

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: CASO DE
ESTUDIO UN MUNICIPIO DE SANTANDER**

CLAUDIA MILENA CÁRDENAS PARRA

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

2014

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: CASO DE
ESTUDIO UN MUNICIPIO DE SANTANDER**

CLAUDIA MILENA CÁRDENAS PARRA

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

DIRECTOR

LILIANA DEL PILAR CASTRO MOLANO

ING. QUÍMICA Ph.D

COORDINADOR DE PROYECTO ORION S.A E.S.P

FREDY ALEXANDER ADAME ERAZO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – QUÍMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2014

AGRADECIMIENTOS

A Liliana del Pilar Castro, Ingeniera Química, directora de tesis, por su valiosa guía y asesoría en la realización de la misma, forjando un espíritu investigativo con su enseñanza y conocimientos.

A Fredy Alexander Adame Erazo, gerente, por darme la oportunidad de realizar la práctica empresarial en la empresa ORION S.A ESP servicios de calidad, desempeñándome como una profesional de apoyo y líder en los diagnósticos técnicos operativos de acueducto y alcantarillado para el contrato N°4933, teniendo como objeto la realización de los diagnósticos institucionales y validación del diagnósticos técnicos operativos de los operadores de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo en el departamento de Santander.

A Johana Carolina Adame Erazo, abogada especialista en servicios públicos, por su apoyo incondicional y el aporte de sus conocimientos legales en la empresa durante el tiempo transcurrido en la realización de la práctica empresarial.

A Hernan Cuevas, ingeniero sanitario funcionario de la empresa ORION SA ESP, por su apoyo y guía en la realización de la práctica empresarial.

A Juliana Andrea Forero y Stephanie Mahecha, por su amistad y apoyo durante los años de universidad.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi ayuda, mi protección y mi fortaleza a lo largo del camino de la vida, dándome una enseñanza para superar los obstáculos y las dificultades, permitiéndome llegar a este momento tan importante para mi formación profesional.

A mis padres, Gloria y Manuel que me enseñaron a la luchar por mis sueños, superar mis temores y alcanzar mis metas. Por darme consejos, valores y más que nada por su amor que me ha permitido convertirme en una persona íntegra, responsable y honesta.

A mi abuela Abigail por la motivación constante y la confianza en mí.

A mi familia y amigos, ya que su apoyo y cariño fueron fundamentales en mi desarrollo personal.

A todos mis profesores por brindarme las bases necesarias para el desarrollo de mi formación profesional y grandes enseñanzas personales que son de inspiración para mi futuro.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	14
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	17
1.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UNA PTAP	17
1.3 PROCESOS DE UNA PTAP: DEFINICIONES	18
1.4 DISEÑO DE LA PLANTA	20
1.4.1 Diseño de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP)	20
1.4.2. Análisis del nivel de complejidad:.....	20
1.4.3. Determinación del periodo de diseño.....	20
1.4.4. Determinación de la dotación según complejidad.....	20
1.4.5. Proyección poblacional mediante el método geométrico.....	21
1.4.6. Determinación del caudal de diseño	21
1.4.7. Determinación de calidad del agua cruda.....	22
2. METODOLOGÍA	25
2.1 PRIMERA FASE: SELECCIÓN DEL MUNICIPIO CON MAYOR ÍNDICE IRCA DE SANTANDER.....	25
2.2 SEGUNDA FASE: EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO CASO DE ESTUDIO	26
2.3 TERCERA FASE: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL MUNICIPIO CASO DE ESTUDIO	26
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
3.1 SELECCIÓN DEL MUNICIPIO CON MAYOR ÍNDICE IRCA DE SANTANDER	28

3.2 EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO SAN BENITO	34
3.3 DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL MUNICIPIO SAN BENITO	40
3.4 COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA.....	45
4. CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFIA.....	49
ANEXOS	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dotación según la complejidad del sistema	20
Tabla 2. Periodo de diseño máximo	20
Tabla 3. Dotación según la complejidad del sistema	21
Tabla 4. Ecuaciones para determinar el caudal	22
Tabla 5. Características e incidencia en el IRCA	23
Tabla 6. Clasificación del nivel de riesgo IRCA	24
Tabla 7. Escala numérica de evaluación	26
Tabla 8. Municipios nivel de riesgo alto.	31
Tabla 9. IRCA año 2013 para el municipio de San Benito	32
Tabla 10. Valores IRCA año 2013	32
Tabla 11. Descripción de los equipos que conforman la PTAP	35
Tabla 12. Resumen de los parámetros de diseño para la PTAP	40
Tabla 13. Análisis de los procesos de una PTAP	41
Tabla 14. Diseño de una PTAP compacta	43
Tabla 15. Dimensiones de la PTAP diseñada	45
Tabla 16. Dimensiones de una planta de tratamiento de agua potable instalada por el Plan departamental de agua de Santander	45
Tabla 17. Costos de la PTAP	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques de una PTAP	17
Figura 2. Índice IRCA para las provincias de Santander	30
Figura 1. PTAP municipio de San Benito.....	34

LISTA DE ANEXOS

Anexo B. irca 2013	55
Anexo C: diseño del sistema de tratamiento de agua potable (stap)	58

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: CASO DE ESTUDIO UN MUNICIPIO DE SANTANDER*

AUTOR: Claudia Milena Cardenas Parra**

PALABRAS

CLAVES: Agua potable, Índice de Calidad de Agua para Consumo humano (IRCA), caudal de diseño, costos de una PTAP.

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo se realizó con el objetivo de diseñar una planta de tratamiento de agua potable. Para llevar a cabo este objetivo, se seleccionó el municipio con mayor índice de IRCA y se evaluó el estado actual de la planta de tratamiento de agua potable del municipio seleccionado. La presente monografía fue desarrollada en cuatro capítulos. En el primer capítulo se presenta el resumen ejecutivo, en el que se exponen las consecuencias de consumir agua no potabilizada, operaciones unitarias utilizadas en la potabilización del agua, resumen de la empresa y los objetivos a desarrollar en libro. En el segundo capítulo se hace una explicación detallada de las plantas de tratamiento de agua potable, del proceso de potabilización, las operaciones unitarias utilizadas en la potabilización, la legislación y criterios de diseño para una PTAP. En el tercer capítulo se presenta la metodología utilizada en la selección del municipio con los índices de IRCA más elevados, la evaluación de la planta de tratamiento de agua potable para el caso de estudio y se presenta como alternativa un diseño de una PTAP. En el cuarto capítulo se muestran los análisis de la calidad de agua para los 82 municipio y la selección del caso de estudio, además se realiza la evaluación de las operaciones unitarias realizadas en la PTAP y se presenta el diseño y costos de una PTAP como alternativa para regular los parámetros que se encuentran fuera de los valores máximos permitidos, para así poder garantizar la distribución de agua potable.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: PhD. Lilibiana Del Pilar Castro Molano

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A TREATMENT WATER PLANT: A CASE STUDY OF A SANTANDER MUNICIPALITY *

AUTHOR: Claudia Milena Cardenas Parra **

KEYWORDS: Drinking water, Water Quality Index for Human Consumption (IRCA), Design flow, Costs of PTAP.

DESCRIPTION:

This work was performed with the aim of designing a treatment plant for drinking water. To accomplish this goal, the municipality with the highest IRCA was selected and the current status of the treatment plant water was evaluated in the selected municipality.

This monograph was developed in four chapters. The executive summary is presented in the first chapter, in which the consequences of using non-potable water, unit operations used in water purification, summary of the company and the book aims to develop is exposed. In the second chapter a detailed explanation of the treatment plants for drinking water, the treatment process, unit operations used in the purification, legislation and design criteria for a PTAP is presented. In the third chapter the methodology used in selecting the municipality with the highest rates of IRCA, the evaluation of the treatment plant for drinking water for the case study and an alternative design of a PTAP is presented. The fourth chapter shows the analyzes for water quality for the 82 municipalities and the selection of the case study, the units operations in the PTAP is also evaluated, and the design and costs of a PTAP is presented as an alternative to regulate the parameters that are beyond the maximum allowable values in order to ensure the supply of drinking water.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: PhD. Lilibiana Del Pilar Castro Molano

INTRODUCCIÓN

El agua es de vital importancia para el ser humano, ya que al ser considerado el solvente universal, ayuda a eliminar las sustancias que resultan de los procesos bioquímicos producidos en el organismo [Cordorchem Envitech, 2010]. Sin embargo, la calidad del agua para consumo humano es un factor determinante en las condiciones de la salud de las poblaciones; sus características pueden favorecer tanto la prevención como la transmisión de agentes que causan enfermedades [Almirón, 2009].

Debido al aumento de la contaminación hídrica y su influencia en la calidad de agua para consumo humano, fue necesario diseñar un proceso de tratamiento con el fin de eliminar las materias en suspensión y en disolución que deterioran las características físicas, químicas y organolépticas; así como la eliminación de bacterias y otros microorganismos para lograr suministrar un agua con una calidad sanitaria garantizada [Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua, 2001]. El proceso está constituido por varias operaciones unitarias: la Coagulación es la operación que permite la Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de un agente coagulante. La Floculación es una operación unitaria que busca la Aglutinación de partículas, inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada. La Sedimentación es una operación unitaria que tiene como objetivo decantar por gravedad los sólidos suspendidos. La Filtración que es el proceso que busca remover las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso y la Desinfección permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua [Ministerio de Desarrollo Económico, 2000]

Dado que Colombia cuenta con una oferta hídrica seis veces superior a la oferta mundial, y tres veces mayor que la latinoamericana, el número de PTAP a nivel nacional es de aproximadamente 1180 [DANE, 2014].

Según estudios realizados por el instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales de Colombia, la calidad del agua que se potabiliza en las plantas depende de las zonas donde se construyen las PTAP y de los cambios climáticos. De esta forma, en épocas de verano, los caudales de los ríos se reducen y las bocatomas de los acueductos quedan sin el recurso hídrico. En contraste, cuando hay exceso de precipitaciones, los niveles de agua se incrementan sobrepasando la capacidad de la infraestructura de las captaciones en los municipios [IDEAM, 2014].

De acuerdo a lo anterior, Colombia estableció un sistema de protección y control de la calidad del agua para consumo humano, según el decreto 1575 de 2007 [Cordorchem Envitech, 2010], utilizando la clasificación del Índice de Categoría de Riesgo para la Calidad del agua (IRCA), en el cual la Secretaria de Salud analiza 22 parámetros del agua como son color aparente, turbiedad, calcio, alcalinidad total, cloruros, aluminio, dureza, hierro total, magnesio, manganeso, molibdeno, sulfatos, zinc, fosfatos, fluoruros, nitratos, nitritos, carbono orgánico total, coliformes totales, *Escherichia coli*, pH y cloro residual. Cada parámetro que obtenga un valor por fuera de los valores máximos aceptables tendrá una influencia en la evaluación del IRCA, la cual define si el agua tratada es inviable sanitariamente (80.1 a 100%), alto riesgo (35,1 a 80%), riesgo medio (14,1 a 35%), riesgo bajo (5,1 a 14%) y sin riesgo (0 a 5 %) [Resolución 2115 de 2007].

A nivel nacional, cada departamento cuenta con la información del IRCA, según lo establecido en el Decreto 1575. No obstante, actualmente no se llevan a cabo acciones de prevención y/o tratamiento en los lugares donde el índice IRCA es alto, situación que conlleva principalmente a problemas de salud pública y problemas sanitarios en las regiones.

Particularmente, en el departamento de Santander, la Empresa de Servicios Públicos ORION S.A. ESP (lugar donde se desarrolló la práctica empresarial;

Información de la empresa se encuentra en el anexo A) cuenta con una base de datos de los índices IRCA de 82 municipios de Santander. Sin embargo, se requiere evaluar el proceso de potabilización de agua de los municipios con mayor índice IRCA y proponer alternativas de mejora en los procesos de la planta, mejorando la calidad del agua para consumo humano.

Por lo anterior, ***el objetivo de este estudio fue diseñar una planta de tratamiento de agua potable. Para llevar a cabo este objetivo, se seleccionó el municipio con mayor índice de IRCA y se evaluó el estado actual de la planta de tratamiento de agua potable del municipio seleccionado.***

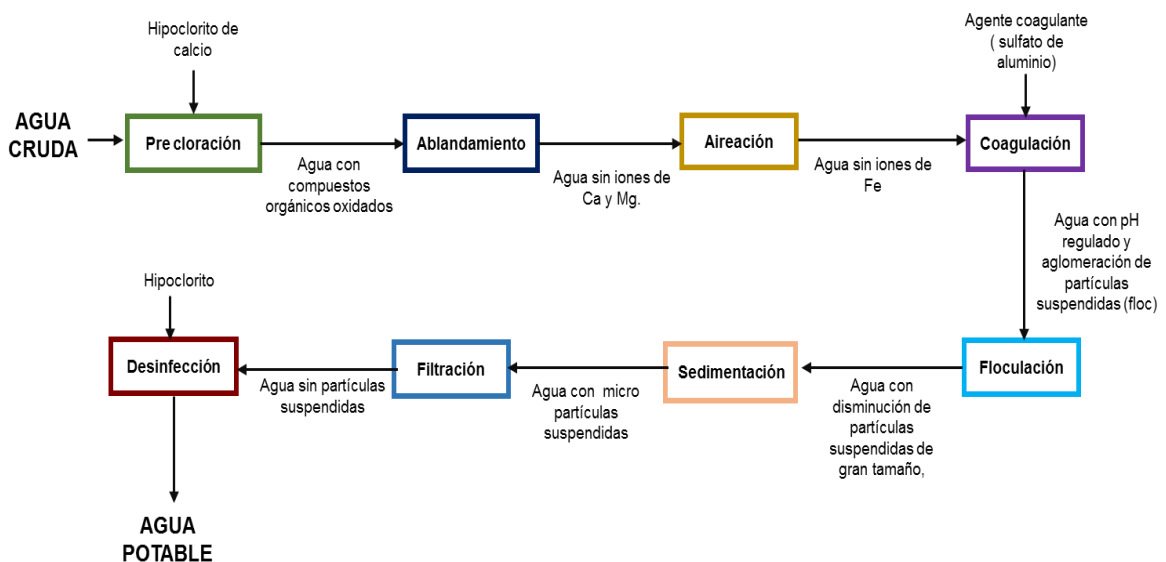
1. MARCO TEÓRICO

1.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

El sistema de tratamiento se compone de un conjunto de operaciones unitarias que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas para hacerla potable de acuerdo con las normas de calidad del agua potable establecidas en el **Decreto 1575 del 2007** (Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano) y 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).

1.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UNA PTAP

Figura 1. Diagrama de bloques de una PTAP



1.3 PROCESOS DE UNA PTAP: DEFINICIONES

Pre cloración: es un proceso de acondicionamiento del agua para que posteriores etapas sean más eficientes. Consiste en añadir el agente generador de formas activas de cloro a la entrada de la planta depuradora [Romero, 2005].

Ablandamiento: La dureza en el agua se genera como consecuencia de la presencia de ciertas sales en el agua. Los iones presentes en un agua dura son Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}) y bicarbonatos (HCO_3^-). Estos iones o minerales son los causantes de la formación de depósitos en las tuberías y demás equipos utilizados en los sistemas de agua potable y de agua de proceso [Lenntech, 2014].

Aireación: es el proceso donde se realiza la oxidación de la materia orgánica del agua eliminando sabores y olores desagradables. También favorece la reacción del bicarbonato de hierro y el sulfato ferroso en hidróxido de hierro y óxido férrico precipitándose en los floculadores. Además, el oxígeno del aire permite que los gases atrapados en el agua puedan escapar [Universidad Técnica de Machala, 2012].

Coagulación: consiste en adicionar al agua una sustancia que tiene propiedades coagulantes, la cual transfiere sus iones a la sustancia que se desea remover, lo que neutraliza la carga eléctrica de los coloides para favorecer la formación de flocúlos de mayor tamaño y peso.

Las condiciones de pH y alcalinidad del agua influyen en la eficiencia de la coagulación. Este proceso se utiliza principalmente para remover la turbiedad y el color [Canal de Isabel II, 2012].

Floculación: es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el

agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial [Canal de Isabel II, 2012].

Sedimentación: consiste en promover condiciones de reposo en el agua, para remover, mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión más densas [Pérez, 1981].

Filtración: consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso (normalmente de arena) en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso.

Este proceso se utiliza como único tratamiento cuando las aguas son muy claras o como proceso final de pulimento en el caso de aguas turbias.

Los medios porosos utilizados, además de la arena que es el más común, son la antracita, el granate, la magnetita, el carbón activado, la cáscara de arroz, la cáscara de coco quemada y molida y también el pelo de coco en el caso de los filtros rápidos. En los filtros lentos lo más efectivo es usar exclusivamente arena; no es recomendable el uso de materiales putrescibles [Sarandí Construcciones, 2011].

Desinfección: proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua. La dosificación debe aplicarse después de la última etapa del tratamiento cuando el agua sale en suficiente cantidad para proporcionar un residuo de cloro de 1,1 a 0,2 ppm. en toda el agua que entre al depósito o sistema de distribución [Pérez de la Cruz & Urrea, 2009].

1.4 DISEÑO DE LA PLANTA

1.4.1 Diseño de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP)

Para diseñar una planta se debe realizar los siguientes procedimientos [Ministerio de Desarrollo Económico, 2000].

1.4.2. Análisis del nivel de complejidad: se presenta la relación del tipo de planta que se requiere diseñar

Tabla 1. Dotación según la complejidad del sistema

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: Artículo 2°. Resolución 2320 de 2009.

1.4.3. Determinación del periodo de diseño. En la tabla 2 se determina el periodo de diseño máximo para todos los componentes del sistema de acueducto y alcantarillado, según el nivel de complejidad del sistema. Esto se realiza para determinar la máxima población a suplir durante la vida útil de la PTAP [Resolución 2320 del 2009].

Tabla 2. Periodo de diseño máximo

Nivel de Complejidad del Sistema	Periodo de diseño máximo
Bajo, Medio y Medio Alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: Artículo 2°. Resolución 2320 de 2009.

1.4.4. Determinación de la dotación según complejidad

Para determinar la cantidad de agua potable neta a producir es necesario tener en cuenta las pérdidas, la dotación según la georeferenciación y la temperatura del

municipio para cumplir con la normatividad técnica, así evitando sanciones económicas y la disminución de productividad [Resolución 1096 de 2000].

Tabla 3. Dotación según la complejidad del sistema

Nivel de Complejidad del Sistema	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Frío o Templado (L/hab*día)	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Cálido (L/hab*día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio Alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Artículo 1°. Resolución 2320 de 2009.

1.4.5. Proyección poblacional mediante el método geométrico. El crecimiento será geométrico si el aumento de la población es proporcional al tamaño de ésta. En este caso el patrón de crecimiento es el mismo que el de interés compuesto, el cual se expresa así:

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad [1]$$

En donde r es la tasa de crecimiento anual, P_{uc} es población inicial, P_f población al año de proyección, T_{uc} es año inicial y T_f año de la proyección [López, 2004].

1.4.6. Determinación del caudal de diseño. Con el fin de diseñar las diferentes estructuras hidráulicas del sistema de acueducto, es necesario calcular el caudal apropiado, el cual debe combinar las necesidades de la población de diseño y los costos de la construcción de un acueducto para un caudal excesivo. Normalmente se trabaja con tres tipos de caudal [López, 2004]:

Tabla 4. Ecuaciones para determinar el caudal

Tipo de caudal	Ecuación
Caudal medio diario	$Q_{\text{promedio}} = \frac{\text{consumo total neto} * \text{poblacion proyectada}}{86400}$ [2]
Caudal máximo diario	$Q_{\text{maximo diario}} = k1 * Q_{\text{promedio}}$ [3]
Caudal máximo horario	$Q_{\text{maximo horario}} = k2 * Q_{\text{maximo diario}}$ [4]
Caudal de diseño	$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{maximo horario}}$ [5]

Fuente: [López, 2004, p. 59].

1.4.7. Determinación de calidad del agua cruda. El agua cruda en estado natural es proveniente de una fuente superficial o subterránea, es decir, que no ha sido sometida a ningún tratamiento. Para determinar las propiedades físicas, químicas, microbiológicas y organolépticas se realizan análisis de estas propiedades. Este proceso es realizado por un laboratorio certificado por la secretaría de salud.

Como se mencionó anteriormente, un parámetro adoptado por Colombia para valorar la calidad del agua potable es el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA). En la siguiente tabla se relaciona el puntaje asignado a las características valoradas en el agua y los valores máximos permisibles:

Tabla 5. Características e incidencia en el IRCA

CARACTERÍSTICAS		COMO SE EXPRESA	VALOR MÁXIMO ACPTABLE	INCIDENCIA EN EL PUNTAJE DEL IRCA
físicas	color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15	6
	olor y sabor	Aceptable o no aceptable	aceptable	-
	Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2	15
Químicas	Calcio	CA	60 mg/L	1
	Alcalinidad Total	CACO3	200 mg/l	1
	Cloruros	Cl-	250 mg/L	1
	Aluminio	Al3+	0,2mg/L	3
	Dureza Total	CACO3	300 mg/L	1
	Hierro Total	Fe	0,3mg/L	1,5
	Magnesio	Mg	36mg/L	1
	Manganeso	Mn	0,1mg/L	1
	Molibdeno	Mo	0,07 mg/L	1
	Sulfatos	SO42-	250 mg/L	1
	zinc	Zn	3 mg/L	1
	fosfatos	PO43-	0,5 mg/L	1
	fluoruros	F-	1 mg/L	1
	nitratos	NO3-	10 mg/L	1
	nitritos	NO2-	0,1 mg/L	3
	Carbono Orgánico Total	COT	5 mg/L	3
Microbiológicas	coliformes totales	Unidad Formadora de Colonia (UFC/100 cm3)	0	15
	escherichia colí	Unidad Formadora de Colonia (UFC/100 cm3)	0	25
Otras	pH	unidades de pH	entre 6,5 a 9	1,5
	cloro residual	mg Cl2/L	entre 0,3 y 2 mg/L	15
IRCA (%)				100

Fuente: Resolución N° 2115 de 2007, Decreto 1575 de 2007

El cálculo del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, IRCA, se calcula con la ecuación 6:

$$IRCA(\%) = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a todas las características analizadas}} * 100$$

[6]

Teniendo en cuenta los resultados del IRCA, se define la siguiente clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para el consumo humano por la persona prestadora y se señalan las acciones que debe realizar la autoridad sanitaria competente [Resolución 2115 de 2007]:

Tabla 6. Clasificación del nivel de riesgo IRCA

CLASIFICACIÓN IRCA (%)	NIVEL DE RIESGO	IRCA POR MUESTRA (NOTIFICACIONES QUE ADELANTARÁ LA AUTORIDAD SANITARIA DE MANERA INMEDIATA)	IRCA MENSUAL (ACCIONES)
80.1 - 100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, controlaría general y procuraduría general.	Agua no apta para consumo humano gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes y gobernadores respectivos.
CLASIFICACIÓN IRCA (%)	NIVEL DE RIESGO	IRCA POR MUESTRA (NOTIFICACIONES QUE ADELANTARÁ LA AUTORIDAD SANITARIA DE MANERA INMEDIATA)	IRCA MENSUAL (ACCIONES)
35.1 – 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y vigilancia	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Tabla 6. (Continuación) Clasificación del nivel de riesgo IRCA

Fuente: Cuadro N° 7. Resolución 2115 de 2007.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo de este estudio se llevó a cabo en tres fases: en la primera, se seleccionó el municipio con mayor índice IRCA de Santander. En la segunda fase se evaluó el funcionamiento de la PTAP del municipio seleccionado y finalmente se realiza el diseño de una planta PTAP para el municipio seleccionado.

2.1 PRIMERA FASE: SELECCIÓN DEL MUNICIPIO CON MAYOR ÍNDICE IRCA DE SANTANDER

- ✓ El municipio de Santander está compuesto por 87 municipios, de los cuales 82 municipios se tuvieron en cuenta en este estudio, debido a que en el contrato entre la empresa ORION S.A. y la gobernación excluye los municipios de Floridablanca, Girón, Piedecuesta, Bucaramanga y Barrancabermeja.
- ✓ Se realizó una base de datos del índice IRCA de los municipios de Santander para el año 2013, de acuerdo con la información suministrada por la secretaría de salud del departamento (Anexo B).
- ✓ Se seleccionó el municipio caso de estudio con base al mayor valor del índice IRCA.
- ✓ Se evaluaron las características físicas, químicas y microbiológicas del agua del municipio seleccionado.

2.2 SEGUNDA FASE: EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO CASO DE ESTUDIO

Se realizó una evaluación cualitativa de la PTAP del municipio de seleccionado mediante visitas técnicas y registro fotográfico del estado de la estructura de la operación unitaria. De igual forma, se asignó un valor al estado de cada una de las operaciones unitarias de acuerdo con la tabla 9. La valoración cuantitativa no fue posible realizarla, debido a que la planta no cuenta con mediciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Tabla 7. Escala numérica de evaluación.

VALOR	ESTADO
0	Inoperable
1	funciona el 20%
2	funciona el 40%
3	funciona el 60%
4	funciona el 80%
5	funciona el 100%

Fuente: Autora.

2.3 TERCERA FASE: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL MUNICIPIO CASO DE ESTUDIO

- ✓ Para el diseño de la planta, se determinó el número de usuarios realizando una proyección de población del número de usuarios para los años de vida útil de la planta (25 años), según lo determinado en el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000 del Ministerio de Desarrollo Económico. La proyección se realizó mediante el método geométrico para el año 2039. Según el plan departamental de aguas, ellos utilizan una tasa de crecimiento poblacional del 1%.

- ✓ El método geométrico tiene en cuenta que el aumento de la población es proporcional al tamaño de esta ecuación 1.

$$\circ P_f = P_{uc} * (1 + r)^{\tau_f - \tau_{uc}} \quad [1]$$

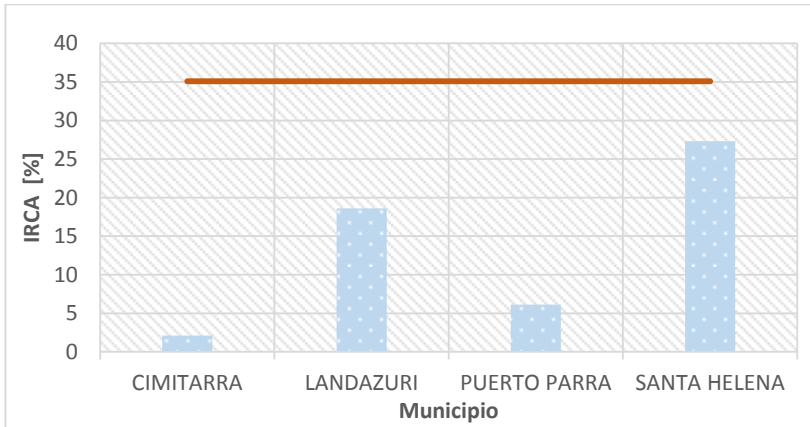
- ✓ Dónde: P_f : población proyectada, P_{uc} : población del último censo, r : tasa de crecimiento poblacional, τ_f : año de la proyección, τ_{uc} : año de del último censo.
- ✓ Se determinaron los caudales de diseño para la PTAP, considerando el caudal medio diario, máximo diario y máximo horario.
- ✓ Se consolidó una base de datos de los parámetros con los valores que presentan las mayores concentraciones respecto a la calidad de agua del municipio y se determinaron los procesos necesarios en la potabilización de agua.
- ✓ Se diseñó una planta de agua potable convencional en fibra de vidrio para poder llevar un mayor control en las operaciones unitarias realizadas en la potabilización de agua, además se aprovecha la placa de concreto que existe en el municipio y así disminuir costos.
- ✓ Se dimensionaron los equipos de la PTAP teniendo en cuenta las etapas anteriores.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

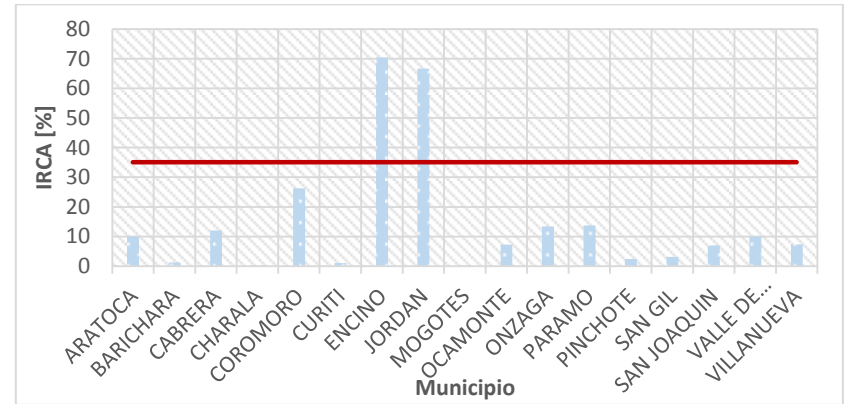
3.1 SELECCIÓN DEL MUNICIPIO CON MAYOR ÍNDICE IRCA DE SANTANDER

En la Figura 2 se presentan los resultados del IRCA para los municipios de Santander distribuidos en las provincias Carare Opón, García Rovira, Comunera, Mares, Guanentá, Soto Norte, Metropolitana y Vélez.

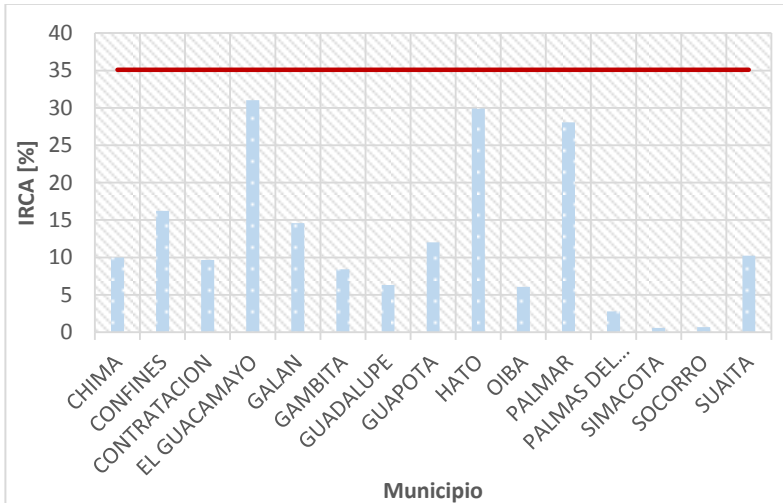
- Se realizaron las gráficas de IRCA vs MUNICIPIO para las 8 provincias



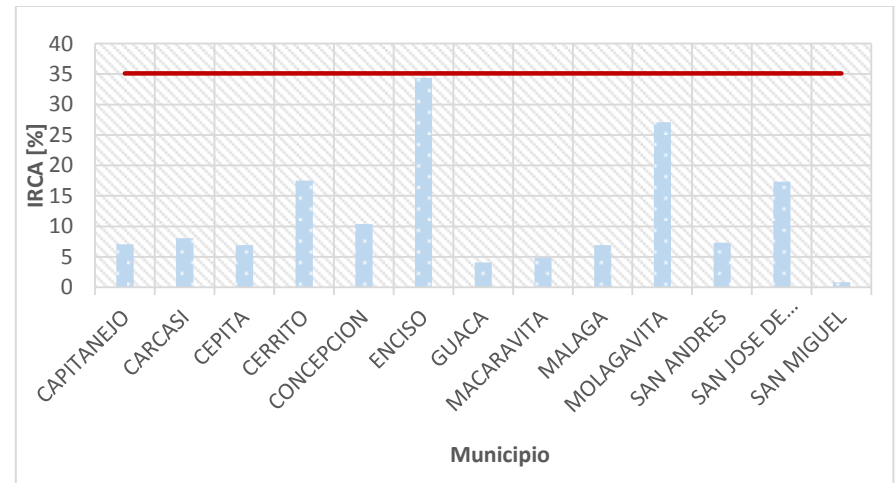
a. Provincia Carare Opon



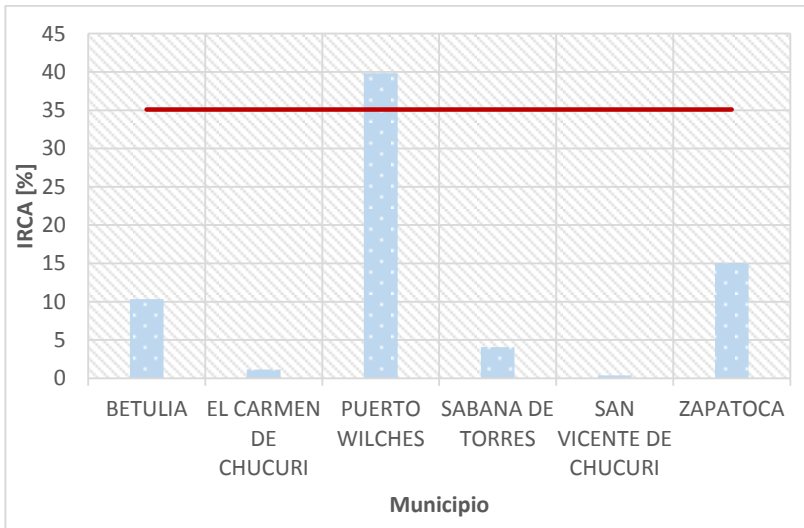
c. Provincia Guanentá



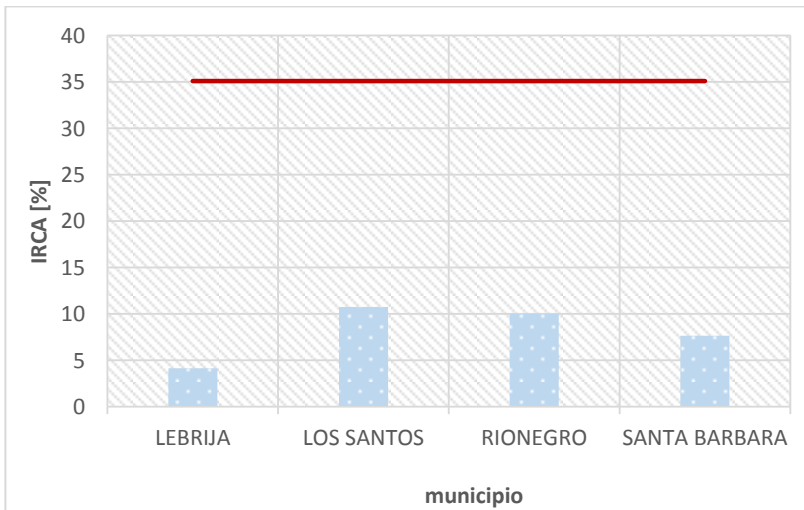
b. Provincia Comunera



d. Provincia García Rovira

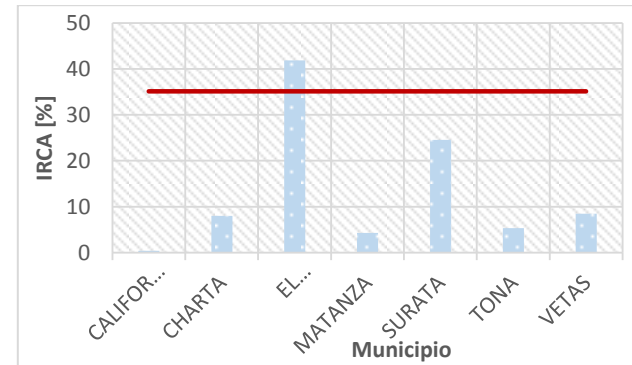


e. Provincia de Mares

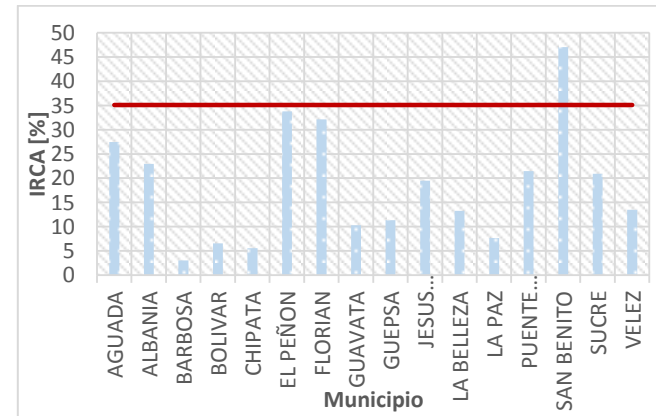


f. Provincia Metropolitana

Figura 2. Índice IRCA para las provincias de Santander



g. Provincia Soto Norte



h. Provincia de Vélez — Riesgo alto (35,1% - 80%)

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos en el departamento para el año 2013, se encontró que el departamento de Santander no tiene municipios con valores superiores a 80.1% (Inviabile Sanitariamente), y el nivel de riesgo Alto con valores entre 35.1% a 80% se encontró en cinco municipios:

Tabla 8. Municipios nivel de riesgo alto.

MUNICIPIO	IRCA
ENCINO	70,4%
JORDAN	66,7%
SAN BENITO	47,1%
EL PLAYON	41,9%
PUERTO WILCHES	39,8%

Fuente: Autora

Los municipios de Santander con el IRCA más elevados son encino y Jordán, pero se descartan debido a que la secretaria de salud solo realizó una muestra durante el año 2013, por lo cual estos datos no se pueden considerar representativos. Por lo anterior, el municipio seleccionado como caso de estudio en este trabajo es San Benito.

El municipio de San Benito tiene una extensión total de 67km² y se encuentra ubicado en la provincia a de Vélez. Limita por el occidente con los municipios de Aguada y La Paz; por el oriente con el municipio de Suaita, San José de Suiata y el departamento de Boyacá; por el norte con el municipio de Aguada y Guadalupe; por el sur con el municipio de Güepsa. Se ubica a una altitud de 1200 msnm y una temperatura de 18 a 24°C. Es un municipio con 3.404 habitantes entre la zona urbana y rural (DANE, 2014). Su economía se basa en la agricultura de algodón, tabaco, caña panelera, café y frutales [Alcaldía de San Benito – Santander, 2013]. En la Tabla 9 se presentan los valores promedio de los 7 muestreos realizados durante el 2013 por la Secretaría de Salud para el municipio San Benito.

Tabla 9. IRCA año 2013 para el municipio de San Benito

FECHA DE ANALISIS	VALOR OBTENIDO [%]	NIVEL DE RIESGO
2013	47,1	Alto

Fuente: Secretaria de Salud

Tabla 10. Valores IRCA año 2013

PARAMETRO	PROMEDIO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO
Alcalinidad	75,372	200 mg/L
Calcio	28,774	60mg/L
Cloro residual	0	entre 0,3 y 2
cloruros	11,452	250 mg/L
coliformes totales	6288	0
color aparente	31,92	15 UPC
dureza	120	300 mg/L
e- colí	858	0
Fosfatos	0,05	0,5 mg/L
Hierro total	0,155	0,2 mg/L
mg	21,892	36,0 mg/L
nitritos	38,33	300 mg/L
pH	7,87	entre 6,5 y 9
sulfatos	73,58	250 mg/L
turbidez	10,796	2 UNT
conductividad	314,96	1000

Fuente: Autora

Según los análisis de calidad de agua el municipio (como se puede observar en la tabla 10), los parámetros de alcalinidad, Calcio, cloruros, dureza, fosfatos, Hierro total, Magnesio, nitros, pH, sulfatos y conductividad se encuentran dentro de los valores máximos permitidos por la Resolución 2115 del 2007.

Los siguientes parámetros obtuvieron una concentración por fuera de los límites permitidos:

- El cloro residual es el remanente del proceso de desinfección donde se aplica hipoclorito de calcio o algún ácido hipocloroso para la reacción química y

microbiológica. Si su concentración es muy elevada genera problemas como el mal sabor en el agua, predispone a crisis asmáticas y alergias, además de irritar los ojos, nariz y malestar estomacal [Revista Ambientum, 2012].

- Los coliformes totales y E. colí son las Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la galactosidasa [Anónimo, ND]. Este parámetro es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano. Si presenta un valor distinto de cero generará problemas como Dolores abdominales, diarrea, fiebre, náuseas, virus de hepatitis, entre otras. Para eliminarlos es indispensable realizar de manera óptima operaciones como: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección [Organización de la salud, 1988, p. 30].
- El color aparente es el color que presenta el agua en el momento de la captación sin haber pasado por un filtro. Los valores más altos a los establecidos pueden ser indicativos de la presencia de material orgánico disuelto, mal tratamiento del agua, contaminación, entre otros [Acevedo, *et al.*, 2013].
- La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Es esencial eliminar la turbidez para desinfectar efectivamente el agua potable. Las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas [Montoya, *et al.*, 2008].

3.2 EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO SAN BENITO

El municipio de San Benito cuenta con una planta de tratamiento de agua compacta que no está en funcionamiento debido al mal estado en que se encuentra. Esto se confirmó al comparar los análisis de enero, abril, mayo y octubre de calidad de agua para consumo humano (realizados por la Secretaria de Salud) con los valores máximos permitidos por la Resolución 2115 del 2007. Se halló que los parámetros de Cloro residual, coliformes totales, color aparente, E-colí, y turbidez exceden los valores permitidos.

La PTAP actual tiene un caudal de diseño de 8l/s, tiene dimensiones de 5,8m de altura y 3,9m de diámetro, se encuentra construida en aluminio y fibra de vidrio.



Figura 3. PTAP municipio de San Benito

Fuente: Autora

La Tabla 11 muestra una descripción de cada uno de los equipos que conforma la PTAP del municipio caso de estudio

Tabla 11. Descripción de los equipos que conforman la PTAP

EQUIPO	DIMENSIONES	DESCRIPCION DEL ESTADO ACTUAL	REGISTRO FOTOGRAFICO	EVALUACION CUANTITATIVA
Aireación	Bandejas con dimensiones de 0,6m por 0,6m	La aireación se realiza con 4 bandejas en aluminio con agujeros y carbón activado en su base para generar la oxidación del Fe, pero en el momento de la visita solo se encuentran instaladas 2 bandejas. Además presenta problemas de corrosión por grietas y por <i>pitting</i> debido a las condiciones aerobias y el pH que debe estar entre 5-9 .		2 (Funciona el 40%)


EQUIPO	DIMENSIONES	DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL	REGISTRO FOTOGRÁFICO	EVALUACIÓN CUANTITATIVA
Coagulación	Tanque de 250L	El tanque donde se realizaba la solución de sulfato de aluminio tipo B internamente se encuentra en mal estado debido a la colmatación del agente coagulante en la base del tanque por falta de un sistema de agitación continuo. Además permitió que partículas no solubilizadas lleguen al sistema de dosificación, causando el taponamiento.		3 (funciona el 60%)

Tabla 11. (Continuación) Descripción de los equipos que conforman la PTAP

EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL	REGISTRO FOTOGRÁFICO	EVALUACIÓN CUANTITATIVA
Floculación	<p>El floculador es circular, se encuentra en mal estado por la falta de mantenimiento. Como se observa en la imagen, tiene una cantidad elevada de solidos suspendidos en la estructura disminuyendo su eficiencia. Lo anterior se demuestra en la turbidez reportada en los análisis de calidad de agua para consumo humano, ya que reporta valores de 28,3 estableciéndose a 26,3 puntos por encima de del valor máximo permitido.</p>		<p>1 (funciona el 20%)</p>

Tabla 11. (Continuación) Descripción de los equipos que conforman la PTAP

EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL	EVALUACIÓN CUANTITATIVA
Sedimentación	Dado que es una planta de tratamiento compacta, no se puede revisar el estado de las estructuras en el momento de la visita. Sin embargo, con base al análisis de calidad de agua para los meses de enero, abril y mayo emitidos por la Secretaría de Salud se demuestra que no está funcionando adecuadamente, ya que presenta valores de color aparente de 96,7 con una diferencia de 81,7 por encima del valor máximo permitido (15 UPC) y un una turbiedad de 28,3 con una diferencia de 26,2 por encima del valor máximo permitido (2UNT).	1 (funciona el 20%)
Filtración		1 (funciona el 20%)
Desinfección	Cuando la planta estaba operando, la desinfección se realizaba al ingreso del tanque de almacenamiento utilizando una válvula manual debido a que no contaban con una bomba dosificadora. Sin embargo, los análisis de calidad de agua para los meses de enero, abril y mayo emitidos por la Secretaría de Salud muestran que este proceso no ocurrió (valores de coliformes totales de 2400 y de E-colí 2400 estando por fuera de los límites, ya que para cumplir con la resolución 2115 de 2007 su valor debe ser 0). Para los meses reportados la planta estaba en funcionamiento.	1 (funciona el 20%)

Tabla 11. (Continuación) Descripción de los equipos que conforman la PTAP

Fuente: Autora

Teniendo en cuenta los resultados de la inspección visual y la confrontación del estado de los equipos con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos reportados por la Secretaría de Salud, se decide diseñar una planta de tratamiento.

El nivel socio económico de los habitantes de San Benito esta distribuidos de la siguiente manera: el 56% de la población pertenecen al nivel 1, de los cuales el 30,92% son hombres y el 24.63% son mujeres. El 42% de la población pertenece al nivel 2, de los cuales el 22,76% son hombres y el 19,65% son mujeres. El 2% de la población pertenece al nivel 3, de los cuales el 1,09% son hombres y el 0,86% son mujeres [Alcaldía Municipal de San Benito – Santander, 2008].

Con base en el nivel socioeconómico se realizó un análisis social. El municipio cuenta con \$32.907.053 para la prestación de los servicios de salud. Cuando la PTAP se encontraba en funcionamiento, la principal causa de consultas médicas era por hipertensión arterial y las enfermedades crónicas no trasmisibles. Desde el momento que se dejó de potabilizar el agua, las enfermedades Diarreicas Aguda, el dolor abdominal, entre otras, aumentaron entre un 21,2 y 30%. El monto declarado por el estado para la prestación de servicios de salud fue insuficiente debido a que los profesionales contratados anteriormente para el municipio eran un médico, un bacteriólogo y una enfermera. Actualmente se incrementó la nómina de profesionales para poder atender a la población.

Con base en estos datos se determina que es favorable tratar el agua para disminuir la población afectada por estas enfermedades y así disminuir los gastos en la prestación de servicios de salud. Además se evitan impactos mayores como los problemas de educación por la inasistencia de los niños, la disminución en productividad del municipio debido a la incapacidad de las personas para trabajar.

3.3 DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL MUNICIPIO SAN BENITO

La planta de tratamiento tiene un nivel de complejidad bajo, debido que la planta debe suplir la necesidad de 2000 habitantes. Esta información se determinó teniendo en cuenta el número de suscriptores de la unidad de servicios públicos de San Benito, para el año 2014 que son 400 suscriptores y según estudios realizados en Colombia cada suscriptor tiene 4 o 5 habitantes en promedio por vivienda [DANE, 2010].

Tabla 12. Resumen de los parámetros de diseño para la PTAP

Parámetros de diseño	valor/cualidad
Población proyectada	2565
nivel de complejidad	Bajo
Dotacion neta	90 L/h-d
% de pérdidas	25%
Dotación bruta	120 L/h-d
Caudal medio diario	3,56 L/s
Caudal máximo horario	4,6 L/s
Caudal de diseño	4,6l/s

Fuente: Autora

Teniendo en cuenta los resultados de la calidad de agua del municipio en época de invierno, los parámetros con los mayores valores fueron cloro residual, coliformes totales, y turbidez. Por lo anterior, se tienen en cuenta estos parámetros para seleccionar los equipos requeridos en la PTAP. En la Tabla 13 se indican los procesos de una PTAP y se describe la necesidad de que sean o no incluidos en el diseño de este caso de estudio.

Tabla 13. Análisis de los procesos de una PTAP

PROCESO	FUNCIÓN	JUSTIFICACIÓN
Pre-cloración	Es un proceso de acondicionamiento del agua para que posteriores etapas sean más eficientes.	Favorece la coagulación y elimina sustancias inorgánicas reductoras. Además elimina microorganismos formadores de limo en los filtros de arena, aumentando la vida útil del medio filtrante [Universidad de Salamanca, ND]. Como el agua a potabilizar tiene un valor elevado de microorganismos se recomienda realizar este proceso para prever disminución en la eficiencia de las siguientes operaciones unitarias.
Ablandamiento	El ablandamiento del agua es una técnica que sirve para eliminar los iones que hacen a un agua ser dura, en la mayoría de los casos iones de calcio y magnesio [Lenntech, 2014].	El proceso no es necesario debido que el agua a tratar tiene 28,774 mg/L de calcio y 21,896 de magnesio. Esta cantidad no es significativa debido a que el valor máximo permitido de calcio es 60mg/L y de magnesio 36 mg/L, así que los valores se encuentran cumpliendo con resolución 2115 de 2007.
PROCESO	FUNCIÓN	JUSTIFICACIÓN
Aireación	Recomienda en los siguientes casos: - Transferir oxígeno al agua y aumentar con ello el oxígeno disuelto. - Disminuir la concentración de dióxido de carbono (CO ₂). - Remover el metano (CH ₄). - Oxidar hierro (Fe) y manganeso (Mn). - Remover compuestos orgánicos volátiles (COV) (Universidad Técnica de Machala, 2012).	El proceso no es necesario debido que el agua a tratar cuenta con una concentración de hierro de 0,15mg/L y el valor máximo permitido es 0,2mg/L, por lo cual la concentración de hierro en el agua es inferior al valor permitido, determinando que se encuentran cumpliendo con resolución 2115 de 2007.
Coagulación	El objetivo principal es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión para favorecer su aglomeración. En consecuencia se eliminan las materias en suspensión estables. La coagulación no solo elimina la turbiedad,	Como el agua a tratar presenta problemas de turbiedad y color aparente, obteniendo valores de 28,3 UNT y 96,7 UPC respectivamente, es necesario realizar este proceso con el fin de llevar la turbiedad a un valor inferior a 2 UNT y el color aparente a 15 UPC. De esta manera se cumple con la
PROCESO	FUNCIÓN	JUSTIFICACIÓN
Coagulación	Sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos [Canal de Isabel II, 2012].	Resolución 2115 del 2007, evitando problemas de salud y sanciones para la unidad (contempladas en la Ley 142 de 1994 que rige a las empresas prestadoras de servicios públicos).

Floculación	Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial [Canal de Isabel II, 2012].	Como el agua a tratar presenta problemas de turbiedad y color aparente, obteniendo valores de 28,3 UNT y 96,7 UPC respectivamente, es necesario realizar este proceso con el fin de llevar la turbiedad a un valor inferior a 2 UNT y el color aparente a 15 UPC. De esta manera se cumple con la resolución 2115 del 2007, evitando problemas de salud y sanciones para la unidad (contempladas en la Ley 142 de 1994 que rige a las empresas prestadoras de servicios públicos).
--------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

PROCESO	FUNCIÓN	JUSTIFICACIÓN
Sedimentación	Es la remoción de materiales en suspensión reduciendo la velocidad del agua, hasta lograr que las partículas en suspensión se depositen en determinado tiempo de retención [Pérez, 1981].	Como el agua a tratar presenta problemas de turbiedad y color aparente, obteniendo valores de 28,3 UNT y 96,7 UPC respectivamente, es necesario realizar este proceso con el fin de llevar la turbiedad a un valor inferior a 2 UNT y el color aparente a 15 UPC. De esta manera se cumple con la resolución 2115 del 2007, evitando problemas de salud y sanciones para la unidad (contempladas en la ley 142 de 1994 que rige a las empresas prestadoras de servicios públicos).
Filtración	Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso [Sarandí Construcciones, 2011].	Como el agua a tratar presenta problemas de turbiedad, color aparente, <i>E. Colí</i> y <i>Coliformes totales</i> , obteniendo valores de 28.3 UNT, 96.7 UPC, 1480 y 24180 respectivamente, es necesario realizar este proceso con el fin de llevar la turbiedad a un valor inferior a 2 UNT, el color aparente a 15 UPC, <i>Coliformes totales</i> y <i>E. colí</i> a cero. De esta manera se cumple con la resolución 2115 del 2007, evitando problemas de salud y sanciones para la unidad (contempladas en la Ley 142 de 1994 que rige a las empresas prestadoras de servicios públicos).
PROCESO	FUNCIÓN	JUSTIFICACIÓN
Desinfección	Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua [Pérez & Urrea, 2009].	Como el agua a tratar presenta problemas de <i>E. colí</i> y <i>coliformes</i> totales, obteniendo valores de 1480 y 24180 respectivamente, es necesario realizar este proceso con el fin de llevar la <i>Coliformes totales</i> y <i>E. colí</i> a un valor de cero. De esta manera se cumple con la resolución 2115 del 2007, evitando problemas de salud y sanciones para la unidad (contempladas en la Ley 142 de 1994 que rige a las empresas prestadoras de servicios públicos).

Tabla 13. (Continuación) Análisis de los procesos de una PTAP

Fuente: Autora

En la Tabla 14 se presenta el diseño del sistema de tratamiento de agua potable para el municipio de San Benito (En el anexo C se encuentran los cálculos del diseño)

Tabla 14. Diseño de una PTAP compacta

PROCESO	DESCRIPCIÓN Y DIMENSIONES
Precloración	<p>Este proceso permite contar con un sistema de adición de Hipoclorito de calcio (presentación en briqueta) como desinfectante con el fin de cumplir los siguientes objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adición como pre-cloración para la oxidación de compuestos orgánicos e inorgánicos –en este caso el hierro presente– y mejorar la eficiencia de los procesos posteriores de remoción como floculación y coagulación. • Conservar los lechos filtrantes, evitar la colmatación de bacterias y mantenerlos desinfectados, mejorando los rendimientos en las tasas de filtración y su vida útil. • Adición en proceso de lavado de filtros, permite remover de manera más eficiente los coloides y material orgánico que no se remueve con las operaciones de retrolavado. • Corregir (eventualmente) el pH antes para lograr los parámetros de máxima eficiencia del tratamiento químico en la adición de coagulantes. <p>El hipoclorito de calcio se aplica en el mismo lugar de la coagulación para disminuir la cantidad de microorganismos (Romero, 2005).</p>
Coagulación y mezcla rápida	<p>El agitador de mezcla es la unidad encargada de recibir el agua que entra de la torre. En esta unidad se realiza la aplicación del coagulante. Es un recipiente que tiene forma de cubo rectangular de (150 * 40 * 40) cm. En este recipiente se produce una cascada en vórtice dado por un vertedero triangular que sirve para homogenizar el químico (coagulante, Cal e hipoclorito de calcio) con el agua mediante una agitación violenta para lograr que el compuesto $Al(OH)_3$ esté casi inmediatamente en contacto con los coloides y los desestabilice. Además nos permite realizar aforos o mediciones de caudal (Pérez, 1981, p. 53). Para determinar el tipo de coagulante a utilizar y la variación en el tiempo de residencia según el compuesto a utilizar se realizó una prueba de jarras entre el poli cloruro de aluminio y el sulfato de aluminio, y se encontró que el policloruro de aluminio tiene un porcentaje de remoción de color de 97,4% y de turbidez del 97,5% con una dosis óptima de 220mg/L y para el sulfato de aluminio se tiene un porcentaje de remoción de color de 94,1% y de turbidez del 93,2% con una dosis optima de 300mg/L. Al analizar los datos se determinó que el mejor coagulante para este municipio es el Policloruro de aluminio.</p>
Floculación	<p>El floculador tiene un diámetro de 1.60 m y una altura de 3.9 m. Este proceso se presenta mediante el paso del agua por 6 cámaras convenientemente dispuestas en el interior de un tanque que tiene un volumen de 7,84 m³. Las pantallas tienen orificios en la parte central de cada cámara que producen efecto de vórtices al agua. Con esta cámara se logra un efecto de mezcla tipo helicoidal del flujo. La altura de cada cámara es de 0.774 m.</p>

Tabla 14. (Continuación) Diseño de una PTAP compacta

PROCESO	DESCRIPCION Y DIMENSIONES
Floculación	El tiempo de retención hidráulico es del orden de 26.41 minutos y un gradiente de $30,4s^{-1}$. Según los criterios de diseño de la norma Ras 2000 ,el tiempo de residencia se encuentra dentro del rango (20-40 min) y el gradiente debe ser de $(15-75 s^{-1})$ (Pérez, 1981, p. 53), el número de colisiones es de 48.184, el rango para este parámetro es de 20.000 a 70.000, el cual garantiza el rango de eficiencia del proceso.
Sedimentación	El sedimentador tiene un diámetro de 2,3 m y una altura útil de 3.8 m. La sedimentación se realiza por medio de un sistema de placas cónicas de alta tasa que están ubicadas en el interior del tanque. Las placas de sedimentación se construyen y se instalan con una inclinación de 30° sobre una estructura adosada al cuerpo del tanque (12 placas con separación de 9 cm entre placas), dejando en la parte inferior un espacio aproximado de 0.6 m correspondiente a la zona de decantación de lodos. El volumen de esta zona es de $1.5 m^3$, se tiene un tiempo de detención de 62,19 min (Pérez, 1981, p. 96).
Filtración	Se realiza con una batería de filtración compuesta por 4 unidades conectadas en paralelo. Cada filtro tiene un diámetro de 1m y una altura total de 1.3 m. La filtración es de tipo descendente. Está dotado de una válvula para facilitar las operaciones de filtrado y lavado. El lecho filtrante está compuesto de varias capas: antracita, arena sílice y gravas. El filtro cuenta con flautas (tubería con orificios) que permite la recolección uniforme del flujo. El tiempo de detención es de 14.5 minutos. Cada Unidad tiene un volumen útil de $1 m^3$. Están interconectados para facilitar el retro lavado de las unidades con agua filtrada (Pérez, 1981, p. 136).

Tabla 14. (Continuación) Diseño de una PTAP compacta

PROCESO	DESCRIPCIÓN Y DIMENSIONES
Desinfección	El tiempo necesario para que el cloro inactive un microorganismo es aproximadamente de 2,5 minutos. Por ejemplo, el <i>E. coli</i> requiere un tiempo de contacto de 0,034-0,05 min, el Poliomielitis 1 de 1,1- 2,5 min y rotavirus de 0,01-0,05min, debido a esto el proceso de cloración se realiza en el tanque de almacenamiento para dar el tiempo de contacto necesario para inactivar los microorganismos (Deininger, ND).La dosis recomendada es de 1 a 3 mg/L, pero lo usual es de 1,5mg/L (Anónimo, 2009). Para el caudal a tratar del caso de estudio requiere 6,9mg/s de cloro.
Sistema de dosificación	La inyección de químicos se realiza mediante un sistema de inyección por presión diferencial proveniente de la misma conducción que llega al sistema (Deininger, ND). Tiene la gran ventaja que no requiere energía eléctrica, puede operar las 24 horas del día sin sufrir desgaste y su dosificación se puede ajustar al caudal requerido ajustando las válvulas, al sistema de control de caudal de salida. Se realiza mediante 2 dosificadores de cabeza constante y 1 Clorador cilíndrico por arrastre. Los dosificadores de cabeza constante contemplan un tanque cilíndrico de diámetro de 0.8m, una altura de 1.0 m (CAL) y altura 1.2 m (SULFATO).. El preclorado tiene un diámetro de 6" y una altura de 40cm. La interconexión de estos componentes se realiza con tubería, accesorios y registros de PVC de 3", además de esto el sistema está dotado de una válvula la cual gradúa el caudal del químico (Çengel & Cimbala, 2006).

Tabla 14. (Continuación) Diseño de una PTAP compacta

Fuente: Autora

3.4 COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA

Tabla 15. Dimensiones de la PTAP diseñada

PROCESO	DIMENSIONES [m]	AREA [m ²]
Coagulación y mezcla rápida	Largo: 1,50 Ancho:0,4 Profundidad: 0,4	2,4
Floculación	Diámetro:1,60 Altura: 3,9 Numero de cámaras 6	39,7
sedimentador	Diámetro:2,3 Altura: 3,8 número de placas:12	105,23
filtro	Diámetro: 1 altura:1,3 número de unidades:4	15,54

Fuente: Autora

Tabla 16. Dimensiones de una planta de tratamiento de agua potable instalada por el Plan departamental de agua de Santander

PROCESO	Descripción	DIMENSIONES [m]
Floculación	Es una unidad cilíndrica en posición vertical con una velocidad de flujo ascendente	Altura: 4 m Diámetro 1,8 Volumen. 8 m ³
sedimentador	Una unidad convencional cilíndrica de flujo ascendente	Diámetro:1,22 Altura: 2,4
filtro	Dos unidades de flujo descendente	Diámetro: 1 altura:1,8

Fuente: ESANT-PAP-PDA

Al realizar la comparación de los datos obtenidos en el dimensionamiento de la planta de tratamiento con la instalada por la empresa ESANT-PAP-PDA (datos no mostrados), se concluye que la planta diseñada como caso de estudio no se diferencia en las dimensiones del diseño realizado por la empresa, por lo cual el diseño de esta planta puede ser implementado en el municipio San Benito.

En la Tabla 17 se presenta el costo de la PTAP para el municipio de San Benito. El análisis de costos se realizó teniendo en cuenta la información suministrada por el Plan departamental de agua de Boyacá, ESANT-PAP-PDA, agua y ambiente internacional LTDA.

Tabla 17. Costos de la PTAP

COMPONENTE	CANT.	UND	Vr UNIT. [PESOS]	VR TOTAL [PESOS]
DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS				
Preclorador, Dosificador de hipoclorito de calcio presentación briqueta	1	Und	\$784.000	\$784.000
Bomba dosificadora de coagulante de doble regulación para coagulante y alcalinizante	3	Und	\$2.560.000	\$7.680.000
Dosificador hidráulico de coagulante, almacenamiento para 500 litros de solución	1	Und	\$640.000	\$640.000
Suministro de coagulante Policloruro de aluminio PAC saco por 25 Kg	6	Und	\$87.000	\$522.000
SUBTOTAL				\$9.626.000
TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO				
Agitador para mezcla rápida (1,53*0,38*0,38)m	1	und	\$1.895.000	\$1.895.000
Tanque floculador capacidad 7,3 m ³	1	Und	\$7.520.000	\$7.520.000
Sedimentador	1	Und	\$21.345.000	\$21.345.000
Filtro	4	Und	\$3.240.000	\$12.960.000
Tuberías y accesorios de instalación PVC 3"	1	Glb	\$1.560.000	\$1.560.000
SUBTOTAL				\$45.280.000
TRATAMIENTO BACTERIOLOGICO				
Equipo clorador	1	Und	\$2.800.000	\$2.800.000
Kit medidor de cloro libre,	2	Und	\$115.000	\$230.000
Kit básico para medición de cloro libre y pH	1	Und	\$580.000	\$580.000
SUBTOTAL				\$3.610.000
TRANSPORTE E INSTALACION				
Transporte al sitio de instalación	1	GI	\$3.200.000	\$3.200.000
Montaje, puesta en operación, capacitación y seguimiento	1	GI	\$2.870.000	\$42.870.000
Seguimiento Mensual, incluye análisis de laboratorio	2	mes	\$560.000	\$1.120.000
SUBTOTAL				\$7.190.000
		SUBTOT	\$65.706.000	
		IVA 16 %		\$10.512.960
		TOTAL		\$76.218.960

Tabla 17.(Continuación) Costos de la PTAP

Fuente: Autora

La planta de tratamiento del caso de estudio tiene un costo de \$74.218.960 pesos, construida en fibra de vidrio, tubería en PVC. El costo de la planta de tratamiento de la empresa ESANT- PAP-PDA tiene un costo de \$129.178.760 pesos. Está construida en acero al carbón, accesorios en acero inoxidable y tubería en PVC. Después de analizar las dos plantas de tratamientos y sus costos, se determinó que la eficiencia de las plantas es similar pero la diferencia en costos es de \$52.959.800 pesos, como se trata un caudal de 4,6 l/s se recomienda la planta de fibra de vidrio.

4. CONCLUSIONES

El municipio de San Benito presenta un valor del índice de calidad para consumo humano (IRCA) de 47,1%. Valor que representa un riesgo en un intervalo entre alto e inviable sanitariamente.

La planta de tratamiento de agua potable del municipio de San Benito no se encuentra en funcionamiento presentando problemas de corrosión por *pitting*, presencia de cloro residual, turbidez y microorganismos patógenos como *coliformes totales* y *E. colí*, determinando que la calidad del agua del municipio no cumple con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos reglamentarios.

Se diseñó una planta de tratamiento compacta para el municipio de San Benito que incluye las operaciones de pre-cloración, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El costo de la planta es de \$ 76.218.960. Es un costo bajo comparado con el de otras plantas ubicadas en por la empresa ESANT-PAPA-PDA, el Plan departamental de Boyacá y la Empresa Agua y Ambiente internacional LTDA.

BIBLIOGRAFIA

Acevedo Rosa; Castillo, Bertel; Severiche, Carlos & Sierra, Marlon. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. Cartagena: Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso

Alcaldía Municipal de San Benito – Santander. (2008). *Plan Territorial de Salud 2008 – 2011*. Disponible en: http://www.sanbenito-santander.gov.co/apc-aa-files/32303634313364363833643466633635/Plan_Territorial_de_Salud.pdf

Alcaldía de San Benito – Santander. (2013). *Sitio oficial de San Benito en Santander*. Disponible en: http://www.sanbenito-santander.gov.co/informacion_general.shtml

Almirón, Elodia (2009). *El agua como elemento vital en el desarrollo del hombre*. Disponible en: http://www.observatoriomercosur.org.uy/libro/el_agua_como_elemento_vital_en_el_desarrollo_del_hombre_17.php

Anónimo.(2009). *Desinfección y métodos de desinfección*. Disponible en: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/desinfeccion.htm>

Anónimo. (ND) *Total de bacterias coliformes*. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/cdgdwq/docs_microbiologicos/Indicadores%20PDF/bacterias%20coliformes.pdf

Canal de Isabel II. (2012). *Tratamiento de agua potable*. Disponible en: <http://www.canaleduca.com/documents/10157/19805/Tratamiento+de+agua+potable>

Çengel, Yunus & Cimbala, John. (2006). *Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*. México: Mcgraw-Hill / Interamericana De Mexico, 2006

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua. (2001). *Tratamiento del agua*. Consultado en: http://www.elaguapotable.com/tratamiento_del_agua.htm

Cordorchem Envitech. (2010). *Historia antigua del tratamiento del agua potable*. Disponible en: <http://blog.condorchem.com/historia-antigua-del-tratamiento-del-agua-potable/>

Deininger, R.A.; Ancheta, A.; Ziegler, A. (ND). *Dióxido de cloro*. Michigan: Escuela de Salud Pública. The University of Michigan. Disponible en: <http://bvs.per.paho.org/bvsacg/e/fulltext/simposio/ponen11.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2014). *Proyección de población año 2014*. Disponible en: <https://www.dane.gov.co>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2010). *Boletín: Censo General 2005*. Disponible en: http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/00000T7T000.PDF

IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales. 2014. *Zonificación Hidrográfica e Hidrogeológica de Colombia*. Disponible en: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/890>

Lenntech. (2014). *Procesos de ablandamiento: preguntas frecuentes*. Disponible en: <http://www.lenntech.es/procesos/ablandamiento/preguntas-mas-frecuentes/faq-ablandamiento-agua.htm>

López, Ricardo. (2004). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* (2ª ed.). Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Sección II título C: Sistemas de potabilización*. Bogotá.

Montoya, Carolina; Lozaina, Diana; Torres, Patricia; Cruz Camilo; Escobar, Juan Carlos. "Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización". *Revista EIA 16* (diciembre 2008): 137-148. Disponible en: [http://revista.eia.edu.co/articulos16/EIA%2016.%20Art.%2010%20\(137-148\).pdf](http://revista.eia.edu.co/articulos16/EIA%2016.%20Art.%2010%20(137-148).pdf)

Organización Panamericana de la Salud. (1988). *Guías para la calidad de agua potable*. Washington: Editoria OPS.

Pérez, Jorge Arturo. (1981). *Tratamientos de aguas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/70/5/45_-_4_Capi_3.pdf

Pérez de la Cruz, Francisco & Urrea, Mario. (2009). *Abastecimiento de aguas. Tema 10: Desinfección*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en: http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6027/mod_resource/content/1/Tema_10_DESINFECION.pdf

Revista Ambientum. "Cloro residual en agua de consumo". *Revista Ambientum* (febrero 2012). Disponible en: http://www.ambientum.com/revista/2002_05/CLORES1.asp

Romero, Myron. (2005). "Tratamientos utilizados en potabilización de agua". *Boletín Electrónico* (8). Universidad Rafael Landívar. Disponible en: http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_08_ING02.pdf

Sarandí Construcciones. (2011). *Tratamientos de aguas: potabilización de aguas*. Disponible en: <http://www.construsur.com.ar/News-sid-109-file-article-pageid-2.html>

Universidad Técnica de Machala. (2012). *Potabilización del agua*. Disponible en: <http://quimicaparaingenieria.blogspot.com/2012/12/potabilizacion-del-agua.html>

Universidad de Salamanca. (ND). *Aula Virtual: Precloración*. Disponible en: http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/etap/unidades/curso/uni_04/u4c3s1.htm

Referencias de Normas

Colombia. Congreso Nacional de Colombia. (Julio 11 de 1994). *Ley 142 de 1994: Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones*. En: Diario Oficial 41.433 del 11 de julio de 1994.

Colombia. Ministerio de Desarrollo Económico. (Noviembre 17 de 2000). *Resolución 1096 de 2000: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS*.

Colombia. Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. *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*. Consultado el 13 de enero de 2012. Disponible en:

<http://www.minproteccionsocial.gov.co/Normatividad/RESOLUCI%C3%93N%202115%20DE%202007.pdf>

Colombia. Ministerio de Protección social. *Decreto 1575 de 2007: por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Consultado el 20 de enero de 2012. Disponible en: <http://www.minproteccionsocial.gov.co/Normatividad/DECRETO1575de2007.PDF>

Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Noviembre 27 de 2009). *Resolución 2320 del 2009: por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS–*. En: Diario Oficial 47.553 de diciembre 4 de 2009.

ANEXOS

ANEXO A: GENERALIDADES DE LA EMPRESA ORION SA. ESP. SERVICIO DE CALIDAD

Logo



Teléfonos: PBX (57) 7 6959964.

Dirección: Carrera 31 N°51-74 Oficina 510 Edificio Torre Mardel Bucaramanga, Santander, Colombia.

Es una empresa de servicios públicos con un grupo de profesionales interdisciplinarios, especializados en el manejo técnico y administrativo del sector de los servicios públicos domiciliarios. Cuyo objeto es participar en el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios, mediante la óptima prestación de los servicios públicos, desarrollando de manera integral soluciones prácticas y viables para prestar servicios públicos domiciliarios y asesorar a las empresas y municipios que los prestan.

IRCA 2013															MAR		2014	
MUNICIPIO	PROVINCIA	ENE	FEB	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	IRCA PROM EDIO	NIVEL RIESGO 2013	MAR 2014	IRCA PROM EDIO	NIVEL RIESGO 2014	
		ene-13	feb-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	sep-13	oct-13	nov-13	dic-13						
EL PLAYON	SOTO NORTE	0,0%			73,9%		51,1%	17,0%		45,7%	63,5%		41,9%	ALTO	19,2%	19,2%	MEDIO	
ENCINO	GUANENTÁ				70,4%								70,4%	ALTO	8,5%	8,5%	BAJO	
ENCISO	ARCÍA ROVIR	36,4%		43,6%				45,7%	46,1%		0,0%		34,4%	MEDIO	17,7%	17,7%	MEDIO	
FLORIAN	VÉLEZ	35,3%		37,6%	35,3%	33,7%			16,7%	34,3%			32,1%	MEDIO	18,6%	18,6%	MEDIO	
GALAN	COMUNERA			18,2%	36,4%	0,0%	0,0%	45,2%	0,0%	0,0%	16,7%		14,6%	MEDIO	0,0%	0,0%	N RIESG	
GAMBITA	COMUNERA			25,8%	9,1%	0,0%	16,7%	21,1%	1,1%	1,7%	0,0%	0,0%	8,4%	BAJO	88,4%	88,4%	SANITAR	
GUACA	ARCÍA ROVIR	36,4%		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		0,0%	4,0%	N RIESG	0,0%	0,0%	N RIESG	
GUADALUPE	COMUNERA	25,5%		1,8%	1,8%	30,6%	0,0%	1,7%	1,7%	0,0%	0,0%	0,0%	6,3%	BAJO	0,0%	0,0%	N RIESG	
GUAPOTA	COMUNERA			0,0%				24,0%					12,0%	BAJO				
GUAVATA	VÉLEZ	0,0%		0,0%	0,0%	0,0%	46,2%	34,3%	2,2%	0,0%			10,3%	BAJO	1,2%	1,2%	N RIESG	
GUEPSA	VÉLEZ	1,2%		0,0%	7,3%	0,0%	1,4%		69,6%	0,0%			11,4%	BAJO	0,0%	0,0%	N RIESG	
HATO	COMUNERA	66,7%		0,0%	25,5%		0,0%		0,0%	61,8%	85,4%	0,0%	29,9%	MEDIO	0,0%	0,0%	N RIESG	
JESUS MARIA	VÉLEZ	37,7%		0,0%	48,5%	0,0%			31,0%	0,0%			19,5%	MEDIO				
JORDAN	GUANENTÁ			66,7%									66,7%	ALTO	17,4%			
LA BELLEZA	VÉLEZ			25,5%	0,0%	16,9%	0,0%		33,7%	16,9%	0,0%		13,3%	BAJO				
LA PAZ	VÉLEZ	0,0%		0,0%	25,5%	16,9%	16,9%		2,2%	0,0%	0,0%		7,7%	BAJO	0,0%	0,0%	N RIESG	
LANDAZURI	CARARE OPÓN	18,2%		48,5%	18,2%		1,1%	46,3%	0,0%	0,0%	16,9%		18,6%	MEDIO	1,2%	1,2%	N RIESG	
LEBRIJA	ETROPOLITAN	0,0%			0,0%	0,0%	0,0%	20,6%	0,0%	0,0%	12,6%		4,2%	N RIESG	0,0%	0,0%	N RIESG	
LOS SANTOS	ETROPOLITAN	0,0%		0,0%	11,3%	20,3%	22,5%	0,0%	42,6%	0,0%	0,0%		10,7%	BAJO	0,0%	0,0%	N RIESG	
MACARAVITA	ARCÍA ROVIR	0,0%		18,2%	0,0%	16,9%	0,0%	0,0%	8,4%	0,0%	0,0%		4,8%	N RIESG	17,4%	17,4%	MEDIO	
MALAGA	ARCÍA ROVIR	0,0%		0,0%	16,5%	0,0%	8,6%	5,0%	0,0%	30,9%	1,1%		6,9%	BAJO	0,0%	0,0%	N RIESG	
MATANZA	SOTO NORTE	0,0%		0,0%	19,4%	16,9%	0,0%	0,0%	1,4%	0,0%	1,1%		4,3%	N RIESG	1,2%	1,2%	N RIESG	
MOGOTES	GUANENTÁ	2,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		0,2%	N RIESG	0,0%	0,0%	N RIESG	
MOLAGAVITA	ARCÍA ROVIR	20,0%					3,2%	43,0%			42,1%		27,1%	MEDIO				
OCAMONTE	GUANENTÁ	0,0%		0,0%	1,2%	3,4%	0,0%	0,0%	0,0%	33,7%	16,9%	16,9%	7,2%	BAJO	34,9%	34,9%	MEDIO	
OIBA	COMUNERA	18,2%		0,0%	18,2%		0,0%			0,0%	0,0%		6,1%	BAJO	0,0%	0,0%	N RIESG	
ONZAGA	GUANENTÁ	0,0%		18,2%				17,1%	44,9%		0,0%	0,0%	13,4%	BAJO	0,0%	0,0%	N RIESG	
PALMAR	COMUNERA	0,0%		84,9%	25,5%	16,9%	62,2%	17,1%	23,6%	16,9%	16,9%	16,9%	28,1%	MEDIO	0,0%	0,0%	N RIESG	
PALMAS DEL SOCORRO	COMUNERA	0,0%		1,2%	18,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,4%	2,8%	N RIESG	0,0%	0,0%	N RIESG	

IRCA 2013															MAR 2014	
		ENE		ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	IRCA PROM EDIO	NIVEL RIESGO 2013	IRCA PROM EDIO	NIVEL RIESGO 2014
MUNICIPIO	PROVINCIA	ene-13	feb-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	sep-13	oct-13	nov-13	dic-13	IRCA PROM EDIO	NIVEL RIESGO 2013	IRCA PROM EDIO	NIVEL RIESGO 2014
PARAMO	GUANENTÁ	25,5%		18,2%	19,4%	0,0%	0,0%	0,0%	16,9%	23,6%	16,9%	16,9%	13,7%	BAJO	19,2%	MEDIO
PINCHOTE	GUANENTÁ	0,0%		1,2%	0,0%	3,4%	0,0%	0,0%	16,9%	0,0%	0,0%		2,4%	N RIESG	0,0%	N RIESG
PUENTE NACIONAL	VÉLEZ			18,2%		33,7%		17,1%	17,8%	20,7%			21,5%	MEDIO	17,4%	MEDIO
PUERTO PARRA	CARARE OPÓN	0,0%		0,0%	3,3%	2,0%	0,0%	0,0%	54,4%	0,0%	1,3%	0,0%	6,1%	BAJO	0,0%	N RIESG
PUERTO WILCHES	MARES			53,7%	32,6%		43,1%	42,3%	20,7%	0,0%	86,2%		39,8%	ALTO	0,0%	N RIESG
RIONEGRO	ETROPOLITAN	18,2%		9,1%	19,4%	0,0%	17,1%	18,0%	0,0%	0,0%	8,4%		10,0%	BAJO	0,0%	N RIESG
SABANA DE TORRES	MARES	9,1%			19,4%	0,0%	0,0%		0,0%	0,0%	0,0%		4,1%	N RIESG	0,0%	N RIESG
SAN ANDRES	ARCÍA ROVIR	0,0%				0,0%	17,0%	17,1%	0,0%	0,0%	16,9%		7,3%	BAJO	0,0%	N RIESG
SAN BENITO	VÉLEZ	36,4%		43,6%	92,1%	40,5%	35,8%		18,0%	62,9%			47,1%	ALTO		
SAN GIL	GUANENTÁ	0,0%		1,2%	7,8%	1,7%	4,1%	2,6%	13,3%	0,0%	0,2%	0,0%	3,1%	N RIESG	3,5%	N RIESG
SAN JOAQUIN	GUANENTÁ			0,0%	20,0%	0,0%	1,7%	17,1%	0,0%	16,8%	0,0%		7,0%	BAJO	17,4%	MEDIO
SAN JOSE DE MIRANDA	ARCÍA ROVIR	18,2%		36,4%	19,4%			1,1%	46,1%	0,0%	0,0%		17,3%	MEDIO	17,9%	MEDIO
SAN MIGUEL	ARCÍA ROVIR	0,0%		0,0%	7,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		0,8%	N RIESG	0,0%	N RIESG
SAN VICENTE DE CHUCURI	MARES	0,0%		0,0%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%	0,5%	1,1%	0,0%	0,4%	N RIESG	0,0%	N RIESG
SANTA BARBARA	ETROPOLITAN	48,5%		18,2%	1,2%	0,0%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		7,7%	BAJO	0,0%	N RIESG
SANTA HELENA	CARARE OPÓN															
SIMACOTA	COMUNERA	0,0%		0,0%	1,2%	3,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	0,0%	0,6%	N RIESG	0,0%	N RIESG
SOCORRO	COMUNERA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,2%		0,7%	N RIESG	11,6%	BAJO
SUAITA	COMUNERA	0,0%		24,9%	12,7%	16,9%	0,0%	17,0%	0,0%				10,2%	BAJO		
SUCRE	VÉLEZ	0,0%		73,9%	25,5%	0,0%	0,0%		23,6%	23,6%			20,9%	MEDIO	70,9%	ALTO
SURATA	SOTO NORTE	48,5%		18,4%	73,9%	0,0%	0,0%	18,9%	0,0%	61,8%	0,0%		24,6%	MEDIO	0,0%	N RIESG
TONA	SOTO NORTE	0,0%		0,0%	1,2%	0,0%	1,1%	0,0%	46,1%		0,0%	0,0%	5,4%	BAJO	1,7%	N RIESG
VALLE DE SAN JOSE	GUANENTÁ	0,0%		1,2%		0,0%	21,1%		33,7%	0,0%	0,0%	23,6%	10,0%	BAJO		
VELEZ	VÉLEZ			7,4%	1,2%	0,0%	45,7%	0,0%	1,1%		39,3%		13,5%	BAJO	0,0%	N RIESG
VETAS	SOTO NORTE	15,8%		9,7%						0,0%			8,5%	BAJO	0,0%	N RIESG
VILLANUEVA	GUANENTÁ	25,5%		22,2%	0,0%	0,0%	17,1%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%		7,3%	BAJO	0,0%	N RIESG
ZAPATOCA	MARES	0,0%		66,7%	18,2%	16,9%		17,1%	1,1%	0,0%	0,0%		15,0%	MEDIO	0,0%	N RIESG

Anexo C: diseño del sistema de tratamiento de agua potable (stap)

1. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MUNICIPIO DE SAN BENITO

1.1. DEFINICIÓN DEL PERIODO DE DISEÑO

Es necesario establecer el periodo de planteamiento del sistema y el año inicial de operación, de esta manera se tiene un horizonte de análisis para estimar las proyecciones de población y demandas.

Nivel de Complejidad del	Período de diseño
Bajo, Medio y Medio alto	25 años
Alto	30 años

Fuente. Artículo 69. Resolución 2320/09.

Periodo de diseño: 25 Años

1.2. PROYECCIÓN POBLACIONAL

Información preliminar (Según Oficina de Planeación Municipal)

400 Familias

5 Habitantes/Familia

Población Inicial = 400 Familias * 5 Habitantes/Familia = 2000 habitantes

Pi = 2000 Habitantes (Población inicial)

n = 25 Años (Periodo de diseño)

r = 1.5 % (Rata de crecimiento poblacional)

Pf = ? (Población final)

La determinación de la población se realiza por el método geométrico y se sintetiza en la siguiente ecuación:

Pf = Pi * (1 + r)ⁿ = 2565 Habitantes

1.3. DEFINICIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD

Todo proyecto de potabilización está condicionado por el periodo de diseño o su vida útil. El nivel de complejidad se determina teniendo en cuenta la población a abastecer en el periodo de diseño.

En la siguiente tabla se encontraran los rangos de población establecidos para cada nivel de complejidad.

Para nuestro sistema, el nivel de complejidad es **BAJO**.

1.4. CAUDAL DE DISEÑO

CONSUMO HUMANO

P = 2565 Habitantes (Población)

D Neta = 90 L/h-d

% P = 25% (Porcentaje de perdidas)

D Bruta = D Neta / (1-% P) = 120 L/h-d (Dotación: Litro/ Habitante-Día)

K1 = 1.3 (Coeficiente de consumo)

qmd: Caudal medio diario

QMD: Caudal máximo diario

$$\mathbf{qmd} = \frac{\text{Población} * \text{Dotación}}{86400} = \frac{2565 \text{ h} * 120 \text{ L/h-d.}}{86400} = 3.56 \text{ L/s.}$$

$$\mathbf{QMD} = \mathbf{qmd} * 1.3 = 3,56 * 1.3 = 4,6 \text{ L/s.}$$

El caudal de diseño para la implementación del sistema de tratamiento de agua potable es:

$$\mathbf{Q \text{ Diseño} = QMD}$$
$$\mathbf{Q \text{ DISEÑO} = 4,6 \text{ L/S}}$$

CALIDAD DE LA FUENTE

- En el siguiente cuadro se encuentran los análisis de calidad de agua del municipio de San Benito para los meses de enero, abril, mayo y marzo 2014, para tomar los máximos valores de cada característica , para poder determinar los procesos necesarios para tratar el agua evitando que los parámetros excedan los valores permitidos en la Resolución 2115 del 2007.

Tabla N°12 - consolidado de parámetros de calidad de agua

MUNICIPIO DE SAN BENITO							Valores máximos permitidos
PARAMETRO	AÑO 2013				año 2014	valores máximos de cada parámetro	
	ENERO	ABRIL	MAYO	OCTUBRE	MARZO		
Alcalinidad	133,96	39,4	34	116	53,5	133,96	200 mg/L
calcio	43,28	12,02	6,01	39,28	43,28	43,28	60mg(L
cloro residual	0	0	0	0		0	entre 0,3 y 2
cloruros	5,87	12,23	31,99	3,67	3,5	31,99	250 mg/L
coliformes totales	2420	0	2420	2420	24180	24180	0
color aparente	3,6	44,1	96,7	2,6	12,6	96,7	15 UPC
dureza	172	48	8	199	173	199	
e- colí	0	0	2400	410	1480	2400	0
Fosfatos				0,05		0,05	0,5 mg/L
Hierro total				0,13	0,18	0,18	0,2 mg/L
Mg	30,89	8,63	0,48	38,33	31,13	38,33	36,0 mg/L
Nitritos				38,33		38,33	300 mg/L
pH	8	8	8	8	7,35	8	entre 6,5 y 9
Sulfatos				107,07	40,09	107,07	250 mg/L
Turbidez	1,37	11,3	28,3	8	5,01	28,3	2 UNT
conductividad	368	287	134,8	482	303	482	1000

Fuente: autora

Para dar cumplimiento con el decreto 1575 de 2007 y la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social, se deben corregir los parámetros siguientes:

- **Color = 96,7**
- **Turbiedad = 28,3**
- **Coliformes Totales: 24180**
- **E. Colí: 2400**
- **Cloro residual libre = 0**

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea la necesidad de realizar un tratamiento consistente en: preclorar, Ajuste de pH, Mezcla rápida, Mezcla lenta (Floculación), Sedimentación, Filtración y Desinfección. Este diseño se ajusta a la necesidad del tratamiento ya que los MODULOS propuestos cumplen con las exigencias técnicas contempladas en el RAS 2000 (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico). Sistema de tratamiento convencional en módulos de fibra de vidrio.

2. SISTEMA DE TRATAMIENTO (4,6 LPS)

2.1. GENERALIDADES

El sistema de tratamiento se compone de un 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 con las normas de calidad del agua potable establecidas en el **Decreto 1575 del 2007** (Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano) y 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).

El sistema corresponde al tipo CONVENCIONAL MODULAR (Construida en fibra de vidrio) conformada por las siguientes unidades:

- Agitador de mezcla rápida (Mezcla rápida)
- Floculador (Formación del floc)
- Sedimentador (Remoción de sólidos en suspensión)
- Filtración (Remoción de partículas finas en un medio poroso)
- Dosificadores hidráulicos (Alcalinizante y Coagulante)
- Clorador hidráulico (Hipoclorito de calcio)

La entrada del agua al sistema de tratamiento se inicia con la inyección de los químicos se realiza al agitador de mezcla rápida para producir dispersión instantánea de los productos químicos en la masa de agua (Coagulante). La unidad de floculación consta de seis cámaras que contienen pantallas deflectoras las cuales garantizan un flujo helicoidal ascendente. La sedimentación se realiza en un tanque cilíndrico con placas deflectoras las cuales facilitan la precipitación del floc. La filtración esta compuesta por 4 filtros multiestrato de grava, arena y antracita, conectados en paralelo, dotados de válvulas tipo mariposa para facilitar las operaciones de filtrado y lavado. En cuanto al sistema de inyección de químicos este se compone de 3 dosificadores de químicos (Dos de cabeza constante y El otro tipo accu tab). Estos permiten inyectar a todo momento y no depender de la energía eléctrica, puesto que para su funcionamiento se utiliza la energía hidráulica de la conducción o red principal.

El diseño del sistema nos permite la mínima utilización de espacio y la posible expansión en caso de ser necesario, por aumento futuro de usuarios.

✦ **CAPACIDAD DEL SISTEMA**

La capacidad está determinada por el número de usuarios a servir, la capacidad está dada en litros por segundo ó metros cúbicos por día.

- **Caudal de diseño: 4,6 L/s**
- **Producción de agua tratada (m³): 282 m³ por 24 horas de operación.**

✦ **CONDICIONES DE OPERACIÓN**

Cabeza de presión requerida → MINIMO 7 MTS → Si no existe esta mínima cabeza es necesario recurrir a un sistema de bombeo.

Requerimientos de energía eléctrica → CERO → Todo opera con energía hidráulica proveniente de la misma conducción.

✦ REQUERIMIENTOS DE ESPACIO

Para el montaje del sistema se requiere de una placa de concreto reforzado que garantice soportar las cargas actuantes (15 Toneladas repartidas en los diferentes módulos; Esto cuando se encuentra en funcionamiento). Cabe anotar que los módulos construidos son flexibles y se ajustan a la disponibilidad de espacio con el que se cuenta en el lugar, una disponibilidad de área mínima para el funcionamiento del sistema es de 60 m²; (Placa de 5*6 metros). Es necesario un cerramiento en malla para evitar la manipulación por parte de personal no autorizado y por seguridad del operario.

2.2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

• MEZCLA RÁPIDA

El agitador de mezcla es la unidad encargada de recibir el agua que entra de la torre, en esta unidad se realiza la inyección del alcalinizante y del coagulante. Es un recipiente que tiene forma de cubo rectangular de (120 * 40 * 40) cm; Esta construido en PRFV (Plástico Reforzado con fibra de Vidrio), en este recipiente se produce una cascada en vórtice dado por un vertedero triangular que sirve para homogenizar instantáneamente el químico (Sulfato y/o Cal) con la masa de agua y además nos permite realizar aforos o mediciones de caudal.

- **FLOCULACIÓN**

El floculador tiene un diámetro de 1.60 m y una altura de 3.9 m. Este proceso se presenta mediante el paso del agua por 6 cámaras convenientemente dispuestas en el interior de un tanque que tiene un volumen útil de 7,84 m³. Las pantallas tienen orificios y deflectores adosados en la parte central de cada cámara que producen efecto de vórtices al agua; con esta cámara se logra un efecto de mezcla tipo helicoidal del flujo. La altura de cada cámara es de 0.774 m. El tiempo de retención hidráulico es del orden de 26.41 minutos.

La energía requerida para la mezcla es hidráulica y proviene de la misma conducción de agua que llega del agitador, esto evita tener que recurrir a otras clases de energía como moto-reductores eléctricos que pueden acrecentar los costos y que en eventuales fallas de la misma ocasionan una mala mezcla en el floculador.

- **SEDIMENTACIÓN**

El sedimentador tiene un diámetro de 2,3 m y una altura útil de 3.8 m. La sedimentación se realiza por medio de un sistema de placas cónicas de alta tasa, que están ubicadas en el interior del tanque, las placas de sedimentación se construyen en PRFV y se instalan con una inclinación de 30° sobre una estructura adosada al cuerpo del tanque (12 placas con separación de 10 cm entre placas), dejando en la parte inferior un espacio aproximado de 0.6 m correspondiente a la zona de decantación de lodos, El volumen de esta zona es de 1.5 m³.

En la zona de sedimentación se produce un frente de velocidad adecuado para la precipitación de sólidos discretos y en suspensión (Densidad alta). En el sedimentación se tiene un tiempo de detención de 62,19 minutos lo cual garantiza un porcentaje mayor de remoción de sólidos en suspensión. La evacuación de éste sedimento acumulado en el fondo del tanque de sedimentación se realiza mediante una válvula de drenaje de 3 pulgadas.

- **FILTRACIÓN**

Se realiza con una batería de filtración compuesta por 4 unidades conectadas en paralelo. Cada filtro tiene un diámetro de 1 m y una altura total de 1.3 m. La filtración es de tipo descendente, esta dotado de una válvulas para facilitar las operaciones de filtrado y lavado. El lecho filtrante esta compuesto de varias capas: Arenas gradadas del tipo silíceas y antracita. El filtro cuenta con flautas (tubería con orificios) que permite la recolección uniforme del flujo. El tiempo de detención es de 14.5 minutos. Cada Unidad tiene un volumen útil de 0.9 m³. Están interconectados para facilitar el retrolavado de las unidades con agua filtrada.

INYECCIÓN DE QUÍMICOS

La inyección de químicos se realiza mediante un sistema de inyección por presión diferencial proveniente de la misma conducción que llega al sistema. Tiene la gran ventaja que no requiere energía eléctrica, puede operar las 24 horas del día sin sufrir desgaste y su dosificación se puede ajustar al caudal requerido ajustando las válvulas de control de caudal de salida. Se realiza mediante 2 dosificadores de cabeza constante y 1 Clorador cilíndrico por arrastre.

Los dosificadores de cabeza constante contemplan un tanque cilíndrico de diámetro de 0.8m, una altura de 1.0 m (CAL) y altura 1.2 m (SULFATO). El volumen para la Cal es de 0.42 m³ y para el Sulfato es de 0.52 m³. El Clorador tiene un diámetro de 6" y una altura de 40cm. La interconexión de estos componentes se realiza con tubería, accesorios y registros de PVC además de esto el sistema esta dotado de una válvula la cual gradúa el caudal del químico.

2.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Los módulos están construidos bajo las normas ASTM A3299 para recipientes en resina de poliéster reforzado con fibra de vidrio, laminado en capas alternativas de Matt 450 g/m² y tejido Owen de 800 g/m². La pintura externa es tipo **geal-coat** con agentes protectores contra los rayos ultravioleta e inclemencias de la intemperie.

Los compartimientos cuentan con una escalera metálica que permite alcanzar una plataforma ubicada sobre los dos tanques, esta con el fin de realizar inspecciones visuales y para labores de mantenimiento. El sistema operativo lo compone un juego de válvulas de accionamiento manual para cada compartimiento. El múltiple de interconexión es en PRFV (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio), de diámetro colector en 4 pulgadas y diámetro de lavado en 3". El tipo de conexión es bridado y todas las aguas de lavado confluyen a un desagüe común.

El sistema contempla dispositivos de operación como:

Sistema de venteo→ Permite la evacuación del aire del sistema de filtrado.

Múltiple de interconexión: Tubería que interconecta todos los módulos de la planta, está fabricado en PRFV (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio) y en PVC, los cuales son de diferente diámetro y longitud dependiendo de la disposición física de la planta.

3. DISEÑO HIDRÁULICO (STAP 4,6 L/S)

3.1. AJUSTE DE PH Y/O COAGULACIÓN

La coagulación es efectuada mediante una agitación intensa del agua, llamada mezcla rápida (Resalto hidráulico), que tiene por objetivo hacer que el coagulante se difunda lo más rápida y uniformemente posible en toda la masa de agua. El grado de agitación está caracterizado por el gradiente medio de velocidad.

En el sistema de tratamiento, la mezcla rápida se realiza empleando un mezclador de flujo pistón, en estos la adición del coagulante se hace al pasar la masa de agua por un punto determinado, en el cual se presenta una fuerte turbulencia inducida por un aparato hidráulico. Este tipo de mezclador es especialmente recomendable para aguas que coagulan por el mecanismo de adsorción, dado que produce gradientes de velocidad altos y tiempos de retención muy cortos, del orden de 1 segundo. La aplicación del coagulante debe hacerse en el punto en el que se está generando el resalto, a lo largo de todo el vertedero triangular.

$$Gm = \sqrt{\frac{\rho * g * h}{\mu * tm}}$$

Gm: Gradiente de mezcla (s⁻¹)

g: aceleracion de la gravedad (9.81m/s)

h: Perdida de energía debido a la fricción

ρ: Densidad del agua (Kg/m³)

μ: Viscosidad dinamica del agua (Ns/m²)

tm: Tiempo de Mezcla

VARIABLES DE DISEÑO

Temperatura del agua (T)	22	(°C)
Densidad (ρ)	997,9	(Kg/m ³)
Viscosidad dinámica (μ)	0,000098	(Ns/m ²)

Altura del vertedero; (P)	0,4	(m)
Ancho del vertedero; (B)	0,26	(m)
Altura de la lamina de agua; (H)	0,1	(m)
Caudal de diseño; (Q)	0,0046	(m ³ /s)

El caudal, por unidad de área del vertedero es:

$$q = \frac{Q}{A} = 0,047 \text{ m}^3/\text{m} - \text{s}$$

La profundidad critica de flujo hc y la profundidad del agua en la sección 1 es:

$$hc = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 0,06 \text{ m}$$

$$h1 = \left(\frac{hc * \sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{hc} + 1,5}} \right) = 0,015 \text{ m}$$

La velocidad en la seccion 1 es:

$$V1 = \frac{q}{h1} = 3,13 \text{ m/s}$$

El numero de Froude es:

$$NF1 = \frac{V1}{\sqrt{g * h1}} = 8,2 \quad ; \text{ Rango optimo, resalto hidráulico estable (4.0 – 9).}$$

La profundidad despues del resalto es:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(\left(\sqrt{1 + 8 * NF_1^2} \right) - 1 \right) = 0,17 \text{ m}$$

$$V_2 = \frac{q}{h_2} = 0,276 \text{ m/s}$$

La perdida de energia en el resalto es:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 * h_1 * h_2} = 0,365 \text{ m}$$

Longitud del resalto:

$$L_j = 6 * (h_2 - h_1) = 0,93 \text{ m}$$

La velocidad media en el resalto:

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2} = 1,703 \text{ m/s}$$

El tiempo de mezcla:

$$tm = \frac{L_j}{V_m} = 0,55 \text{ segundos}$$

Gradiente de mezcla:

$$Gm = \sqrt{\frac{997,9 * 9,81 * 0,365}{0,00097 * 0,55}} = 973,8 \text{ s}^{-1}$$

La unidad de mezcla cumple con los parametros para tal fin. El tiempo de mezcla del quimico es menor a 1 segundo y el gradiente de velocidad es de 2587,9 que garantiza condiciones estables para el resalto hidraulico de la masa de agua.

3.2. FLOCULACIÓN

La floculación hace relación con la aglomeración de las partículas floculentas. (Es el proceso por el cual se desestabilizan los coloides y mediante una agitación suave se garantiza la formación de partículas de mayor tamaño). El proceso de floculación se inicia en el agitador de mezcla y es de tipo hidraulico de flujo horizontal. este deriva su energia de la velocidad que la masa de agua adquiere al pasar por la estructura.

El proceso de floculación se da al paso del agua por una serie de seis camaras con orificios deflectores que facilitan el proceso de mezcla y la posterior aglomeración de partículas (Flocs) a travez del paso por las diferentes camaras.

A continuacion se presenta el procedimiento de diseño:

Datos de entrada

Temperatura (°C)	22
Viscosidad; μ (m ² /S)	0,000098061
Caudal ; Q (m ³ /s)	0,0046
Coefi descarga; Cd	0,8
π	3,1416
θ unidad (m) $T_d = Vol/Q = 1585$ (s)	1.2

Se calcula el tiempo de detencion de la unidad de floculacion mediante la siguiente expresion:

Según la reglamentación técnica; El rango para el tiempo de detención debe estar entre 10-40 minutos. Para el caso de nuestro diseño el valor $T_d=26.41$ minutos.

Las perdidad en cada camara de floculacion se determinan utilizando la siguiente expresion:

$$h = \frac{G^2 * \mu * td}{g}$$

Gm: Gradiente de mezcla (s⁻¹)

g: aceleracion de la gravedad (9.81m/s)

h: Perdida de energía debido a la fricción

tm: Tiempo de detencion

Perdidas en cada cámara:

Se realiza el cálculo de las aéreas correspondientes a los orificios de entrada de cada cámara del floculador y las velocidades que se presentan en los mismos. Los valores que se encuentran resaltados corresponden a los diámetros de entrada a cada cámara.

Cámara 6

Viscosidad	μ (m ² /S)	0,00097
Gradiente	G (s-1)	20
Tiempo de detención	t (s)	264,2
	h6 (m)	10,445

Cámara 5

Viscosidad	μ (m ² /S)	0,00097
Gradiente	G (s-1)	25
Tiempo de detención	t (s)	264,2
	h5 (m)	16,327

Cámara 4

Viscosidad	μ (m ² /S)	0,00097
Gradiente	G (s-1)	30
Tiempo de detención	t (s)	264,2
	h4 (m)	23,5113

Cámara 3

Viscosidad	μ (m ² /S)	0,00097
Gradiente	G (s-1)	35
Tiempo de detención	t (s)	264,2
	h3 (m)	32,00

Cámara 2

Viscosidad	μ (m ² /S)	0,00097
Gradiente	G (s-1)	40
Tiempo de detención	t (s)	264,2
	h2 (m)	41,798

Cámara 1		
Viscosidad	μ (m ² /S)	0,00097
Gradiente	G (s ⁻¹)	45
Tiempo de detención	t (s)	264,2
	h1(m)	52,9

La pérdida de carga total:

ht (m) = h1+h2+h3+h4+h5+h6 =	144,98
-------------------------------------	---------------

Luego se determina el gradiente general para la estructura de floculación; Este debe estar dentro del siguiente rango; (20-70) s⁻¹.

$$G = \sqrt{((g \cdot h) / (\mu \cdot td))} = 30,4 \text{ (s-1)}$$

El numero de colisiones garantiza un mayor rango eficiencia del proceso; se da por el acercamiento que tienen las partículas, un rango considerable para este parámetro es (20.000 a 70.000).

$$\# \text{ Colisiones} = G \cdot Td = 48184$$

6.4. SEDIMENTACIÓN

La sedimentación hace relación con la aglomeración y/o asentamiento de las partículas floculentas. (Es el proceso por el cual se precipita el floc formado mediante la acción de la fuerza de la gravedad). El proceso de sedimentacion se inicia en el interior de la unidad principal (SEDIMENTADOR) y es de tipo hidraulico de flujo ascendente. Este deriva su energia de la velocidad que la masa de agua que adquiere al pasar por la estructura.

El proceso de sedimentacion se da al paso del agua por una camara que contiene pantallas deflectoras que facilita el proceso de presipitacion de los solidos formados (Flocs).

A continuacion se presenta el procedimiento de diseño:

Datos de entrada

θ Sedimentador (m)	2,27
Temperatura (°C)	22
Viscosidad; μ (m2/S)	0,00097
Caudal ; Q (m3/s)	0,0041
Coefi descarga; Cd	0,8
f	0,004
π	3,1416
k	3
# Orificios	45
Caudal unitario ; q (m3/s)	0,000112
θ orificio (m)	0,032

Se calcula el tiempo de detencion de la unidad, mediante la siguiente expresion:

Tiempo de detención

$$T_d = Vol/Q$$

3731,21	(s)
62,19	(min)

Para el caso de nuestro diseño el valor Td =62,19 minutos.

Se determina el radio hidráulico de cada orificio.

$$R_h = \theta/4$$

0,008

Velocidad del orificio

$$V = q/A \qquad V \text{ (m/S)}= 0,14$$

Perdida en cada orificio

$$h_f = k * ((V^2)/(2*g)) \qquad h_f \text{ (m)}= 0,00299$$

Área del orificio

$$A = Q/(\sqrt{((Cd^2)*2*g*h_f)}) \qquad A \text{ (m2)}= 0,0021$$

$$\theta \text{ (m)} = 0,032$$

$$\theta \text{ Comercial (Pulg)} = 1 \frac{1}{2}''$$

Gradiente velocidad

$$G = \sqrt{((f \cdot V^3) / (\mu \cdot 8 \cdot Rh))} \quad \boxed{9,02} \quad (\text{s}^{-1})$$

Gradiente general

$$G = \sqrt{((g \cdot h) / (\mu \cdot td))} \quad \boxed{0,6040} \quad (\text{s}^{-1})$$

Velocidad del reactor

$$V = Q/A \quad \boxed{V \text{ (m/S)}} \quad \boxed{0,0008}$$

Con esta velocidad garantizamos que todas las partículas discretas y la mayoría del material particulado se precipiten al fondo de la unidad.

6.5. FILTRACIÓN

La finalidad del filtro es la retención de las partículas y los microorganismos que no han sido removidos en el proceso de floculación-sedimentación. El tipo de filtro propuesto es de taza declinante y retrolavado de lecho mixto (Arena y Antracita).

Parámetros de entrada

θ Filtro (m)	0,93
Temperatura (°C)	22
Viscosidad; μ (cm ² /S)	0,097
Rata de filt. Promedio (m ³ /día)	413,26
Caudal ; Q (m ³ /s)	0,0041
Coefi descarga; Cd	0,8
f	0,004
π	3,1416
k	3
# Orificios	209,25
θ orificio (m)	0,0037
# Filtros	4
Caudal unitario ; q_u (m ³ /día)	103,32

Se determina el área superficial aplicando la siguiente ecuación:

Área superficial		
$As = qu/q'$	0,25	(m ²)
$r = (As/ \pi)^{0,5}$	0,282	(m)
$d = 2r$	0,564	(m)

V. Fluidización			
$Ga = (g*(\rho s-1)*ds^3)/\mu ^2$			
ρ Arena	2,65		
θ Arena	0,118	Ga Arena =	20463,94
ρ Antracita	1,4		
θ Antracita	0,165	Ga Antracita =	13563,48

V. Mínima de Fluidización			
$V_{min} (Ga) = ((1,3*\mu)/\theta)*(((33,7^2)+0,0408*Ga)^{0,5})-33,7$			
V. min (Ga) Arena (cm/s)	1,343	(m/min)	0,806
V. min (Ga) Antracita (cm/s)	0,665	(m/min)	0,399

Velocidad ascensional o critica

Perdida de carga en el lecho				
$hL = (\rho s-1)*(1-p)*L$				
Longitud Arena	0,27	hL Arena (m)	0,267	(m/min)
Longitud Antracita	0,135			
Longitud Grava	0,24	hL Antracita (m)	0,032	(m/min)

Perdida de carga Total del lecho	hT Lechos Filtrante	0,300
$hT = hL arena + hL antracita$		

Perdida de carga del lecho de soporte	hT Lechos Soporte	0,064
$hL grava = (V*0,4)/3$		

Pérdida total en el filtro (m)	0,364
--------------------------------	-------

La pérdida de carga relacionada no supera el valor de la cabeza de energía ofrecida por la altura de la unidad de sedimentación que se encuentra a 1.56 m por encima de la salida de los filtros.