pasan por los corrales de ganado.

Las aguas de origen subterráneo tienen una baja incidencia de contaminación microbiana gracias a los procesos de filtración que sufre a través de los poros del suelo por los que se moviliza. No obstante, su calidad puede sufrir alteraciones si las actividades humanas que se desarrollan en la superficie afectan su estado natural.

Se ha demostrado la presencia de microorganismos patógenos en aguas superficiales. Sin embargo, no todos los patógenos que se transmiten por el agua tienen igual significado para la salud. La presencia de algunas representa un serio

³ ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD OPS/ CEPIS. Op. cit., p. 13.

riesgo y su eliminación del agua de consumo humano es de alta prioridad debido a que su ingestión podría ocasionar una epidemia con consecuencias graves para la salud de la población. Otras se presentan en forma natural en las aguas y normalmente no son patógenas, pero pueden causar enfermedades en personas con ciertas deficiencias orgánicas que facilitan la infección. Estos microorganismos se denominan *patógenos oportunistas*.

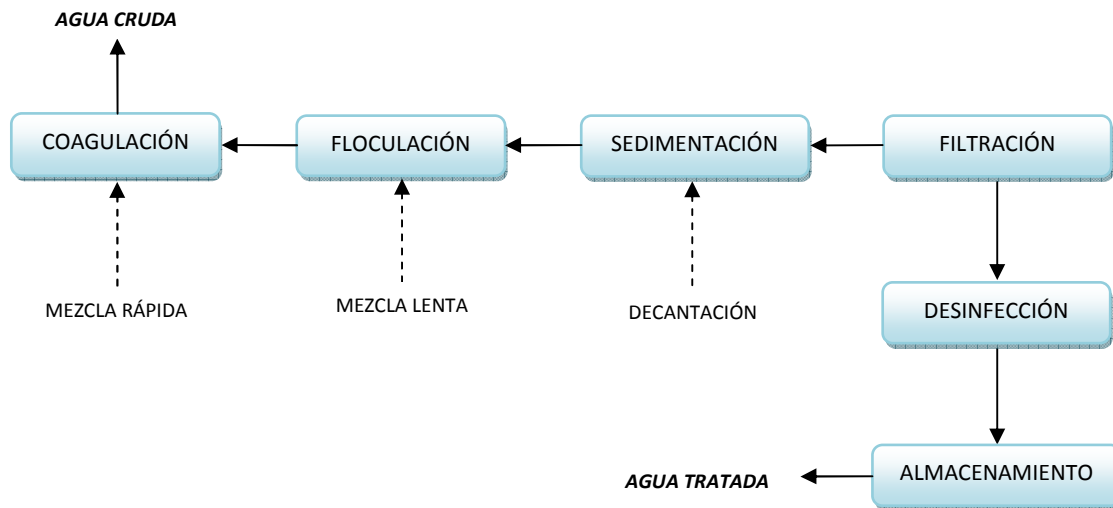
1.4 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Los sistemas de tratamiento de agua para consumo humano se dividen fundamentalmente (desde el punto de vista de la filtración) en plantas de tratamiento de filtración lenta y plantas de tratamiento de filtración rápida. La primera de ellas, es altamente eficiente en remoción microbiológica y la potabilización se produce por mecanismos biológicos, no pueden operar con altas turbiedades y sus bajos niveles de operación y mantenimiento las hacen propicias para zonas rurales.

De su parte, la filtración rápida es el tipo de tratamiento en el cual intervienen procesos de remoción químicos y físicos. Al aplicarse al agua una sustancia con propiedades coagulantes, principalmente se neutralizan las cargas eléctricas de las partículas que producen la turbiedad, mediante el mecanismo que se denomina desestabilización, el cual favorece la aglomeración de las partículas en flóculos, para su posterior remoción mediante la decantación y filtración.

La Figura 2 presenta el recorrido que hace el agua al pasar por una planta de tratamiento de filtración rápida, indicando cada uno de los procesos involucrados.

Figura 2. Procesos Unitarios de una PTAP de filtración rápida.



1.4.1 Coagulación (mezcla rápida). Es el primer proceso que se realiza en la planta de tratamiento de filtración rápida. En este proceso se produce la dispersión rápida y uniforme del coagulante en la masa de agua permitiendo que las partículas generadoras de turbiedad y color sean desestabilizadas para facilitar la formación de pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas flóculos.

Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.⁴

Cuando el coagulante se mezcla con el agua forma cadenas o polímeros que unen o atrapan las partículas generadoras de la turbiedad. Cuando la partícula de turbiedad queda unida o atrapada por el coagulante, quedan puntos eléctricos que

⁴ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3 ed. Santa Fe de Bogotá D.C.: McGraw-Hill, 2000. 31 p.

permiten adherir nuevas partículas y espacios vacíos en ella que le permitan juntarse con otras y formar el flóculos.

Si se agrega menos cantidad de coagulante que la óptima requerida, una partícula atrapada y desestabilizada puede encontrar a otra partícula para formar el flóculo, pero quedan muchas que no se desestabilizaron y siguen causando turbiedad. Por otra parte, si se agrega más cantidad de coagulante que la dosis óptima, van a existir más iones y cadenas de coagulante que partículas de turbiedad, las existentes coagulan y forman flóculos, pero las sobrantes son partículas estables de otra carga que hacen turbia al agua y además queda un alto residual de coagulante, potencialmente dañino para la salud. Los principales factores que influyen en la eficiencia del proceso se registran en la tabla 1.

Tabla 1. Factores que influyen en el proceso de coagulación

Características del agua	Variables químicas	Condiciones de coagulación
Las características del agua cruda que más influyen en la eficiencia del proceso son: Turbiedad, alcalinidad, pH, tamaño de las partículas y temperatura	Las principales variables químicas del proceso son: Dosis óptima de coagulante, concentración óptima de coagulante, pH óptimo y alcalinidad	Condiciones de intensidad, agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante. En este punto es importante incluir también la forma de aplicación del coagulante, la cual debe realizarse uniformemente a través de toda la masa de agua y en el punto de mayor turbulencia de la unidad de mezcla rápida

Fuente. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. PTAP el Moriche. ESPA S.A. E.S.P.

Existen dos tipos de unidades de mezcla rápida, dependiendo del tipo de energía utilizada para producir la agitación:

- Mecánicas: la energía con que se realiza el proceso la producen equipos.
- Hidráulicas: la energía con que se realiza el proceso la produce el agua.

El gradiente de velocidad en un mezclador mecánico no varía con el caudal, teniendo la ventaja adicional de permitir controlar el grado de agitación variándose la velocidad de rotación del impulsor. Sin embargo, su funcionamiento depende de una fuente de energía externa, su costo es relativamente elevado y la propia complejidad de los equipos hace inadecuada su utilización en los países en desarrollo.

En nuestro medio, se ha dado tradicionalmente preferencia a las unidades hidráulicas, tales como resalto de canaletas Parshall y caídas en vertederos. Además, aunque son menos flexibles a las variaciones de caudal, investigaciones realizadas revelan una mayor eficiencia que las unidades mecánicas.

1.4.2 Floculación (mezcla lenta). La floculación se refiere a la aglomeración de las partículas coaguladas en partículas flocúlenas. Es el proceso por el cual una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas, sin romper o disturbar los agregados preformados.⁵

En la floculación, una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes mediante agitación lenta prolongada, durante la cual las partículas se aglomeran , incrementando su tamaño y adquieren mayor densidad. El floculado es por tanto un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención. Los principales factores que influyen en la eficiencia del proceso se registran en la tabla 2.

^{5 5} ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación del agua. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005. 83 p.

Tabla 2. Factores que influyen en el proceso de floculación

Características del agua	Caudal	Agitación	Tiempo de floculación
Las características del agua cruda que más influyen en la eficiencia del proceso son: Turbiedad, alcalinidad, pH, tamaño de las partículas y temperatura	Al variar el caudal de operación de la planta de tratamiento se modifica el tiempo de retención y los gradientes de velocidad.	<p>Cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas.</p> <p>Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan de tamaño, debe ir disminuyendo el gradiente para evitar que los mismos se rompan.</p>	<p>Bajo determinadas condiciones existe un tiempo óptimo, normalmente, entre 20 y 40 minutos.</p> <p>Es necesario, por lo tanto, que se adopten medidas para aproximar el tiempo real de retención en el floculador, al tiempo determinado como óptimo.</p> <p>Una de las opciones para alcanzar este objetivo es la compartimentalización a través de la colocación de pantallas deflectoras.</p>

Fuente. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. PTAP el Moriche. ESPA S.A. E.S.P.

De acuerdo a la forma de disipación de energía, los floculadores se pueden clasificar en hidráulicos y mecánicos.

- Hidráulicos: utilizan la energía hidráulica disponible a través de una pérdida de carga general o específica. Estos pueden ser de diferentes tipos como son de pantallas, Alabama, helicoidal de medio poroso, de mallas.
-
- Mecánicos: utilizan energía de una fuente externa, normalmente un motor eléctrico acoplado a un intercambiador de velocidades, que hace posible la pronta variación de la intensidad de agitación. Estos pueden ser de diferentes tipos como son de paletas, de turbina y alternativos.

1.4.3 Sedimentación (decantación). Se entiende por sedimentación a la remoción de las partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad. En la purificación del agua se utilizan dos formas de sedimentación: Sedimentación simple y sedimentación o decantación después de coagulación y floculación o ablandamiento.

La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación; en este caso se efectúa el depósito de partículas discretas mediante desarenadores.

La sedimentación o decantación después de la adición de coagulantes y de la floculación se utiliza para remover los sólidos sedimentables producidos por el tratamiento químico, como en el caso de la remoción de color y turbiedad. Los principales factores que influyen en la eficiencia del proceso se registran en la tabla 3.

Tabla 3. Factores que influyen en el proceso de sedimentación

Naturaleza del agua cruda	Condiciones Hidráulicas	Factores externos
<p>Las propiedades de las partículas modifican la forma de depósito (sedimentación para partículas discretas y decantación para partículas floculentas).</p> <p>Adicionalmente, variaciones de concentración de partículas o de temperatura producen variación de densidad del agua y originan "corrientes cinéticas o térmicas" (cortocircuitos).</p>	<p>Los parámetros hidráulicos de diseño tienen gran influencia en la eficiencia son la carga superficial y el tiempo de retención.</p>	<p>Los factores externos al proceso de sedimentación son los que tienen mayor influencia en la eficiencia de un sedimentador o decantador: acondicionamiento previo, procesos operacionales y factores ambientales. Buena o inadecuada coagulación y floculación ocasionan altas o bajas eficiencias en decantadores, respectivamente.</p> <p>De su parte, el viento, al soplar puede producir corrientes de suficiente intensidad como para inducir cambios en la dirección del flujo, etc.</p>

Fuente. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. PTAP el Moriche. ESPA S.A. E.S.P.

La sedimentación o la decantación se realizan en tanques denominados sedimentadores o decantadores. De acuerdo al tipo de proceso que se realice en cada unidad una forma de clasificarlos es la siguiente:

- **Sedimentadores o decantadores estáticos:** En este tipo de unidades puede producirse sedimentación o decantación, normalmente con caída libre, en régimen laminar, turbulento o de transición. Los tipos específicos de estas unidades son: desarenadores, unidades de flujo horizontal, unidades de flujo vertical y unidades de flujo helicoidal.

- Decantadores dinámicos: En este tipo de unidades se aplica la teoría de decantación interferida al tratamiento de agua, requiriéndose una alta concentración de partículas o incrementar las posibilidades de contacto. Los decantadores de manto de lodos se pueden clasificar de acuerdo a las condiciones y características de la zona de formación de lodos, en hidráulicos y mecánicos.
- Decantadores laminares o de alta tasa: En este tipo de unidades, el proceso se realiza a través de placas, tubos o panales, lo cual permite una carga superficial o velocidad mucho más alta que en los sedimentadores estáticos o convencionales, por lo cual se requiere menos área de la unidad.

1.4.4 Filtración. La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En la planta de purificación la filtración remueve el material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, removiendo flóculos que se pasaron del decantador, partículas de vegetales y animales, metales oxidados y microorganismos.

La remoción de microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección, pero son removibles mediante filtración.

La eficiencia de la filtración está relacionada con las características de la suspensión y del medio filtrante, con la hidráulica de la filtración y las normas calidad del efluente. En este punto es muy importante tomar en cuenta que, por ejemplo, la filtración de agua cruda en filtros lentos de arena y la de agua coagulada en filtros rápidos de arena, resultan de interacciones distintas entre los granos del medio filtrante y las partículas suspendidas. Los principales factores que influyen en la filtración rápida se registran en la tabla 4.

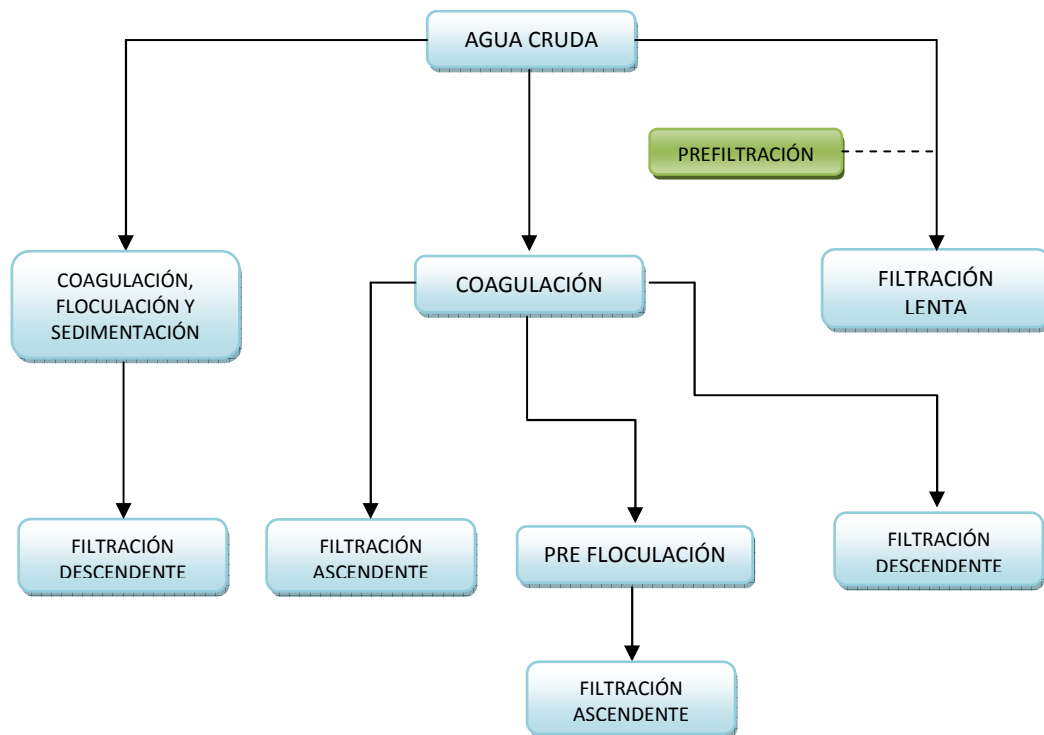
Tabla 4. Factores que influyen en el proceso de filtración.

Características de la suspensión	Condiciones Hidráulicas	Características del medio filtrante
La eficiencia de remoción de partículas suspendidas en un medio filtrante, está relacionada con las siguientes características de la suspensión: tipo, tamaño, densidad y resistencia de las partículas suspendidas, temperatura del agua a ser filtrada, concentración de partículas en el afluente, potencial zeta de la suspensión y pH del afluente.	Los parámetros hidráulicos de diseño tienen gran influencia en la eficiencia son la tasa de filtración y la pérdida de carga.	Entre las características del medio filtrante que influyen en la filtración, se destacan: tipo de lecho filtrante, tamaño efectivo del material filtrante, coeficiente de uniformidad del material filtrante, coeficiente de esfericidad de los granos del material filtrante, peso específico del material filtrante y espesor de la capa filtrante.

Fuente. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. PTAP el Moriche. ESPA S.A. E.S.P.

Los sistemas de filtración se clasifican en función de la dirección del flujo en la unidad y de la velocidad de filtración, tal y como lo presenta la figura 3.

Figura 3. Clasificación de sistemas de filtración



1.4.5 Desinfección. La desinfección del agua es un proceso de tratamiento que tiene como objetivo garantizar la potabilidad del agua, desde el punto de vista microbiológico, asegurando la ausencia de microorganismos patógenos.

El proceso de desinfección es fundamental, puesto que es conocido que los procesos de tratamiento previos, como la sedimentación y filtración, no remueven el 100 % de los microorganismos patógenos presentes en las aguas sujetas a tratamiento. Además, las aguas de consumo pueden sufrir re contaminación al ser distribuidas a la población, a causa de deterioro en tanques de almacenamiento y redes de distribución, por lo que la desinfección residual también puede actuar como seguro contra estas situaciones posteriores.

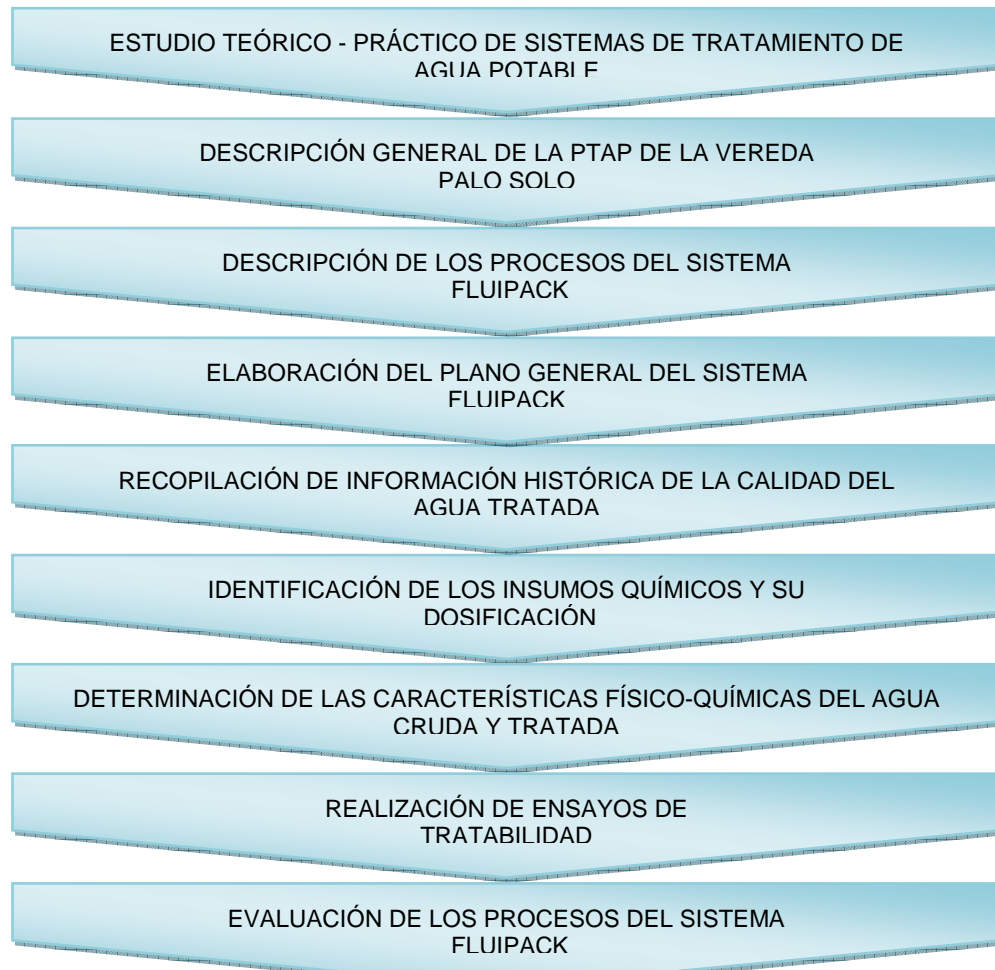
La eficiencia de la desinfección se mide por el porcentaje de microorganismos muertos dentro de un tiempo, una temperatura y un pH prefijados. La resistencia de estos microorganismos varía, sin embargo, según sus características constitutivas y morfológicas.

El proceso de desinfección más utilizado es la cloración empleando soluciones de cloro preparadas a partir de cloro gaseoso, hipoclorito de calcio o hipoclorito de sodio por la facilidad de aplicación, costos relativamente bajos y el efecto residual

2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

La metodología empleada para la realización del presente trabajo, se enfocó en la realización de un estudio teórico experimental del sistema de tratamiento de agua potable de la vereda Palo Solo con el propósito de establecer las mejores condiciones de operación que permitan garantizar la calidad del agua suministrada a la comunidad de la vereda y evaluar la eficiencia de las unidades de proceso. La metodología empleada se encuentra resumida en la figura 4.

Figura 4. Etapas de la metodología del estudio



2.1 ESTUDIO TEÓRICO PRÁCTICO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Esta etapa involucró la revisión bibliográfica fundamental en libros y artículos relacionados con los procesos y la operación de sistemas de tratamiento de agua potable, así como también la revisión de los informes técnicos entregados por el proveedor del sistema de tratamiento de agua potable de la vereda palo solo.

Para realización del presente trabajo se contó con la colaboración y participación de la Empresa de Servicios Públicos de Aguazul ESPA S.A. E.S.P. que facilitó el transporte, insumos químicos y el apoyo operativo necesario. De acuerdo con la información suministrada por la ESPA se estableció que el sistema de tratamiento corresponde a una planta compacta de filtración rápida con estructuras en fibra de carbono conocida como *FLUIPACK* suministrada por la empresa *IFM* (integral Fluid Management) de la ciudad de Bogotá.

Inicialmente se realizaron visitas de reconocimiento para identificar los procesos y componentes del sistema de tratamiento de agua potable de la vereda Palo Solo, así como las características de la población servida y del servicio prestado. En las primeras visitas además de identificar y reconocer los procesos desarrollados, se pudo observar que no se realizaban ensayos de tratabilidad para establecer la dosis y concentración óptima del coagulante empleado. A su vez se observó que la planta no contaba con su respectivo manual de operación.

No obstante se pudo verificar que el operador contaba con los insumos químicos necesarios para realizar el tratamiento y los reactivos y equipos necesarios para realizar análisis físico-químicos básicos del agua cruda y tratada. También se pudo observar que el operador registraba los procedimientos ejecutados en formatos elaborados para tal fin.

En esta etapa también se determinaron datos generales de la PTAP y la comunidad tales como demanda, consumo, condiciones de operación y aforo del caudal bombeado del pozo profundo.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PTAP DE LA VEREDA PALO SOLO

A partir de las visitas de reconocimiento y la información suministrada por la ESPA, se pudo establecer que la vereda Palo Solo, ubicada en el departamento de Casanare a 20 minutos sobre la vía que conduce de la cabecera municipal de Aguazul al municipio de Monterrey, cuenta con sistema de tratamiento para potabilización de agua (Planta compacta *FLUIPACK* suministrada por *IFM*) cuya instalación data desde el año 2006, aunque su funcionamiento se inició a finales del año 2008.

Figura 5. Vista General de la PTAP FLUIPACK de la vereda Palo Solo



El sistema de potabilización opera con una capacidad de diseño aproximada a los 5 l/s que son abastecidos de un pozo profundo mediante una bomba sumergible. Es una planta convencional – compacta de filtración rápida descendente a presión con estructuras en fibra de carbono donde se desarrollan los siguientes procesos:

- Aireación
- Mezcla rápida (coagulación)
- Floculación – Sedimentación
- Filtración rápida
- Desinfección

El sistema de tratamiento de agua potable de la vereda palo solo, también cuenta con un sistema de rebombeo provisto con un tanque de almacenamiento temporal para transportar el agua desinfectada hacia un tanque de almacenamiento elevado antes de ser suministrada a los usuarios a través de la red de distribución.

La PTAP posee una caseta de laboratorio ubicada dentro del encerramiento de la escuela junto a la PTAP, provista con los reactivos y materiales necesarios para la realización de los análisis físico-químicos básicos del agua tratada. En esta misma caseta se realiza la preparación y dosificación de los insumos químicos empleados en el tratamiento.

Figura 6. Sistema de rebombeo de agua tratada

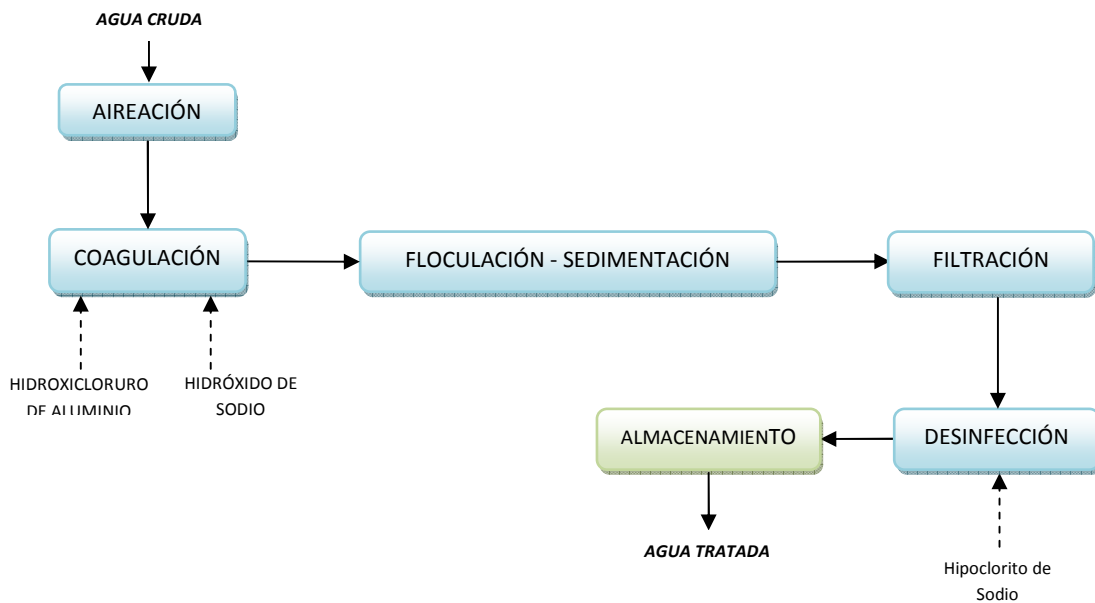


El agua desinfectada es transportada mediante bombeo a un tanque de almacenamiento elevado, ubicados dentro del perímetro de la PTAP. En la figura 8 se ilustran los procesos que componen la PTAP de la vereda Palo Solo.

Figura 7. Caseta del laboratorio



Figura 8. Esquema general de los procesos de la PTAP Palo Solo



Fuente. Memorias del proyecto de instalación ESPA S.A. E.S.P.

2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DEL SISTEMA FLUIPACK

El agua cruda es conducida a la planta por bombeo desde el pozo profundo (1) ...Véase figura 9...donde es recibida por una torre de aireación provista con carbón coque que en presencia de oxígeno precipita el hierro (2), el último plato de la torre recoge el agua y lo lleva a cono de mezcla rápida (3) donde se realiza la adición de los insumos químicos (coagulante y alcalinizante) que son suministrados mediante bombeo controlado desde el laboratorio.

Posteriormente el agua pasa al floculador- sedimentador donde se da lugar a la formación del floc y la sedimentación con módulos de alta tasa que permiten clarificar el agua (4), luego el agua pasa una cámara de filtración (6) a través de un cono de carga (8) donde se conduce a un tanque pulmón que permite realizar

el retrolavado de los filtros mediante un efecto sifón (5) con agua clarificada. Finalmente el agua es desinfectada mediante la adición de cloro antes de ser almacenada en un tanque elevado. Todos los drenajes de lavado son conducidos a un tanque sifón común (7) para su disposición final.

Figura 9. Procesos de Tratamiento del sistema FLUIPACK



2.3.1 Aireación. El agua pasa a través de las bandejas con carbón coque. Se distribuye en la parte superior con una araña, 4 platos contienen el coque, el último plato actúa como recolector para transportar el agua al cono de mezcla rápida.

2.3.2 Mezcla Rápida. La incorporación del coagulante (hidroxicloruro de aluminio) y el alcalinizante (Hidróxido de sodio) se realiza en el cono de mezcla

rápida...Véase figura 10...el cual produce la turbulencia y el gradiente de velocidad requeridos para la adecuada mezcla de los productos químicos. El mezclador tipo hidrociclón va instalado en la primera cámara de la planta de tratamiento (Floculador-Sedimentador) y recibe tangencialmente el agua cruda formando el floc antes del ingreso al sedimentador.

Figura 10. Bandejas de aireación y cono de mezcla rápida



Las soluciones de insumos químicos empleadas en el tratamiento son preparadas en tanques plásticos (en la caseta del laboratorio) y dosificadas mediante bombeo para garantizar un caudal constante y controlado de las mismas. Este sistema reemplazo la dosificación a gravedad con cabeza constante (sistema anterior), que imposibilitaba el control y la regulación del caudal de las soluciones empeladas en el tratamiento.

Figura 11. Bombas de diafragma para dosificación de insumos



2.3.3 Floculación - sedimentación. El diseño contempla que la unidad funcione en flujo ascendente, con generación de manto de lodos y lecho de módulos de sedimentación de alta tasa.

La mezcla acuosa de los sólidos formados en la etapa de mezcla rápida son transportadas y entregados (a muy baja velocidad y gradiente) por distribución en la parte baja de la primera cámara, en la cual por su peso y acción de la fuerza de gravedad se produce su separación del agua y la formación de un gran cúmulo de flocs, que tiende a sedimentarse, mientras el agua clarificada inicia un lento ascenso hacia los canales de recolección secundarios.

El arrastre de flocs que eventualmente pueda presentarse con el ascenso del agua clarificada, es neutralizado mediante la instalación de un lecho de módulos de sedimentación acelerada de alta tasa, tipo panel hexagonal plástico inclinado a 60°, que garantiza menor sobrecarga del tren de filtración y agua cristalina.

Finalmente el agua clarificada asciende a la parte superior del sedimentador y es captada por el cono de carga del filtro.

2.3.4 Filtración. Esta etapa es llevada a cabo en un filtro de flujo descendente de lecho mixto de arena ubicado en la parte inferior de la segunda cámara. La tecnología emplea un lecho mixto de arena y antracita. El lavado del filtro se realiza por sifonéo empleando el agua clarificada almacenada temporalmente en la parte superior de la segunda cámara.

2.3.5 Desinfección. El agua filtrada es desinfectada mediante la adición de soluciones de hipoclorito de sodio...Véase figura 12...a la salida del filtro para eliminar los microorganismos patógenos que puedan afectar la salud humana.

Figura 12. Punto de aplicación del hipoclorito de sodio



2.4 ELABORACIÓN DEL PLANO GENERAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA VEREDA PALO SOLO

Se consideró importante el levantamiento de un plano general en el que se consignaran las principales dimensiones de cada uno de los componentes del sistema, teniendo en cuenta que en la información suministrada por el proveedor de la PTAP FLUIPACK no se consignaron planos de diseño o construcción.

En el anexo A se consigna el plano general sistema tratamiento y sus principales componentes.

2.5 INFORMACIÓN HISTÓRICA DE LA CALIDAD DEL AGUA TRATADA

Se recopiló la información histórica de la calidad del agua tratada para verificar el cumplimiento de los valores máximos aceptables de las características físico-químicas y microbiológicas objeto de interés en el agua tratada de acuerdo con lo establecido en los artículos 2, 4 y 11 de la resolución 2115 de 2007.

Los registros revisados corresponden a los diligenciados por el operador del sistema de tratamiento y los remitidos por el laboratorio Acualim de la ciudad de Yopal.

2.6 IDENTIFICACIÓN DE LOS INSUMOS QUÍMICOS Y SU DOSIFICACIÓN

Los insumos químicos empleados en el tratamiento son suministrados por el contratista encargado de la operación del sistema de tratamiento. En la tabla 5 se describen los insumos empleados.

Tabla 5. Insumos químicos empleados en el tratamiento

Insumo	Uso	Características
Hidroxidocloruro de aluminio	Coagulante	El hidroxidocloruro de aluminio es un líquido ligeramente viscoso de color ámbar claro, a veces opalescente, que contiene complejos de aluminio multinuclear. El almacenamiento del hidroxidocloruro de aluminio no presenta mayores inconvenientes si se dispone de tanques o recipientes de materiales plásticos tales como: PP, PFC o PVC. Debido al carácter higroscópico del producto el recipiente de almacenamiento debe estar cerrado y provisto de venteo apropiado. Si el producto se almacena en tanques abiertos el área superior debe tener en cuenta que el producto estará diluido en la parte superior.
Hidróxido de sodio en escamas	Alcalinizante	A temperatura ambiente el Hidróxido de Sodio es un sólido cristalino, blanco, sin olor y que absorbe rápidamente dióxido de carbono y humedad del aire (delicuescente). Es una sustancia muy corrosiva. Cuando se disuelve en agua o cuando se neutraliza con algún ácido libera gran cantidad de calor, el cual puede ser suficiente para hacer que material combustible en contacto con el hidróxido haga ignición. Se usa generalmente como solución del 50% en peso o como sólido que se comercializa como pellets, hojuelas, barras y tortas. Es una sustancia exclusivamente producida por el hombre y por tal razón no se encuentra en la naturaleza en su estado normal.
Hipoclorito de sodio al 15%	Desinfectante	Solución acuosa, clara, ligeramente amarilla, olor característico penetrante e irritante. Fuertemente oxidante; dependiendo del pH de la solución se presenta disociado en forma de cloro activo, ácido hipocloroso HOCl y/o ión hipoclorito OCl ⁻ . De estas formas de "cloro libre activo" depende su reactividad en las reacciones de oxidación, cloración y acción bioquímica tales como el control bacteriológico y microbiológico.

Fuente. Hojas de datos sobre seguridad de los insumos químicos.

En las visitas preliminares se observó el procedimiento de preparación y dosificación de insumos químicos empleado por el operador, el cual se realizaba sin tener en cuenta las dosis óptimas obtenidas en ensayos de tratabilidad.

El procedimiento empleado por el operador consiste en adicionar 10 litros de agua tratada obtenida de la PTAP en tres baldes plásticos (se dispone de un balde para cada insumo). Seguidamente se adicionan las cantidades de insumos recomendadas por el contratista encargado de la operación con ayuda de un vaso de precipitado plástico.

Generalmente se emplean 300 ml de Coagulante para obtener una solución del 3,99%, 300 ml de desinfectante al 15% para obtener una solución del 0,45% y 185 g de NaOH para obtener una solución del 1,85%. Las soluciones preparadas son suministradas al sistema de tratamiento mediante bombeo controlado empleando bombas de diafragma. Esta dosificación se realiza al tanteo de acuerdo a las variaciones de la calidad del agua cruda obtenida del pozo subterráneo.

2.7 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA CRUDA Y TRATADA

Se realizaron análisis físico-químicos y microbiológicos de muestras de agua cruda y tratada para establecer el grado de tratamiento, según la calidad de la fuente de acuerdo con lo establecido en el capítulo C.2 del título C del RAS 2000...Véase figura 13...Así mismo se verificó el cumplimiento de los valores máximos aceptables de las características físico-químicas y microbiológicas objeto de interés en el agua tratada de acuerdo con lo establecido en los artículos 2, 4 y 11 de la resolución 2115 de 2007.

Los análisis fueron realizados en el laboratorio de aguas de la PTAP el Moriche de la ESPA, empleando las técnicas recomendadas en el "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th edition*".

2.8 REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE TRATABILIDAD

Se realizaron ensayos de tratabilidad según metodología OPS – CEPIS empleando un equipo de jarras de seis puestos con vasos de 1 litro de capacidad para determinar la dosis óptima de coagulante, concentración óptima de

coagulante, tiempo óptimo de mezcla lenta y gradiente óptimo de mezcla lenta y demanda de cloro.

2.9 EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DEL SISTEMA FLUIPACK

La evaluación del funcionamiento del sistema de tratamiento se basó en la determinación de los porcentajes de remoción de las características físico-químicas básicas de interés sanitario (turbiedad, color, pH, hierro y cloro residual libre) en cada uno de los procesos involucrados para establecer la eficiencia de los mismos.

Esta etapa del estudio también incluyó la revisión técnica de los componentes, estructuras y materiales de las unidades de proceso y su implicación en el tratamiento del agua para consumo humano en la vereda Palo Solo.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA PLANTA

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de la planta, incluyendo entre otros, el levantamiento de datos de proceso, el análisis de información histórica de la calidad del agua cruda y tratada, los ensayos de tratabilidad y la evaluación de los procesos del sistema de tratamiento de agua potable Flupack.

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA FUENTE Y LA CAPTACIÓN

La cuenca que abastece el acuífero corresponde al piedemonte de la cordillera oriental, en la zona hay actividades agrícolas y de ganadería.

La fuente subterránea de agua es estable durante el año, siendo afectada por leves variaciones de caudal y calidad según sea la época de verano o de invierno. El pozo fue perforado a 60 m de profundidad y el nivel estático reportado del agua está a 30 m de profundidad. En la tabla 6 se registran las características hidráulicas de la captación.

Tabla 6. Características hidráulicas de la captación del pozo profundo

Parámetro	Valor
Diámetro de Tubería perforación	8 ½"
Diámetro del filtro	12"
Longitud del filtro	30 m
Profundidad del pozo	160 m

Fuente. Memorias PTAP Palo Solo.

El agua presenta baja alcalinidad y pH, en ciertas épocas y momentos del bombeo se presentan valores altos de hierro, la turbiedad es baja y el color básicamente está asociado a la presencia de hierro. No se reporta contaminación fecal del agua.

Se observó el sitio del pozo, el cual se encuentra sin protección con relación a contaminación e infiltración de aguas lluvias...Véase figura 12...; existe caseta con los equipos eléctricos a unos 5 m del pozo. La succión está construida en tubería de 4" con bomba sumergible marca siemens de 30 hp. La descarga hacia la PTAP se realiza a través de una tubería de 2" con 40 m de longitud de y cabeza de 7 m hasta la parte superior del Aireador. En la tabla 7 se registran las características del bombeo.

Tabla 7. Características del bombeo

Parámetro	Valor
Caudal extraído	2.99 L/s
Diámetro de succión	4"
Diámetro de descarga	2"
Velocidad	3450 RPM
Potencia	30 HP
Eficiencia	65%
Amperaje	16.0 / 8.0 Amp
Voltaje	220 – 440 V

Fuente. Memorias PTAP Palo Solo.

Figura 13. Captación de la PTAP de la vereda Palo Solo



3.2 REVISIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO FLUIPACK

La PTAP se encuentra ubicada junto a la escuela de la vereda, en terreno plano a a 250 m de la carretera pavimentada con una vía de acceso parte empedrada y parte en tierra.

Se encuentra encerrada con viga perimetral de 0.18 m de alto, muros en ladrillo de 0.80 m y encima de ellos parales metálicos que sostienen malla de altura 1.50 m y alambre de púas en 0.30 m, para una altura total de 2.80 m. Tiene puerta de acceso de 2 naves en malla y candado de seguridad.

Posee un aireador de bandejas, 3 de ellas cuentan con carbón coque, el agua aireada se recoge en la bandeja inferior donde se lleva hasta un cono para la

adición de hidroxicloriguro de aluminio y soda con el objeto de producir la mezcla rápida y coagulación.

El agua coagulada desciende e ingresa a una estructura vertical cuyo fondo tiene forma cónica. Allí se efectúa el proceso de floculación y a medida que el agua asciende se pretende crear un manto de partículas que ayuden a la floculación y la decantación. Como el agua es poco turbia dicho manto es difícil de formarse y más cuando arriba de él, se tiene un decantador acelerado con paneles de sedimentación, los cuales son básicamente responsables de la clarificación del agua.

El agua sigue ascendiendo después de la parte cónica, donde debe ocurrir la floculación, hacia la estructura ahora de forma cilíndrica, donde encuentra paneles de decantación acelerada. El agua decantada sale por la parte superior y se recoge en tubo de salida que la lleva al tanque de filtración.

El filtro funciona a presión y está ubicado en el fondo de una estructura cilíndrica, la cual en la mitad superior del tanque tiene placa acrílica que sella y confina el filtro, haciendo que este trabaje a presión en forma descendente. El filtro se lava manualmente operando válvulas que permiten al agua almacenada en la parte superior del tanque, producir el retrolavado cuando se requiera hacerlo. Existe tubería vertical por donde sube agua filtrada hasta un punto de rebose. En dicho sitio de salida de agua filtrada, se tiene la descarga del tubo plástico de ¼" que trae la solución de hipoclorito de sodio utilizada para desinfectar el agua.

Mediante tubería plástica el agua es transportada desde el filtro hasta tanque plástico ubicado a nivel de piso, el cual tiene acoplado una motobomba, permitiendo enviar el agua tratada y con desinfectante, hasta un tanque elevado.

El tanque elevado es en concreto de 3.7 x 3.7 m internos, ubicado a una altura hasta su base de 10.26 m y con altura máxima de agua hasta rebosar de 1.88 m, es decir su capacidad aproximada de almacenamiento es de 25.7 m³. Este tanque se encuentra descubierto por encima, el agua entra por la parte superior, no cuenta con rebose ni medidor de nivel.

Del tanque baja tubería plástica de 2" y a nivel de piso existe un micromedidor, actualmente dañado, después sigue la tubería de distribución hacia las viviendas de la vereda y antes de salir de la planta tiene una llave para toma de muestras y uso en planta.

Las instalaciones están enmalladas en el área de la planta de 10.56 x 12.05 m, cuentan en sitio cercano a la planta con laboratorio y sala de químicos con las bombas dosificadoras, ubicado en lote vecino perteneciente a la escuela; no hay oficina, en el área de laboratorio se tiene mesón, lavaplatos dañado en su desagüe y servicios sanitarios. En la unidad sanitaria se almacenan los insumos químicos.

La planta requiere de energía eléctrica para su funcionamiento, la cual es suministrada por la empresa ENERCA del municipio de Aguazul, que presta el servicio con muchas interrupciones debido a constantes averías en el cableado de interconexión.

Cuando se dispone de energía eléctrica, el operador prende todas las bombas, prepara las soluciones y está pendiente cuando el tanque elevado comienza a rebosar para apagar la planta. Este esquema se cumple en unas 3 horas de trabajo, luego permite que el agua ingrese a la red de distribución, prestando servicio a la comunidad de 3 a 4 horas. En este momento vuelve a reiniciar el tratamiento en la forma indicada anteriormente. No se trabaja la planta en horario nocturno. El operador informa que recibió entrenamiento básico de la operación

del sistema por parte de la empresa Ferreaguas (Firma contratada por la ESPA para la operación y el mantenimiento de la PTAP).

3.3 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y EL CONSUMO

Según información suministrada por la ESPA, la vereda cuenta para el 2009 con 200 habitantes, no existe industria que demande agua por lo cual se puede considerar que todo el consumo es doméstico. Si consideramos que el consumo medio para este clima es de 200 l/hab día y que la planta solo trabaja 6 horas, tendríamos una demanda de 1,85 l/s para toda la población de la vereda.

La planta de tratamiento procesa en promedio 4.6 l/s en la época de la evaluación, por lo cual el consumo por los habitantes estaría del orden de 497 l/hab día, valor considerado muy alto.

Es claro entonces que existe un gran problema de pérdidas y agua no contabilizada superior al 50%. Esto se debe principalmente al uso indebido del agua tratada en actividades agrícolas (riego de cultivos y bebederos para el ganado), fugas en la red de distribución y la inexistencia de micromedición, facturación y recaudo en el acueducto de la vereda.

3.4 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL TRATADO

Teniendo en cuenta que la PTAP no cuenta con estructuras ni dispositivos medición, se empleó el método de volumen vs tiempo para determinar el caudal de entrada como se registra en la tabla 8.

Tabla 8. Determinación del caudal tratado

Tiempo (s)	Volumen (l)	Caudal (l/s)
13.83	68	4.9
13.41	60	4.5
13.77	61	4.4
Promedio		4,6

El aforo realizado indica que el caudal entregado por la bomba corresponde aproximadamente a 4,6 l/s. El caudal hallado experimentalmente es menor que el reportado por el operador del sistema (5 l/s).

3.5 RESULTADOS HISTÓRICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA TRATADA

En la tabla 9 se registran los resultados de los análisis físico-químicos practicados en el laboratorio Acualim de la ciudad de Yopal, que corresponden al control de calidad externo efectuado por el contratista encargado de la operación del sistema.

En la tabla 10 se registran los resultados de los análisis físico-químicos practicados en el laboratorio de la PTAP (empleando kits y equipos portátiles), según información consignada en los formatos de *seguimiento variables de control proceso de potabilización*, diligenciados por el operador.

Tabla 9. Resultados análisis físico-químicos y microbiológicos remitidos por Acualim

Fecha	Características								
	Tipo de muestra	Turbiedad (NTU)	pH Und. pH	Color UPC	Hierro (mg/l Fe)	Dureza (mg/l CaCO ₃)	Cloro R. (mg/l Cl ₂)	Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Coliformes Totales (UFC/100 ml)
10-10-08	Tratada	4,16	7,72	18	0,05	11	0,17	0	0
11-12-08	Tratada	0,79	7,68	8	0,08	6	1,43	0	0
23-01-09	Tratada	1,23	7,30	12	0,21	3	1,94	0	0
04-04-09	Tratada	0,93	7,67	0	0,08	7	1,22	0	0

Fuente. Memorias PTAP Palo Solo.

Tabla 10. Resultados análisis físico-químicos de agua tratada realizados en la PTAP

Fecha	Características					
	Turbiedad (NTU)	pH Und. pH	Color UPC	Hierro (mg/l Fe)	Dureza (mg/l CaCO ₃)	Cloro R. (mg/l Cl ₂)
15-09-08	0,35	6,5	0,0	0,2	20	0,2
17-09-08	0,29	6,0	0,0	0,3	<20	0,4
19-09-08	0,54	6,5	0,5	0,3	<20	0,4
22-09-08	0,55	6,5	0,5	0,3	<20	0,4
25-09-08	0,34	6,5	5,0	0,2	<20	0,2
03-10-08	0,45	6,5	5,0	0,2	<20	1,2
15-10-08	1,15	6,0	5,0	0,2	<20	0,3
16-10-08	0,64	7,0	5,0	0,3	<20	0,7
18-10-08	0,56	6,5	5,0	0,2	<20	0,3
25-10-08	1,10	7,0	5,0	0,2	20	1,0
30-10-08	0,64	6,5	5,0	0,2	<20	2,0
07-11-08	1,04	6,5	10	0,2	<20	1,7
12-11-08	0,77	6,0	5,0	0,3	<20	1,5
13-11-08	0,67	6,5	5,0	0,2	<20	2,0
29-11-08	1,89	6,5	25	0,2	<20	1,5
16-10-08	0,64	7,0	5,0	0,3	<20	0,7
18-10-08	0,56	6,5	5,0	0,2	<20	0,3
25-10-08	1,10	7,0	5,0	0,2	20	1,0

Tabla 10. (Continuación)

Fecha	Características					
	Turbiedad (NTU)	pH Und. pH	Color UPC	Hierro (mg/l Fe)	Dureza (mg/l CaCO ₃)	Cloro R. (mg/l Cl ₂)
30-10-08	0,64	6,5	5,0	0,2	<20	2,0
07-11-08	1,04	6,5	10	0,2	<20	1,7
12-11-08	0,77	6,0	5,0	0,3	<20	1,5
13-11-08	0,67	6,5	5,0	0,2	<20	2,0
29-11-08	1,89	6,5	25	0,2	<20	1,5
01-12-08	1,48	7,0	10	0,2	<20	1,5
04-12-08	0,50	6,5	10	0,2	<20	1,5
12-12-08	0,33	7,0	5,0	0,2	<20	1,4
17-12-08	0,32	7,0	5,0	0,2	<20	1,8
26-12-08	0,54	6,5	5,0	0,2	20	1,5
02-01-08	0,44	7,0	10	0,2	<20	1,3
08-01-08	0,91	7,0	10	0,4	<20	0,7
14-01-08	0,46	7,0	-	0,3	20	1,3
15-01-08	0,59	7,0	-	0,3	<20	1,8
VALOR MAX RES. 2115 DE 2007	5,0	6,5-9,0	15	0,3	300	0,3-2,0

Fuente. Memorias PTAP Palo Solo.

En general los resultados de los análisis practicados en el laboratorio de la PTAP indican que las características analizadas cumplen con los valores máximos establecidos en la resolución 2115 de 2007, lo cual permite afirmar que a la comunidad de la vereda Palo Solo se le suministra agua apta para el consumo humano.

La existencia de resultados que no cumplen con lo establecido en la resolución 2115 obedece a las falencias detectadas en la dosificación de insumos químicos.

3.6 GRADO DE TRATAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA TRATADA

En la tabla 11 se registran los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua cruda y tratada, con los cuales se determinó la calidad de la fuente, el grado de tratamiento y la calidad del agua tratada.

En la figura 13 se registran los parámetros de calificación de la fuente y el grado de tratamiento.

Tabla 11. Resultados análisis físico-químicos y microbiológicos del agua cruda y Tratada del estudio.

Fecha	Características						
	Tipo de muestra	Turbiedad (NTU)	pH Und. pH	Color UPC	Hierro (mg/l Fe)	Dureza T (mg/l CaCO ₃)	Cloro R. (mg/l Cl ₂)
10-12-2008	Cruda	30,6	6,02	20	0,43	29	-
10-12-2008	Tratada	6,1	7,19	13	0,26	24	0,92
17-12-2008	Cruda	17,9	5,91	19	0,73	37	-
17-12-2008	Tratada	4,7	7,67	12	0,31	24	1,12
06-01-2008	Cruda	6,8	6,13	37	1,13	54	-
06-01-2008	Tratada	2,5	7,42	16	0,20	48	1,06
21-01-2008	Cruda	6,7	5,67	17	0,22	35	-
21-01-2008	Tratada	1,1	7,36	9	0,09	22	0,89
17-02-2008	Cruda	13,1	6,0	10	0,35	7	-
17-02-2008	Tratada	1,2	7,30	4	0,21	3	0,93
04-03-2008	Cruda	5,3	5,73	19	0,13	12	
04-03-2008	Tratada	1,0	6,68	5	0,05	9	1,65
25-03-2008	Cruda	1,2	5,01	6	0,23	19	-
25-03-2008	tratada	0,4	7,45	2	0,13	16	1,17

3.6.1 Calidad de la fuente y grado de tratamiento. De acuerdo con los resultados registrados en la tabla 11 y los parámetros mínimos de comparación, recomendados por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y

Saneamiento Básico (RAS 2000), Título C, Tabla C.2.1...Véase figura 14..., la caracterización de la fuente de abastecimiento se clasifica como REGULAR.

Figura 14. Clasificación de la fuente (Tabla C.2.1 – RAS 2000)

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 - 20	20 - 40	≥ 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000 (17, noviembre, 2000). Título C. Bogotá D.C.: El ministerio, 2000. C20 p.

Se considera que los procesos que actualmente se llevan a cabo en la PTAP de la Vereda Palo Solo son adecuados para tratar eficientemente este tipo de agua cruda teniendo en cuenta que la fuente de abastecimiento posee niveles moderadamente altos de hierro y los niveles de color (en época de invierno) son susceptibles de incrementarse por encima de 20 UPC.

3.6.2 Calidad del agua tratada. Salvo en el caso de la turbiedad en una muestra, los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos practicados en el laboratorio de la PTAP el Moriche, indican que las características analizadas cumplen con los valores máximos establecidos en la resolución 2115 de 2007, lo cual garantiza el suministro de agua apta para el consumo humano a la comunidad de la vereda.

3.7 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRATABILIDAD

A continuación se presentan los resultados de los ensayos de tratabilidad efectuados en diferentes muestras de agua cruda, tanto a escala del laboratorio como de la planta.

3.7.1 Preparación de insumos químicos. Se preparó una solución stock de coagulante al 1% de hidroxiclورو de aluminio y una solución de alcalinizante al 1% de Soda. Para la demanda de cloro se preparó una solución stock al 1% de cloro activo.

3.7.2 Dosis óptima de coagulante. Se realizaron tres ensayos de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Mezcla rápida a 300 rpm por un minuto equivalente según la temperatura del agua a gradiente de 300 S^{-1} , mezcla lenta a 60 rpm por 10 minutos equivalente a gradiente de 40 S^{-1} y decantación por 10 minutos.
- El volumen de muestra empleado en cada uno de los vasos corresponde a un litro.

El agua cruda empleada en el primer ensayo corresponde al agua captada después de 30 minutos de bombeo. Debido a la baja alcalinidad y el pH del agua cruda, para lograr el proceso de coagulación y además cumplir con el pH estipulado en las normas, se adicionaron 3 ml de soda a todos los vasos, logrando en este caso tener pH de 6.3 previo al ensayo.

En la tabla 12 se registran los resultados del ensayo de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante de la muestra 1.

Tabla 12. Resultados dosis óptima de coagulante de la muestra 1

Muestra	Características del agua cruda					
	Turbiedad (NTU)	pH Und. pH	Color UPC	Hierro (mg/l Fe)	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	Temperatura (°C)
1	1,2	5,86	1	0,2	2,6	25°C

Datos	Ensayo de jarras					
	Número de recipiente					
	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante (mg/l)	5	7	10	15	20	30
Volumen de alcalinizante (ml)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Turbiedad (UNT)	1.37	1.42	1.12	1.40	1.30	1.21
pH	6.21	6.09	6.04	6.04	6.01	5.90
Hierro (mg/l Fe)			7.2			
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)			0.1			

Según la tratabilidad, la dosis óptima de coagulante para la coagulación de la muestra de agua 1 corresponde a la empleada en el vaso N° 3, equivalente a 10 mg/l de hidroxiclورو de aluminio. Los resultados de las características físico-químicas analizadas cumplen con los valores máximos permitidos en la resolución 2115 de 2007.

El agua cruda empleada en el segundo ensayo corresponde al agua captada al inicio de la operación, lo cual ocurre durante 1 o 2 veces al día como consecuencia del apagado y prendido de la bomba. En esos momentos se produce agitación del agua dentro del pozo, generando desprendimiento y arrastre de partículas que aumentan transitoriamente, de 5 a 10 minutos, la turbiedad y el color del agua cruda.

Debido a la baja alcalinidad y el pH del agua cruda, para lograr el proceso de coagulación y además cumplir con el pH estipulado en las normas, se adicionaron 6 ml de soda a todos los vasos, logrando en este caso tener pH de 8.0 previo al ensayo. En la tabla 13 se registran los resultados del ensayo de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante de la muestra 2.

Tabla 13. Resultados dosis óptima de coagulante de la muestra 2

Muestra	Características del agua cruda					
	Turbiedad (NTU)	pH Und. pH	Color UPC	Hierro (mg/l Fe)	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	Temperatura (°C)
2	14,4	4,91	49	1,5	3,6	28°C

Datos	Número de recipiente					
	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante (mg/l)	5	7	10	15	20	30
Volumen de alcalinizante (ml)	6	6	6	6	6	6
Turbiedad (UNT)	8.24	12.0	12.3	11.9	3.30	12.5
Color (UPC)	24	52	48	49	5	36
pH	8.1	6.98	6.9	6.7	6.68	6.61
Hierro (mg/l Fe)					0.36	
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)					250	

Según la tratabilidad, la dosis óptima de coagulante para el tratamiento de la muestra de agua 2 corresponde a la empleada en el vaso N° 5, equivalente a 20 mg/l de hidroxiclورو de aluminio. Con excepción de la alcalinidad, los resultados de las características físico-químicas analizadas cumplen con los valores máximos permitidos en la resolución 2115 de 2007.

El agua cruda empleada en el tercer ensayo también corresponde al agua captada al inicio de la operación.

Debido a la baja alcalinidad y el pH del agua cruda, para lograr el proceso de coagulación y además cumplir con el pH estipulado en las normas, se adicionaron 5 ml de soda a todos los vasos, logrando en este caso tener pH de 7.6 previo al ensayo. En la tabla 14 se registran los resultados del ensayo de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante de la muestra 3.

Tabla 14. Resultados dosis óptima de coagulante de la muestra 3

Muestra	Características del agua cruda					
	Turbiedad (NTU)	pH Und. pH	Color UPC	Hierro (mg/l Fe)	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	Temperatura (°C)
3	11,7	5,23	41	0,66	5,4	28°C

Datos	Número de recipiente					
	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante (mg/l)	5	7	10	15	20	30
Volumen de alcalinizante (ml)	5	5	5	5	5	5
Turbiedad (UNT)	6,4	6,7	6,0	2,7	2,8	2,8
Color (UPC)	7	5	5	3	2	5
pH	6,67	6,65	6,53	6,69	6,53	6,58
Hierro (mg/l Fe)				0.36		
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)				120		

Según la tratabilidad, la dosis óptima de coagulante para el tratamiento de la muestra de agua 3 corresponde a la empleada en el vaso N° 4, equivalente a 15 mg/l de hidroxidocloruro de aluminio. Los resultados de las características físico-químicas analizadas cumplen con los valores máximos permitidos en la resolución 2115 de 2007.

3.7.3 Concentración óptima de coagulante. Se realizó un ensayo de jarras para determinar la concentración óptima de coagulante empleando el agua cruda de la muestra 2. Antes de la realización del ensayo se determinaron nuevamente las características físico-químicas de la muestra.

Teniendo en cuenta la baja alcalinidad y pH del agua cruda, para lograr el proceso de coagulación y además cumplir con el pH estipulado en las normas, se hizo una prueba para estimar el volumen de solución de soda que debían adicionarse a los vasos. Se determinó que al adicionar 5 ml de soda al 1,5% por cada litro de solución se obtenían valores de pH alrededor de 7,5. Suficientes para evitar el ajuste de cal secundaria después de la desinfección.

Se podría por favorecer la desinfección al trabajar con 2 ml/l de soda primaria, pero luego del proceso se requeriría subir el pH con soda secundaria, adicionando otros 3 ml/l.

En la tabla 15 se registran los resultados del ensayo de jarras para determinar la concentración óptima de coagulante de la muestra 2, empleado los parámetros de mezcla rápida, mezcla lenta y decantación de los ensayos de dosis óptima de coagulante.

Tabla 15. Resultados concentración óptima de coagulante de la muestra 2

Muestra	Características del agua cruda					
	Turbiedad (NTU)	pH Und. pH	Color UPC	Hierro (mg/l Fe)	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	Temperatura (°C)
2	8,6	5,24	23	0,43	2,6	28°C

Datos	Número de recipiente					
	1	2	3	4	5	6
Concentración de coagulante (%)	10	5	2	1	0,5	0,2
Dosis de coagulante (mg/l)	20	20	20	20	20	20
Volumen de alcalinizante (ml)	5	5	5	5	5	5
Turbiedad (UNT)	4.91	4.88	4.74	6.61	5.63	8.3
Color (UPC)	11	9	8	4	11	18
pH	8.5	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
Hierro (mg/l Fe)			0,13			
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)			27			

Según la tratabilidad, la concentración óptima de coagulante para el tratamiento de la muestra de agua corresponde a la empleada en el vaso N°3, equivalente al 2% de hidroxiclورو de aluminio. Empleando esta concentración se realizaron los demás ensayos de tratabilidad.

3.7.4 Gradiente y Tiempo óptimo de floculación. Se realizaron cuatro ensayos de jarras para determinar el tiempo y gradiente óptimo de floculación, empleando los parámetros de mezcla rápida y decantación de los ensayos de dosis óptima. Se empleo la dosis y concentración óptima de coagulante encontrados en los ensayos anteriores.

En la tabla 16 se registran los resultados del ensayo de jarras para determinar el gradiente y tiempo óptimo de floculación de la muestra 2, con las características del agua cruda reportadas en la tabla 15.

Tabla 16. Resultados gradiente y tiempo óptimo de floculación de la muestra 2

Datos de Floculación	Número de recipiente					
	1	2	3	4	5	6
Gradiente 20 S⁻¹ (35 RPM)						
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Turbiedad (UNT)	6.05	2.88	2.7	2.8	3.06	2.55
Gradiente 40 S⁻¹ (60 RPM)						
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Turbiedad (UNT)	7.37	5.03	3.14	5.37	5.94	5.85
Gradiente 60 S⁻¹ (85 RPM)						
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Turbiedad (UNT)	5.88	7.22	5.71	7.10	8.14	7.01
Gradiente 80 S⁻¹ (110 RPM)						
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Turbiedad (UNT)	6.55	6.71	6.87	7.52	8.54	8.04

Según la experimentación, el tiempo total óptimo de floculación de la muestra de agua cruda 2 es de 15 minutos, aplicando gradientes decrecientes de 60 a 20 S⁻¹. Para cada tiempo de floculación el gradiente óptimo sería el registrado en la tabla 17.

Tabla 17. Tiempo Vs Gradiente óptimo de floculación.

Parámetro	Resultados			
Gradiente (S ⁻¹)	60	20	20	20
Tiempo (min)	5	10	15	20
Turbiedad (UNT)	5.88	2.88	2.70	2.80

De acuerdo con lo anterior el tiempo ideal en floculación es de 15 min. En la planta no se pudo establecer dicho tiempo, el cual debe cumplirse dentro del cono de la unidad compacta, el tiempo calculado según dimensiones de la unidad y el caudal tratado, es de 20 min en la zona de floculación, un poco mayor al encontrado en tratabilidad.

3.7.5 Demanda de cloro. Se realizó una prueba de demanda de cloro con una muestra de agua filtrada que tenía una turbiedad de 1,4 y un pH de 7,26.

Se seleccionaron seis vasos de precipitado limpios y se adicionó un (01) litro de agua filtrada en cada uno de ellos. Seguidamente se adicionaron volúmenes de solución de cloro al 1% para obtener dosis aplicadas crecientes de 0,5 a 4 mg/l. Se dejó actuar el cloro durante treinta minutos y se midieron los residuales obtenidos.

En la tabla 18 se registran los resultados de la prueba de demanda de cloro para establecer la demanda y dosis óptima de desinfectante.

Tabla 18. Resultados demanda de cloro.

Datos de Floculación	Número de recipiente					
	1	2	3	4	5	6
Tiempo contacto: 30 min						
Dosis aplicada (mg/l)	0,5	1	1,5	2	3	4
Cloro Residual Libre (mg/l)	0,13	0,62	0,97	1,28	2,19	2,56
pH	7,11	6,77	6,67	6,53	6,51	5,94

Según la tratabilidad, las soluciones que presentan cantidades de cloro residual libre dentro de los límites establecidos en la resolución 2115 de 2007 son las encontradas en los recipientes 2, 3, 4. Se concluye que para estas aguas la demanda de cloro es de aproximadamente 0,5 mg/l.

Si se desea cumplir con la norma y dejar por lo menos 0,5 mg/l como residual para prevenir la contaminación en las redes se deben aplicar dosis de cloro activo de 1 al 1,5 mg/l.

3.8 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de los procesos y procedimientos ejecutados en el sistema de tratamiento de agua potable de la vereda Palo Solo.

3.8.1 Evaluación de la Preparación y dosificación de insumos químicos. La dosificación se hace igual para todo tipo de aguas, según instrucciones de los responsables de la planta. La baja alcalinidad y pH del agua cruda, hace necesaria la aplicación de soda para el proceso de coagulación.

Es buena la práctica de aplicar coagulante, aún cuando hay turbiedades y color bajos, por cuanto permite formar microflocs, los cuales en parte se logran decantar y la mayoría se retiene en el filtro, reduciendo el contenido potencial de microorganismos patógenos que pueden existir o llegar al consumidor. La desinfección es obligatoria para todo tipo de aguas y en este caso para mantener un residual de cloro, previendo contaminaciones en la red de distribución.

De acuerdo con la evaluación efectuada e información del operador, los procedimientos se realizan en forma empírica y atendiendo recomendaciones dadas por un ingeniero.

3.8.1.1 Dosificación de coagulante. El coagulante se prepara en un tanque plástico de 100 litros de capacidad ubicado dentro de la caseta del laboratorio. En el tanque se agregan 10 litros de agua medidos con un balde, luego se adicionan

300 ml de hidroxiclورو de aluminio (densidad = 1,33) medidos con un vaso de precipitado plástico y se agita hasta homogenizar la solución. La solución preparada se aplica por bombeo hasta desocupar el tanque en aproximadamente tres horas.

La solución preparada por el operador queda con una concentración de 39900 mg/l de Hidroxiclورو de aluminio (3,99%). Si consideramos un caudal actual de ingreso de 4.6 l/s y un tiempo de aplicación de 3 horas, tendremos que se aplican 0.926 ml/s de solución de coagulante al 3,99% que corresponden 36.94 mg/s, para obtener una dosis aplicada de 8.03 mg/l.

Esta dosis se considera baja para las necesidades de tratamiento, según pruebas de tratabilidad efectuadas, se requieren dosis de 10 mg/l para turbiedades cercanas a 2 UNT, 15 mg/l para turbiedades cercanas a 8 UNT y dosis de 20 mg/l para turbiedades cercanas a 15 UNT.

Además, en turbiedades cercanas a 15 UNT el coagulante debe aplicarse a una concentración del 2% para lograr mejor efecto, y no del 3.99% como se viene haciendo.

3.8.1.2 Dosificación de alcalinizante. El alcalinizante se prepara en un tanque plástico de 100 litros de capacidad ubicado dentro de la caseta del laboratorio. En el tanque se agregan 10 litros de agua medidos con un balde, luego se adicionan 185 g de Hidróxido de Sodio en escamas y se agita hasta homogenizar la solución. La solución preparada se aplica por bombeo hasta desocupar el tanque en aproximadamente tres horas.

La solución preparada por el operador queda con una concentración de 18500 mg/l de Hidróxido de Sodio (1,85%). Si consideramos un caudal actual de ingreso de 4.6 l/s y un tiempo de aplicación de 3 horas, tendremos que se aplican 0.926

ml/s de solución de alcalinizante al 1,85 % que corresponden 17,13 mg/s, para obtener una dosis aplicada de 3,72 mg/l.

Esta dosis es baja si se desea mejorar el proceso de coagulación y subir el pH hasta valores cercanos a 7 en la red de distribución. Según las pruebas de tratabilidad efectuadas, para las necesidades del agua debería aplicarse unos 5 ml/l de alcalinizante al 1%.

3.8.1.3 Dosificación de desinfectante. El desinfectante se prepara en un tanque plástico de 100 litros de capacidad ubicado dentro de la caseta del laboratorio. En el tanque se agregan 10 litros de agua medidos con un balde, luego se adicionan 300 ml de Hipoclorito de Sodio al 15% y se agita hasta homogenizar la solución. La solución preparada se aplica por bombeo hasta desocupar el tanque en aproximadamente tres horas.

La solución preparada por el operador queda con una concentración de 4500 mg/l de hipoclorito de Sodio (0,45%). Si consideramos un caudal actual de ingreso de 4.6 l/s y un tiempo de aplicación de 3 horas, tendremos que se aplican 0.926 ml/s de solución de desinfectante al 0,45 % que corresponden 4,17 mg/s, para obtener una dosis aplicada de 0,90 mg/l;

Esta dosis es relativamente baja si se desea obtener residuales de cloro superiores a 0,5 mg/l en la red de distribución. Según las pruebas de tratabilidad si se desea obtener el residual mencionado, deberían aplicarse dosis de 1 a 1,5 mg/l de desinfectante al 1%.

3.8.2 Evaluación de la aireación. El pretratamiento utilizado es la aireación, diseñada correctamente por cuanto el agua tiene en ocasiones valores de hierro disuelto alrededor de 1 mg/l y es necesario reducirlo, para cumplir la norma de calidad. Al introducir oxígeno al agua por aireación libre, se oxida el agua

ferruginosa y se cambia los compuestos ferrosos solubles en férricos insolubles, los cuales se separan del agua por decantación.

El aireador presenta 4 bandejas de 1.2 m de diámetro y 0.2 m de altura, 3 de ellas cuentan con carbón coque, el agua aireada se recoge en la bandeja inferior desde donde se lleva por tubería de 3" hasta un cilindro con ingreso tangencial, esta estructura finaliza hacia abajo en un cono donde se efectúa la adición del coagulante y el alcalinizante.

Al evaluar la unidad en cuanto a la disminución del contenido de hierro (realizando análisis a la entrada y la salida), se obtuvieron eficiencias en la remoción del metal equivalentes al 28%. El aireador no cuenta con sedimentación a la salida, ni desagüe que permita retirar el hierro precipitado por esta oxidación; actualmente dichas partículas continúan en los procesos de tratamiento, quedando probablemente retenidos en el decantador o en el filtro.

3.8.3 Evaluación de la mezcla rápida. Teniendo en cuenta la forma, tamaño y ubicación de la estructura de mezcla rápida, No se pudo calcular el gradiente aplicado.

Existe cilindro con entrada tangencial del agua fluyendo hacia abajo a un cono usado como sitio de mezcla rápida donde se deja caer el coagulante y la soda para que ocurra la coagulación. En las pruebas de laboratorio, se utilizó gradiente 300 S^{-1} para la coagulación con duración de 1 minuto.

3.8.4 Evaluación de la floculación-sedimentación. El agua coagulada desciende e ingresa por debajo de una estructura vertical en acrílico de 4.4 m de altura y diámetro de 2.52 m, cuyo fondo tiene forma cónica y llega aproximadamente hasta la mitad de la altura del tanque. Allí se efectúa el proceso de floculación y se pretende crear a medida que el agua asciende, un manto de partículas que ayuden a la floculación y la decantación.

El agua floculada sigue ascendiendo en la estructura dejando el cono de floculación, hacia la parte con forma cilíndrica en la mitad superior, al subir encuentra paneles de decantación acelerada en la parte superior de la estructura. El agua decantada sale por la parte superior, la cual está descubierta y se recoge en tubo de salida de 4" que la lleva al tanque de filtración.

Dado el caudal que ingresa, las velocidades son bajas en estas unidades y hay depósito de floc en el fondo cónico, desde el cual periódicamente debe ser evacuado.

La estructura mencionada, según nuestros cálculos tiene un volumen de 16.5 m³ y para el caudal de 4.6 l/s, corresponde un tiempo teórico de retención en la unidad de 59.78 minutos. Esta unidad fue evaluada hidráulicamente mediante el uso de trazador...véase anexo 2...para obtener los resultados registrados en la tabla 19.

Tabla 19. Resultados evaluación floculación - sedimentación

Abreviatura	Parámetros	Valor
tp	Tiempo real promedio de retención (min)	60
to	Tiempo teórico de retención (min)	59.78
ti	Tiempo inicial (min)	10
tm	Tiempo centroide (min)	68
tc	Tiempo trazador mayor que Cp/2 (min)	68
tb	Tiempo trazador mayor que Cp/10 (min)	145
Cp	concentración máxima	116
Cp/2	Cp/2	58
Cp/10	Cp/10	11.6
ti / to	Tendencia a paso directo o cortocircuito, flujo mezclado	0.16
tm / to	Bajo cortocircuito y zona muerta	1.13
tp / to	Existencia de flujo pistón y flujo mezclado	0.99
tc / to	Existencia de turbulencias internas, corrientes de inercia	1.13
tb / to	Existencia de turbulencias en la unidad, corrientes de inercia	0.24
e	Predominio de flujo mezclado en la unidad	1.08

El flujo a pistón es el que debe predominar para asegurar tiempos de retención efectivos en cada proceso. En la unidad se presenta en conjunto con el mezclado, hay presencia baja de agua en cortocircuito y poca porción con zonas muertas.

El período de retención real promedio casi coincide con el teórico de la unidad, como no existen memorias de diseño no se conocen los tiempos de retención establecidos para la floculación y decantación.

3.8.5 Evaluación de la filtración. El filtro está ubicado en el fondo de una estructura cilíndrica de 3.3 m de altura y diámetro de 2.18 m, en la mitad del tanque existe placa acrílica que sella y confina el filtro, haciendo que este trabaje a presión en forma descendente. Esta unidad fue evaluada físicamente, vaciando el agua y destapando la unidad.

3.8.5.1 Lechos filtrantes. Son dobles de arena y antracita, no se conoce su granulometría. Por información del operador el lecho filtrante fue cambiado después de 6 meses de operación, por lo cual está prácticamente nuevo.

Para procesar 4.6 l/s, se tiene un área filtrante 3.73 m^2 , con una tasa promedio de filtración de $106.55 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$ usada en la planta, lo cual catalogaría al filtro como no rápido, por tener menos de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$ de tasa de filtrado.

El filtro tiene falso fondo en tubería perforada, empaquetada en 15 cm de grava y encima de ésta, están colocados la arena y antracita como medio filtrante, ambas con espesor total de 15 cm.

Mediante 4 tuberías verticales de 2" conectadas al tubo recolector del fondo, se logra almacenar agua en la parte superior de la estructura, también sirven para el lavado del medio filtrante cuando se requiera hacerlo. Existe también conectado a la tubería de fondo otro tubo vertical de 4" por donde sube el agua filtrada

producida, hasta un punto de rebose o salida. En dicho punto de salida de agua filtrada se tiene la descarga del tubo plástico de ¼" que trae la solución de hipoclorito de sodio utilizada para desinfectar el agua.

Se considera que el lecho filtrante tiene muy poco espesor. Como el filtro estructuralmente está cerrado y trabaja a presión, no se pudo determinar la expansión del lecho durante el lavado, ni el tiempo del mismo que está solo regulado por el volumen de 4 m³ de agua almacenado encima del filtro para producir su retrolavado. Este flujo desciende por 4 tubos de 2" hasta el falso fondo. El volumen total almacenado para el lavado es de 8.13 m³, pero debido al tiempo que se gastaría, solo lavan hasta cuando el nivel del agua llega al sifón de desagüe, para lo cual se usan unos 4 m³.

De acuerdo con lo observado directamente en el filtro, existe un punto donde está desacomodado el lecho de soporte o grava, por donde pasa agua sin filtrar. También se pudo notar que las expansiones son bajas debido a que existe arena por encima de la antracita, la cual informaron fue colocada cuando se hizo el último cambio del lecho filtrante y que debería de acuerdo a su mayor densidad, haberse ubicado debajo de la antracita si las expansiones producidas fuesen correctas.

3.8.5.2 Tasas de filtrado y lavado. No se conocen las tasas de diseño de filtrado y lavado. La tasa de filtración calculada de 106.55 m³/m² día, indica que el filtro está trabajando básicamente a tasa constante. Idealmente se debería hacer el lavado con velocidades entre 50 a 60 cm/min.

3.8.5.3 Tiempo de lavado. El retrolavado del filtro lo viene realizando el operador todos los días, sin criterios ni equipos para saber realmente cuando se debe lavar el filtro. De acuerdo con lo informado, la planta básicamente trabaja cuando hay energía y opera dos veces al día durante 3 horas hasta llenar el tanque elevado,

luego se para y deja que el tanque se desocupe para volver a realizar tratamiento por otras 3 horas.

Según información del operador el tanque elevado se desocupa en unas 4 horas, por el consumo de los usuarios. Esto implica que la planta opere 6 horas al día, por lo cual el filtro solo tiene esa carrera corta de 6 horas y no se justifica lavarlo cada día. Tienen por tanto un gran gasto de agua tratada que se pierde junto con los químicos aplicados, debido a esta práctica, aumentando costos de operación y pérdida de agua.

El filtro debería tener un medidor de pérdida de carga que le permita al operador saber cuándo debe lavarlo o contar con equipos para determinar calidad del agua filtrada y de esta manera programar los lavados. Se cuenta realmente con 4 m³ para hacer el lavado, lo cual, a las tasas de lavado ideales solo alcanza para 2.14 min. Este tiempo es muy bajo, pues se recomienda entre 10 y 15 min, que implicarían un consumo de 20 a 30 m³ de agua clarificada para un correcto lavado.

Los filtros quedan mal lavados y van acumulando lodo en su interior, creando las llamadas bolas de barro con alta cantidad de microbios que paulatinamente deterioran el filtro y hace necesario su cambio, como pudo ser el caso de la planta, con el consecuente costo en dinero que se podría evitar.

Para solucionar lo anterior, se puede realizar varias operaciones de lavado con los 4 m³ del tanque pulmón, llenándolo varias veces y repitiendo la operación. Así mismo, podría acudirse al lavado con agua del tanque elevado, haciendo interconexión de la tubería de salida con el fondo del filtro. Se requiere hacer buen lavado, así como llevar un control horario del funcionamiento del filtro. Las válvulas del desagüe del lavado y vaciado del filtro se encuentran en mal estado; se dificulta la manipulación de las mismas, necesitando mantenimiento preventivo para evitar que se peguen en su accionar.

3.8.6 Evaluación de la desinfección. El desinfectante se aplica en solución mediante bomba dosificadora con motor eléctrico, la cual succiona desde el tanque de preparación con descargas en tubería plástica de ¼ " hasta unos 25 m de distancia, aplicando la solución al agua de salida del filtro.

Mediante tubería de 2" el agua con cloro es transportada desde el filtro hasta tanque plástico de 1000 litros ubicado a nivel de piso, el cual tiene acoplado una motobomba centrífuga de 5 HP con descarga en 2", funcionando periódicamente mediante arrancador de nivel con flotador, permitiendo enviar el agua tratada y con desinfectante hasta un tanque elevado.

El tiempo de contacto en este tanque es de 3.6 min, considerado muy bajo, por lo cual se espera que el verdadero tiempo de contacto del cloro con el agua, se cumpla en el tanque elevado de 25.7 m³, resultando de acuerdo al caudal tratado, un tiempo de contacto de 93 minutos.

Debido al esquema de operación consistente en llenar el tanque antes de enviar el agua a la red, puede considerarse válido este tiempo de contacto que asegura la desinfección del agua.

3.9 EFICIENCIA DE LOS PROCESOS

Con el propósito de evaluar la eficiencia de cada uno de los procesos de tratamiento desarrollados en la PTAP, se tomaron muestras de agua (con la planta en funcionamiento) a la entrada y salida del aireador, a la salida del tanque de floculación – sedimentación, a la salida del filtro sin adición de cloro y en un punto de la red de distribución. En la Tabla 20 se registran los resultados de cuatro análisis de turbiedad, color, pH, hierro y cloro residual libre (en red) realizados en diferentes tiempos para determinar la eficiencia de los procesos.

Tabla 20. Características físico-químicas del agua en los procesos de tratamiento

Características	Punto de Toma				
	Entrada Bandejas	Salida Bandejas	Salida Sedimentador	Salida Filtro	Red Distribución
Análisis 1					
Turbiedad (UNT)	1,81	1,72	1,12	1,09	1,13
Color (UPC)	5	4	4	4	4
pH	5,82	6,02	7,06	7,12	7,1
Hierro (mg/l Fe)	0,32	0,19	0,21	0,19	0,19
Cloro residual (NTU)	-	-	-	-	0,92
Análisis 2					
Turbiedad (UNT)	1,05	0,95	0,93	0,87	0,82
Color (UPC)	5	4	5	4	4
pH	6,31	6,52	7,29	7,21	7,23
Hierro (mg/l Fe)	0,45	0,32	0,31	0,32	0,29
Cloro residual (NTU)	-	-	-	-	1,73

Tabla 20. (Continuación)

Características	Punto de Toma				
	Entrada Bandejas	Salida Bandejas	Salida Sedimentador	Salida Filtro	Red Distribución
Análisis 3					
Turbiedad (UNT)	0,68	0,72	0,46	0,39	0,41
Color (UPC)	4	4	3	3	3
pH	4,96	4,96	7,32	7,26	7,19
Hierro (mg/l Fe)	0,22	0,17	0,18	0,13	0,16
Cloro residual (NTU)	-	-	-	-	1,28
Análisis 4					
Turbiedad (UNT)	3,29	3,12	3,14	1,97	2,01
Color (UPC)	22	17	15	14	16
pH	5,45	5,47	7,54	7,27	7,37
Hierro (mg/l Fe)	0,49	0,38	0,32	0,29	0,25
Cloro residual (NTU)	-	-	-	-	0,46

Con los resultados consignados en la tabla anterior, se calculó la eficiencia de los procesos en función del porcentaje promedio de como se observa en la tabla 21.

Tabla 21. Eficiencia de los procesos

Características	Eficiencia de Remoción en los Procesos				
	Rango de valores agua cruda	Aireador (%)	Floculador Decantador (%)	Filtro (%)	Desinfección (%)
Turbiedad (UNT)	0,68 - 3,29	4,9 - 9,5	0,3 – 34,9	2,7 – 36,7	-
Promedio		4,91	18,4	15,3	
Color (UPC)	4 - 22	0 - 22,7	0 – 25	0-20	-
Promedio		15,7	9,2	6,7	
Hierro (mg/l Fe)	0,22 - 0,49	22,4 – 40,6	3,1- 15,8	0 – 27,8	0 – 13,8
Promedio		28,7	4,7	11,7	5,8
Cloro residual (NTU)	0,46 – 1,73	-	-	-	100%

Según la experimentación se determino lo siguiente:

- El aireador remueve turbiedad, color y hierro, este último de mayor importancia en el proceso presenta valores promedios de remoción equivalentes al 28,7%.
- El floculador-decantador remueve en promedio, 18.4% de turbiedad, 9.2% de color y 4,7% de hierro. Esta unidad a veces incrementa los niveles de turbiedad y color, muy probablemente por causa de las paradas y arranques de la planta.
- El filtro remueve en promedio, 15.3% de turbiedad, 6.7% de color y 11,765 de hierro. Este último con fluctuaciones debido a que a veces se incrementa su valor probablemente por causa de los lavados, paradas y arranques.

- La cloración es efectiva y los residuales para la red estuvieron por encima de 0.3 mg/l Cl₂ solicitado como mínimo en las normas. Es de anotar que el cloro parece estar oxidando hierro, logrando remociones promedias del 5,8%.El cloro residual del agua para la red, fue en promedio de 1,09 mg/l Cl₂
- El pH del agua subterránea fluctuó durante las pruebas entre 4.96 y 6.31 unidades, lográndose con la adición de soda llevarlo por encima de 7 para los demás procesos.

4. CONCLUSIONES

- Mediante las visitas realizadas al sistema de potabilización de agua de la vereda Palo Solo se determinó que la operación se realiza sin tener en cuenta criterios de tratabilidad en la preparación y dosificación de insumos químicos debido a la falta de equipos y la aplicación de procedimientos estandarizados que comprometan las distintas actividades involucradas en los procesos de tratamiento.
- El aforo realizado en el punto de captación indicó que el caudal promedio de agua cruda que se está tratando (4,6 l/s) se encuentra por debajo del valor nominal de operación reportado por el proveedor del sistema FLUIPACK, equivalente a 5 l/s.
- Los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos básicos del agua tratada, indican que en general las características de calidad cumplen con los valores máximos establecidos en la resolución 2115 de 2007; lo cual permite afirmar que a la comunidad de la vereda Palo Solo se le suministra agua apta para el consumo humano.
- Las dosis óptimas de coagulante empleadas el tratamiento del agua cruda deben ser de 10 mg/l para turbiedades cercanas a 2 UNT, 15 mg/l para turbiedades cercanas a 8 UNT y 20 mg/l para turbiedades cercanas a 15 UNT, empleando concentraciones de coagulante cercanas al 2%, y aplicando dosis de alcalinizante que eleven el pH alrededor de 7,5.

- Se deben aplicar dosis de desinfectante de 1 a 1,5 mg/l empleando una solución de cloro a 1% para garantizar residuales en la red de distribución superiores a 0,3 mg/l Cl₂, teniendo en cuenta que la demanda de cloro en este tipo de aguas corresponde a 0,5 m/l Cl₂.
- El aireador opera satisfactoriamente, permitiendo porcentajes de remoción promedio del 28,7%, que pueden ser mejorados si se instala un desagüe que permita retirar el metal precipitado por oxidación que no sea retenido en las bandejas provistas con carbón coque.
- El floculador – decantador remueve en promedio un 18.4% de turbiedad, 9.2% de color y 4,7% de hierro. Estos porcentajes de remoción pueden aumentar si se mejora el procedimiento de lavado, para evitar la acumulación de lamas y sedimentos con contenido de hierro observados en las placas de sedimentación.
- El lavado del filtro se considera deficiente puesto que el volumen de agua clarificada contenida en el tanque pulmón (4m³) no es suficiente para garantizar tasas de lavado de 10 a 15 minutos que permita lograr las expansiones de requeridas y evitar la acumulación de lodos en el interior.

5. RECOMENDACIONES Y SOLUCIONES

- Mejorar la preparación y dosificación de insumos químicos, mediante la realización periódica de ensayos de tratabilidad que permitan establecer las concentraciones y dosificaciones óptimas de insumos en diferentes tipos de agua cruda.
- Se debe elaborar la curva de calibración de las bombas de coagulante, alcalinizante y desinfectante para garantizar la correcta dosificación de las soluciones preparadas.
- Se debe elaborar un manual de mantenimiento y operación donde se consigne la información relacionada con las memorias, diseños, planos y procedimientos involucrados en el sistema de tratamiento de agua potable de la vereda Palo Solo.
- Mejorar las condiciones de almacenamiento de insumos químicos mediante el uso de estibas separadas de la pared para evitar el deterioro de los mismos y facilitar su manejo.
- Se recomienda la adquisición de una planta generadora de energía eléctrica como mecanismo de emergencia para garantizar el tratamiento y suministro diario de agua potable, ante los constantes apagones que se presentan en la región.
- Recuperar el sistema de dosificación hidráulica de insumos por descarga de orificio como procedimiento alternativo en caso de presentarse daños en las bombas dosificadoras.

- Mejorar y proteger la parte superior del pozo profundo para proteger los cables eléctricos y la estructura de agentes externos.
- Instalar un sistema de medición para conocer el caudal a tratar y la cantidad de insumos químicos a aplicar.
- Permitir en la parte baja del aireador, el depósito del hierro oxidado, colocando un desagüe que impida la dispersión de estas partículas en los procesos siguientes.
- El agua clarificada contenida en la parte superior del tanque pulmón debe ser protegida de la contaminación por agentes externos.
- El tanque de almacenamiento elevado requiere tapa y medidor de nivel.
- Llevar control horario del funcionamiento del filtro, colocar medidor de pérdida de carga o llave para muestreo de la calidad del filtrado, para saber cuándo se deben lavar y no hacerlo por tiempo.
- Hacer mantenimiento a las válvulas plásticas para que no se peguen y se dificulte su operación.
- Elaborar un cronograma para el control de calidad del agua tratada conforme a lo estipulado en la resolución 2115 de 2007.
- Brindar capacitación continua al operador de la Planta.

BIBLIOGRAFÍA

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005. 107 p.

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3 ed. Santa Fe de Bogotá D.C.: McGraw-Hill, 2000. 31 p.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación del agua. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005. 83 p.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD OPS/CEPIS. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004. p. 3-13.

COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000 (17, noviembre, 2000). Título C. Bogotá D.C.: El ministerio, 2000. C20 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2115 (22, junio, 2007). 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. Bogotá D.C.: El ministerio, 2007. p. 2-6.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Referencias Bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C.: El Instituto, 2008. p. 1-33.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN.
Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC
1486. Bogotá D.C.: El Instituto, 2008. p. 1-36.

ANEXO A

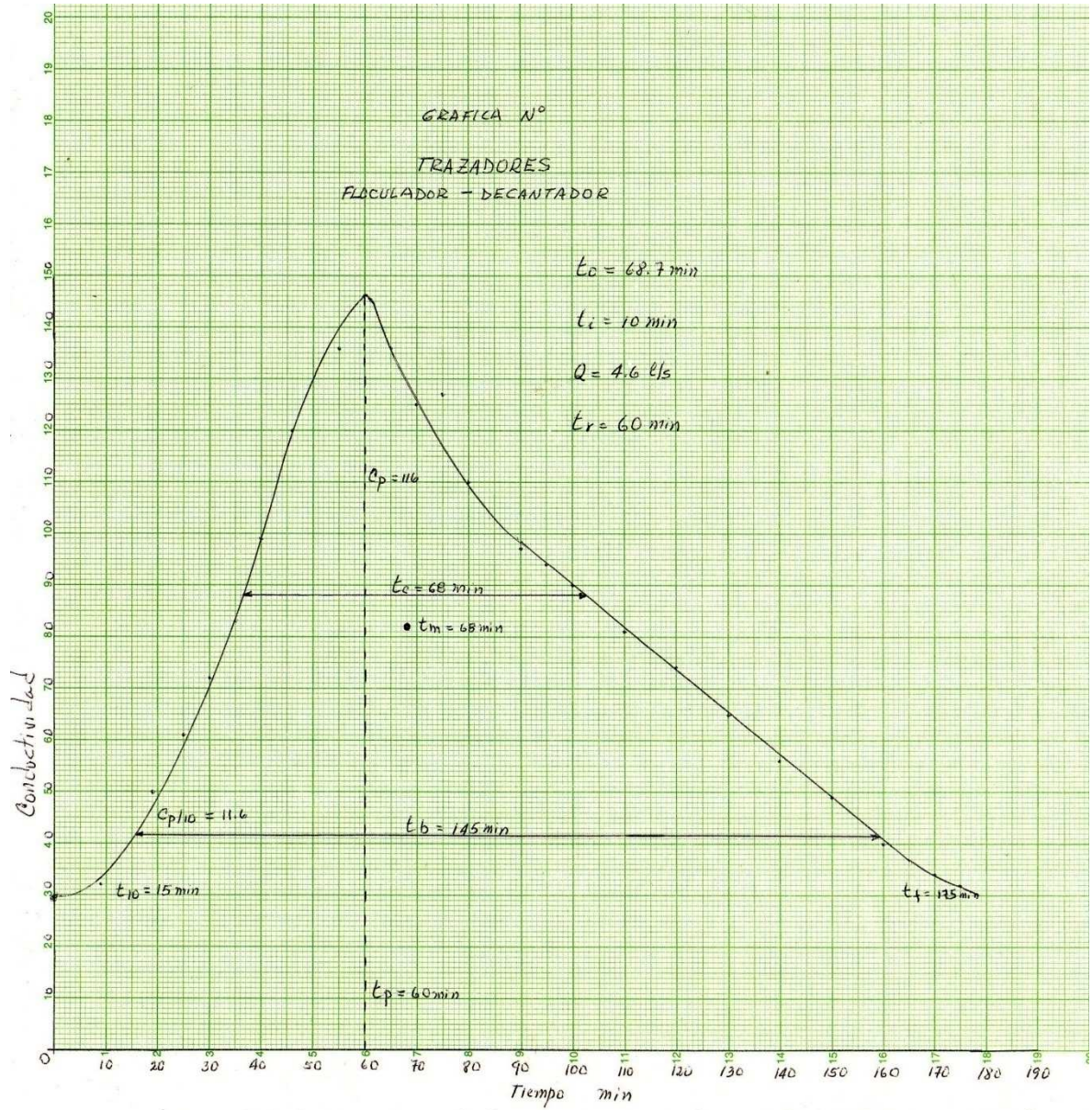
PRUEBA DE TRAZADORES EN FLOCULACIÓN-SEDIMENTACIÓN

Se utilizó sal como trazador, midiendo a la salida de la unidad el comportamiento de la conductividad a diferentes tiempos. Según el volumen del tanque de 16.5 m^3 y el caudal aforado de 4.6 l/s , se tiene que la unidad presenta un tiempo teórico de retención de 59.78 min .

Los resultados de la experimentación se registran en la siguiente tabla:

Tiempo (min)	Conductividad
0	30
9	32
19	50
25	61
30	72
35	83
40	99
46	120
55	136
60	146
65	136
70	125
75	127
80	110
90	97
95	94
100	90
110	81
120	74
130	65
140	56
150	49
160	40
170	34
175	32

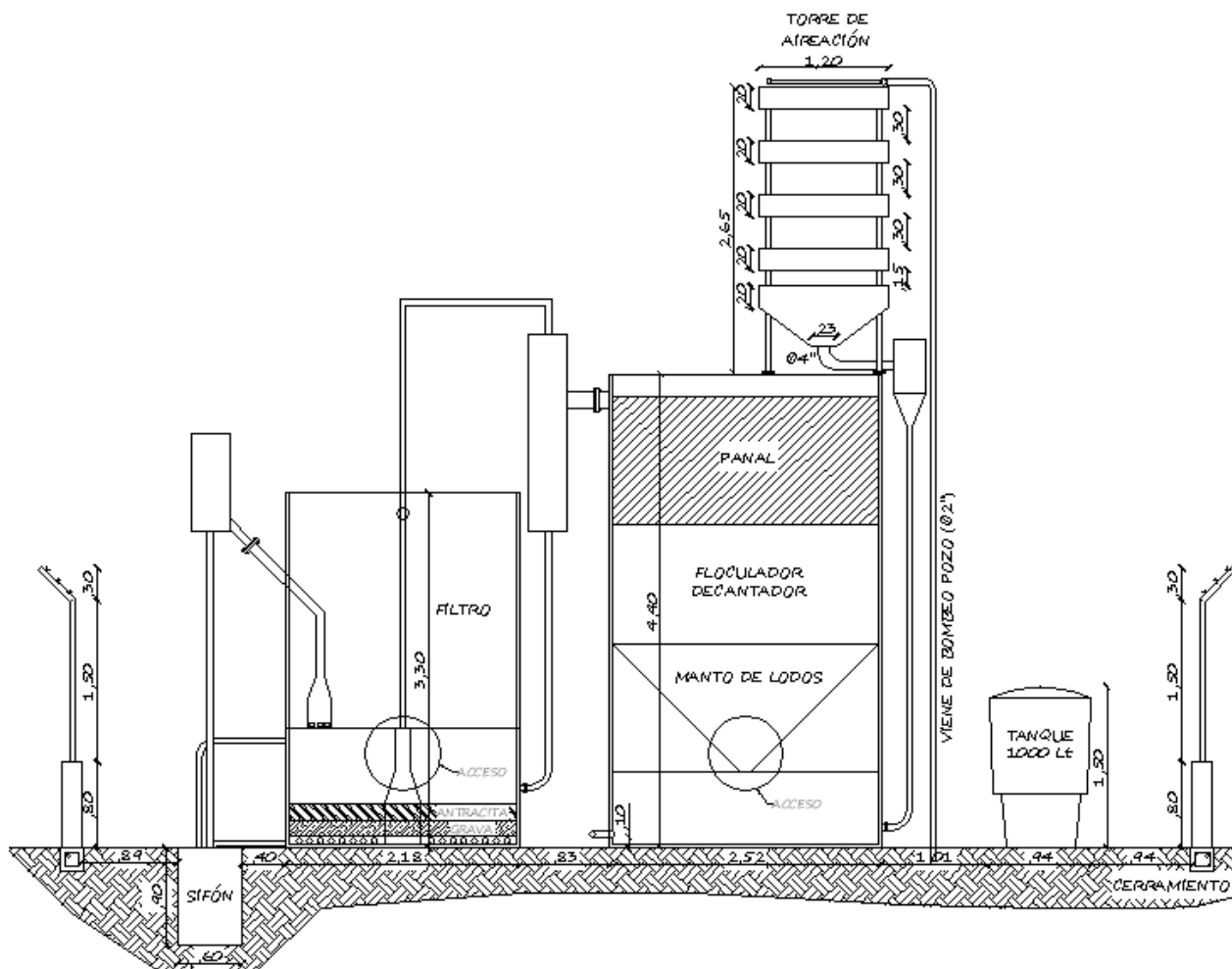
Con los datos registrados en la tabla anterior se elaboró la siguiente gráfica:



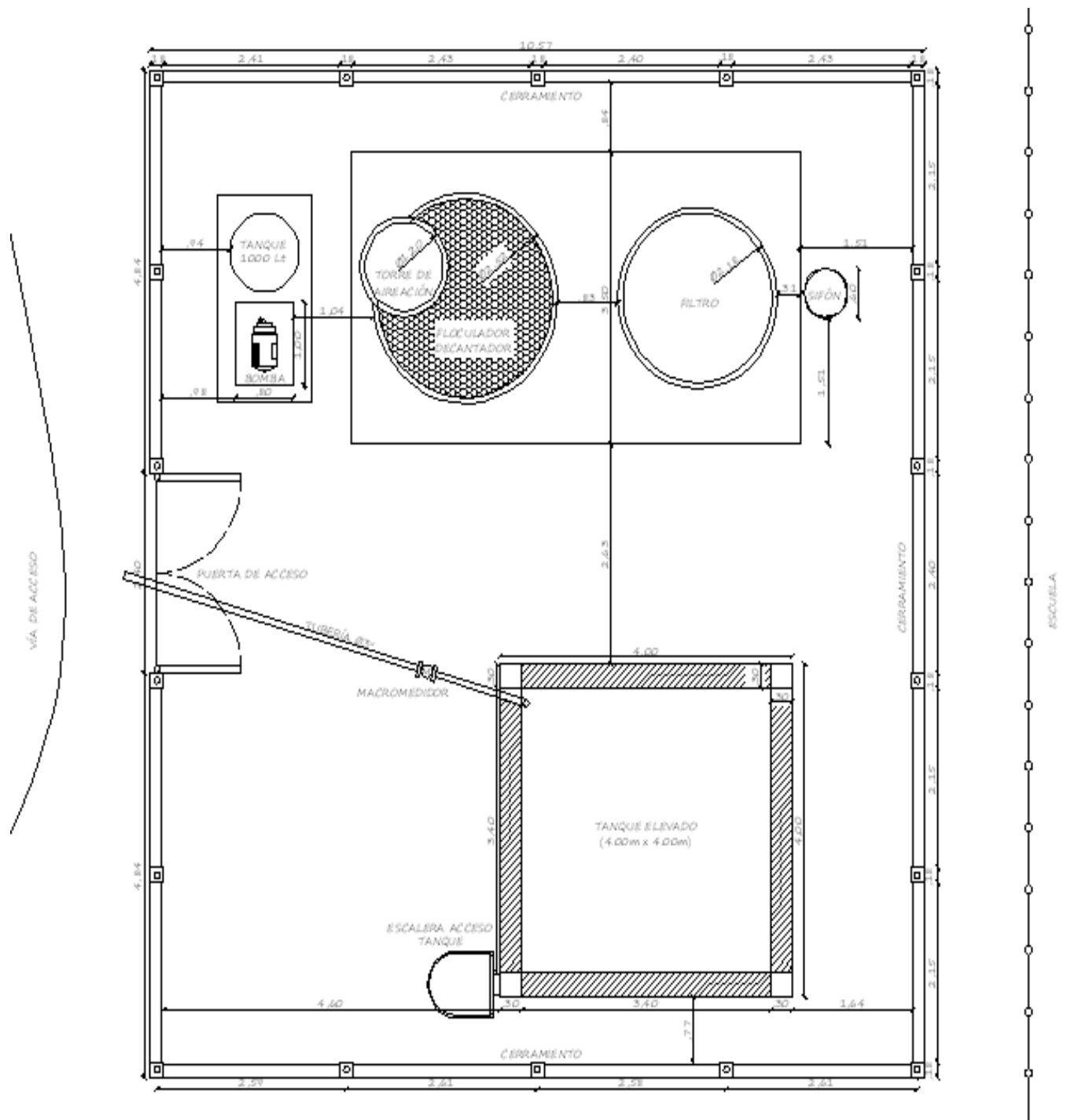
ANEXO B

PLANOS GENERALES DE LA PTAP DE LA VEREDA PALO SOLO

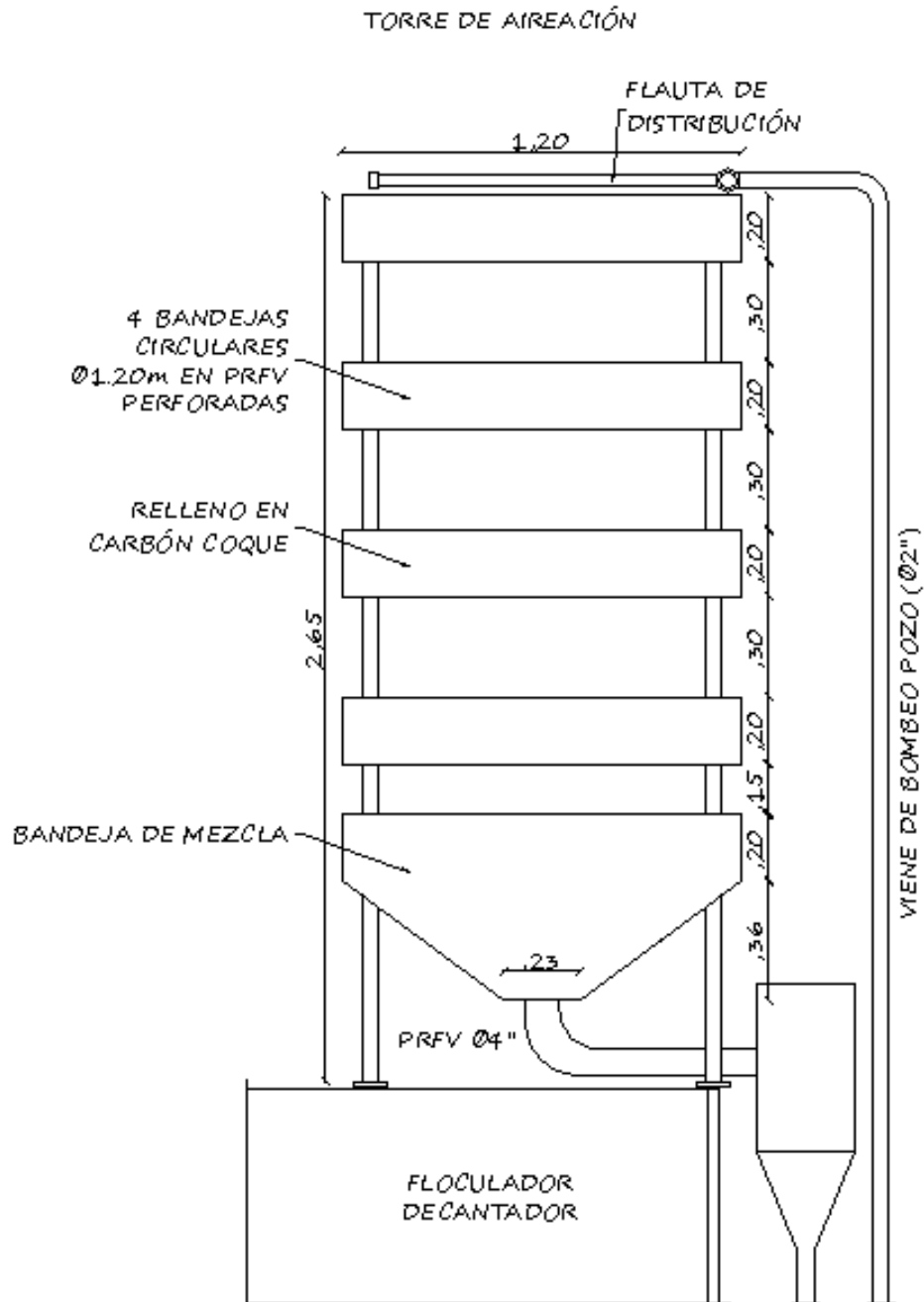
VISTA LATERAL SISTEMA FLUYPACK



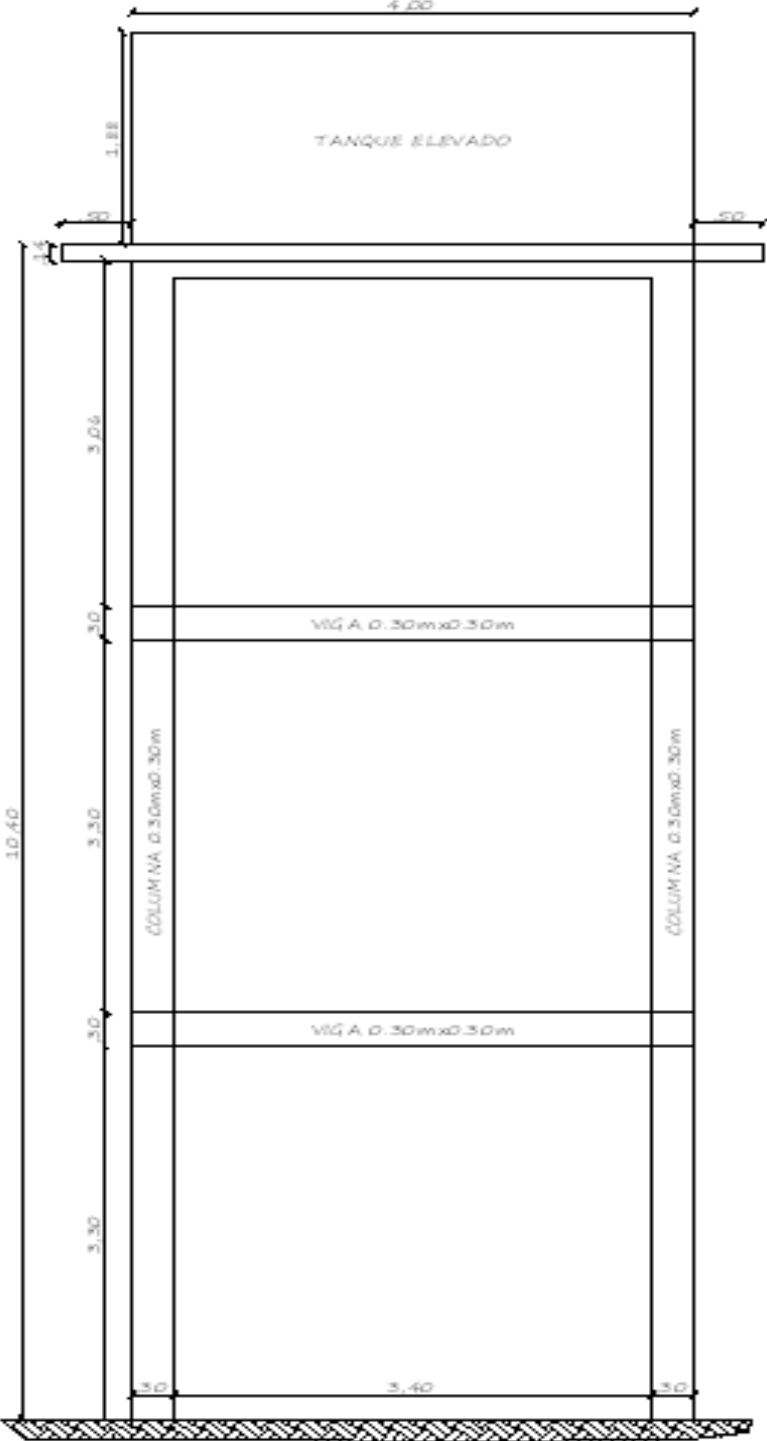
VISTA SUPERIOR PTAP VEREDA PALO SOLO



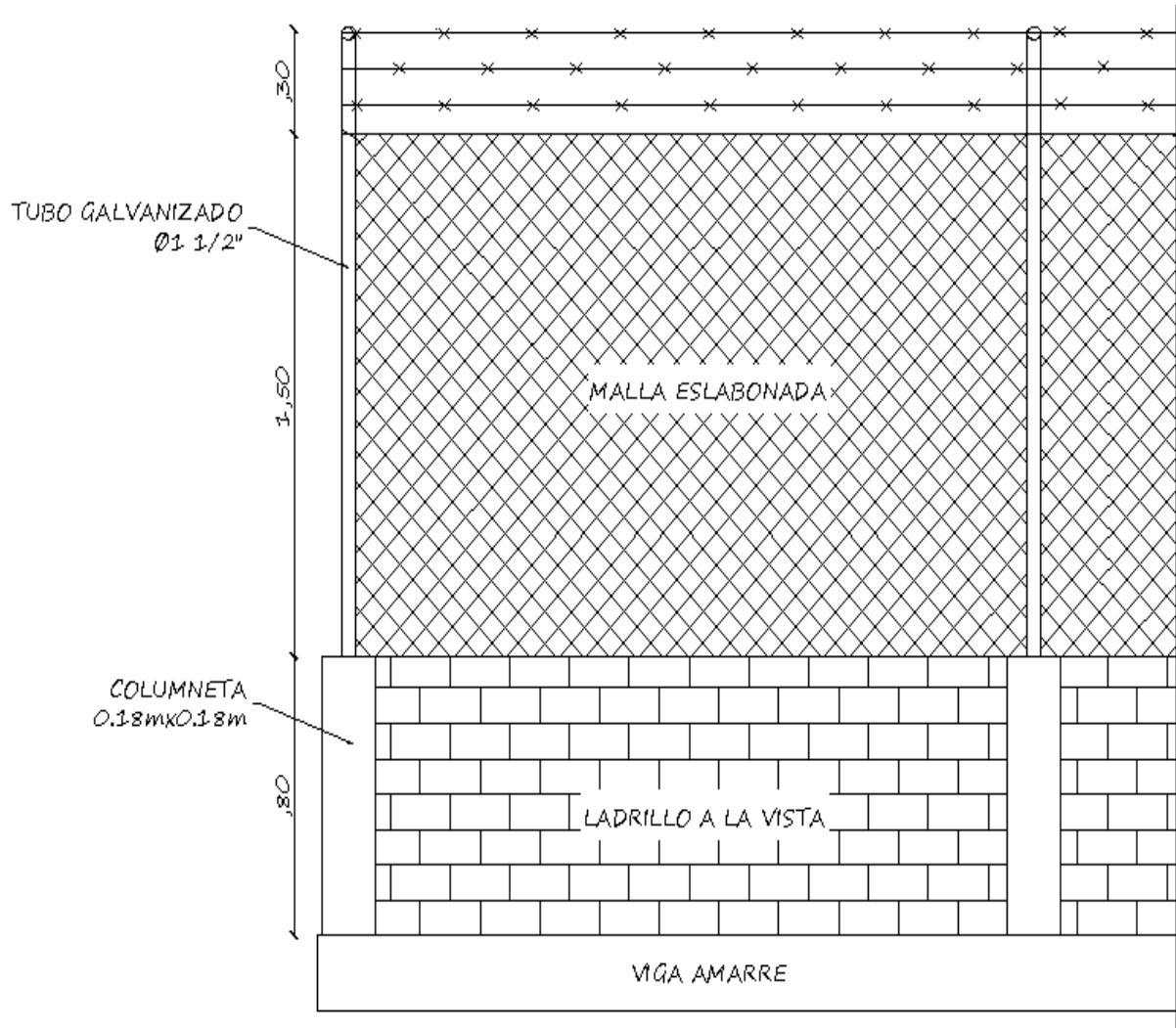
VISTA LATERAL TORRE DE AIREACIÓN



VISTA LATERAL TANQUE ELEVADO



VISTA ENCERRAMIENTO



ANEXO C

FICHAS TÉCNICAS DE LOS INSUMOS



NIT. 800.141.903-2

QUIMICOS INDUSTRIALES ASOCIADOS

Fabricantes de Productos Químicos - Asesorías Técnicas

**CERTIFICADO DE CALIDAD
QUIMINFLOC 1.325**

FECHA: ABRIL 03 DEL 2009

CLIENTE: FERREAGUAS.

CIUDAD: YOPAL (CASANARE).

LOTE N°: 05/02/09-000266

DENSIDAD: 1.325/1.33 1.325

ACIDEZ: 11.0 /12.5 11.0

%AL₂O₃: 22.65-23.50 23.42

COLOR: AMBAR AMARILLO

TEMPERATURA: 15°C-25°C 18°C


ANALISTA: OSCAR BECERRA.

CARGO: TÉCNICO DE LABORATORIO.

SELLOS N°: 000561-66-000572

Kilómetro 2 Vía Paipa * Duitama - Tels.: 7850148 - 7853663 - 7850349 - Fax: 7852644
Cels. 312 5221488 - 310 2876061 - Paipa - E-mail: quiminsa@cable.net.co



NIT. 800.141.903-2

QUIMICOS INDUSTRIALES ASOCIADOS

Fabricantes de Productos Químicos - Asesorías Técnicas

HOJA DE SEGURIDAD

I. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO	
NOMBRE COMERCIAL	: QUIMINFLOC 1325.
FABRICANTE	: QUIMINSA LTDA.
FORMULA QUIMICA	: MEZCLA DE POLINUCLEARES DE ALUMINIO Y POLIMEROS ORGANICOS.
II. PROPIEDADES FISICAS	
COLOR	: LIQUIDO AMBAR.
PUNTO DE EBULLICION	: 100°C.
DENSIDAD	: 1325Kg/m3 A 20°C.
PUNTO DE FUSION	: < -3°C.
PH	: 2.8 - 3.0
VISCOSIDAD	: 60 CPS A 20 °C.
PRESION DE VAPOR	: LA DEL AGUA.
SOLUBILIDAD	: SOLUBLE EN AGUA.
% DE MATERIAL VOLATIL	: 48%.
III. PROPIEDADES EXPLOSIVAS Y DE INFLAMACION	
PUNTO DE IGNICION	: >450°C.
LIMITES DE EXPLOSION	: NO APLICA.
AGENTES ESPECIALES DE EXTINCION	: NO APLICA.
IV. ALMACENAMIENTO Y PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAMES	
MEDIDAS PERSONALES DE PROTECCION	: GUANTES Y GAFAS DE PROTECCION.
PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAMES	: USE MATERIAL ABSORVENTE PARA RECOGER LA MAYOR PARTE Y LUEGO LAVE CON ABUNDANTE AGUA.
PROCEDIMIENTO PARA DESTRUCCION	: INCINERE EL PRODUCTO.
PROCEDIMIENTO PARA ALMACENAMIENTO	: ALMACENAR EN LUGAR VENTILADO.
MATERIALES PARA ALMACENAMIENTO	: MATERIAL SINTETICO.
V. PRIMEROS AUXILIOS	
INGESTION	: ACUDA A UN MEDICO INMEDIATAMENTE.
CONTACTO CON LA PIEL	: LAVE CON AGUA LIMPIA Y JABON.
CONTACTO CO LOS OJOS	: LAVE INMEDIATO CON AGUA LIMPIA Y JABON DURANTE 15 MINUTOS Y ACUDA A UN MEDICO.
INHALACION	: VAYA A UN SITIO VENTILADO.

QUIMINFLOC 1325

Kilómetro 2 Vía Paipa * Duitama - Tels.: 7850148 - 7853663 - 7850349 - Fax: 7852644
 FICHA TECNICA
 Cels. 312 5221488 - 310 2876061 - Paipa - E-mail: quiminsa@cable.net.co

NOMBRE DEL PRODUCTO	HIPOCLORITO DE SODIO	
DESCRIPCION FISICA	Solución acuosa, clara, ligeramente amarilla, olor característico penetrante e irritante. Fuertemente oxidante; dependiendo del pH de la solución se presenta disociado en forma de cloro activo, ácido hipocloroso HOCl y/o ión hipoclorito OCl ⁻ . De estas formas de "cloro libre activo" depende su reactividad en las reacciones de oxidación, cloración y acción bioquímica tales como el control bacteriológico y microbiológico.	
INGREDIENTES PRINCIPALES	Producto obtenido a partir del hidróxido de sodio (NaOH) en solución acuosa mediante absorción del cloro gaseoso (Cl ₂).	
CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS	CARACTERISTICA	ESPECIFICACION
	Hipoclorito de Sodio en % m/v	15 Min.
	Hidróxido de sodio (alcalinidad total) en % m/v	1 Máx.
	Densidad a 20 °C en g/ml	1.20 Min.
	Apariencia	Ligeramente amarilla.
PRESENTACIONES COMERCIALES	<p>El hipoclorito de sodio se vende a granel en tanques de plástico, fibra de vidrio o en canecas plásticas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 10022302-PISCICLOR GARRAFA X 20 lt - 10022308-AGROCLOR GARRAFA X 20 lt - 10022306-HIPOCLORITO AL 15% TBX55G.(KG) - 10022307-HIPOCLORITO AL 15% CNX70K.(KG) - 10022301-HIPOCLORITO DE SODIO AL 15% GRANEL 	
USOS E INSTRUCCIONES	<p>Se destacan las siguientes industrias como principales consumidoras:</p> <p>TRATAMIENTO DE AGUAS Desinfección, esterilización, acción algicida, decoloración y desodorización de aguas industriales, potables y piscinas.</p> <p>PAPELERA En procesos de lavado como blanqueador de celulosa, pulpa de papel y textiles.</p> <p>QUIMICA Hidróxido férrico Fe(OH)₃ y dióxido de manganeso MnO₂, de nitratos, sulfatos y cianatos (por reacción con los cianuros y sulfuros correspondientes), de cloraminas orgánicas e inorgánicas y clorofenoles.</p>	
CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO	<p>Dado que el NaOCl es una solución muy inestable y se descompone por la acción de impurezas catiónicas como hierro, aniónicas, temperatura, pH y la luz, el producto se debe proteger de estos factores. Se debe almacenar en áreas con excelente ventilación. El piso debe ser incombustible e impermeable. Se deberá disponer de duchas y tomas de agua a presión en sitios de fácil acceso dentro del área. No se debe almacenar con sustancias incompatibles como ácidos y productos orgánicos.</p>	

MANEJO Y TRANSPORTE	<p>Las operaciones de cargue, transvase, dilución, descargue y toma de muestras de los envases o depósitos que contengan hipoclorito de sodio se deben realizar bajo excelente ventilación, utilizando los elementos de protección adecuados: gafas de seguridad y/o careta facial, respirador industrial con absorbente apropiado, guantes, botas y delantal de caucho.</p> <p>NOTA: El hipoclorito de sodio se puede descomponer por acción del calor, por contacto con material férreo o por la acción de la luz solar, generando CLORO GASEOSO, altamente oxidante, irritante y corrosivo. Si se mezclan soluciones de hipoclorito de sodio con cualquier ácido, hay desprendimiento de cloro gaseoso. El transporte se efectuará en envases de fibra de vidrio, polipropileno, polietileno o en carro tanques construidos con los mismos materiales.</p>
PRECAUCIONES Y RESTRICCIONES	<p>El hipoclorito de sodio es altamente corrosivo. Su inhalación o ingestión puede provocar desde leves irritaciones cutáneas hasta edemas pulmonares, perforaciones de esófago y estómago. Por contacto puede producir lesiones oculares, cutáneas, pulmonares y digestivas. Se recomienda leer la Hoja de Seguridad y el brochure del producto</p> <p>NOTA: El uso final del producto es de responsabilidad absoluta y aceptada por el cliente. La información se ha consignado a título ilustrativo y no substituye las patentes o licencias sobre el uso del producto.</p>

ATENCION DE EMERGENCIAS. Tel: (57 1) 484 6000 Ext. 444.

Cel: 3102943054 o 3158945370

Planta Betania: km. 6 vía Cajicá - Zipaquirá

Tels: (+1) 484 6000 Fax: (+1) 4846001

Planta Mamonal: km. 11 vía Mamonal - Cartagena

Tel: (+5) 6686206 Fax: 6686156

Oficina Bogotá

Tel: (+1) 635 6080 Fax (+1) 636 1961


Oficina Medellín

Tel: (+4) 313 7575 Fax: (+4) 313 9764

Brinsa S.A. Nit: 800-221-789-2

A.A. 3005 Bogotá, D.C.

Colombia - Sur América

FICHA TECNICA	SODA CAUSTICA	 DISTRIBUIDORA ALIADOS LTDA.
--------------------------	--------------------------	--

COMPOSICIÓN

PARÁMETRO	PORCENTAJE
Apariencia	Flake
NaOH	99% min.
Na ₂ CO ₃	0.9% Máx.
NaCL	0.15% Máx.
Fe ₂ O ₃	0.005% Máx.

USOS

El hidróxido sódico (NaOH) o hidróxido de sodio, también conocido como soda cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel tejido y detergente. En la industria química es usado para producir bórax, ácido fórmico y ácido oxálico.

A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire. Es una sustancia manufacturada. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%.

El hidróxido de sodio se usa para fabricar jabones, rayón, papel, explosivos, tinturas y productos de petróleo. También se usa en el procesamiento de textiles de algodón, lavandería y blanqueado, revestimiento de óxidos, galvanoplastia y extracción electrolítica. Se encuentra comúnmente en limpiadores de desagües y hornos.

El hidróxido sódico se fabrica por electrólisis de una solución acuosa de cloruro sódico. Es un subproducto de un proceso que se utiliza para producir cloro.

Se utiliza una solución de una pequeña porción de soda diluida en agua en el método tradicional para muchos de sus usos.


ALMACENAMIENTO

Almacene y manipule de acuerdo con todas las normas y estándares actuales. Mantenga el contenedor cerrado con seguridad y etiquetado correctamente. No debe almacenarse en un contenedor de aluminio ni utilizar accesorios ni líneas de transferencia de aluminio, ya que se puede generar hidrógeno inflamable. Mantener separado de sustancias incompatibles. Manténgase alejado de la humedad y almacene en estibas sobre el piso.

PRIMEROS AUXILIOS

INHALACION: Si efectos adversos ocurren, quite a área contaminada. Dé respiración artificial si no respira. Si la respiración es difícil, el oxígeno debe ser administrado por personal calificado.

CONTACTO CON LA PIEL: Aclare inmediatamente con agua las áreas contaminadas. Qútese la indumentaria, alhajas y zapatos contaminados inmediatamente. Lave las áreas contaminadas con agua y jabón.

FICHA TECNICA	SODA CAUSTICA	 DISTRIBUIDORA ALIADOS LTDA.
--------------------------	--------------------------	--

CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuague inmediatamente los ojos con un chorro de agua directo durante al menos 15 minutos, y mantenga abiertos los párpados para garantizar que se aclare todo el ojo y tejidos del párpado.

PROPIEDADES

ESTADO FISICO:	sólido
COLOR:	blanco
OLOR:	inoloro
PESO MOLECULAR:	40.00
FORMULA MOLECULAR:	NaOH
PUNTO DE EBULLICIÓN:	no corresponde
PUNTO DE FUSION:	604F (318 C)
PRESION DE L VAPOR:	no corresponde
DENSIDAD DEL VAPOR:	no corresponde
GRAVEDAD ESPECIFICA:	(agua=1): 2.13 @ 20 C
SOLUBILIDAD EN AGUA:	100%
PH:	no corresponde
VOLATIBILIDAD:	0%
UMBRAL DE OLOR:	no disponible
VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN:	no corresponde
COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN EN AGUA/ACEITE:	no disponible

MANEJO Y CUIDADOS

CONDICIONES QUE SE DEBEN EVITAR

Evite el contacto con agua. El contacto directo con agua puede producir reacciones exotérmicas. Se puede producir gas de monóxido de carbono en contacto con azúcares reductores, productos alimenticios o bebidas en espacios cerrados.

INCOMPATIBILIDADES

Ácidos, compuestos halogenados, contacto prolongado con aluminio, latón, bronce, cobre, plomo, estaño, zinc u otros metales o aleaciones sensibles al álcali

LOS DATOS SUMINISTRADOS EN ESTA HOJA DE SEGURIDAD SE BASAN EN NUESTRO ACTUAL CONOCIMIENTO. DESCRIBEN TAN SOLO LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL MANEJO Y CUIDADOS DE ESTE PRODUCTO Y NO REPRESENTAN UNA GARANTÍA SOBRE LAS PROPIEDADES DESCRITAS EN EL MISMO.