

**EVALUACIÓN DE UNA ALTERNATIVA DE UN SISTEMA DE
POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA LA FINCA LA PAMPA DE LA VEREDA LA
MONEDA DEL MUNICIPIO DE SABANA DE TORRES SANTANDER**

**OMAIRA MALDONADO ROSAS
ALFREDO NOVA MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2012

**EVALUACIÓN DE UNA ALTERNATIVA DE UN SISTEMA DE
POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA LA FINCA LA PAMPA DELA VEREDA LA
MONEDA DEL MUNICIPIO DE SABANA DE TORRES SANTANDER**

**OMAIRA MALDONADO ROSAS
ALFREDO NOVA MARTÍNEZ**

**Monografía para optar el título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director:
SERGIO AUGUSTO GUERRA CASTELLANOS
Ingeniero civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta aquí y haberme dado la salud y la sabiduría para lograr mis objetivos, además agradezco su infinita bondad y amor.

A mi madre Mercedes Rosas por su constante amor y apoyo incondicional, por sus concejos, sus valores que me han permitido ser una persona de bien,

A mis hijos, Didier Yessid y Ery Julián que son la razón de mi superación.

A mis familiares por estar siempre en los momentos difíciles y que de alguna manera participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta monografía.

A mis profesores de la Especialización por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios y elaboración de la monografía, por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación como especialistas.

A mis amigos por su gran compañía y amistad durante todo el transcurso de la especialización.

A la Universidad Industrial de Santander por haberme permitido ser parte de este nuevo proyecto y aportar un granito de arena a la recuperación de nuestro planeta con el conocimiento adquirido.

OMAIRA MALDONADO ROSAS

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	18
1. MARCO TEORICO	21
1.1. SISTEMAS COMPACTOS DE POTABILIZACION DE AGUA	21
1.1.1. Funcionamiento de plantas compactas.....	21
1.1.2. Ventajas y desventajas de las plantas compactas de potabilización	25
1.2. PLANTAS DE POTABILIZACIÓN CONVENCIONALES.....	26
1.2.1. Procesos unitarios	27
1.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA	29
1.4. SUSTANCIAS QUIMICAS	31
1.4.1 Coagulantes.....	31
1.4.1.1. Coagulantes metálicos.....	31
1.4.1.2. Polielectrolitos.....	33
1.4.1.3. Modificadores de pH	34
1.4.2. Floculantes.....	35
1.4.3 Desinfectantes	35
1.5. ENSAYO DE JARRAS.....	36
2. MARCO ESPACIAL	37
2.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA FINCA LA PAMPA	37
3. MARCO NORMATIVO.....	40
3.1. CALIDAD Y NORMATIVIDAD COLOMBIANA PARA EL AGUA DE CONSUMO HUMANO	40
3.2. REQUISITOS MÍNIMOS PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS PLANTAS DE POTABILIZACIÓN	42
4. METODOLOGÍA	47
5. ANÁLISIS Y RESULTADOS	48
5.1. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA MICROCUENCA LA MONEDA.....	48

5.2. SELECCIÒN DEL COAGULANTE.....	49
6. CONCLUSIONES	60
7. RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFIA.....	62
ANEXOS.....	64

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla No. 1 Valores permitidos de parámetros fisicoquímicos para determinar la calidad del agua para consumo humano	18
Tabla No. 2 Análisis comparativo entre plantas compactas de potabilización	26
Tabla No. 3 Características Físicas del agua	29
Tabla No. 4 Características Químicas del agua.....	30
Tabla No. 5 Población demográfica de la zona	38
Tabla No. 6. Valores permisibles de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para la calidad del agua de consumo humano.....	41
Tabla No. 7 Criterios químicos de la calidad el agua	41
Tabla No. 8 Parámetros mínimos exigidos de calidad del agua	45
Tabla No. 9 Calidad del agua en ciclos secos o de lluvias	46
Tabla No. 10 Caracterización del agua superficial de la microcuenca la Moneda	48
Tabla No. 11 Estimación de costos para coagulante	51
Tabla No. 12 Costo coagulante consumido.	52
Tabla No. 13 Análisis comparativo entre un sistema de potabilización compacta y un sistema tradicional	54

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura No. 1. Esquema planta de circulación.....	22
Figura No. 2 Esquema de aceleración.....	23
Figura No. 3 Esquema Pulsator	24
Figura No. 4 Esquema de una planta compacta prefabricada	25
Figura No. 5 Diagrama de flujo de un sistema de potabilización convencional ...	27
Figura No. 6 Ubicación finca la Pampa	37
Figura No. 7 Cultivo de palma en la Pampa	38
Figura No. 8 Porcentaje (%) de población finca la Pampa.....	39
Figura No. 9 Prueba de jarras con sulfato ferroso	50
Figura No. 10 Turbidez vs dosificación de productos	50
Figura No. 11. Turbidez vs dosificación Policloruro de aluminio y sulfato de aluminio	51

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo No. A. PLANTA COMPACTA DE POTABILIZACIÓN DE FRIBRA DE VIDRIO	65
Anexo No. B PROCESOS UNITARIOS DE UNA PLANTA TRADICIONAL.....	65
Anexo No. C PROCESO DE CONDUCCIÓN DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN TRADICIONAL	66
Anexo No. D MEDICIÓN DE CAUDAL DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN TRADICIONAL.....	66
Anexo No. E MEZCLA RÁPIDA DE UNA PLANTA COMPACTA DE POTABILIZACIÓN	67
Anexo No. F COAGULANTE EMPLEADO EN LA POTABILIZACIÓN.....	67
Anexo No. G PROCESO DE FLOCULACIÓN	68
Anexo No. H PRUEBA DE JARRAS.....	68
Anexo No. I PROCESO DE SEDIMENTACIÓN PLANTA COMPACTA DE POTABILIZACIÓN	69
Anexo No. J PROCESO DE SEDIMENTACIÓN EN UNA PLANTA DE POTABILIZACION TRADICIONAL	69
Anexo No. K PROCESO DE FILTRACIÓN DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN COMPACTA.....	70
Anexo No. L PROCESO DE FILTRACIÓN DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN TRADICIONAL	70
Anexo No. M PROCESO DE DESINFECCIÓN DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN COMPACTA.....	71
Anexo No. N PROCESO DE DESINFECCIÓN DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN TRADICIONAL	71
Anexo No. O LAVADO DE FILTROS DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN TRADICIONAL.....	72

TITULO: EVALUACION DE UNA ALTERNATIVA DE UN SISTEMA DE POTABILIZACION DE AGUA PARA LA FINCA LA PAMPA DE LA VEREDA LA MONEDA, DEL MUNICIPIO DE SABANA DE TORRES – SANTANDER.

AUTORES: OMAIRA MALDONADO ROSAS
ALFREDO NOVA MARTINEZ

PALABRAS CLAVES: Tratamiento de agua, planta compacta prefabricada, planta convencional, procesos unitarios, coagulantes.

DESCRIPCION

El suministro de agua con características aptas para el consumo humano se presenta como un problema principalmente en la zona rural ya que se encuentran dispersas y por lo tanto no pueden acceder a este servicio. Un ejemplo de esto se halla en la vereda la Moneda, y específicamente en la finca la Pampa, la cual no cuenta con un sistema de potabilización adecuado, el objetivo de este trabajo es establecer una alternativa y condición óptima para el proceso de coagulación en la planta compacta prefabricada que se plantea establecer en el área de estudio.

Se evaluaron las características fisicoquímicas del agua de la microcuenca la moneda para determinar los rangos por medio del ensayo de jarras y al mismo tiempo evaluar tres productos de coagulantes (sulfato de aluminio $(Al_2(SO_4)_3)$, cloruro ferroso $(FeCl_2)$ y policloruro de aluminio, y caracterizar la viabilidad técnico económica de las sustancias químicas analizadas en laboratorio,

De la síntesis bibliográfica analizada sobre plantas compactas prefabricadas y convencionales se establece como mejor alternativa la PTAP compacta de fibra de vidrio poliéster y concreto reforzado por su facilidad en la instalación y operación; ya que es diseñada para pequeñas comunidades rurales principalmente, en comparación con una planta convencional, la cual presenta mecanismos hidráulicos, mecánicos y se hace necesario que el operario este atento a su manejo, para no perder el agua que se está potabilizando. Esta alternativa de PTAP se adapta fácil a la zona de estudio por su estructura.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Especialización en Ingeniería Ambiental. Dr. Sergio Augusto Guerra.

TITLE: EVALUATION OF AN ALTERNATIVE WATER PURIFICATION SYSTEM FOR THE FARM "LA PAMPA" IN THE VILLAGE "LA MONEDA", IN THE MUNICIPALITY OF SABANA DE TORRES - SANTANDER

AUTHOR: OMAIRA MALDONADO ROSAS
ALFREDO NOVA MARTINEZ

KEY WORDS: Water treatment, prefabricated package plant, conventional plant, unit processes, coagulants.

CONTENT:

The water supply with suitable features for human consumption is a problem, mainly in rural areas because they are dispersed and therefore these areas cannot access this service. We can find an example of this situation in the village "La Moneda", and specifically in the Pampa farm, which has no a proper water treatment system. The aim of this study is to establish an optimum alternative and condition for the coagulation process in the compact prefabricated plant which is set in the study area.

We evaluated the physicochemical characteristics of the micro-basin water "La Moneda" to determine the ranges by trial jar while evaluating three coagulant products (aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3$), ferrous chloride ($FeCl_2$) and aluminum polychloride and characterize the economic technical feasibility of the chemicals analyzed in the laboratory.

From the literature synthesis analyzed on conventional and precast compact plants, the PTAP compact polyester fiberglass and reinforced concrete is established as the best alternative for its ease of installation and operation; since it is designed mainly for small rural communities, compared with a conventional plant, which has hydraulics, mechanics, and the operator must be focused on its task to avoid the processed water wasting. This alternative PTAP adapts easily to the study area by its structure.

-
- Work Degree
 - ** Faculty of de Physico-chemical Engineering. School of Chemical Engineering. Environmental Engineer Specialist. Director: Dr. Sergio Augusto Guerra.

GLOSARIO

ACEPTABLE: Calificativo que aprueba las características organolépticas del agua para consumo humano

AGUA CRUDA: Agua que no tiene ningún tratamiento

AGUA POTABLE: Agua que puede ser consumida por el hombre gracias a un proceso de purificación que cumple con las normas de calidad establecidas por las autoridades locales e internacionales.

CALIDAD DEL AGUA: Conjunto de características organolépticas, químicas, físicas y microbiológicas propias el agua.

CAUDAL DE DISEÑO: estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

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

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

CONTAMINACION DEL AGUA: Es la alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radioactivas, y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA Y SANEAMIENTO (CRA): Es la encargada de señalar las políticas generales de administración y control de eficiencia de los servicios públicos domiciliarios.

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

FUENTE DE ABASTECIMIENTO: Es todo recurso de agua utilizado en un sistema de suministro de agua

IMPACTO AMBIENTAL: Afectación del entorno ocasionada por la realización de una obra.

MATERIAL FLOTANTE: Aquellos materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

MEZCLADOR: Equipo para producir turbulencia en el agua.

NORMA DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE: Valores de referencia admisibles para algunas características presentes en el agua potable, que proporcionan una base para estimar su calidad.

POBLACION SERVIDA: Es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua.

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

PRUEBA DE JARRAS: Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

SEDIMENTACIÓN: Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes.

SISTEMA DE POTABILIZACIÓN: Conjunto de procesos unitarios para purificar el agua y que tienen por objeto hacerla apta para el consumo humano.

SISTEMA DE SUCCIÓN: Producción de una presión inferior a la atmosférica.

TRATAMIENTO: Conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas establecidas en el Decreto 475 de 1998.

TURBIEDAD: Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

VELOCIDAD DE FILTRACIÓN: Caudal de filtración por unidad de área.

VELOCIDAD DE LAVADO: Caudal de lavado por unidad de área.

VERTEDERO: Dispositivo hidráulico de rebose de un líquido.

OBJETIVOS

- **Objetivo General**

Evaluar de manera conceptual la mejor alternativa de un sistema de potabilización de agua para la vereda la Pampa del municipio de Sabana de Torres, Santander.

- **Objetivos Específicos**

- Analizar la calidad del agua subterránea en la finca la Pampa del municipio de Sabana de Torres.
- Estudiar y seleccionar la mejor alternativa técnica - económica de tres productos comerciales utilizados en la potabilización, a través de prueba de jarras para agua superficial
- Evaluar un sistema de potabilización de un equipo compacto vs un sistema tradicional.

INTRODUCCION

A pesar de que el agua es un recurso indispensable para la vida de los seres vivos, la falta de un adecuado tratamiento es una de las principales causas de problemas de salud para los seres humanos. Este recurso nunca se encuentra completamente puro ya que al entrar en contacto con la atmósfera y el suelo cambia su composición y por lo tanto necesita de un tratamiento específico con el fin de hacerla apta para el consumo humano.

Para tal fin es necesario someter el agua a un proceso de potabilización el cual consiste de una serie de procesos fisicoquímicos que permiten llevarla a unas condiciones de calidad mínimas ya establecidas por cada país a través de diferentes normas regulatorias.

En Colombia se rige por la resolución 2115 del 2007 por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencia del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano [2]: el Decreto 1575 de 2007[2], que estable el sistema para la protección y control de la calidad de dicha agua y el reglamento técnico del sector de agua potable de saneamiento básico RAS 2000[3]. La tabla 1 presenta los valores máximos permisibles para el agua de consumo humano.

Tabla No. 1 Valores permitidos de parámetros fisicoquímicos para determinar la calidad del agua para consumo humano

CARACTERISTICAS FISICAS	UNIDADES	VALOR PERMISIBLE
Color aparente	Unidades de platino cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no Aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométrías de turbiedad (UNT)	2

Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	200
Calcio	mg Ca/L	60
Magnesio	mg Mg/L	36
Cloruros	mg Cl/L	250
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	300
Coliformes totales	UFC/100ml	0
Escherichia coli	UFC/100ml	0

Fuente: Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial Resolución 2115 de 2007 [2].

Este trabajo se enfoca en la evaluación y selección de un sistema de potabilización de agua para la población de la finca la Pampa ubicada en la vereda la moneda en el municipio de Sabana de Torres del departamento de Santander. Este asentamiento cuenta con una población aproximada de 416 habitantes desplazados de zonas del Magdalena Medio, los cuales basan su economía en el cultivo de la palma de aceite y en menor grado de la ganadería.

En la actualidad en el municipio de Sabana Torres solamente el 27% de la población rural tiene acceso al servicio de agua potable. Existen cinco acueductos de bajas especificaciones técnicas en cada uno de los centros poblados; que funcionan como pozos líneas de conducción. [6].

Sin embargo la Finca la Pampa no cuenta con un sistema de potabilización de aguas. El agua cruda usada para el consumo humano y actividades domesticas es tomada de forma artesanal de pozos llamados cisternas y de la quebrada la Moneda, ubicadas en los patios de las viviendas, sin ningún tratamiento de purificación, por lo cual se ha dado una alta incidencia de enfermedades gastrointestinales, parasitarias y epidémicas principalmente en la población infantil, generando un bajo nivel de vida de sus habitantes.

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo una evaluación y selección de un sistema de sistema de potabilización de agua para la finca la Pampa del municipio de Sabana de Torres Santander, según parámetros físico-químicos obtenidos del laboratorio EXRO S.A. y el laboratorio químico de la PTAP (Planta de Tratamiento de Agua Potable) La llana Campo 23, por medio de ensayo de jarras del agua superficial de la microcuenca la Moneda la cual cumple con los rangos mínimos exigidos.

1. MARCO TEORICO

1.1. SISTEMAS COMPACTOS DE POTABILIZACION DE AGUA

Con este nombre se designan las plantas que engloban en una sola unidad los procesos de mezcla, floculación y sedimentación. En estos procesos el agua es mezclada con coagulante y alcalinizante acelerando la formación del floc.

Otra característica de estas plantas es que el sentido del flujo es ascendente, es decir el principio está basado en la reducción considerable de los periodos de retención, con lo cual se puede economizar espacio [4].

1.1.1. Funcionamiento de plantas compactas

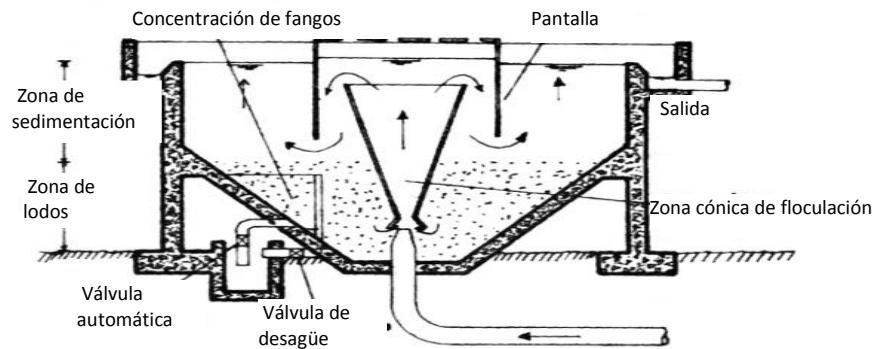
Existen diferentes esquemas de funcionamiento de plantas compactas como las de circulación (circulator), aceleración (accelerator), de pulsos (pulsator) y plantas prefabricadas. A continuación se da una breve descripción del funcionamiento de cada una de ellas.

➤ Planta compacta tipo Circulación:

En este tipo de planta la mezcla coagulante - agua llega por la parte inferior a través de un canal divergente llamado inyector, el cual succiona parte del floc ya sedimentado mezclándose con los coagulantes. Posteriormente este flujo llega a la zona de floculación, esta zona es un depósito cónico en el cual el grado de agitación va disminuyendo a medida que va ascendiendo el flujo. Luego mediante la desviación del flujo por medio de una pantalla concéntrica, se obliga a este a ingresar por la parte inferior de la zona de sedimentación para posteriormente recolectarlo en un vertedero colocado en todo el perímetro de la estructura circular, (Ver Figura 1).

El tipo de planta permite clarificar o descarbonatar normalmente un agua con un tiempo de retención comprendido entre 45 minutos y 2 horas. [1]

Figura No. 1. Esquema planta de circulación



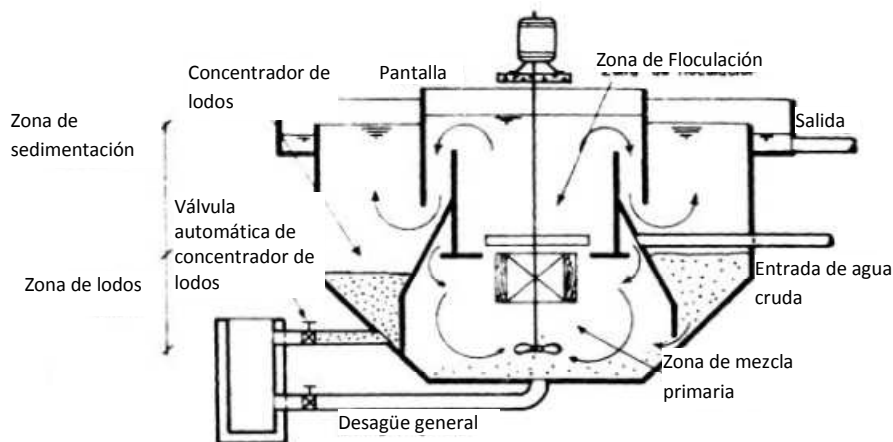
Fuente: Modulo VI, documentación Aguas I - II - III - IV. Especialización en Ingeniería Ambiental 2011.

➤ Planta compacta tipo aceleración

En este tipo de planta el proceso es idéntico al anterior, con la diferencia que la agitación para la mezcla y flocculación no es hidráulica sino mecánica. El agua entra a un espacio anular, penetra a la zona de mezcla a donde llegará parte de los lodos; se mezcla con el agua cruda y con los coagulantes. En este tipo de planta compacta, todos los depósitos son en lámina de acero y por lo tanto es material de importación, (Figura 2).

Está basado en las ventajas que tiene la mezcla del agua bruta con fangos procedentes de precipitados lo que se traduce en una enorme aceleración de la precipitación de las partículas recién formadas. El estado de equilibrio que, sin ello, requería bastantes minutos se logra en unos segundos. [1]

Figura No. 2 Esquema de aceleración



Fuente: Modulo VI, documentación Aguas I - II - III – IV. Especialización en Ingeniería Ambiental 2011.

➤ Tipo de pulsos ó pulsadores

Está conformada por un depósito de fondo plano, provisto en su base de una serie de tubos perforados que permiten introducir el agua cruda uniformemente por todo el fondo del decantador. En su parte superior va provisto de una serie de tubos perforados o canaletas, mediante los cuales se consigue la recogida del agua decantada y se evita cualquier irregularidad de velocidad en las diferentes partes del aparato.

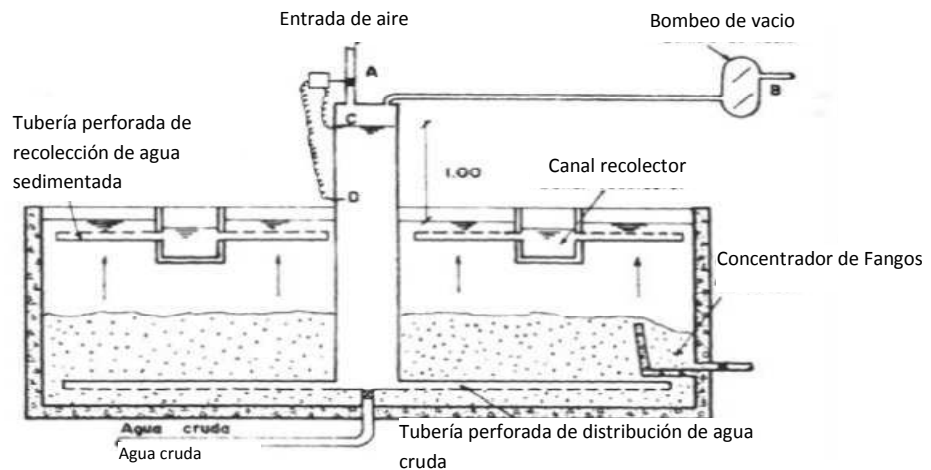
El procedimiento de esta operación consiste en introducir el agua cruda en una campana, en cuyo interior se aspira el aire por medio de una máquina que extrae un caudal de aire sensiblemente igual a la mitad del caudal máximo de agua a tratar. Esta campana se encuentra en comunicación con el colector inferior del decantador. En estas condiciones, el nivel de agua bruta aumenta progresivamente en la campana, cuando alcanza una altura comprendida entre 0,60 y 1,00 m por encima del nivel de agua en el decantador, se efectúa la apertura brusca de una válvula de comunicación de la campana con la atmósfera,

por medio de un retenedor eléctrico, la presión atmosférica actúa entonces inmediatamente, sobre el agua almacenada en la campana que penetra en el decantador a gran velocidad, (Ver Figura 3.).

Estos aparatos se regulan, generalmente, de forma que el vaciado de la campana al decantador se efectúe e 5 a 10 segundos, en tanto que el tiempo de llenado de esta campana dura de 30 a 40 segundos. La aspiración en la campana se efectúa por medio de un ventilador o grupo motocompresor que funciona como bomba de vacío. Las aperturas y cierres de la válvula de apuesta en comunicación con la atmósfera se accionan en función de los niveles del agua contenida en la campana. La entrada de agua en la zona de decantación se realiza de forma intermitente. Con este sistema se consiguen altas velocidades de decantación.

La capacidad máxima de producción de esta planta es de 1.200 l/s y la capacidad mínima de operación es de 500l/s. [1]

Figura No. 3 Esquema Pulsator



Fuente: Modulo VI, documentación Aguas I - II - III – IV. Especialización en Ingeniería Ambiental 2011.

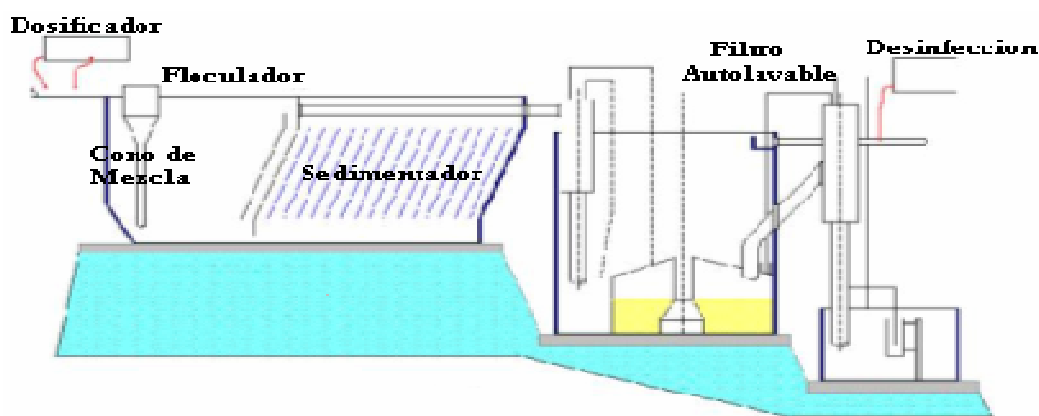
➤ **Planta compacta prefabricadas**

Estas plantas de tratamiento son diseñadas para producir agua potable a través de procesos simultáneos como mezcla de productos químicos, coagulación, floculación sedimentación, filtración y desinfección principalmente.

Las aguas pueden provenir de fuentes superficiales como ríos, lagunas o fuentes subterráneas como manantiales o pozos y otras fuentes como el agua lluvia.

Cada tipo de agua requiere de un tratamiento particular, según los elementos a remover para lograr su potabilización. Estos elementos se observan a través de un análisis físico-químico que se le realizan en laboratorios especializados. Estas unidades permiten la potabilización desde 0.5 a 10 LPS, y pueden fabricarse en fibra de vidrio o lamina de acero, (Ver Figura 4.) [1].

Figura No. 4 Esquema de una planta compacta prefabricada



Fuente: Autores

1.1.2. Ventajas y desventajas de las plantas compactas de potabilización

Toda planta de potabilización tiene como principio cumplir con las normas vigentes, por eso es de de gran importancia conocer cuáles son sus fortalezas y debilidades (Tabla 2.).

Tabla No. 2 Análisis comparativo entre plantas compactas de potabilización

Plantas de potabilización	Ventajas	Desventajas
Plantas compactas tipo Circulator, Pulsator y Acelerator.	<ul style="list-style-type: none"> - El principio básico reduce considerablemente los tiempos de retención - Normatividad a cumplir: Decreto 1575/07 - Resolución 2115- Ministerio de Protección social - Economiza espacio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Están amparadas por patentes y obligan a emplear equipos de importación. - Resultan más costosas y que el sistema tradicional. - Debido a la reducción en los tiempos de retención, cuando se presenta una variación súbita de turbidez, si el operador no está atento para variar la dosis de coagulantes, el agua no cumplirá con las especificaciones físico químicas. Esto lleva al desperdicio del agua, pérdida de tiempo de operación, reactivos etc. [1]
Plantas compactas prefabricadas	<ul style="list-style-type: none"> - Economiza espacio. - Representa una alternativa para pequeñas comunidades. - Facilidad de instalación – Mínima obra civil, instalación rápida y sencilla. - Seguras – Cumple tiempos de retención, gradientes de velocidad y cargas de diseño que permiten cumplir normatividad técnica y de calidad vigente - Transportables: Reducen tamaño y fácil transporte adecuación a pequeños espacios o de difícil acceso. - Bajo costo operativo: simple operación y bajo mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo de instalación. - Solamente se utiliza para pequeñas comunidades. - No permite incrementar su capacidad más allá de la de diseño.

Fuente: Autores

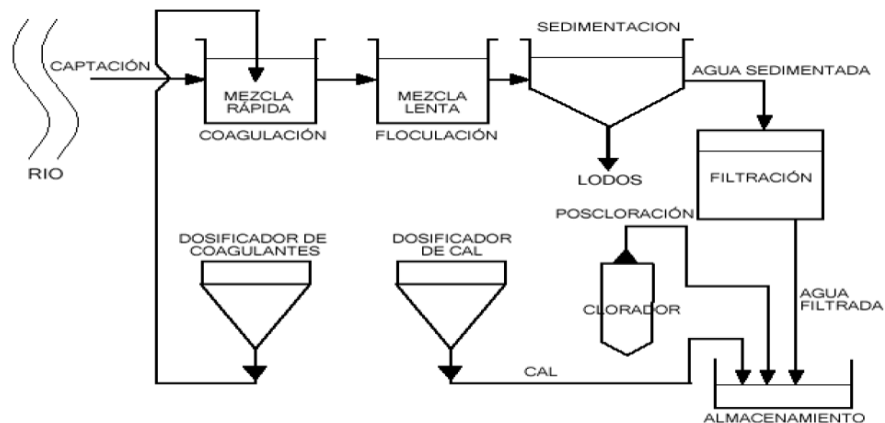
1.2. PLANTAS DE POTABILIZACIÓN CONVENCIONALES

Una planta de tratamiento es un sistema de operaciones o procesos unitarios convenientemente seleccionados y separados, con el fin de remover totalmente los contaminantes presentes en el agua cruda hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las normas, (Figura 5.).

Las plantas de tratamiento de agua se pueden clasificar de acuerdo al proceso:

- Plantas de filtración rápida
- Plantas de filtración lenta. [4]

Figura No. 5 Diagrama de flujo de un sistema de potabilización convencional



Fuente: Módulo recurso del agua III "tratamiento de agua potable, operación, procesos, talleres y monitoreo" [4]

1.2.1. Procesos unitarios

La contaminación de las aguas superficiales hace necesario someterlas a una serie de procesos unitarios; con el fin de purificarla para que los seres humanos la puedan consumir, estos son:

➤ Coagulación

En este proceso entran en contacto instantáneo las partículas de polímero (coagulante) con las partículas de color y/o turbiedad que contenga el agua. Se realiza en la cámara de mezcla rápida y se favorece con la agitación la cual se realiza mecánicamente con motor o hidráulicamente.

Las especies coloidales halladas en agua cruda y en agua de desecho incluyen arcillas, sílice, hierro y otros metales pesados, color y sólidos orgánicos, como los residuos de organismos muertos. Los coloides también pueden producirse en los procesos de precipitación, como el ablandamiento con cal. El aceite en agua de desecho es con frecuencia coloidal.[4]

➤ Floculación

Puede ser que el flóculo formado por la aglomeración de varios coloides no sea lo bastante grande como para asentarse o desecarse con la rapidez deseada. Un floculante reúne partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. El alumbre, las sales de hierro y los polímeros de peso molecular alto son floculantes comunes.

La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no sólo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también afecta su naturaleza física. Los lodos y las lechadas, cuando han sido floculados, se desecan con mayor rapidez sobre capas de arena en el equipo mecánico de desecamiento, en virtud de la estructura menos gelatinosa del flóculo. [4], [8]

➤ Sedimentación

Presenta condiciones de reposo en el agua, para remover, mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión cuya densidad es mayor que la del agua [4].

➤ Filtración

Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, su eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso. [4].

➤ Desinfección

Desinfección no es sinónimo de esterilización. La esterilización implica la destrucción de todos los seres vivos presentes en el agua, mientras la desinfección consiste en la reducción parcial de microorganismos en el agua. El agua potable no necesita ser esterilizada. [4], [8]

1.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

El tratamiento de agua potable, está orientado a remover ciertas características indeseables, que la hacen no apta para el consumo humano. En las (Tabla 3 y, 4) se enumeran las características físico – químicas del agua más relevantes para la potabilización del agua)

Tabla No. 3 Características Físicas del agua

Característica	Descripción
Turbiedad	No tiene efectos directos sobre la salud aparentemente. Sin embargo existen indicios de que con valores de turbiedad por debajo de 1 UNT los casos de cáncer pueden disminuir. Los niveles altos reducen los efectos de la desinfección de cloro
Color	Se debe a la presencia de sales de hierro, manganeso, sustancias orgánicas como los ácidos húmicos, plancton, vegetales en descomposición.
Temperatura	Está influenciada por procesos biológicos, aumentando y disminuyendo la temperatura.

Fuente: Autores

Tabla No. 4 Características Químicas del agua

Característica	Descripción
Aceites y grasas	Producen problemas de olor, sabor , estética y perjudica la salud del ser vivo
Agentes espumantes	Son todos los productos que producen espumas con el agua agitada. Entre estos tenemos Sulfonatos del alkyl-benzeno lineales y ramificados (LAS y ABS) . Interfieren en los procesos de coagulación, sedimentación y filtración. En concentraciones menores de 0,5 mg/l han demostrado no tener efectos adversos ni en los procesos ni en la salud, por lo cual se ha recomendado este límite como el que no debe ser excedido en aguas destinadas a consumo humano.
Alcalinidad	Es la medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos, aunque los aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad. Importante en el tratamiento porque reacciona con coagulantes hidrolizables. Generalmente la alcalinidad natural presente en el agua cruda es suficiente para la coagulación, si es baja, adición de un alcalinizante primario (generalmente hidróxido de calcio)
Amonio	Puede considerarse como un constituyente “normal” de aguas superficiales pero en cantidades superiores a 0,1 mg/l (como N) puede ser un índice de contaminación por aguas servidas o residuos industriales. En el proceso de desinfección con cloro incrementa su demanda pues forma con él cloraminas que tienen menos efecto bactericida que el cloro puro.
Arsénico	Metaloide que está en muchos sitios de la naturaleza y que puede ser aguda o crónicamente para el hombre. Se sospecha sus efectos cancerígenos en aguas con más de 0,3 mg/l.
Bario	Elemento altamente tóxico para el hombre (serios trastornos cardíacos, vasculares y nerviosos, considerándose fatal una dosis de 0,8 a 0,9 gramos de Cloruro de Bario
Boro	Estudios de laboratorio y a escala de planta piloto, han evidenciado un alto índice de eliminación (98%) del Boro durante el proceso de ablandamiento con cal-soda a pH 8,5-11,3 y en un menor grado durante el proceso de coagulación con sulfato férrico.
Cadmio	Su presencia, se asocia con contaminaciones o filtraciones de plantas electrolíticas o de galvanizado
Cloruros	Por regla general las aguas superficiales no contienen cloruros en cantidades tan altas como para afectar sus condiciones de sabor, excepto: o Fuentes provenientes de terrenos salinos. o Acuíferos con incrustaciones marinas
Cromo	Presencia índice de contaminación por desechos o filtraciones.
Cobre	Puede encontrarse en forma natural en el agua pero es raro en concentraciones superiores a 1 mg/l.
Dureza	La dureza está ligada a otros parámetros como el pH y la alcalinidad, y dependiendo de ellos, puede formar depósitos en las tuberías y hasta obstruirlas completamente.
Fenoles	Es relacionada con la contaminación de las fuentes por: Desechos Industriales, Fungicidas y pesticidas, hidrólisis y oxidación de pesticidas organofosforados, entre otros.

Fuente: Autores

1.4. SUSTANCIAS QUIMICAS

1.4.1 Coagulantes

Los productos químicos empleados en la coagulación se clasifican como coagulantes y modificadores de pH.

Un coagulante es una sustancia química que, al agregarse al agua, induce el aglutinamiento de a las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas. [4].

Los coagulantes se clasifican en:

1.4.1.1. Coagulantes metálicos

En estos la polimerización se inicia cuando el coagulante entra en contacto con el agua, y a continuación se realiza la etapa de adsorción por parte de los coloides.

En el caso de la turbiedad del agua, generalmente los coloides tienen cargas eléctricas negativas y por esta razón las sales de metales trivalentes positivos, fácilmente ionizables, como las de aluminio y de hierro son usadas como coagulantes.

Los coagulantes que se pueden utilizar en el potabilización de agua son:

- **Sulfato de Aluminio ó Alumbre:** Es el coagulante de mayor uso en el tratamiento del agua, principalmente por razones económicas. Puede estar en forma sólida o líquida. La sólida se presenta en placas compactas, gránulos de diverso tamaño y polvo. Su fórmula teórica es: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

El sulfato de aluminio comercial, empleado en las plantas de tratamiento, tiene 14 moléculas de agua de cristalización: **$\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$** .

En el agua a ciertos rangos de pH el alumbre se ioniza así:



Dando como resultado iones aluminio positivo e iones sulfato negativos. El Al^{+3} se combina con parte de la carga eléctrica negativa de La partícula coloidal de esta manera ocurre un descenso del potencial eléctrico (potencial z) de La partícula, bajando su fuerza de repulsión hasta límites en los cuales la aglomeración es factible.

- **Cloruro férrico FeCl_3 :** Se presenta en forma sólida o líquida; esta última es la más utilizada en el tratamiento del agua.

La forma sólida es cristalina, de color pardo, deliquescente (se disuelve con la humedad del aire), de fórmula teórica $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. La forma líquida comercial tiene un promedio de 40% de FeCl_3 .

En presencia de hierro, las soluciones acuosas de cloruro férrico se reducen rápidamente a cloruro ferroso FeCl_2 . Esta reacción explica su gran poder corrosivo frente al acero, y la necesidad de seleccionar adecuadamente el material de los recipientes de almacenamiento, de preparación y de distribución.

- **Sulfato ferroso $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$:** El sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble y tiene una masa volumétrica aparente próxima a 900 kg/ m³. Su contenido en hierro es de aproximadamente 19 %. Por su naturaleza ácida, el pH de una solución al

10% es de 2,8 aproximadamente. Por esta razón para su almacenamiento y preparación se usa material plástico.

- **Sulfato férrico $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$:** El sulfato férrico es un polvo verdoso, muy soluble en el agua, su masa volumétrica aparente es 1.000 kg/m^3 . Debido a que en solución acuosa se hidroliza y forma ácido sulfúrico, es necesario prevenir los efectos de su acidez. [4] [8].

1.4.1.2. Polielectrolitos

En estos, las cadenas poliméricas ya están formadas, antes de agregarlos al agua, siendo parte constitutiva de su estructura molecular.

Estos son de alto peso molecular (líquidos sólidos), de origen natural o sintético, de carácter orgánico, con carga eléctrica, la cual se activa al entrar en contacto con el agua.

Están compuestos por una cierta cantidad de unidades básicas que se repiten, llamadas monómeros, unidas consecutivamente por enlaces covalentes, formando una cadena con una gran multitud de sitios ionizables.

Los polielectrolitos se pueden clasificar:

- **Según su carga eléctrica en cationes, aniónicos o no iónicos:** Catiónicos si tiene carga positiva; aniónicos, si la carga es negativa y no iónicos si no tiene carga.
- **Según su acción en coagulantes y floculantes:** Los coagulantes son de carga positiva. Operan por adsorción y posteriormente por la formación de puentes

Los floculantes pueden ser catiónicos, aniónicos o no iónicos, siendo los más empleados los no iónicos. Forman puentes más largos entre partículas y/o floc pequeños, ayudando al crecimiento de estos.

- **Según su origen en naturales o sintéticos:** Los naturales se producen debido a reacciones bioquímicas naturales en animales y plantas. Tienen propiedades coagulantes o floculantes. Entre estos están los almidones, la penca de la tuna, las escamas de pescado, etc.

Los sintéticos son compuestos orgánicos producidos mediante la transformación química del carbón y del petróleo. Pueden ser coagulantes o floculantes.

Los polielectrolitos se utilizan en el tratamiento del agua de distintas maneras, ya sea como:

- Coagulantes primarios, en reemplazo total de los coagulantes metálicos.
- Ayudantes de coagulación, se aplican antes del coagulante metálico.
- Ayudantes de floculación.
- Ayudantes de filtración. **[6]**

1.4.1.3. Modificadores de pH

Como se ha visto, para lograr mejores resultados en el tratamiento, en algunos casos será necesaria regular la alcalinidad del agua o modificar su pH.

En el caso de que la alcalinidad del agua sea insuficiente, se añade hidróxido de calcio (cal apagada) $\text{Ca}(\text{OH})_2$, o Carbonato de sodio (sosa) Na_2CO_3 o hidróxido de sodio (soda cáustica) $\text{Na}(\text{OH})$.

Los más aplicados para rebajar el pH de un agua son: gas carbónico CO₂, o ácido sulfúrico H₂SO₄ o ácido clorhídrico HCl.

La precipitación máxima de hidróxido de aluminio se obtiene a valores óptimos de pH para cada tipo de agua. La dosis de coagulante a agregar al agua, se determina en el laboratorio, mediante ensayos de **la Prueba de Jarras**. Estos ensayos permiten determinar cuáles son las condiciones óptimas de pH, dosificación óptima de coagulante, grado de agitación de la masa de agua, tiempo de coagulación, etc. [4].

1.4.2. Floculantes

La floculación consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico- Flòculos. Los objetivos básicos de la floculación son reunir microflòculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flòculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración. [7].

- **Floculadores de contacto de sólido:** o de manto de lodos son controlados por la concentración de sólidos. Como esta varía continuamente, es necesaria una constante atención del operador. Usualmente, los floculadores de contacto sólidos no son utilizados en nuestro medio. [4].

1.4.3 Desinfectantes

Este proceso garantizar la calidad de la misma desde el punto de vista microbiológico optimizando la potabilidad del agua.

La desinfección es un proceso físico y/o químico, no biológico, mediante el cual se eliminan los microorganismos patógenos presentes en el agua, o sea aquellos que pueden causar enfermedades.

Para que la desinfección sea efectiva, las aguas sujetas a tratamiento deben encontrarse libres de partículas coloidales causantes de turbiedad y color, las cuales pueden convertirse en obstáculos para la acción del agente desinfectante. Contrario a la esterilización, que implica la destrucción de todos los seres vivos presentes en el agua, la desinfección es un proceso selectivo que no destruye todos los organismos presentes en el agua y no siempre elimina todos los organismos patógenos. Por eso se requieren procesos previos que los eliminen mediante la sedimentación y filtración.

Para que este apta para el consumo humano se realiza a través de químicos como Cl, sales de Cl, ozono, yodo, calor, rayos ultravioleta, etc. [4] [8]

1.5. ENSAYO DE JARRAS

El ensayo de jarras es uno de los más importantes en el control del proceso de coagulación química del agua cruda, ya que por medio de esta prueba se evalúa y selecciona la dosis óptima del coagulante más efectivo y de igual forma se determina el orden de adición de los diferentes productos químicos, el gradiente de velocidad y el tiempo de mezcla; determina la necesidad de floculación y sedimentación previa a la filtración. Este proceso solo requiere conocer datos previos de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda.

2. MARCO ESPACIAL

2.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA FINCA LA PAMPA

Extensión total: 1.428,3647 Km²

Altitud (metros sobre el nivel del mar): Altura de 110 msnm.

Temperatura media: 28,5°C.

Por su nombre, Sabana de Torres se tiende a considerar como una zona de tierras planas. En su parte más central se hallan terrazas, algunas ya disectadas por el uso de sus suelos y su propia dinámica natural. La parte más Noroccidental del Municipio es una zona de bajos o inundable que termina en Ecosistemas de Humedales. El municipio de Sabana de Torres se encuentra ubicado geográficamente al Noroeste del Departamento de Santander, en la región denominada por el departamento, como Magdalena Medio Santandereano.

Esta zona se encuentra a una distancia de Bucaramanga (Capital del departamento de Santander) a 110 km, por la vía que conduce a la ciudad de Barrancabermeja. (Figura 6.) [6]

Figura No. 6 Ubicación finca la Pampa



Fuente: Plan de desarrollo Sabana de Torres

La Pampa, es una finca ubicada en la vereda la moneda del municipio de Sabana de Torres, cuenta con un terreno de 1.139 hectáreas, 200 de reserva y tres nacientes de agua. La población cuenta con la siembra de 800 hectáreas de palma de aceite, de la cual hace su sustento y diario vivir, los habitantes de la zona cuentan con viveros de palma y comercializar las plántulas. (Figura 7.)

Figura No. 7 Cultivo de palma en la Pampa



Fuente: http://es.getamap.net/mapas/colombia/santander/_corregimiento_la_gomez/

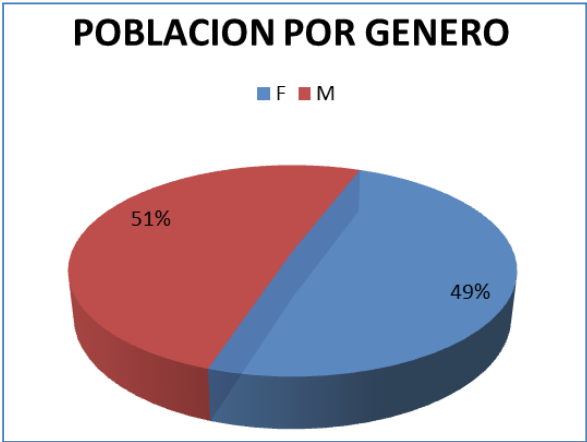
Esta finca fue comprada por un convenio entre acción social, gobernación, alcaldía entre otras instituciones las cuales adquirieron estas estos predios para instalar estas familias desplazadas en su mayoría. La finca cuenta 75 viviendas (Tabla 5), (Figura8)

Tabla No. 5 Población demográfica de la zona

Genero	Habitantes
Femenino (F)	205
Masculino (M)	211
Total	416

Fuente: Autores

Figura No. 8 Porcentaje (%) de población finca la Pampa



Fuente: Autores

3. MARCO NORMATIVO

3.1. CALIDAD Y NORMATIVIDAD COLOMBIANA PARA EL AGUA DE CONSUMO HUMANO

El concepto de calidad de agua está fuertemente asociado al uso que se le pretende dar y cada actividad tiene unas exigencias específicas en cuanto a su calidad. Por ejemplo, el agua de un río puede ser considerada apta para sistemas de riego, pero su carga de sedimentos o concentración de coliformes, ser inaceptable para consumo humano, sin antes tratarla.

El agua destinada al consumo humano debe cumplir con unos parámetros de calidad que implican la existencia de unas condiciones fisicoquímicas y microbiológicas, que garanticen la ausencia de microorganismos o sustancias químicas que puedan constituirse en una amenaza para la salud de las personas. Existe una normatividad que regula los rangos permisibles para los parámetros que intervienen.

En Colombia, lo regula la resolución 2115 de 2007, donde se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano; el decreto 1575 de 2007, que establece el sistema para la protección y control de calidad de dicha agua; y el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000.

Con base en los conceptos mencionados y las características de calidad de agua potable para Colombia regulada en la resolución 2115 del 2007 (Tabla 6, 7).

Tabla No. 6. Valores permisibles de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para la calidad del agua de consumo humano.

CARACTERISTICA	VALOR PERMISIBLE	UNIDADES
Color aparente	15	UPC
Turbiedad	2	NTU
Ph	6,5 - 9	Unidades pH
Alcalinidad Total	200	Mg CaCO ₃ /L
Calcio	60	mg Ca/L
Magnesio	36	mg Mg/l
Cloruros	250	mg Cl/L
Dureza total	300	mg CaCO ₃ /L
Coliformes totales	0	UFC/100ml
Escherichia Coli	0	UFC/100ml

Fuente: Ministerio De La Protección Social, Ministerio De Ambiente Vivienda Y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 del 2007

Tabla No. 7 Criterios químicos de la calidad el agua

Características	Expresadas como	Valor admisible mg/l
Aluminio	Al	0,2
Antimonio	Sb	0,005
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,5
Boro	B	0,3
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0,05
Cianuro total	CN ⁻	0,1
Cloroformo	CHCl ₃	0,03
Cobre	Cu	1,0
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	0,01
Fenoles totales	Fenol	0,001
Mercurio	Hg	0,001
Molibdeno	Mo	0,07
Níquel	Ni	0,02
Nitritos	NO ²	0,1
Nitratos	NO ³	10

Plata	Ag	0,01
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Sustancias activas al azul de metileno	ABS	0,5
Grasas y aceites	-	Ausentes
Trihalometanos Totales	THMs	0,1

Fuente: Ministerio De La Protección Social, Ministerio De Ambiente Vivienda Y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 del 2007

3.2. REQUISITOS MÍNIMOS PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS PLANTAS DE POTABILIZACIÓN

Los factores que se deben tener en cuenta a la hora de desarrollar un proyecto de una planta de potabilización son:

- **Dotación y caudal de diseño:** Deben satisfacer los requerimientos mínimos de agua para la población objetivo, considerando la dotación bruta. El caudal de diseño de la planta de tratamiento debe ser el caudal máximo diario cuando se cuente con almacenamiento, o en su defecto el caudal máximo horario.

- **Diseño conceptual:** El diseño debe contener la siguiente información:

1. Estudio de tratabilidad del agua;
2. Los criterios y parámetros adoptados para establecer alternativas de procesos de tratamiento;
3. Planos de las unidades del sistema a nivel prediseño;
4. Presupuesto estimativo por etapas y componentes, costos ambientales, de inversión, de operación y de mantenimiento;
5. Selección del tratamiento de acuerdo a la calidad del agua;

6. Alternativas técnicas, dentro del tratamiento seleccionado, con los correspondientes estudios de costos, eficiencia, simplicidad, etc. Para la selección de las alternativas de tratamiento para sistemas de potabilización de poblaciones menores de 30.000 habitantes, debe usarse el programa de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización (Seltec), del Ministerio de Desarrollo Económico. Para la selección de la alternativa de tratamiento óptima, deben considerarse los factores técnicos, económicos, financieros, institucionales y ambientales. Además, deben evaluarse los siguientes criterios:

Nivel tecnológico apropiado: Debe ser el más conveniente de acuerdo con la capacidad técnico - administrativa y financiera de la comunidad, del nivel de desarrollo y la capacidad técnico – administrativa de la entidad responsable de la operación y mantenimiento de los sistemas; además, debe tenerse en cuenta que sea de simple construcción, fácil manejo, bajo costo de operación y que el sistema sea sostenible.

Capacidad de operación y mantenimiento: Debe considerarse la capacitación del personal en el control y manejo del proceso seleccionado. Lo anterior tiene como objetivo evitar, siempre que sea posible, la implantación de tecnologías que excedan la capacidad técnica local para su operación.

Simplificación del sistema y nivel de financiación. La alternativa seleccionada debe ofrecer soluciones óptimas que reduzcan el uso de energía eléctrica, combustible, mecanismos complejos o sofisticados, tecnología importada, periodos cortos de construcción con el fin de buscar un tratamiento que ofrezca la mayor eficiencia con los menores costos de construcción, operación y mantenimiento.

Estudio de recursos locales. Este estudio consta de dos partes: Recursos materiales y equipos. Se deben identificar los materiales y equipos disponibles

localmente para emplearlos durante la construcción; esto permite obtener un diseño más económico; y Recursos humanos y administrativos.

Debe evaluarse la capacidad local y de organización que permita la supervisión, construcción, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de acuerdo con la tecnología seleccionada. Este estudio debe ir acompañado de un análisis de la capacidad económica de la comunidad para determinar si cuenta con los recursos financieros necesarios que garanticen la sostenibilidad del proyecto.

Adecuación hidráulica de la planta: Debe adecuarse la hidráulica general de la planta, respecto a la pérdida de carga necesaria para un funcionamiento correcto de cada uno de los procesos que la componen. Deben considerarse la topografía del sitio, las pérdidas de cabeza producidas por los filtros y las conexiones entre unidades, entre otros aspectos.

Hidráulicamente la planta debe estar en capacidad de transportar el caudal de diseño a través de todos sus procesos.

Artículo 104.- Procesos mínimos de tratamiento en función de la calidad de agua de una fuente aceptable.

En fuentes superficiales o subterráneas, que durante el 90% del tiempo (t90) en una serie estadística de análisis que cubra por lo menos un ciclo de lluvias y un ciclo seco, mantengan los parámetros de calidad de la Tabla 8, los procesos de tratamiento mínimos a diseñar, construir y operar deben ser: remoción del material flotante de las fuentes superficiales mediante cribado con rejillas, seguido de los procesos de desinfección y ajuste de pH si se justifica.

Tabla No. 8 Parámetros mínimos exigidos de calidad del agua

Parámetros	Unidades	Resultado de los análisis
DBO 5 días Promedio mensual	mg/L	≤ 1.5
Máximo diario	mg/L	1-3
Coliformes totales Promedio mensual	(NMP/100 ml)	0-50
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4
PH promedio		6.0 – 8.5
Turbiedad	(UNT)	< 2
Color verdadero	(UPC)	< 10
Gusto y olor		Inofensivo
Cloruros	(mg/L-Cl)	< 50
Fluoruros	(mg/L – F)	< 1.2

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico Resolución 1096 de 2000 [3].

Artículo 105.- Procesos mínimos de tratamiento en función de la calidad de agua de una fuente regular.

En fuentes superficiales o subterráneas, que durante el 90% del tiempo (t_{90}) en una serie estadística de análisis que cubra por lo menos un ciclo de lluvias y un ciclo seco, mantengan los parámetros de calidad de la tabla 9, los procesos de tratamiento mínimos a diseñar, construir y operar deben ser: remoción del material flotante en las fuentes superficiales mediante un cribado con rejillas, seguido de desarenación si se justifica, filtración lenta sencilla o de múltiples etapas; o filtración rápida directa para valores de turbiedad hasta un máximo de 10 UNT; o floculación, sedimentación y filtración rápida, seguida de desinfección y ajuste de pH si se justifica Tabla 9. En este último caso los procesos de coagulación y sedimentación deben diseñarse para obtener una eficiencia tal que permitan

reducir la turbiedad a un valor máximo de 10 UNT antes del proceso de filtración rápida.

Tabla No. 9 Calidad del agua en ciclos secos o de lluvias

Parámetros	Unidades	Resultaos de los análisis en t90
DBO 5 días		
Promedio mensual	mg/L	1,5 – 2,5
Máximo diario	mg/L	3 -4
Coliformes totales promedio mensual	(NMP/100 mL)	50 – 500
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4
pH promedio		5,0 – 9,0
Turbiedad	(UNT)	2 – 4,0
Color verdadero	(UPC)	10 – 20
Gusto olor		Inofensivos
Cloruros	(mg/L – Cl)	50 – 150
Fluoruros	(mg/L – F)	<1,2

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico Resolución 1096 de 2000 [3].

4. METODOLOGÍA

A continuación se describe brevemente cada uno de los pasos de la metodología con el fin de lograr los objetivos del proyecto.

- Análisis fisicoquímico de la fuente de agua superficial usada en la finca la Pampa del municipio de Sabana de Torres.

- Evaluación y selección de la mejor alternativa técnico económica de tres productos empleados para la potabilización de agua cruda. (Sulfato ferroso, hidroxiclورو de aluminio, y sulfato de aluminio; basado en el punto anterior; este ensayo se realizó en los laboratorios EXRO S.A y en el cuarto de operación de la planta la Llana Campo 23 la Cira Ecopetrol.

- Estudio de diferentes tecnologías usadas para la potabilización de agua superficial y selección de la mejor alternativa teniendo en cuenta las características de la población del área de estudio.

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A partir del estudio bibliográfico de las diferentes plantas compactas de potabilización de agua y las características de la población seleccionada se determinó, que la más viable es la planta compacta prefabricada, la cual está construida con materiales resistentes a la capacidad de diseño, como fibra de vidrio, poliéster y concreto reforzado para las placas de su anclaje.

5.1. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA MICROCUENCA LA MONEDA

Se analizó el agua cruda para determinar los parámetros físico-químicos de calidad entre ellos, la turbiedad, color, pH, alcalinidad, entre otros cuyos resultados se pueden ver en la Tabla 10. Adicionalmente se realizó una prueba de jarras con el fin de determinar la calidad de los productos que se emplean en potabilización. Esta prueba se realizó bajo las siguientes condiciones:

- Condiciones Operativas:

Dosis de Pre-Cal (hidróxido de calcio) $\text{Ca}(\text{OH})_2$: 30 ppm, para agua superficial.

- Condiciones de evaluación:

Se toman muestras de agua cruda del agua superficial, la cual es acondicionada con cal preparada al 10 %, elevando el pH a valores cercanos a las 7,5 Unidades, con dosis que van entre las 20 y 30 ppm.

Tabla No. 10 Caracterización del agua superficial de la microcuenca la Moneda

ANALISIS	AGUA SUPERFICIAL
pH (Con Cal)	7,30
Turbiedad NTU	9,0

Solidos Suspendidos, ppm	7,0
Color UPtCo	88
Alcalinidad M, ppm	11,2
Dureza Total, ppm	0,0
Hierro, ppm	2,17
Sílice, ppm	11,5
pH (Con Cal)	7,30

Fuente: Laboratorio EXRO S.A

De acuerdo con estos resultados el agua de la quebrada presenta una turbidez alta de 9,0 NTU y presenta un bajo contenido de los demás parámetros evaluados.

5.2. SELECCIÓN DEL COAGULANTE

Después de haber determinado las características del agua se probaron tres diferentes productos de coagulantes utilizados regularmente en la potabilización a diferentes concentraciones. Estos son:

Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$).

Sulfato Ferrosos ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Poliamida en solución.

Inicialmente se realizó una corrida con Sulfato de Aluminio, preparado al 5%, lo cual permitió establecer una dosis de referencia para estos tipos de aguas. Para cada sesión de jarras se toman seis (6) muestras de 800 ml, se adiciona el sulfato de aluminio, en mezcla rápida a 100 rpm, dejándolo durante un minuto, luego se deja por 10 minutos en mezcla lenta a 40 rpm y finalmente 10 minutos en reposo, para la sedimentación. (Figura 9.).

Figura No. 9 Prueba de jarras con sulfato ferroso

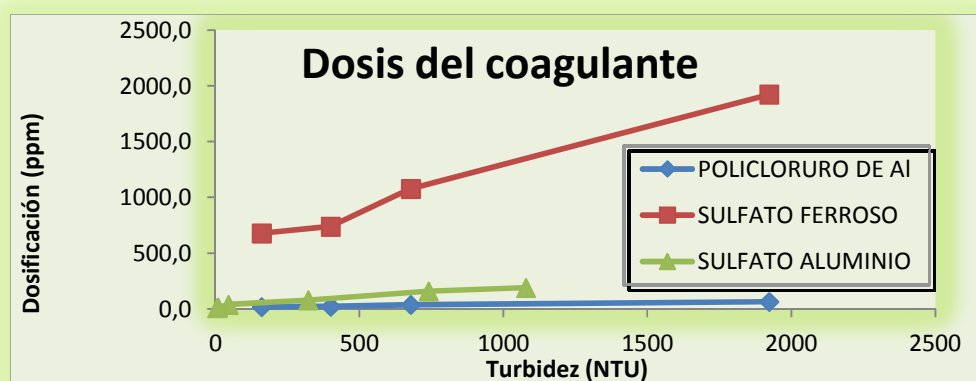


Fuente: Cuarto de operación Planta Tratamiento de Aguas la Llana - Campo 23

En esta prueba se evaluaron parámetros tales como el tamaño del floc, color, turbiedad y pH, para el agua cruda de la fuente tratada de igual forma para el sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y la poliamida (policloruro de aluminio).

La Figura 10. Muestra que se emplea más cantidad de sulfato ferroso a medida que aumenta la turbidez y después de 10 minutos se vuelve remanente, el policloruro de aluminio o poliamida deja una baja remoción de floc y el sulfato de Aluminio da mejor remoción de floc en corto tiempo y bajas concentraciones y no deja sabor ni olor en el agua.

Figura No. 10 Turbidez vs dosificación de productos

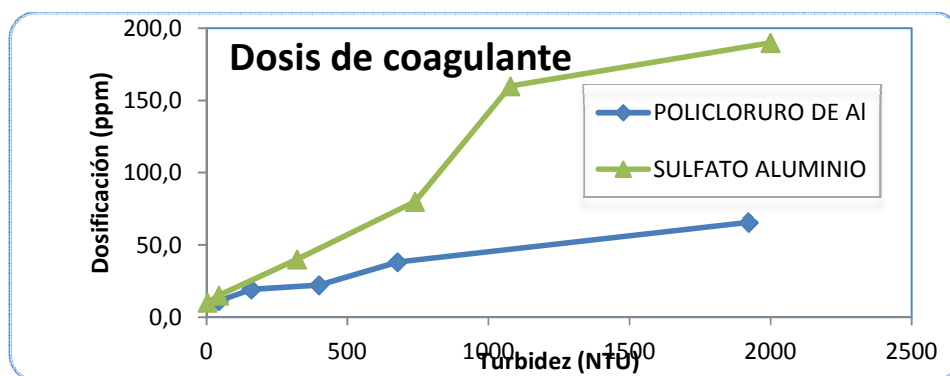


Fuente: Autores

Descartamos el sulfato ferroso ya que el agua final que entrega presenta una coloración amarillenta y sus características organolépticas son poco agradables, deja depósitos en las líneas de conducción,

La Figura 11. Muestra el comportamiento entre los coagulantes policloruro de aluminio y sulfato de Aluminio después de descartar el sulfato ferroso y se observa que se utiliza más cantidad del sulfato de aluminio.

Figura No. 11. Turbidez vs dosificación Policloruro de aluminio y sulfato de aluminio



Fuente: Autores

Evaluación Económica

Se tomó el mayor dato de turbidez de agua cruda, puesto que, a su vez corresponde al mayor consumo de coagulante. Igualmente, se tuvo en cuenta el costo por kilogramo de cada coagulante, y la densidad de cada coagulante, como aparece en la tabla 11.

Tabla No. 11 Estimación de costos para coagulante

COAGULANTE	DENSIDAD (ρ) DE COAGULANTE, g/ml	[COAGULANTE], ppm	COSTO (\$/Kg)
Sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$	1,39	220,0	335
Policloruro de aluminio	1,29	65,4	4500

Fuente: Autores

Con estos datos se revisó el costo de cada producto usado en el tratamiento de un metro cúbico (1 m³) de agua cruda, así:

- Cálculo de volumen de coagulante, en ml:

$$ppm = \frac{ml \text{ coagulante}}{m^3 \text{ agua cruda}}$$

$$ml \text{ coagulante} = [\text{coagulante, ppm}] * (1 m^3)$$

- Cálculo de peso de coagulante, en Kg:

$$densidad = \frac{peso}{volumen}$$

$$gramo \text{ de coagulante} = densidad \left(\frac{g}{ml} \right) * volumen (ml)$$

$$kg \text{ coagulante} = gramo \text{ coagulante} * \frac{kg \text{ coagulante}}{1000 g \text{ coagulante}}$$

- Costo de coagulante consumido, en \$:

$$costo \text{ coagulante} = kg \text{ coagulante} * \frac{\$}{kg \text{ coagulante}}$$

En la Tabla 12. Se indica que aunque la dosis de policloruro de aluminio es menor, su costo es bastante elevado en comparación con el de Sulfato de aluminio, Al₂(SO₄).

Tabla No. 12 Costo coagulante consumido.

COAGULANTE	Volumen (V) COAGULANTE, ml	Peso (W) COAGULANTE, Kg	COSTO COAGULANTE, (\$/m ³)
Sulfato de aluminio, Al ₂ (SO ₄)	220	0,3058	\$ 102,44
Policloruro de aluminio	65,4	0,0844	\$ 379,65

Fuente: Autores

En la Tabla 13. Se muestra las características principales del funcionamiento de una planta compacta prefabricada en fibra de vidrio y poliéster y concretado reforzado y una planta convencional.

Tabla No. 13 Análisis comparativo entre un sistema de potabilización compacta y un sistema tradicional

SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN	CARACTERISTICAS	PROCESOS	
		CAPTACIÓN	CONDUCCIÓN
PLANTA COMPACTA DE POTABILIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Es 100 % Hidráulica. - Fácil instalación y manejo. - Presenta todos sus procesos en solo una unidad.[10] (Anexo A) 	El agua cruda es tomada de ríos, lagos, quebradas, nacimientos y pozos conducidos por tubería a la planta de tratamiento de agua potable. .[10]	El agua es conducida por gravedad.
PLANTA TRADICIONAL DE POTABILIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Es Hidráulica y electromecánica - Instalación y manejo más complejo - Presenta sus procesos por separado. (Anexo B)	El agua cruda desciende por gravedad de la montaña a través de una línea de conducción de 42" e ingresa a la planta. (Anexo C)	<p>Una vez captada y cribada, el agua es conducida por una línea de aducción que encuentra localizado entre la cámara de aducción en la captación y las estructuras de llegada a los desarenadores. Se trata de una tubería de diámetro 48" de tipo American pipe, en acero con recubrimiento interior y exterior en mortero de cemento, y con una longitud aproximada de 344 m.</p> <p>Un segundo tramo de la línea de aducción de agua a la planta se localiza entre la cámara de confluencia de caudales de agua presedimentada y la cámara de llegada a la planta, situada antes del canal de aforo y mezcla rápida. Se trata de una tubería de diámetro 42", y de aproximadamente 300m de longitud.</p>

SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN	PROCESOS		
	MEDICION DE CAUDAL	COAGULACIÓN (MEZCLA RAPIDA)	FLOCULACION
PLANTA COMPACTA DE POTABILIZACIÓN	Se debe realizar a diario mediciones ya que conociendo la cantidad de agua puede en forma objetiva y precisa determinar las dosificaciones de productos químicos y también evita problemas y daños a las instalaciones en un sobre flujo. Es una exigencia que a diario se mida la cantidad del agua que ingresa.[10]	El cono en fibra de vidrio, permite que el agua que recibe la planta de tratamiento, al adicionar los productos químicos como: Alcalinizantes, coagulantes, ayudantes de floculación y floculantes, se produzca en forma hidráulica la mezcla rápida de estos productos con el agua y en un tiempo comprendido entre los 4 y 7 segundos se genere la reacción iónica llamada coagulación que es el primer proceso unitario del tratamiento convencional. [10] (Anexo E).	En el tanque cilíndrico de fibra de vidrio se produce el segundo proceso de floculación, por cuanto este elemento permite que el agua ingrese por la parte inferior procedente del cono de mezcla rápido y salga por la parte superior, en un lapso de tiempo, tiempo suficiente para que las dosis de productos químicos aplicados al agua, se mezclen uniformemente y se produzca la aglutinación y el crecimiento adecuado de las partículas extrañas del agua. [10] (Anexo F).
PLANTA TRADICIONAL DE POTABILIZACIÓN	La medición del caudal de entrada a la planta se hace empleando una canaleta Parshall, la cual es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal, puede existir dos canaletas parshall: una localizada a la entrada de los desarenadores y la otra entre la cámara de entrada del agua a la planta y los floculadores. (Anexo D).	La mezcla rápida, requiere de la adición de coagulantes, en algunos casos, se utiliza sulfato de aluminio, el cual se aplica justo en el resalto hidráulico que se forma en la canaleta Parshall, ya que ese es el punto de mayor turbulencia y adicionalmente se añade un coadyuvante de la coagulación, como el C-579, que es un polímero poliamina catiónico, el cual se aplica después de unos tabloncillos ubicados en la Canaleta, que impide que el resalto camine.	Permite que los sólidos finos y coloides que pasaron del presedimentador se decanten, con ayuda del floculante aplicado en el proceso de coagulación que altera la carga eléctrica negativa natural de los coloides y precipitarse en el sedimentador. El número de floculadores pueden ser de 12 unidades tipo mecánico de paletas de eje vertical, los cuales giran a 4 velocidades, que permiten la formación del floc, que será eliminado en el proceso de sedimentación. (Anexo G).

SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN	PROCESOS	
	PRUEBAS DE JARRAS O FLOCULACIÓN	SEDIMENTACION
PLANTA COMPACTA DE POTABILIZACION	<p>El operador a cargo de la planta debe como ya se dijo aforar el agua que ingresa a la planta y determinar la dosificación de los productos químicos como alcalinizantes, ayudantes de floculación y coagulantes, realizando previamente la prueba de jarras, de igual forma se recomienda hacer la prueba toda vez que se aumente o descienda el caudal del agua, que se disminuyan los parámetros de turbiedad y color. .[10]</p>	<p>En el tanque cilíndrico de fibra de vidrio, se produce el tercer proceso unitario del tratamiento convencional, el agua floculada procede del floculador ingresa al tanque del sedimentador por la parte superior a través de un tubo de PVC y el agua sale en un lapso de tiempo, tiempo de retención suficiente para que las partículas formadas con peso específico se sedimenten y den lugar a que el agua prosiga su recorrido a la filtración.</p> <p>La función del sedimentador es la de permitir la decantación de los flóculos, diseñado con manto de lodos y sedimentarios tipo colmena inclinados a 45 grados. .[10] (Anexo I)</p>
PLANTA TRADICIONAL DE POTABILIZACION	<p>Al igual que en la planta compacta la prueba de jarras se debe realizar cada vez que se cambia la turbidez y el color. .(Anexo H)</p>	<p>La sedimentación, es un proceso físico en el cual se precipitan las partículas floculadas y aquellas que se encuentran en suspensión.</p> <p>La plantas tradicionales la mayoría cuentan con 4 líneas de sedimentadores laminares con placas de asbesto-cemento inclinadas 60° y espaciadas cada 5 cm.</p> <p>El agua proveniente de los floculadores, ingresa por el fondo y luego asciende, para que en las celdas se depositen los sedimentos, y finalmente el agua rebose, se deslice por canaletas recolectoras y luego pase al proceso de filtración. (Anexo J)</p>

SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN	PROCESOS	
	FILTRACION	DESINFECCION
PLANTA COMPACTA DE POTABILIZACION	<p>En el tanque cilíndrico de fibra de vidrio, se realiza el cuarto proceso del tratamiento convencional llamado la filtración, en este componente se hace la remoción final de las partículas que por razones de operación no sedimentaron y son contaminantes que posee el agua. La unidad de filtración tiene la característica que es un sistema que tiene mecanismo auto lavable solo se requiere que haya aciertos en las dosificaciones. El operador debe observar esta operación y tomar nota de la misma. Cuando el operador quiera realizar una acción de lavado de la planta, debe ayudar a la misma a que se autolave. .[10] (Anexo K)</p>	<p>En el tanque plástico, el operador debe preparar una solución de desinfectante. Se recomienda que se utilicen compuestos clorados hidratados. La dosificación se debe agregar al agua, que sale filtrada o en la salida del filtro o al ingreso del tanque de almacenamiento general del agua clarificada. .[10] (Anexo M)</p>
PLANTA TRADICIONAL DE POTABILIZACION	<p>La filtración tiene como objetivo remover las partículas que no han sido captadas por los procesos anteriores. En algunas plantas se tiene 12 filtros rápidos compuestos por aproximadamente 90 cm de arena, 70 cm de antracita y grava, con capacidad de 2000 l/s, el sentido del flujo es descendente, su fuerza impulsora es la gravedad y el método de control es de tasa declinante. El medio filtrante es arena, grava y antracita. El área de los filtros es aproximadamente 707 m² los cuales permiten filtrar un promedio de 800 l/s, con una tasa de filtración de 100 m³/m²/día. El sistema de drenaje se hace a través de un fondo de bloques Leopold. El agua entra con una Turbiedad de 2 NTU y sale con una turbiedad de 0.1 NTU. El tiempo de residencia es de 2 horas. El agua de lavado que se utiliza en el lavado de cada uno de los filtros, proviene de los filtros vecinos; este proceso se hace por retrolavado. El agua producto del lavado de los filtros es vertida directamente al cauce del río Suratá. Situación que será corregida con la construcción y entrada en operación de una planta de lodos. .[4] (Anexo L).</p>	<p>La desinfección es la etapa final del tratamiento del agua. Su objetivo es destruir todos los gérmenes patógenos que han sobrevivido a las etapas anteriores del proceso. Para ello se añade cloro al agua con una concentración de aproximadamente entre 2.0-2.5 ppm ó mg/l, al momento de ingresar a un tanque de almacenamiento con capacidad para 9.000m³. El efecto bactericida del cloro dura en el agua por un tiempo de 3 días; después de este tiempo el efecto se pierde. El cloro que se utiliza en el proceso de desinfección es cloro que está almacenado en cilindro de gas y se aplica con todas las medidas de seguridad. .[4] (Anexo N)</p>

SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN	CUIDADO Y MANTENIMIENTO
<p style="text-align: center;">PLANTA COMPACTA DE POTABILIZACION</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La planta de tratamiento siempre debe operar con la respectiva aplicación de productos químicos. - Siempre que la planta de tratamiento permanezca inactiva, debe permanecer todos los tanques que integran cada uno de sus procesos unitarios llenos de agua hasta su nivel máximo. - La planta de tratamiento requiere control y revisiones periódicas no se debe abandonar su funcionamiento. - Cada 8 días el operador debe abrir la válvula del desagüe del tanque cilíndrico floculador, sedimentador y válvula falso fondo filtro de 2" durante un minuto para extraer lodos que se hayan sedimentado. - El operador de la planta de tratamiento, no debe operar las válvulas ni manipular los dispositivos del filtro sin ninguna razón lógica y sin necesidad. - El operador de la planta de tratamiento debe utilizar al ingreso y revisar las diferentes secciones utilizando las vías de acceso asignadas para evitar daños y accidente. El operador de Planta de Tratamiento, cada dos meses, debe realizar limpieza y lavado de todas las instalaciones de la Planta de tratamiento, para tal fin debe cerrar la válvula de ingreso del agua al Sistema, luego debe proceder a abrir cada uno de los desagües del floculador, Sedimentador y filtro y luego desalojar los residuos acumulados en cada una de las secciones, y lavar las paredes internas mediante cepillo de cerdas, y enjuague de los paredes internas a presión de agua. .[10]
<p style="text-align: center;">PLANTA TRADICIONAL DE POTABILIZACION</p>	<p style="text-align: center;">CANAL DE INGRESO DEL AGUA CRUDA</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verificación de la desobstrucción del aplicador de cal, de que no haya sedimentación de sólidos en el fondo del canal - Verificación de la altura del nivel del agua y borde libre del canal.

	<p>CANALETA PARSHALL</p> <ul style="list-style-type: none"> - verificar de que l coagulante sea adicionado antes del resalto hidráulico en el punto de mayor turbulencia. - Verificación de la desobstrucción de los orificios del aplicador de solución de coagulante. <p>TANQUES DE FLOCULACION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verificación del número de rotaciones por minuto, que no haya depósitos en el fondo de los tanques <p>SEDIMENTADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descarga del lodo acumulado en el fondo. <p>UNIDADES DE ENTRADA Y SALIDA DE SEDIEMNTADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verificación del estado de compuertas y orificios de la costina de distribución y verificación del nivel de las canaletas de recolección de agua decantada. <p>FILTROS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lavado de filtros. (Anexo Ñ) <p>DOSIFICADORES DE CLORO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajuste de rotámetro de acuerdo al caudal de entrada a la planta y la dosis de cloro deseada (diaria). - Actividades de mantenimiento según el fabricante.
--	---

Fuente: Autores

6. CONCLUSIONES

El proceso de muestreo en el agua constituye una pieza importante ya que de allí se obtiene los resultados para poder mezclar los químicos; a través de pruebas de jarras se puede determinar la dosificación, por lo tanto en épocas de verano se trabaja con valores de turbidez (NTU), color, entre otros parámetros fisicoquímicos, y se regula el gasto de los químicos y pérdidas innecesarias para la empresa y garantiza un buen proceso de agua cruda, ideal para el consumo humano.

De los tres coagulantes evaluados se descarto el sulfato ferroso porque sus propiedades organolépticas como el color, olor y sabor no la hacen apta para el consumo humano.

El sulfato de aluminio es de fácil adquisición en el mercado, y por su bajo precio es un coagulante que ayuda a sedimentar los sólidos en suspensión haciendo más rápido su sedimentación.

La tecnología seleccionada para la potabilización del agua corresponde a una planta compacta de fibra de vidrio, y poliéster, se adapta mejor a la topografía de la finca la Pampa por su fácil manejo y adecuación al terreno. Las unidades que conforman el sistema son de tipo hidráulico representadas principalmente para las etapas de coagulación, floculación, sedimentación y filtración respectivamente.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para la instalación y puesta en marcha de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) tener en cuenta los ensayos de jarras, para ver los parámetros fisicoquímicos del agua ya que en épocas de verano son diferentes los rangos como para en épocas de lluvias
- Tener presente los sistemas automáticos de dosificación, reduciendo pérdidas innecesarias, capacitando a los operarios en las diferentes labores que conlleve este tipo de funcionamiento de esta planta de potabilización.
- Se debe tener presente que debe haber en el momento de la puesta en marcha de esta planta compacta personal calificado en el área de química para que pueda dosificar los coagulantes en una dosis óptima, evitando daños en la salud de la población.

BIBLIOGRAFIA

[1] Modulo VI, documentación Aguas I - II - III – IV. Especialización en Ingeniería Ambiental 2011.

[2] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 del 2007. Capítulo II, art.2, art.5, art. 6. Art. 7, art. 9. Capítulo III, art. 11. Capítulo IV, art. 23, art. 15. Bogotá D.C. Junio 22 de 2007.

[3] MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Resolución 1096. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000. Sección I; Título A. Sección II; Título B; , Título C. Bogotá D:C: Noviembre de 2000.

[4] MENDOZA GOMEZ Mónica Marcela, IBAÑEZ PINEDO William. Modulo Recurso del agua III “tratamiento de agua potable, operación, procesos, talleres y monitoreo”. Bucaramanga, 2006 Trabajo de grado (Especialización en ingeniería Ambiental) Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. P. 33-135

[5] Maldonado Yactayo, Víctor. Manual I “Tratamiento de agua para consumo humano. Planta de filtración rápida, Teoría. Tomo II, Sedimentación, Filtración”. Lima, CEPIS, 2004.

[6] Plan DE DESARROLLO MUNICIPAL. Sabana de Torres “Desarrollo Social con Dignidad” 2008- 2011. P. 81.

[7] RESTREPO OSORNO Hernán Alonso “Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Medellín, 2009 (Facultad de Minas) Universidad Nacional de Colombia.

[8] Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Capítulo 9: Equipos. <http://www.cepis.org.pe/bvsatr/fulltext/operacion/cap9.pdf>, August 2008.

[9] http://es.getamap.net/mapas/colombia/santander/_corregimiento_la_gomez/

[10] <http://plantasdetratamientofullfibrasfula.blogspot.com/>

ANEXOS

Anexo No. A. PLANTA COMPACTA DE POTABILIZACIÓN DE FRIBRA DE VIDRIO



Fuente: <http://plantasdetratamientofullfibrasfula.blogspot.com/>

Anexo No. B PROCESOS UNITARIOS DE UNA PLANTA TRADICIONAL



Fuente: Autores

Anexo No. C PROCESO DE CONDUCCIÓN DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN TRADICIONAL



Fuente: Autores

Anexo No. D MEDICIÓN DE CAUDAL DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN TRADICIONAL



Fuente: Autores

Anexo No. E MEZCLA RÁPIDA DE UNA PLANTA COMPACTA DE POTABILIZACIÓN



Fuente: <http://plantasdetratamientofullfibrasfula.blogspot.com/>

Anexo No. F COAGULANTE EMPLEADO EN LA POTABILIZACIÓN



Fuente: Autores

Anexo No. G PROCESO DE FLOCULACIÓN



Fuente: Autores

Anexo No. H PRUEBA DE JARRAS



Fuente: Autores

Anexo No. I PROCESO DE SEDIMENTACIÓN PLANTA COMPACTA DE POTABILIZACIÓN



Fuente: <http://plantasdetratamientofullfibrasfula.blogspot.com/>

Anexo No. J PROCESO DE SEDIMENTACIÓN EN UNA PLANTA DE POTABILIZACION TRADICIONAL



Fuente: Autores

Anexo No. K PROCESO DE FILTRACIÓN DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN COMPACTA



Fuente: <http://plantasdetratamientofullfibrasfula.blogspot.com/>

Anexo No. L PROCESO DE FILTRACIÓN DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN TRADICIONAL



Fuente: Autores

Anexo No. M PROCESO DE DESINFECCIÓN DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN COMPACTA



Fuente: <http://plantasdetratamientofullfibrasfula.blogspot.com/>

Anexo No. N PROCESO DE DESINFECCIÓN DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN TRADICIONAL



Fuente: Autores

**Anexo No. 0 LAVADO DE FILTROS DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN
TRADICIONAL**



Fuente: Autores