



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Artes en Ingeniería para el Desarrollo Municipal

**MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA, MEDIANTE UN DISEÑO DE
FILTRACIÓN LENTA, PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SAN
RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA.**

Francisco Armando Morales Aquino

Asesorado por el MSc. Ing. Luis Rodolfo Castro García

Guatemala, noviembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA, MEDIANTE UN DISEÑO DE
FILTRACIÓN LENTA, PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SAN
RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. FRANCISCO ARMANDO MORALES AQUINO
ASESORADO POR EL INGENIERO LUIS RODOLFO CASTRO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO
MUNICIPAL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgén Adoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	MSc. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DIRECTOR	MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	M.A. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	MSc. Ing. Angel Roberto Sic García
SECRETARIA	MSc. Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA, MEDIANTE UN DISEÑO DE FILTRACIÓN LENTA, PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de estudios de postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 7 de diciembre de 2016.

Francisco Armando Morales Aquino



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-030

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Ingeniería para el Desarrollo Municipal titulado: **"MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA, MEDIANTE UN DISEÑO DE FILTRACIÓN LENTA, PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA"** presentado por el Ingeniero Químico **Francisco Armando Morales Aquino**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

Decano

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, noviembre de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-030

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA, MEDIANTE UN DISEÑO DE FILTRACIÓN LENTA, PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA"** presentado por el Ingeniero Químico Francisco Armando Morales Aquino, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Ingeniería para el Desarrollo Municipal; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, noviembre de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-030

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Ingeniería para el Desarrollo Municipal del Trabajo de Graduación titulado **"MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA, MEDIANTE UN DISEÑO DE FILTRACIÓN LENTA, PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA"** presentado por el Ingeniero Químico Francisco Armando Morales Aquino, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, noviembre de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la vida y fe para luchar por mis sueños.
Mis padres	Armando Morales y Rosana Aquino, por apoyarme incondicionalmente para lograr mis metas.
Mis hermanas	Dayan e Ivonne Morales, por apoyarme en todo momento y su cariño especial.
Mi cuñado y sobrina	Luis Fernando y María Fernanda Hernández, por su cariño incondicional.
Mis tíos	Por su muestras de cariño especial
Mis abuelos	Por ser una importante influencia y cariño especial en mi vida.
Familia en general	Por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por permitirme egresar de una de las mejores universidades del país, que no solo brinda conocimientos para la vida, sino que enseña valores y carácter social, para después plasmarlos sin ningún afán de envidia y ser parte del cambio para la sociedad. “Id y enseñar a todos”

Facultad de Ingeniería

Por ser la pionera en el desarrollo técnico-científico del país, y permitirme nutrir de conocimientos para ejercerlos con responsabilidad y con principios y valores de ética profesional.

Asesor

Por apoyarme incondicionalmente en la realización de mi trabajo de investigación.

**Mis amigos y
compañeros de Maestría**

Por haber compartido esos bellos momentos, que no solo fomentaron mi aprendizaje, sino compartir y afianzar nuestros lazos de amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XVII
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	XXI
GLOSARIO	XXIII
RESUMEN.....	XXVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS	XXXI
OBJETIVOS.....	XXXV
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXXVII
INTRODUCCIÓN	XLI
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Descripción de la Municipalidad de San Rafael Las Flores	2
1.2. Prestación de servicios	2
1.3. Análisis de desempeño e indicadores de gestión.....	3
1.4. Información financiera	4
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Criterios para el monitoreo y evaluación según normas de la OMS y la CEPIS	19
2.2. Filtración lenta	26
2.3. Propiedades y descripción de la desinfección mediante filtración lenta	27
2.4. Mecanismos de la desinfección, mediante filtración lenta	29

2.5.	Mecanismos de transporte.....	30
2.6.	Mecanismos de transporte de la filtración lenta.....	31
2.7.	Mecanismo de adherencia.....	31
2.8.	Mecanismo biológico de la desinfección.....	32
2.9.	Subproductos de la desinfección mediante filtración lenta.....	34
2.10.	Equipos e infraestructura.....	34
2.11.	Requerimientos para la instalación.....	38
2.11.1.	Ubicación.....	38
2.11.2.	Aspectos relacionados con la comunidad.....	38
2.11.3.	Concepción del sistema.....	39
2.11.4.	Condiciones del agua cruda.....	39
2.11.5.	Concentraciones altas de turbiedad.....	40
2.11.6.	Material filtrante.....	41
2.11.7.	Operación y mantenimiento.....	41
2.12.	Costos de equipos, operación y mantenimiento.....	43
2.12.1.	Filtro lento de arena y algunos parámetros de diseño.....	43
2.13.	Dimensionamiento.....	47
2.14.	Filtros de carbón activado.....	49
3.	PRESENTACION DE RESULTADOS.....	51
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	73
5.	PROPUESTA DE SISTEMA DE TRATAMIENTO FÍSICO, MEDIANTE FILTRACIÓN LENTA.....	83
	CONCLUSIONES.....	87
	RECOMENDACIONES.....	91
	REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS.....	93
	ANEXOS.....	97

Anexo 1.	Análisis de laboratorio de agua resultado microbiológico antes del filtro lento experimental.....	97
Anexo 2.	Análisis de laboratorio de agua resultado fisicoquímico antes del filtro lento experimenta	98
Anexo 3.	Análisis de laboratorio de agua resultado de metales pesados antes del filtro lento experimental	99
Anexo 4.	Análisis de laboratorio de agua resultado microbiológico después del filtro lento experimental	100
Anexo 5.	Análisis de laboratorio de agua resultado fisicoquímico después del filtro lento experimental	101
Anexo 6.	Análisis de laboratorio de agua resultado de metales pesados, después del filtro lento experimental	102
Anexo 7.	Fórmulas y parámetros de diseño del filtro lento.....	103
Anexo 8.	Diseño de filtro lento modificado plano de corte transversal.....	107
Anexo 9.	Diseño de filtro lento modificado plano de corte longitudinal	108
Anexo 10.	Diseño de filtro lento modificado plano de planta	109
Anexo 11.	Costo real de la tarifa por el servicio de agua potable, en el casco urbano, del municipio de San Rafael las Flores, Santa Rosa.....	110

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Gasto por inversión	4
2.	Información financiera Municipal	5
3.	Presupuesto vrs. gasto año 2016	6
4.	Egresos año 2016	6
5.	Ingresos año 2016	7
6.	Clasificación de localidades por categorías, según recursos	22
7.	Filtro lento de arena en una zona rural	27
8.	Proceso físico de la filtración lenta	31
9.	Tanques de filtración lenta convencionales en áreas rurales.	33
10.	Diseño de filtro lento modificado.....	37
11.	Diseño de un proceso de filtración lenta, corte longitudinal de un FLA	44
12.	Estructura de salida de un filtro lento de arena (FLA)	46
13.	Muestra de cianuro	52
14.	Muestra fisicoquímica y metales pesados	52
15.	Muestra bacteriológica.....	53
16.	Muestras fisicoquímica sanitaria, microbiológica, cianuro y metales pesados.	53
17.	Filtro lento experimental	54
18.	Muestra bacteriológica después del filtro lento experimental	54
19.	Muestra fisicoquímica y metales después del filtro lento experimental.....	55
20.	Estado actual de la red de distribución del servicio de agua potable en el casco urbano.	58

21.	Percepción de olor, sabor, color o turbiedad en el agua potable del casco urbano.....	59
22.	Necesidad de aplicar métodos de filtración lenta, para mejorar la calidad del agua del casco urbano.	60
23.	Se realiza un buen tratamiento adecuado para el servicio de agua potable, en el casco urbano.	61
24.	La municipalidad debe de invertir en proyectos, para mejorar la calidad y cantidad del agua en el casco urbano.....	62
25.	Resultado de analisis bacteriológico antes y después del tratamiento de filtración lenta.	63
26.	Porcentaje de eficiencia y disminución de carga contaminante del experimento piloto de filtración lenta.....	64
27.	Parámetros fisicoquímicos antes y después del filtro lento experimental.....	65
28.	Porcentaje de eficiencia y disminución de parámetros fisicoquímicos del experimento piloto de filtración lenta.....	66
29.	Elementos fisicoquímicos antes y después del filtro lento experimental.....	67
30.	Porcentaje de eficiencia y disminución de elementos fisicoquímicos del experimento piloto de filtración lenta.....	67
31.	Elementos fisicoquímicos considerables antes y después del filtro lento experimental.	68
32.	Porcentaje de eficiencia y disminución de elementos considerables fisicoquímicos del experimento piloto de filtración lenta.....	69
33.	Resultados de metales pesados, antes y después del filtro lento experimental.....	70
34.	Porcentaje de disminución de metales pesados antes y después del proceso de filtración lenta experimental.....	71

TABLAS

I.	VARIABLES E INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN	XXXIX
II.	GASTO POR INVERSIÓN E INDICADORES DEL GASTO	3
III.	REGLONES E INGRESOS MUNICIPALES	5
IV.	GUÍA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, SEGÚN LA OMS	20
V.	PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUACOMPONENTES OPERACIONALES	21
VI.	RESTRICCIONES DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA EN FUNCIÓN DEL GRADO DE DESARROLLO DE LAS LOCALIDADES.....	22
VII.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FILTRACIÓN LENTA	24
VIII.	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS PROCESOS EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DE LA FUENTE	35
IX.	LECHOS DE SOPORTE Y MEDIOS FILTRANTES	36
X.	VELOCIDAD DE FILTRACIÓN DE ACUERDO CON EL NÚMERO DE PROCESOS PRELIMINARES.....	36
XI.	DESCRIPCIÓN DE FACTORES DE DISEÑO, COSTOS Y OPERACIÓN	43
XII.	GRANULOMETRÍA DE LECHO FILTRANTE	45
XIII.	FILTRACIÓN CONVENCIONAL, TIPOS DE FILTROS	50
XIV.	ESTADO ACTUAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL CASCO URBANO.....	57
XV.	PERCEPCIÓN DE OLORES, SABOR, COLOR O TURBIEDAD EN LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA POTABLE DEL CASCO URBANO.	58
XVI.	APLICACIÓN DE MÉTODOS DE FILTRACIÓN ADECUADOS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CASCO URBANO.	59
XVII.	SE REALIZA UN BUEN TRATAMIENTO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL CASCO URBANO.....	60
XVIII.	LA MUNICIPALIDAD DEBE DE INVERTIR MÁS EN PROYECTOS, PARA MEJORAR LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL CASCO URBANO....	61

XIX.	Resultados microbiológicos antes y después del experimento piloto de filtración lenta.....	63
XX.	Parámetros fisicoquímicos antes y después del filtro lento experimental.	65
XXI.	Elementos fisicoquímicos antes y después del filtro lento experimental.	66
XXII.	Elementos fisicoquímicos considerables antes y después del filtro lento experimental.	68
XXIII.	Resultados de metales pesados antes y después del experimento piloto de filtración lenta	69
XXIV.	Costo desglosado diseño y construcción de filtro lento	85
XXV.	Parámetros y diseño para filtros lentos, según el manual de la CEPIS	105
XXVI.	Diseños de capa soporte para filtros lentos, según el manual de la CEPIS.....	105

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolo/Abreviatura	Significado
LMA	Límite Máximo Aceptable
LMP	Límite Máximo Permisible
mg/l	Miligramo por litro
NMP	Número más probable
UFC	Unidades formadoras de colonias
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OMS	Organización Mundial de la Salud
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
NTU	Unidades Nefelometricas de Turbiedad
UptCo	Unidades de Platino Cobalto
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
NGO	Norma Guatemalteca Obligatoria
ERIS	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
FLA	Filtración lenta de arena
DAFIM	Dirección Administrativa Financiera Municipal
DMM	Dirección Municipal de la Mujer

GLOSARIO

- Alícuota** Es una parte que se toma de un volumen (alícuota líquida) o de una masa (alícuota sólida) iniciales, para ser usada en una prueba de laboratorio, cuyas propiedades físicas y químicas, así como su composición, representan las de la sustancia original.
- Turbiedad** Falta de transparencia de un líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad.
- Clorinadores** Son aparatos industriales o artesanales que contienen una mezcla de cloro líquido de un cilindro con el agua, primordialmente se utilizan las tabletas de hipoclorito de calcio, es el método más económico y sencillo de usar.
- Escherichia coli (E. coli)** Es la bacteria anaerobia facultativa comensal más abundante de la microbiota; asimismo, es uno de los organismos patógenos más relevantes en el hombre, tanto en la producción de infecciones gastrointestinales como de otros sistemas (urinario, sanguíneo, nervioso).

Coliformes totales	Grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.
Carbón activado	Es un término genérico que describe una familia de adsorbentes carbonáceos altamente cristalinos y una porosidad interna altamente desarrollada, El carbón activado se utiliza en la extracción de metales , la purificación de agua potable, entre otros usos.
Filtración lenta	Es el sistema de tratamiento de agua más antiguo del mundo. Copia el proceso de purificación que se produce en la naturaleza cuando el agua de lluvia atraviesa los estratos de la corteza terrestre y forma los acuíferos o ríos subterráneos.
Granulometría	Método analítico para determinar el grado de finura de las partículas de los sólidos granulares o pulverulentos, usando diferentes tamices superpuestos, en orden de diámetro de poro o malla, empieza por el de menor diámetro desde abajo.

Sedimentador	Es un removedor de residuos sólidos sedimentables y material flotante, para disminuir la concentración de sólidos suspendidos.
Experimento piloto	El experimento o prueba piloto es el nombre con el cual se denomina a aquella prueba inicial, es decir, que se lleva a cabo por primera vez y que se desarrolla, con un fin experimental para comprobar determinadas situaciones, si son viables o no, y el grado de efectividad del proceso con fines científicos, en una escala experimental.
Dureza del agua	Es la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación plantea la solución de un sistema de filtración lenta, que venga ayudar a mejorar la calidad del agua para consumo humano, que se distribuye en el casco urbano del municipio de San Rafael Las Flores, debido a que no cuenta con ningún método físico para tratar y mejorar la calidad del agua, el único tratamiento que se aplica es la cloración catalogada como método químico de desinfección.

Anuente a ello, se denota la necesidad de un tratamiento físico idóneo para tratar el agua en el casco urbano, debido a que en el casco urbano es abastecido por dos tipos de fuentes; el primero de origen natural o nacimientos los cuales son 3, el otro de un sistema mecánico o bombeo, por lo cual éstas fuentes se unen a un tanque de captación y distribución, pero previo a ello no contempla ninguna etapa de filtración para eliminar sustancias nocivas como turbiedad, sedimentos, olor, sabor y color en el agua, ya que algunos usuarios del casco urbano se quejan de presencia de estos contaminantes en el agua que llega a sus hogares, minimizando así el uso de cloro residual y siendo más eficientes en el proceso de cloración.

De igual manera, se realizó un experimento de filtración lenta piloto a escala, se utilizaron 3 capas de material filtrante, (arena fina, carbón activado y grava), de diferentes alturas y diámetro de material filtrante, de igual manera se realizaron análisis de laboratorio bacteriológicos, fisicoquímicos y de metales pesados, mostrando por medio de gráficos, la disminución porcentual y eficiencia del filtro lento experimental, logrando resultados esperados, y

comprobando la necesidad de la aplicación de métodos de filtración física, como un método sencillo, económico y eficaz como la filtración lenta.

Con base a los análisis técnico-científicos de agua, tanto microbiológicos, fisicoquímicos y de metales pesados, se comprobó que los resultados obtenidos con los parámetros que establece la norma guatemalteca de agua potable COGUANOR NGO 29001, los valores permisibles, no fueron sobrepasados, de igual manera se disminuyeron considerablemente varios contaminantes nocivos en el agua, tanto bacterias, parámetros y elementos químicos como físicos, demostrando la eficiencia y eficacia del filtro lento, por medio de porcentaje de disminución considerables, presentados por gráficos estadísticos durante el experimento piloto.

Muestra su porcentaje de disminución antes y después de la aplicación del filtro piloto experimental, de cada análisis de agua, mostrando la capacidad de eficiencia del método de filtración lenta convencional, beneficiando así a los 3 916 habitantes que residen en el casco urbano del municipio y que reciban agua, tanto de cantidad como calidad, basados en las competencias propias de la municipalidad.

Con la introducción de un método de filtración lenta convencional se pretende minimizar el flagelo de mal olor y sabor (carbón activado) de igual manera mitigar la turbiedad, color y sedimentos (arena granulométrica) en el agua del casco urbano.

Donde se aplicó criterios profesionales de diseño, se realizó un trabajo de investigación que servirá a la municipalidad de San Rafael Las Flores, para velar por la calidad del agua, dándole cumplimiento al Artículo 68 de Código Municipal y prestar un servicio técnico profesional a la población, aplicando normas y estándares de calidad de agua nacionales como internacionales, como la Norma Guatemalteca de Agua Potable (COGUANOR NGO 29001),

criterios de diseño de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Organización Mundial de la Salud(OMS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Las municipalidades y demás instituciones públicas o privadas encargadas del manejo y abastecimiento de agua potable, tienen la obligación de purificarla y tratarla en base a los métodos que sean establecidos por el Ministerio de Salud, con la respectiva aplicación de normas, técnicas y métodos nacionales como internacionales, según sea el caso.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

Descripción:

Como parte de los servicios públicos que brinda la municipalidad de San Rafael Las Flores, se encuentra el servicio de agua potable, dicho sistema no cuenta con ninguna oficina de aguas y drenajes, menos está creada la oficina de servicios públicos, por lo cual el único control es en cuestión de pagos cuyos ingresos son recolectados por la auxiliar de tesorería, para la parte de mantenimiento se cuentan con tres fontaneros, pero ellos se encargan de las reparaciones en las tuberías y tanques de abastecimiento donde no existe un manual de mantenimiento preventivo en los sistemas de agua.

Se cuenta con la certificación de municipio saludable o agua segura otorgada por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), evaluada por la unidad de saneamiento ambiental del ministerio, pero dicha certificación de municipio saludable es única y exclusivamente por tener clorinadores en todos los sistemas de distribución y mantener sin sustancias patógenas el agua (E. coli y coliformes totales), pero actualmente esta certificación está en juego, debido a que los sistemas de cloración ya no son suficientes para eliminar la presencia de bacterias nocivas en el agua, debido a que la turbiedad en el agua forma esporas resistentes y no son eliminables por los clorinadores artesanales, y necesitan gran cantidad de cloro excediendo lo que rige la norma, debido a ello es necesario sistemas de filtración físicos para eliminar turbiedad, sedimentos, colores, malos olores y sabores, antes de llegar al proceso de desinfección químico como el caso de los clorinadores

artesanales e industriales, minimizando así el uso de cloro residual y siendo más eficientes en el proceso de cloración.

De la misma manera el municipio de San Rafael Las Flores no cuenta con ningún sistema de tratamiento físico para mejorar la calidad del agua, se une a la mayoría de municipios de Guatemala, donde no le dan importancia a los sistemas de tratamiento físico, en el municipio si existe el tratamiento químico como es la cloración, pero no un tratamiento físico, debido a que en el casco urbano lo abastecen dos tipos de sistemas uno proveniente de 3 nacimientos y el otro por medio de un pozo mecánico, por lo cual estos se unen en un tanque de distribución, pero no hay un previo tratamiento físico antes de ser distribuidos a los usuarios, por ello algunos usuarios se quejan de que el agua llega a su domicilio con cierto olor, color y contenido de tierra o arena.

Formulación del problema

Debido a la deficiencia, desconocimiento y falta de voluntad por parte de las autoridades municipales en la aplicación de métodos físicos de tratamiento de agua se plantean las siguientes interrogantes:

Pregunta central

¿Qué sistema de tratamiento físico es idóneo para eliminar la turbiedad, color, olor y sabor en el agua entubada del casco urbano del municipio de San Rafael Las Flores?

El sistema más adecuado sería un tratamiento de filtración lenta convencional con tres granulometrías distintas de materiales, donde se minimice el tamaño del material filtrante (arena fina, carbón activado o antracita y grava) esto simularía un medio filtrante natural y mejorado, produciendo así agua de calidad en el casco urbano.

Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son las causas que hacen necesario el diseño de un sistema que elimine la turbiedad, color, olor y sabor del agua del casco urbano del municipio de San Rafael Las Flores?

La causa primordial de la necesidad de un diseño de filtración lenta es debido a que el tanque de distribución en el casco urbano es alimentado por tres nacimientos de agua, el resto es de un pozo mecánico, pero no hay un previo tratamiento de filtración lenta cuando estos se unen, para eliminar cierto exceso de turbiedad, color y sedimentos al igual que olores y sabores no deseados en el agua, debido al exceso de sulfatos (SO_4), según estudios previos, por lo cual hace necesario un método idóneo físico como medio filtrante convencional y contenedor de la turbiedad, sedimentación y eliminación de sabor, color y olor que pudiera acarrear el agua, primordialmente en la época de invierno.

- ¿Qué efectos sanitarios tiene el actual sistema (análisis de laboratorio microbiológicos, metales pesados y fisicoquímico)?

Debido a la problemática en el tema del agua de tener no solo agua en cantidad sino calidad, algunos estudios primordialmente bacteriológicos han dado resultados adversos donde existe la proliferación de bacterias en el agua, con presencia de E. coli y coliformes totales ya que según la norma COGUANOR NGO 29001 no deben de aparecer en el agua para consumo humano.

- ¿Cuáles serían los beneficios que aportaría para el servicio actual de agua la implementación de un sistema de tratamiento físico de filtración lenta?

Un mejor tratamiento de filtración física en el agua, lo cual se caracteriza por un mejor medio filtrante absorbente y adsorbente de sustancias patógenas, disminución de la turbiedad y eliminación de malos olores, colores y sabores en el agua, creando así un mejor sistema de tratamiento por ende, calidad en el agua, de igual forma una reducción considerable en el consumo de cloro, ya que los filtros lentos también tienen como función la eliminación de algunas sustancias patógenas contenidas en los sólidos suspendidos.

OBJETIVOS

General

Establecer un sistema de tratamiento físico, mediante filtración lenta, para eliminar sustancias contaminantes, en el agua entubada del casco urbano del municipio de San Rafael Las Flores, Departamento de Santa Rosa.

Específicos

1. Describir causas, parámetros y elementos fisicoquímicos, así como resultados de caracterización de agua (análisis fisicoquímicos y bacteriológicos)
2. Identificar los efectos e impactos sanitarios que presenta el sistema actual (análisis de laboratorio en el agua, fisicoquímicos, microbiológicos y metales)
3. Especificar los beneficios que aportaría al servicio de agua la implementación de un sistema de tratamiento físico de filtración lenta.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

Es un estudio experimental, mixto y de carácter explicativo. El cual se obtuvieron análisis de laboratorio fisicoquímicos, metales pesados y bacteriológicos, para saber si sobrepasan los límites aceptables y permisibles recomendados por la norma COGUANOR NGO 29001, los parámetros de turbiedad, color, sabor, olor y algún otro contaminante que pueda existir en los presentes análisis, planteando soluciones como filtración física, para erradicar este flagelo sanitario, el cual probara su eficiencia por medio de un experimento piloto.

Variables dependientes (efecto)

Olor, color, sabor y turbiedad en el agua (parámetros fisicoquímicos, metales y bacteriológicos fuera de rango establecido por la norma COGUANOR NGO 29001).

Variables independientes (causas)

Diseño de un sistema de tratamiento físico (filtración lenta + carbón activado) que no sobrepase los límites máximos permisibles y aceptables (LMA y LMP) de la norma COGUANOR NGO 29001, con base a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en el agua.

Variables del trabajo de investigación

Con los resultados de la investigación, se determinara el método de eliminación de los parámetros fisicoquímicos contaminantes en el agua del

casco urbano, del municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa. De igual forma si es aceptable el diseño de un sistema de filtración lenta, para esto se realizó un muestreo, con análisis de laboratorio fisicoquímicos, metales pesados y microbiológicos en las entradas, tanto del agua proveniente del pozo (piscinas), como la de los nacimientos (morales 1,2, cuevitas y vados); se tomaron muestras puntuales en la salida del tanque de distribución, dependiendo de los resultados obtenidos por el laboratorio para los parámetros de turbiedad, color, olor, sabor y algún otro contaminante presente en el agua, se procedió a concluir qué tipo de diseño de filtración lenta es el más adecuado e idóneo para disminuir o eliminar estos contaminantes nocivos en el agua y para la salud de las 4 000 personas del casco urbano, primordialmente en la época de invierno.

También se realizó el proceso de muestreo y análisis de laboratorio fisicoquímico, bacteriológico y de metales pesados en el proceso de investigación, se realizaron análisis de los resultados, interpretación de resultados, conclusiones y recomendaciones de los mismos, mencionando ventajas y desventajas del sistema de filtración lenta, de igual forma se hizo una breve descripción de la operación y el mantenimiento más adecuado que requirió el sistema de filtración propuesto, así como el proceso de diseño y el dimensionamiento del mismo, con esto se realizó un trabajo de investigación confiable, valido con instrumentos y herramientas estadísticas (gráficas y tablas), que minimicen los errores además de la aplicación de métodos y técnicas como experimentos pilotos, recopilando las muestras de agua con todos los estándares y técnicas nacionales como internacionales en la recolección, preparación, traslado y el análisis por laboratorios certificados.

Tabla I. **Variables e indicadores de la investigación**

Nombre de variable	Escala de medición	Tipo de variable	Indicadores
Turbiedad	Razón	cuantitativa	Unidades nefelométricas de turbidez(NTU)
Olor y sabor	Razón	cualitativa	Rechazable o no
color	Intervalo	cuantitativa	Unidades de platino cobalto (UptCo)
Análisis microbiológico, (coliformes totales y presencia de E. coli)	Intervalo	cuantitativa	Número más probable (NMP/100ml)
Análisis fisicoquímico y de metales pesados	Intervalo	cuantitativa	Miligramo sobre litro (mg/l)

Fuente: elaboración propia.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso que no se le ha puesto la atención debida, tanto por las autoridades nacionales, municipales, así como la población, haciendo de estos últimos un uso y manejo inadecuado del mismo, contribuyendo al decremento en su conservación y protección, siendo esta una obligación tanto de las autoridades como de los pobladores en general, ya que la responsabilidad de cuidar el vital líquido es un legado, para garantizar la subsistencia de las próximas generaciones, de igual manera obligación de las autoridades a la protección, tratamiento y conservación de los sistemas de agua tanto en áreas urbanas como rurales.

El presente trabajo de investigación plantea la solución de tener agua de calidad en el casco urbano, del municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa, por ello se contempla la necesidad de la innovación sistemática de un método de filtración físico, para minimizar ciertos parámetros contaminantes contenidos en el agua, mejorando significativamente la calidad del agua en el casco urbano y la mejora del servicio de agua potable a la población.

En el casco urbano al igual que en el municipio de San Rafael Las Flores, no cuenta con ningún método físico para tratar y mejorar la calidad del agua, el único tratamiento que se aplica es la cloración catalogado como método químico de desinfección, por ello se denota la necesidad de un tratamiento físico idóneo para tratar el agua en el casco urbano, debido a que en el casco urbano es abastecido por dos tipos de fuentes; el primero de origen natural o nacimientos los cuales son 3 y el otro de un sistema mecánico o bombeo, por lo cual estas fuentes se unen a un tanque de captación y posteriormente otro de

distribución, pero previo a ello no contempla ninguna etapa de filtración para eliminar sustancias nocivas como turbiedad, sedimentos, olor, sabor y color en el agua, ya que algunos usuarios del casco urbano expresan su malestar por la presencia de estos contaminantes en el agua que llega a sus hogares.

El municipio cuenta con la certificación considerada como municipio saludable o agua segura, otorgada por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), pero dicha certificación de municipio saludable es exclusivamente por tener clorinadores en todos los sistemas de agua en las comunidades librándolos de sustancias patógenas, la certificación está en juego debido a que la cloración no es suficiente para eliminar la totalidad de los agentes patógenos nocivos contenidos en el agua, causa de ello es que tanto la turbiedad como algunos sedimentos contenidos en el vital líquido formas esporas resistentes, que los sistemas de cloración artesanales e industriales no los pueden reducir menos eliminar.

Por ello es necesario sistemas de filtración previos, como tratamientos de filtración lenta, para eliminar turbiedad, sedimentos, colores, malos olores y sabores, antes de llegar al proceso de desinfección química como el caso de la cloración, minimizando así el uso de cloro residual y siendo más eficiente los clorinadores industriales y artesanales.

Con base a los análisis técnico-científicos de agua, tanto microbiológicos, fisicoquímicos y de metales pesados, se comprobó que los resultados obtenidos con los parámetros que establece la norma guatemalteca de agua potable COGUANOR NGO 29001, los valores permisibles, no fueron sobrepasados, de igual manera se disminuyeron considerablemente varios contaminantes nocivos en el agua, tanto bacterias, parámetros y elementos químicos como físicos, mostrando su porcentaje de disminución antes y después de la aplicación del filtro piloto experimental, de cada análisis de agua, mostrando la capacidad de

eficiencia del método de filtración lenta convencional, beneficiando así a 4 000 habitantes que residen en el casco urbano del municipio y que reciban agua tanto de cantidad como calidad, basados en las competencias propias, (Artículo 68 del Código Municipal, inciso a).

Con la introducción de un método de filtración lenta convencional se pretende minimizar el flagelo de mal olor y sabor (carbón activado) de igual manera mitigar la turbiedad, color y sedimentos (arena granulométrica) en el agua del casco urbano, aplicando criterios profesionales de diseño realizando un trabajo de investigación que servirá a la municipalidad de San Rafael Las Flores, para velar por la calidad del agua, dándole cumplimiento al Artículo 68 de Código Municipal y prestar un servicio técnico profesional a la población, aplicando normas y estándares de calidad de agua nacionales como internacionales, como la Norma Guatemalteca de Agua Potable (COGUANOR NGO 29001), criterios de diseño de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Organización Mundial de la Salud(OMS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Las municipalidades y demás instituciones públicas o privadas encargadas del manejo y abastecimiento de agua potable, tienen la obligación de purificarla y tratarla con base a los métodos que sean establecidos por el Ministerio de Salud, con la respectiva aplicación de normas, técnicas y métodos nacionales como internacionales según sea el caso.

El gobierno municipal de San Rafael Las Flores, cuenta con un presupuesto establecido para saneamiento ambiental, en el renglón salud y ambiente, dicho rubro es de Q. 2 123 350.76, y de Q 8 472 918.93 en los servicios públicos, por lo cual si es factible, debido a que existen los medios económicos para la realización de este tipo de diseño de filtros lentos, al igual que el área necesaria para la realización de los mismos.

El trabajo comprende de diferentes capítulos, de los cuales se hará una breve reseña, en antecedentes describe sobre la situación municipal y otros proyectos que se hallan llevado a cabo, respecto al diseño de sistemas de filtración física en el ámbito nacional como internacional, aplicando técnicas como factores de diseño para la elaboración del mismo, se conoce el problema general y las preguntas de investigación por medio del planteamiento del problema, con enfoque especial a la problemática del casco urbano del municipio de San Rafael Las Flores, respecto a la calidad del agua, se justifica el contenido de la investigación por medio de artículos en el Código Municipal y otras normas nacionales como internacionales, (Artículo 68 Código Municipal inciso a, COGUANOR NGO 29001, OMS, OPS, y Código de Salud)

Los objetivos son congruentes a la investigación, basados en la problemática general y la solución del problema, se planteó la necesidad de cubrir la investigación con una serie de factores de diseño, y elementos necesarios para la elaboración del método adecuado de tratamiento, se conoce el marco teórico como base para el trabajo de investigación, por medio del conocimientos y escritos de organizaciones tan importantes como la OPS, CEPIS y la OMS.

El marco teórico es fundamental como reseña histórica de la resolución de factores tecno-científicos y diseños innovadores de métodos de tratamientos de filtración lenta, de igual forma se contempló un marco metodológico dinámico y congruente con el trabajo de investigación fundamentado con técnicas y análisis de la información, técnicas como encuestas, datos estadísticos y otras herramientas estadísticas para complementar de manera profesional la viabilidad, confianza, certeza, y fiabilidad de la investigación, se elaboró una planificación adecuada de factibilidad del diseño de investigación con elementos como costos, recursos humanos, equipos entre otros bienes e insumos necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación y propuesta final.

En la presentación de resultados, a través de tablas y gráficos, se muestran los resultados de las encuestas, tanto al personal de la municipalidad como la población del casco urbano, con una diversidad de preguntas que notaron el grado de conocimiento, percepción e involucramiento de los usuarios, respecto al servicio de agua potable.

Se realizaron análisis de agua antes del filtro lento, específicamente en la salida del tanque de distribución, análisis de laboratorio microbiológicos, fisicoquímicos y de metales pesados, de igual manera los mismos análisis de agua, pero en la salida del filtro lento experimental, donde se utilizaron herramientas estadísticas como gráficos y tablas, mostrando tanto el grado de reducción como el porcentaje de disminución de cada bacteria, parámetro y elemento contaminante, que se encontró en el agua que se distribuye en el casco urbano, comprobando, así el grado de eficiencia del filtro piloto experimental, de filtración lenta de multicapas.

En la discusión de resultados, se hizo un análisis de causa y efecto de cada tabla y gráfico, desde las encuestas realizadas al jefe de servicios generales de la municipalidad de San Rafael Las Flores, como a los usuarios del servicio de agua potable, de la misma manera se hizo un análisis técnico-científico de los resultados que arrojaron los análisis de laboratorio microbiológicos, fisicoquímicos y de metales pesados antes y después del filtro lento experimental, donde se mostró como dato relevante el porcentaje de eficiencia y disminución de la caracterización del agua primordialmente la carga contaminante, bacterias, parámetros y elementos químicos como físicos, contenidos en el agua para consumo humano, donde se mostró la eficiencia y eficacia del filtro lento, por medio de la disminución porcentual de cada contaminante durante el experimento piloto.

La propuesta de investigación, se enfocó como solución, para mejorar la calidad del agua en el casco urbano, la introducción de una tecnología sanitariamente adecuada, como el uso del método de filtración lenta convencional, con materiales accesibles, haciendo de este método, un sistema adecuado, económico y eficiente para tratar y mejorar la calidad del agua, y respetar las norma COGUANOR NGO 29001 y otras de carácter internacional, que regularizan la calidad del agua para consumo humano.

Las conclusiones y recomendaciones, se elaboraron con base a los objetivos planteados, los resultados y su interpretación, de cada encuesta y análisis técnico-científico de agua (bacteriológico, fisicoquímico y metales pesados), todo lo relacionado con el mejoramiento de la calidad del agua potable, del casco urbano.

En los anexos, se colocaron todos los estudios de agua que se realizaron, del antes y después del filtro lento experimental, precios de la tarifa real propuesta y cálculos de diseño de la propuesta de filtro lento.

La investigación se elaboró con principios de profesionalización, apegándose a los lineamientos de la maestría en Ingeniería para el Desarrollo Municipal de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, elaborando un experimento piloto de un sistema de filtración lenta, que venga a mejorar la calidad del agua del casco urbano del municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa, siendo pioneros e innovando en sistemas convencionales de filtración física del agua en el municipio y beneficiando a la población en general.

1. ANTECEDENTES

Se contempló en el presente capítulo una reseña del municipio y municipalidad de San Rafael Las Flores, Santa Rosa, en la prestación de los servicios públicos, análisis de indicadores de gestión y la información financiera, con el objetivo de conocer la capacidad técnica y económica con la que cuenta la municipalidad, y así llevar a cabo el proyecto de mejoramiento de calidad del agua en el casco urbano del municipio, por medio de un sistema de filtración lenta.

El municipio de San Rafael Las Flores, se localiza al noreste del departamento de Santa Rosa entre latitudes 14° 20' y 14°30' y las longitudes 90° 15' y 90° 05,' según coordenadas geográficas. El departamento de Santa Rosa cuenta con 14 municipios y tiene como cabecera departamental el municipio de Cuilapa, cuenta con una extensión territorial de 84 kms cuadrados aproximadamente.

La población para el municipio es de 14 069 habitantes de los cuales 3 787 viven en el área urbana y 10 282 viven en el área rural (centro de salud, 2016). El recurso hídrico más apropiado para abastecer de agua el municipio son los manantiales, debido a su facilidad de conducción en sistemas por gravedad y su abundancia en la región, aunque actualmente el casco urbano cuenta con un pozo mecánico.

Los recursos hídricos disponibles de San Rafael Las Flores se basan en precipitaciones medias anuales de 1 500 mm con una cantidad de 120 días de lluvia al año, se han localizado alrededor de 25 manantiales, además cuenta

con una hermosa laguna, conocido como la laguna de Ayarza (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia SEGLEPLAN, 2011).

En el casco urbano del municipio de San Rafael Las Flores, se tiene contabilizado 1091 servicios de agua entubada (Dirección Administrativa y Financiera Municipal DAFIM, 2016).

1.1. Descripción de la municipalidad de San Rafael Las Flores

Un gobierno municipal es una corporación autónoma de derecho público, con personalidad jurídica y patrimonio propio, a quien corresponde la administración de una comuna o agrupación de comunas y cuya finalidad es satisfacer las necesidades de la comunidad local y asegurar su participación en el progreso económico, social y cultural de la comuna o agrupación de comunas. Está constituida por un alcalde y un concejo comunal electos directamente por un periodo de 4 años, renovable.

Dentro del sistema administrativo, la municipalidad no cuenta con una oficina exclusivamente para tratar el tema de agua potable, lo absorbe la oficina de servicios generales, actualmente cuenta con 3 manantiales o nacimientos y un pozo mecánico que surte al casco urbano del vital líquido.

1.2. Prestación de servicios

Según el Artículo 68 del Código Municipal competencias propias del municipio, se pueden enumerar las siguientes:

La municipalidad de San Rafael Las Flores, actualmente presta los servicios al municipio de:

- Agua entubada (mantenimiento, construcción y otros.)

- Saneamiento municipal (basureros y recolector de basura) (drenajes)
- Apoyo a la educación (pago de maestros, construcción de infraestructura, ayudas varias)
- Apoyo a la salud (pago de enfermeros, ayudas varias)
- Subsidio alumbrado público
- Mantenimiento ornato municipal
- Mantenimiento carreteras (red vial, mejoramientos y mantenimientos)
- Y otras competencias propias y delegadas del municipio incluidas en el Código Municipal.

La municipalidad en la evolución de los años ha venido creciendo mejorando la calidad de los servicios básicos.

1.3. Análisis de desempeño e indicadores de gestión

A continuación se hará una breve descripción del gasto por inversión e indicadores del gasto de la municipalidad de San Rafael Las Flores, del departamento de Santa Rosa.

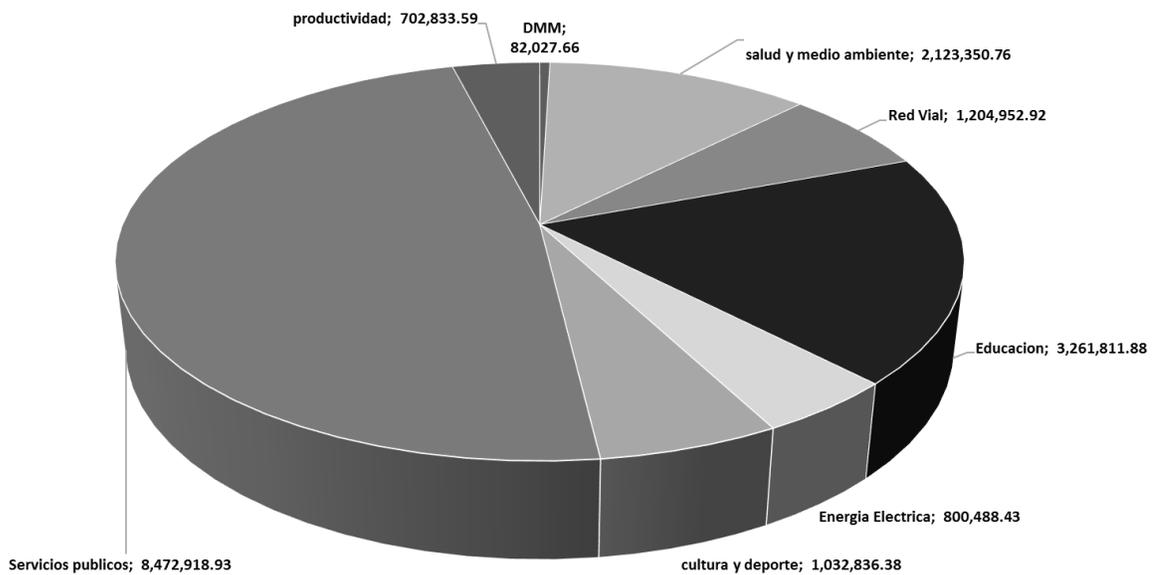
Tabla II. **Gasto por inversión e indicadores del gasto**

<i>Renglón</i>	<i>Gasto</i>	<i>beneficiarios</i>	<i>Costo X eficiencia por persona</i>
DMM	Q 82 027.66	7 017	Q 11.69
Salud y ambiente	Q 2 123 350.76	14 069	Q 150.92
Red Vial	Q 1 204 952.92	14 069	Q 85.65
Educación	Q 3 261 811.88	14 069	Q 231.84
Energía Eléctrica	Q 800 488.43	14 069	Q 56.90

Cultura y deporte	Q 1 032 836.38	14 069	Q 73.41
Servicios Públicos	Q 8 472 918.93	14 069	Q 602.24
Productividad	Q 702 833.59	14 069	Q 49.96

Fuente: Dirección Administrativa y Financiera Municipal, DAFIM, 2016).

Figura 1. **Gasto por inversión**



Fuente: Dirección Administrativa y Financiera Municipal, DAFIM, 2016).

1.4. Información financiera

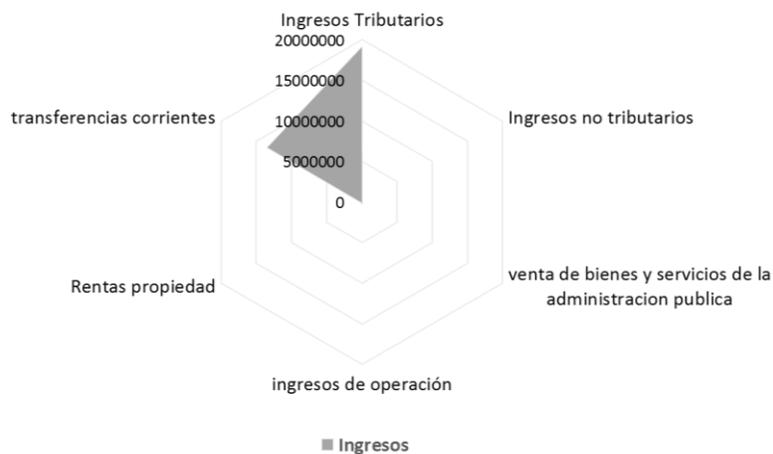
La municipalidad actualmente trabaja con ingresos repartidos de la siguiente forma:

Tabla III. **Renglones e ingresos municipales**

<i>Ejecución de ingresos 2016</i>	
<i>Renglón</i>	<i>Ingreso</i>
Ingresos tributarios	Q.19 133 070.47
Ingresos no tributarios	Q. 16 005.00
Venta de bienes y servicios de la administración pública	Q. 53 333.00
Ingresos de operación	Q. 247 706.14
Rentas de la propiedad	Q. 86 289.33
Transferencias corrientes	Q. 13 448 344.31
Total	Q. 32 984 748.25

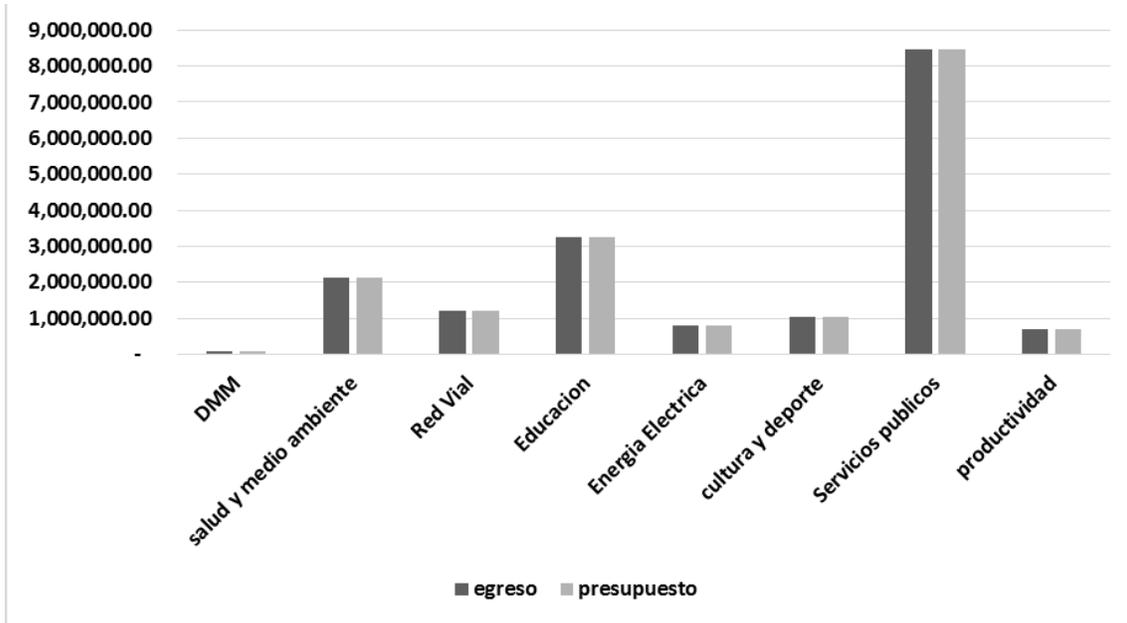
Fuente: Dirección Administrativa y Financiera Municipal, DAFIM, 2016).

Figura 2. **Información financiera municipal**



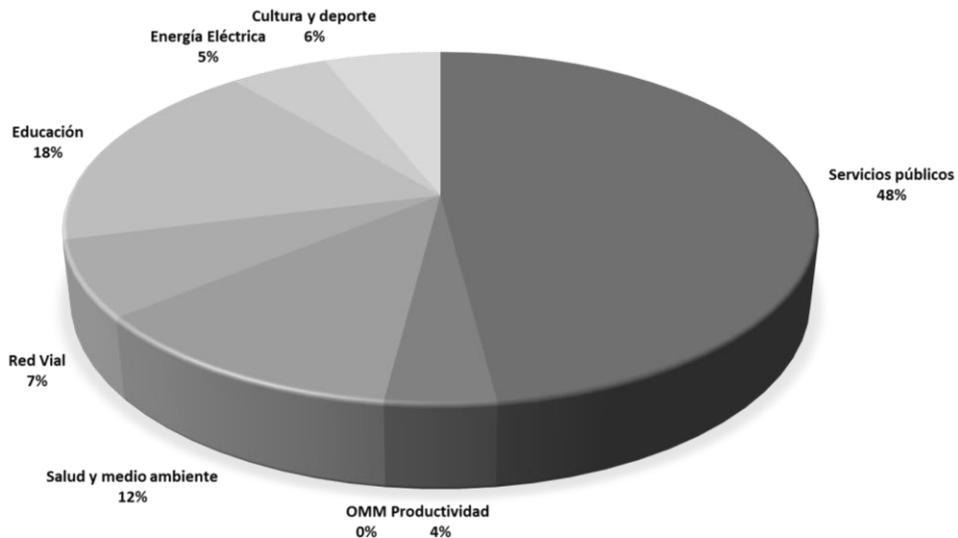
Fuente: Dirección Administrativa y Financiera Municipal, DAFIM, 2016).

Figura 3. Presupuesto vrs. gasto año 2016



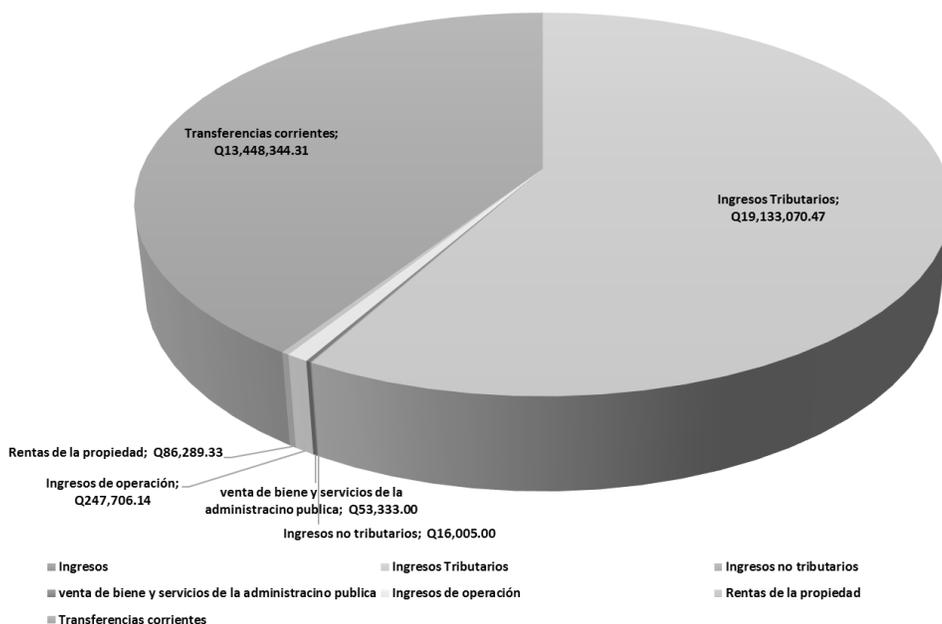
Fuente: Dirección Administrativa y Financiera Municipal, DAFIM, 2016).

Figura 4. Egresos año 2016



Fuente: Dirección Administrativa y Financiera Municipal, DAFIM, 2016).

Figura 5. Ingresos año 2016



Fuente: Dirección Administrativa y Financiera Municipal, DAFIM, (2016).

En Guatemala, los servicios de agua potable se abastecen de aguas superficiales en un 70 por ciento para las áreas urbanas y 90 por ciento para el área rural, los porcentajes restantes son cubiertos con agua subterránea. El pronóstico de la demanda de agua potable (urbana y rural) para el año 2017 alcanzaría un total de 875 millones de m³/año, que en términos globales apenas representa el 1 por ciento del caudal superficial territorial. (Romero, 2008).

En algunas zonas del país, sin embargo, se tienen marcadas deficiencias hídricas, en especial para el abastecimiento de agua potable de los principales centros urbanos, hecho que motiva conflictos de uso con el riego en las regiones del altiplano, y en las áreas costeras entre los grandes y pequeños usuarios del riego que utilizan una misma fuente. (Romero, 2008).

Ninguna entidad es responsable del control y seguimiento de la calidad de las aguas nacionales, únicamente las unidades de saneamiento ambiental del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), lo cual hacen una análisis periódico de la calidad de agua, pero no tienen la injerencia necesaria debido a que es una obligación que comparten junto con las municipalidades y algunos parámetros que analizan con los métodos tradicionales de tratamiento no eliminan en total sustancias como turbiedad ni quitan el olor y sabor de las aguas, por lo que no se dispone de datos precisos sobre niveles y tipos de contaminación, tampoco se realiza un seguimiento del impacto ambiental ni se controla la contaminación originada por los agroquímicos utilizados en agricultura. Las aguas residuales de las zonas urbanas en su mayoría no son tratadas. (Romero, 2008).

Según Romero, (2008, p. 5-8), comenta lo siguiente:

De las 338 municipalidades del interior, sólo 15 aplican tratamiento, mientras que los restantes descargan sus efluentes sin ningún tratamiento. Aguas abajo de los principales centros urbanos, en especial la ciudad capital (cuencas del río las vacas y lago de Amatitlán), existen altos niveles de contaminación biológica y química aún no cuantificada. De las diez principales causas de morbilidad en el país, el 50 por ciento son enfermedades relacionadas con el agua.

El suministro de agua para consumo humano debe garantizarse, tanto en cantidad como en calidad, de acuerdo con las necesidades de cada población. (Romero, 2008).

Las aguas procedentes de los ríos, necesitan un tratamiento complejo y caro dependiendo de la calidad fisicoquímica y bacteriológica, antes de ser distribuidas a los consumidores, debido a que las precipitaciones traen

cantidades apreciables de materia sólida a la tierra como el polvo, polen, bacterias, esporas, e incluso, organismos mayores. (Romero, 2008).

Las emisiones domésticas e industriales también incorporan materiales a la atmósfera, los cuales son almacenados en las nubes y posteriormente son devueltos a la tierra en las precipitaciones. Éstos incluyen una gran cantidad de productos químicos como disolventes orgánicos y óxidos de nitrógeno y azufre, los cuales causan la lluvia ácida. (González, 1995).

La cantidad y tipo de las impurezas en las precipitaciones varían con la localización y la época del año, y pueden afectar tanto a ríos como a lagos. El uso de la tierra, incluyendo la urbanización y la industrialización, afectan significativamente la calidad del agua, siendo la agricultura la que produce un efecto más profundo en los recursos, debido a la naturaleza dispersa y extensa de la misma. La complejidad y el costo del tratamiento se incrementan al mismo tiempo que la calidad del agua del río se deteriora. (González, 1995).

La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS existen varias investigaciones de agua residual y algunas de métodos de filtración para agua potable entre ellas tenemos la planta de agua potable Santa Luisa, quien surte al sector de la ciudad en las zonas 1,2,4,5,9,10,15 y 17, de la ciudad de Guatemala, la planta Santa Luisa, cuenta con una serie de filtros rápidos de diversos materiales y granulometrías. (Mejía, 2001).

En la ciudad de Guatemala se encuentra ubicada la planta de tratamiento Santa Luisa, donde se dan varios procesos involucrados en la potabilización del agua en los cuales conlleva mezcla rápida, floculación, sedimentador y filtración.

La filtración es la operación final realizada en la planta de tratamiento de agua Santa Luisa, por lo cual es la responsable principal de producir agua de

calidad conforme a las normas guatemaltecas de calidad del agua (COGUANOR NGO, 29001).

Recientemente, la planta Santa Luisa fue reacondicionada para mejorar su autoeficiencia y al momento los resultados no han sido los esperados. A finales de 1997, se construyó una batería de seis filtros en sustitución de las antiguas unidades de filtración que las constituían 19 filtros a presión. (Mejía, 2001).

González, (1995, p.1-3), indica:

La planta Santa Luisa contempla 9 unidades de filtración presentando problemas de colmatación en el lecho filtrante, por tal se realizó dicha tesis la revisión y evaluación aplicando la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, previo a un análisis estadístico de los parámetros de color, turbiedad, hierro, manganeso, sólidos totales, coliformes totales para el período 1997-2000 y los datos de caudales de entrada a la planta para el año 2000.

De forma general se puede asegurar en un 80% que los filtros de la planta de agua potable Santa Luisa, se produce agua con color, turbiedad, hierro, manganeso por debajo del límite máximo permisible establecido por la norma COGUANOR NGO 29001. Lo anterior es concluyente de igual manera para la época en que se realizó la evaluación en campo de los filtros en los meses de febrero, marzo y abril de 2001, períodos en los cuales se realizaron los muestreos. Por tal razón, se construyó una batería de 6 filtros rápidos, según el acuerdo con los ingenieros de la Empresa Municipal de Agua EMPAGUA y fondo de JICA Japan International Cooperation Agency a finales de 1997(González, 1995).

Guatemala es un país con sus propias características, que lo hacen único en el contexto mundial, contando con una gran diversidad de riqueza, la que se

presenta en recursos naturales, tal es el caso del recurso agua, que en la economía nacional, ya tiene un precio financiero y económico y que es prácticamente igual a cero con excepción del agua potable y raras veces el de riego, a pesar de la falta de los aspectos anteriores, el agua está ligada con un porcentaje del 5% del producto interno bruto (Castañón, 2000).

Dentro de los temas de tratamiento de agua, el más notable es el sistema que surte a la mayor parte de zonas de la ciudad de Guatemala, la planta Lo de Coy, utiliza modernos sistemas de filtración tanto físicos como químicos, claro ejemplo de métodos de aplicación sistemáticos en procesos de purificación de agua. (Castañón, 2000).

Según la publicación del portal electrónico de la municipalidad de Guatemala disponible en línea, en tumuniguatate.com (2008), cita lo siguiente:

En el año de 1918, se inicia la aplicación del cloro a las aguas que surten la capital; en 1950 la municipalidad de Guatemala dispuso medir el uso del agua por medio de medidores. Cuando el gobierno central tomó la decisión de realizar por su propia cuenta el acueducto nacional Xayá Pixcayá, obtiene financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo y promueve ante la municipalidad citadina la transformación de la Dirección de Aguas y Drenajes municipales en la empresa especializada en la prestación del servicio de agua potable, creándose para el efecto la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala -EMPAGUA-, por acuerdo municipal del 28 de noviembre de 1972.

De acuerdo con el INFOM (1998, p.7-8), el tipo de sistema de agua está determinado por la fuente de agua que será utilizada para abastecer a la comunidad o población, de acuerdo a esta definición se enumeran los más importantes:

- Sistema de gravedad: Sistema que hace uso de la energía potencial del agua, la cual es captada desde una cota más elevada a la que abastece.
- Sistema por bombeo: Sistema por el cual el agua debe ser impulsada por energía externa que puede ser de bombas manuales o mecánicas accionadas por combustible o energía eléctrica, la fuente de abastecimiento puede ser agua subterránea o superficial, depende el tipo de energía que sea utilizada así será el nombre que tome el sistema.
- Sistema de cosecha de agua de lluvia: Son sistemas que recolectan y almacena agua de lluvia aprovechándola para consumo humano.

Dentro del ámbito de la gestión del agua Pacajoj (2003, p. 12), menciona que “En el área rural de Guatemala existen limitaciones para que las municipalidades controlen y manejen adecuadamente la oferta y demanda de servicios de agua para consumo humano”.

Ronquillo, J. (2003), menciona que:

Por los medios de comunicación y de nuestra propia experiencia, hemos podido dar cuenta de la crisis por la que están atravesando, desde hace varios años, varias poblaciones a nivel mundial, regional y nacional, debido a la escasez del agua. Y no es para menos, puesto que con solo echar un vistazo podemos hacer una referencia rápida acerca de la importancia que este vital líquido representa para la vida del hombre y de las demás especies, con quienes le ha tocado compartir este planeta.

Inicialmente, se puede mencionar que el agua es el componente principal de la materia viva, pues constituye del cincuenta al noventa por ciento de la masa de los organismos vivos; por otro lado, la sangre de los animales y la savia de las plantas contiene una gran cantidad de agua, lo cual permite el

transporte de los alimentos y la evacuación del material de desperdicio. El agua retoma un papel preponderante en la descomposición bioquímica de átomos principales como el grupo de proteínas y carbohidratos. Este proceso llamado hidrólisis se produce continuamente en las células vivas. (Ronquillo, 2003).

El agua no solo está presente en la composición de los organismos vivos sino que, además, se encuentra en aquellos componentes de la naturaleza que el dan sustento a distintas formas de vida; como el suelo. (Ronquillo, 2003).

Debido a la gravedad, el agua se acumula en los intersticios de las rocas debajo de la superficie terrestre, formando depósitos de agua subterránea que, a su vez, abastecen a pozos y manantiales, además de mantener el flujo de algunos arroyos durante los periodos de sequía. De todas estas fuentes de agua se abastecen las poblaciones, utilizando el agua de distintas maneras, entre las que se puede mencionar: Consumo humano, higiene personal, producción agrícola y pecuaria, procesamiento de alimentos, transporte, industria, hidroterapia, conducción de desechos domésticos, industriales; y otros (Pacajoj, 2003).

Las poblaciones de los cascos urbanos enfrentan ya la escasez de este recurso, al grado que, en las principales ciudades del país, se raciona el servicio brindándolo únicamente a determinados horarios, los cuales, en muchos casos, implica que los vecinos se desvelen o tengan que madrugar para tener acceso a dicho servicio, o bien (y cuando las posibilidades económicas lo permiten) comprar o construir algunas estructuras para almacenar el agua durante la noche, precisamente este es el caso del municipio de San Rafael Las Flores, donde el agua se sectoriza por barrios.

Sin embargo, el problema no es exclusivo de las poblaciones urbanas, puesto que en el área rural también se encuentran problemas de disponibilidad, debido esencialmente a la pérdida de fuentes de agua generada por la

reducción de la cobertura forestal en las cuencas hidrográficas, a la profundidad a que se encuentra el manto freático, lo que hace imposible o muy costoso su aprovechamiento, facilitando la privatización de fuentes de agua por parte de personas particulares en detrimento del bien colectivo. Además de lo anterior, cabe mencionar la falta de voluntad política para desarrollar inversión social en las comunidades rurales. (Romero, 2008).

La problemática del recurso hídrico se debe a una serie de factores que se combinan para generar los resultados que hemos expuesto. Pero es preciso agregar a estos factores, la falta de educación, la baja o nula conciencia ambiental, la escasa cultura hídrica y un sistema legal inoperante, que encuentra sustento en la falta de voluntad política de nuestras autoridades, para crear o permitir la creación de un sistema legal práctico, clara y viable que regule el uso del agua. (Romero, 2008).

En Guatemala no existe actualmente una ley reguladora del uso del recurso hídrico, aunque la Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR, ha dictado una serie de normas dirigidas, entre otras, al agua potable y a las aguas envasadas. Además la Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA ahora Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN, emitió un reglamento de requisitos mínimos y límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas. El Código de Salud, en sus secciones II y III, aborda temas de las aguas residuales y la eliminación de excretas, así como el agua potable. (Romero, 2008).

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la ciencia y la Cultura (UNESCO, 2002) enlista las siguientes recomendaciones y criterios:

- Desarrollo de una actitud consciente de los usuarios para la participación responsable en el proceso de toma de decisiones, en cuanto al uso, conservación, distribución y manejo del agua.

- No existe la ignorancia absoluta ni tampoco la sabiduría absoluta. Por lo tanto, el rescate de los conocimientos de los antiguos pobladores, parte del rescate de todo el hombre y de todos los hombres.
- El restablecimiento de los mecanismos de memoria social es lo que permite la creación de la cultura, como la acumulación sucesiva y permanente de experiencias.
- El respeto a las leyes de la naturaleza y la búsqueda de la armonía, obligan a actuar con conocimiento previo del ambiente, de los paisajes, de los ecosistemas, entre otros.
- La preservación de los equilibrios biológicos, químicos, físicos, y energéticos de los ecosistemas son fundamentales como sustento de sistemas productivos estables y no degradantes.
- Los criterios para accionar en la naturaleza se podrían sintetizar en:
 - Reversibilidad de las acciones que permitan la recuperación de ecosistemas;
 - Producción sostenida y estable, según los niveles de ciencia y tecnología alcanzados.
 - Aplicación de tecnologías apropiadas no degradantes.
 - Planificación altruista y solidaria que evite trasladar al futuro niveles consientes de conflicto.

Ferrate L. (2001) considera que:

La problemática fundamental del agua para consumo humano es el manejo del agua; en la población, las instituciones y los gobernantes, existe un desconocimiento del tema, por lo que no hay conciencia colectiva para entender que el recurso agua, es un bien degradable e intergeneracional que satisface necesidades presentes y tiene que

satisfacer necesidades futuras y que cada vez es más escaso, frágil y a la vez inapreciable. (p. 5-6).

Como mencionan otros expertos en el tema, más que gestión de los recursos hídricos, lo que ha ocurrido hasta ahora es únicamente explotación de los mismos.

Así también, la demanda del recurso de parte de los necesitados, debe transformarse en acciones que impulsen el derecho al agua, pero también en acciones que resalten las obligaciones que como usuarios se tienen imperativamente hacia el recurso agua. La práctica actual, únicamente ha girado alrededor de los derechos, anulando las obligaciones.

El debate a partir del uso del agua, genera una serie de contenidos que tocan su disponibilidad (a nivel local, municipal, regional y nacional), su condición de recurso finito y los conflictos a partir de ella. Ante la inexistencia de una conciencia de cuidado y preservación. Si a esto se vincula los derechos y obligaciones que se tienen en relación al agua, hay una articulación que pasa por la necesidad de incorporar la posesión del usuario en política pública hacia el sector de agua y saneamiento.

Sumado a lo anterior, se carece de formación permanente de cuadros técnicos y mandos medios de las instituciones en relación a la gestión del abasto de agua. No existe un centro específico con recursos informáticos, relacionados al abastecimiento de agua y el recurso hídrico en general.

Cuando la disponibilidad del agua no satisface las necesidades de la población en relación a cantidad y calidad o bien cuando el recurso agua es capaz de producir daños sobre bienes y personas, ya sea por exceso o sequía; son los factores principales que posibilitan el surgimiento de diversos conflictos alrededor del agua, lo cual también tiene relación con el crecimiento

demográfico y económico, que presiona al recurso agua, cuya cantidad es medible y finita (Colom, 2001).

En el área rural de Guatemala, los conflictos que con mayor frecuencia se presentan entorno a la propiedad y posesión de las fuentes de agua, lo que ha creado problemas entre comunidades, algunas manifiestan que las fuentes es de su propiedad, porque está en su territorio, mientras que las comunidades que se benefician de estas fuentes, dicen que lo han comprado. Mientras tanto, una comunidad sabotea el servicio de agua a las otras comunidades, creando inestabilidad y confrontación entre los vecinos de estas comunidades.

2. MARCO TEÓRICO

El capítulo trata temas teóricos interesantes, desde el conocimiento, monitoreo, evaluación, mecanismos, equipos, requerimientos relacionados con el diseño, operación y mantenimiento de sistemas de filtración lenta convencional, de igual manera se reflejan costos de diseño, operación y mantenimiento de los filtros lentos y otros parámetros de diseño tanto químicos, físicos y otros relacionados con el dimensionamiento del sistema de filtración lenta, se citan todos los componentes del mismo y las propiedades de los materiales filtrantes (fisicoquímicas), para un diseño óptico, eficiente y eficaz del filtro.

2.1.1.1. Criterios para el monitoreo y evaluación, según normas de la OMS y la CEPIS

La turbiedad y la contaminación bacteriológica del agua son los principales parámetros, para la caracterización del agua superficial en las áreas rurales. Cuando el tratamiento se combina con un prefiltro o sedimentador, el objetivo específico de estas unidades es reducir la turbiedad, mientras que el del filtro lento es reducir la contaminación. Cuando sólo se cuenta con un filtro lento, éste debe cumplir los dos objetivos. (Romero, 2008).

El filtro lento es el medio más económico, factible y accesible para tratar y sanear el agua de una comunidad con materiales locales, mejorando y eficientando el proceso de calidad del agua, cumpliendo así con estándares de calidad tanto nacionales como internacionales (OMS, COGUANOR NGO 29001).

Un programa de monitoreo mínimo para controlar una planta de filtros lentos debería considerar la toma de muestras de agua cruda y tratada para constatar la calidad de la materia prima que está ingresando al sistema y la del producto final obtenido. (Romero, 2008).

Las mediciones de turbiedad son simples y pueden ser efectuadas por un operador capacitado. CEPIS & Vargas, (1992) contemplan que las mediciones diarias durante la época de lluvias permiten:

- Evaluar la calidad del agua cruda.
- Establecer y supervisar el rendimiento de la planta.
- Desarrollar criterios para adecuar la operación de la planta.
- Optimizar las características de las unidades.

Todas las actividades de operación y mantenimiento pueden ser desarrolladas por mano de obra local.

Tabla IV. Guía de abastecimiento público de agua potable según la OMS

La siguiente tabla muestra los parámetros contaminantes y el efecto purificador de los filtros lento de arena como medios filtrantes.

PARÁMETRO	EFFECTO PURIFICADOR
MATERIA ORGÁNICA	Los filtros lentos de arena producen un efluente claro, virtualmente libre de materia orgánica
BACTERIA	Puede eliminarte entre el 99% y 99.99% de bacterias patógenas, las cercanías de esquistosoma, los quistes y huevos son eliminados aun con mayor grado. E. Coli reduce entre 99% y 99.9%
VIRUS	En un filtro lento ya maduro los virus se eliminan en forma virtualmente total
COLOR	El color se reduce en forma significativa

TURBIEDAD	Puede tolerarse en el agua cruda turbiedades de 100- 200 NTU solo por unos pocos días turbiedades de más de 50 NTU son aceptables solo para unas pocas semanas: de preferencia la turbiedad de agua debe ser menor a 5 NTU, para un filtro lento diseñado y operado con propiedad, la turbiedad del efluente será menor de 1 NTU
------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Centro internacional de referencia para abastecimiento público de agua de la OMS, 2011.

Tabla V. **Procesos de tratamiento de agua en componentes operacionales**

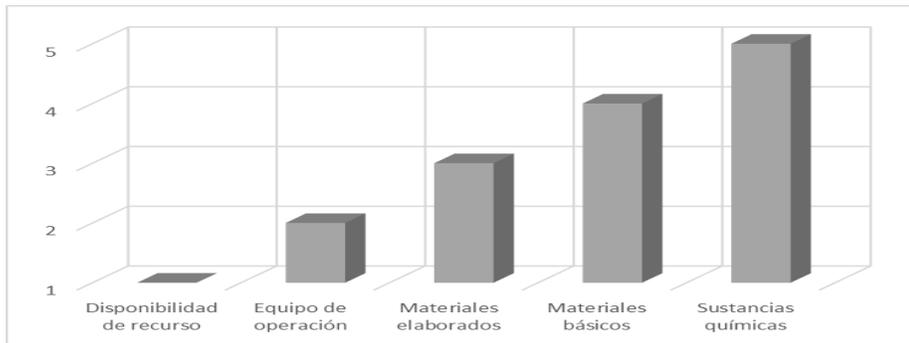
La tabla muestra los diferentes sistemas de tratamiento, operación y mantenimiento de los mismos.

Recursos	Humanos		Materiales				
	capacitado	Profesional	Operación	Mantenimiento de equipos	Sustancias químicas	Disponibilidad de agua subterránea	Materiales
Sin Tratamiento	X			X		X	X
Pre tratamiento	X			X			
Filtración Lenta	X			X			
Filtración rápida convencional	X	X	X	X	X		X
Filtración rápida avanzada	X	X	X	X	X		X
Ablandamiento	X	X	X	X	X		X
Desinfección	X		X	X	X		X
Sabor-olor-Fe, Mn	X	X	X	X	X		X
Desalinización (1)	X	X	X	X	X		X
Desalinización (2)	X			X			

Fuente: Centro internacional de referencia para abastecimiento público de agua de la OMS, 2011.

Figura 6. Clasificación de localidades por categorías, según recursos

La figura muestra las diferentes categorías y la disponibilidad del recurso tanto en equipos, materiales, sustancias y disponibilidad de la fuente.



Fuente: Centro internacional de referencia para abastecimiento público de agua de la OMS, 2011.

En la tabla VI detalla la metodología adoptada por el CEPIS/OPS para seleccionar procesos de tratamiento de agua, así como diferentes soluciones tecnológicas para clarificar aguas, considerando el grado de desarrollo de la comunidad. Se supone que el agua cruda cumple con los límites permisibles del resto de características fisicoquímicas y bacteriológicas. En los procesos de componentes de filtración lenta se ha considerado la turbiedad originada principalmente por partículas en suspensión, con un tamaño mayor a un micrómetro. Aguas crudas con turbiedades originadas por partículas en estado coloidal requerirán procesos correctivos de plantas de filtración rápida con ayuda de coagulación.

Tabla VI. Restricciones al uso de procesos de tratamiento de agua en función del grado de desarrollo de las localidades

Proceso	Nivel de desarrollo mínimo requerido	observaciones
1 Sin Tratamiento	I a II	Limitado por la calidad y capacidad de la fuente de agua
2 Pre tratamiento		

2.1 Desarenadores	I	
2.2 Sedimentación simple	I	
2.3 Pre filtración gruesa	I	
2.4 Pre filtración rápida	III	
2.5 Micro cernido	III	
2.6 Control de algas	IV	
2.7 Coagulación	III	
2.8 Floculación	III	
2.9 Sedimentación	III	
3. Filtración Lenta		
3.1. Filtros convencionales	I	
3.2. Filtros Modificados	I	
3.3. Filtros de flujo ascendente	II	
3.4. Filtros de medios compuestos	II	
3.5. Filtros dinámicos	I	
3.6. Filtros Elementales	I	
4. Filtración rápida		
4.1. Convencional	III	En casos simples, hasta nivel II
4.2. Modificada	III	
4.3. Filtración directa	IV	
4.4. Filtración doble	IV	
5. Desinfección		Preferible II
5.1. Hipoclorito	I	
5.2. Cloro	III	
5.3. Yodo	IV	
5.4. Ozono	IV	
6. Otros Procesos		
6.1. Colores de olores y sabores	III	II en Casos muy simples
6.2. Control de corrosión	III	
6.3. Control de algas	III	
6.4. Fluorización	II	
6.5. Remoción de fluoruros	IV	III en casos simples
6.6. Remoción de contaminantes inorgánicos	IV	
6.7. Remoción de contaminantes orgánicos	IV	III en soluciones simples
6.8. Desalinización	IV	
6.9. Disposición y tratamiento de lodos	IV	
6.10. Técnicas avanzadas de remoción de sólidos en suspensión		
6.11. Ablandamiento	IV	
6.12. Aireación	II	III en Casos simples IV en casos complicados

Fuente: Metodología adoptada por el CEPIS/OPS para seleccionar procesos de tratamiento de agua, 2004.

En los temas de calidad del agua hay diversos puntos de vista, según Pacajoj, (2003, p.25-35) plantea lo siguiente:

Capacidad del sistema:

Siguiendo procedimientos convencionales o los detallados en este módulo, se puede realizar el análisis de población de consumo y establecer un período adecuado de diseño, en función del análisis económico correspondiente.

Calidad del agua:

Se determinan las principales características físicas, químicas y bacteriológicas exigidas por las normas nacionales o, en ausencia de estas, por las Guías de Calidad de Agua Potable de la OMS, tomando en cuenta el tipo de análisis y la frecuencia.

Preselección de procesos

Una vez definidos los factores y las restricciones que influyen en la selección de procesos, el último paso de la fase predictiva consiste en realizar la selección y la combinación de los procesos unitarios más adecuados.

Tabla VII. Ventajas y desventajas de la filtración lenta

La tabla muestra las diferentes ventajas y desventajas de los filtros lentos.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• La mayor ventaja de esta unidad reside en su simplicidad. El filtro lento sin controlador de velocidad y con controles de nivel mediante vertederos e muy	<ul style="list-style-type: none">• El filtro lento sin pre tratamiento, no debe operar con aguas con turbiedad mayor de 20 o 30 UNT; esporádicamente se puede aceptar picos de 50 a 100 UNT

<p>senillo y confiable de operar con los recursos disponibles en el medio rural de los países en desarrollo</p> <ul style="list-style-type: none"> • No hay cambios organolépticos en calidad del agua • Las comunidades acepta el agua tratada por la FLA 	<ul style="list-style-type: none"> • La eficiencia de esta unidad se reduce con la temperatura baja • La presencia de biocidas o plaguicidas en el afluente pueden modificar o destruir el proceso microbiológico en el que se basa la filtración lenta.
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Huisman, L.; Wood, W.E. Slow sand filtration. WHO, Ginebra, 1974.

- Otras ventajas del sistema de filtración lenta, según Galvis, Vischer, Lloyd & Barry, (1992):
 - Mejora simultánea en la calidad física, química y bacteriológica del agua, con un número de ventajas especiales para los países en desarrollo tales como el nuestro.
 - La eficacia en la eliminación de bacterias totales es igual que en los filtros rápidos.
 - No se necesitan compuestos químicos.
 - La operación y mantenimiento pueden ser llevados a cabo por mano de obra semiespecializada.
 - El proceso de filtración es llevado a cabo por gravedad; no hay otras partes mecánicas que precisen de energía para funcionar.
 - El manejo de lodos no causa problemas; las cantidades de lodos son pequeñas tiene muy alto contenido de materia seca.

2.2. Filtración lenta

La filtración lenta en arena FLA es el sistema de tratamiento de agua más antiguo del mundo. Copia el proceso de purificación que se produce en la naturaleza cuando el agua de lluvia atraviesa los estratos de la corteza terrestre y forma los acuíferos o ríos subterráneos. (Vargas, 1992).

El filtro lento se utiliza primordialmente para eliminar la turbiedad del agua y algunos sedimentos, pero si se diseña y se opera adecuadamente puede considerarse como un sistema o método de desinfección del agua.

A diferencia de la filtración rápida en arena, en la que los microorganismos se almacenan en los intersticios del filtro hasta que se vierten nuevamente en la fuente por medio del retrolavado, la FLA consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que destruye los microorganismos patógenos del agua. Ello constituye una tecnología limpia que purifica el agua sin crear una fuente adicional de contaminación para el ambiente. (Vargas, 2000).

Normalmente un filtro lento consta de una caja o tanque que contiene una capa por encima del sedimento o sobrenadante del agua que se va a desinfectar, una capa filtrante de arena, drenajes y diversos dispositivos de regulación y control. (Vargas, 1992).

Figura 7. **Filtro lento de arena en una zona rural**



Fuente: Manual de la CEPIS/OPS, tomo 1, 2004.

2.3. Propiedades y descripción de la desinfección, mediante filtración lenta

El filtro lento se caracteriza por ser un método sencillo, limpio y a la vez eficiente para el tratamiento del agua. Comparado con un filtro rápido, se necesita de áreas más grandes para tratar el mismo caudal y por lo cual, tiene un alto costo inicial. Sin embargo, su sencillez y costo bajo de operación y mantenimiento lo convierte en un método ideal para zonas rurales y pequeñas áreas urbanas, tomando en consideración además que los costos por extensión de terreno son comparativamente menores en estas áreas. (Vargas, 1992).

El proceso de filtración lenta, como se ha mencionado anteriormente, es un proceso que se desarrolla en forma natural, sin la aplicación de ninguna sustancia química, pero requiere un buen diseño, así como una apropiada

operación y un delicado mantenimiento para no afectar el mecanismo biológico del filtro ni reducir la eficiencia de remoción microbiológica. (Vargas, 1992).

Huisman & Wood (1974) describieron:

...El método de desinfección por medio de la filtración lenta, como la circulación del agua cruda a baja velocidad a través de un manto poroso de arena. Durante el proceso, las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples, las cuales son llevadas en solución o permanecen como material inerte hasta un subsecuente retiro o limpieza.(p. 25).

Cuando el agua pasa por los medios filtrantes, se produce un fenómeno de filtración natural, donde parámetros y valores como la turbiedad, olor, sabor y color son removidos por adsorción y absorción física.

El agua sin tratar o cruda que ingresa a la unidad permanece sobre el medio filtrante tres a doce horas, dependiendo de las velocidades de filtración adoptadas. En este lapso, las partículas más pesadas que se encuentran en suspensión se sedimentan y las partículas más ligeras se pueden aglutinar, lo que facilita su remoción posterior. (Huisman & Wood, 1974).

Durante el día, bajo la influencia de la luz solar, se produce el crecimiento de algas, las cuales absorben dióxido de carbono, nitratos, fosfatos y otros nutrientes del agua para formar material celular y oxígeno. El oxígeno así formado se disuelve en el agua, entra en reacción química con las impurezas orgánicas y hace que éstas sean más asimilables por los microorganismos. (Huisman & Wood, 1974).

En la superficie del medio filtrante se forma una capa constituida por material de origen orgánico, conocida con el nombre de “schmutzdecke” o “piel de filtro”, a través de la cual tiene que pasar el agua antes de llegar al propio medio filtrante. El schmutzdecke o capa biológica está formado principalmente por algas y otras numerosas formas de vida, como plankton, diatomeas, protozoarios, rotíferas y bacterias. La acción intensiva de estos microorganismos atrapa, digiere y degrada la materia orgánica contenida en el agua. Las algas muertas, así como las bacterias vivas del agua cruda son también consumidas en este proceso. Al mismo tiempo que se degradan los compuestos nitrogenados se oxigena el nitrógeno. También se remueve algo de color y una considerable proporción de partículas inertes en suspensión es retenida por cernido. (Huisman & Wood, 1974).

Una vez que el agua pasa a través del schmutzdecke, entra al lecho filtrante y es forzada a atravesarlo en un proceso que normalmente toma varias horas y en el que se desarrollan diversos procesos físicos y biológicos que constituyen el proceso final de purificación. (Huisman & Wood, 1974).

2.4. Mecanismos de la desinfección mediante filtración lenta

En el proceso o método de filtración lenta actúan varios fenómenos o mecanismos físicos similares a los de la filtración rápida previos al mecanismo biológico que desinfecta el agua, algunos de los cuales se mencionaron anteriormente. Estos mecanismos son muy importantes, dado que permiten la concentración y adherencia de las partículas orgánicas al lecho biológico para su biodegradación. (Vargas, 1992).

A continuación según (CEPIS/OPS, 1992) describe brevemente la función de cada uno de los mecanismos físicos o de remoción que se producen en la filtración lenta, así como el mecanismo biológico responsable de la desinfección.

2.5. Mecanismos de transporte

Esta etapa de remoción básicamente hidráulica ilustra los mecanismos, mediante los cuales ocurre la colisión entre las partículas y los granos de arena. Estos mecanismos son: cernido, intercepción, sedimentación, difusión y flujo intersticial. (CEPIS/OPS, 1992).

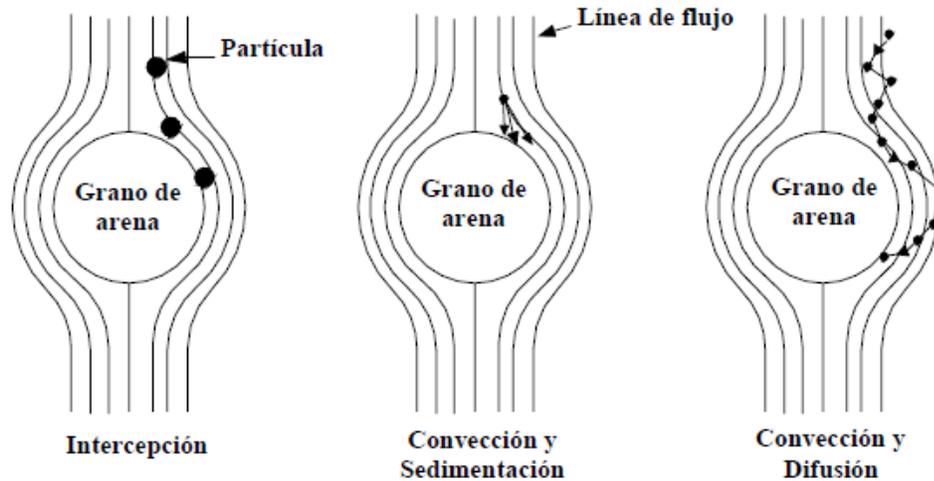
- Cernido: En este mecanismo, las partículas de mayor tamaño que los intersticios del material filtrante son atrapadas y retenidas en la superficie del medio filtrante. (CEPIS/OPS, 1992).
- Intercepción: Mediante este mecanismo las partículas pueden colisionar con los granos de arena. (CEPIS/OPS, 1992).

Sedimentación: Este mecanismo permite que las partículas sean atraídas por la fuerza de gravedad hacia los granos de arena, lo que provoca su colisión. Este fenómeno se incrementa apreciablemente por la acción de fuerzas electrostáticas y de atracción de masas. (CEPIS/OPS, 1992).

- Difusión: Se produce cuando la trayectoria de la partícula es modificada por micro variaciones de energía térmica en el agua y los gases disueltos en ella, lo cual puede provocar su colisión con un grano de arena. (CEPIS/OPS, 1992).

Flujo intersticial: Este mecanismo se refiere a las colisiones entre partículas debido a la unión y bifurcación de líneas de flujo que devienen de la tortuosidad de los intersticios del medio filtrante. (CEPIS/OPS, 1992). Este cambio continuo de dirección del flujo crea mayor oportunidad de colisión.

Figura 8. **Proceso físico de la filtración lenta**



Fuente: CEPIS/OPS.

2.6. **Mecanismos de transporte de la filtración lenta**

Los mecanismos de transporte más importantes, son el de adherencia y el biológico los cuales se describen a continuación: (CEPIS/OPS, 1992).

2.7. **Mecanismo de adherencia**

Este mecanismo es el que permite remover las partículas que, mediante los mecanismos arriba descritos, han colisionado con los granos de arena del medio filtrante. La propiedad adherente de los granos de arena es proporcionada por la acción de fuerzas eléctricas, acciones químicas y atracción de masas así como por película biológica que crece sobre ellos, y en la que se produce la depredación de los microorganismos patógenos por organismos de mayor tamaño tales como los protozoarios y rotíferas (CEPIS/OPS, 1992). Es en esta parte donde actúan en conjunto las fuerzas intermoleculares de adhesión, cumpliendo su función.

2.8. Mecanismo biológico de la desinfección

Como se indicó anteriormente, la remoción total de partículas en este proceso se debe al efecto conjunto del mecanismo de adherencia y el mecanismo biológico. Es necesario que para que el filtro opere como un verdadero “sistema de desinfección” se haya producido un schmutzdecke vigoroso y en cantidad suficiente. Solo cuando se ha llegado a ese punto, el sistema de filtración lenta de arena (FLA) podrá operar correctamente. (CEPIS/OPS, 1992).

Por ello, se dice que el filtro (o el manto) “está maduro”. Al iniciarse el proceso, las bacterias depredadoras o benéficas transportadas por el agua utilizan como fuente de alimentación el depósito de materia orgánica y pueden multiplicarse en forma selectiva, lo que contribuye a la formación de la película biológica del filtro. Estas bacterias (desasimilación) y convierten parte de ésta en material necesario para su crecimiento (asimilación). (CEPIS/OPS, 1992).

En este proceso es donde las sustancias y el material orgánico muerto se convierten en materia viva. Los productos de la desasimilación son llevados por el agua a profundidades mayores y son utilizados por otros organismos. (CEPIS/OPS, 1992).

El contenido bacteriológico está limitado por el contenido de materia orgánica en el agua cruda y es acompañado de un fenómeno de mortalidad concomitante, durante el cual se libera materia orgánica para ser utilizada por las bacterias de las capas más profundas y así sucesivamente. De este modo, la materia orgánica degradable presente en el agua cruda se descompone gradualmente en agua, dióxido de carbono y sales relativamente inocuas, como sulfatos, nitratos y fosfatos (proceso de mineralización), los cuales son descargados en el efluente de los filtros. (CEPIS/OPS, 1992).

La actividad microbiológica descrita es más pronunciada en la parte superior del lecho filtrante y decrece gradualmente con la profundidad y la disponibilidad de alimento. (CEPIS/OPS, 1992).

Cuando se limpian las capas superiores del filtro se remueven las bacterias, siendo necesario un nuevo período de maduración del filtro hasta que se logre desarrollar la actividad bacteriológica necesaria. A partir de 0,30 a 0,50 m de profundidad, la actividad bacteriológica disminuye o se anula (dependiendo de la velocidad de filtración); en cambio, se producen reacciones bioquímicas que convierten a los productos de degradación microbiológica (como aminoácidos) en amoníaco y a los nitritos en nitratos (nitrificación). (CEPIS/OPS, 1992).

Figura 9. **Tanques de filtración lenta convencionales en áreas rurales**



Fuente: Manual de la CEPIS/OPS, tomo 1, 2004.

Como el rendimiento del filtro lento depende principalmente del proceso biológico, mientras la capa biológica está desarrollándose, la eficiencia es baja y no debe considerarse al FLA como un eliminador de materia orgánica, sino como un mejorador de la calidad del agua, sobretodo de la turbiedad, la maduración de un FLA puede demorar de dos a cuatro semanas. (CEPIS/OPS, 1992).

2.9. Subproductos de la desinfección mediante filtración lenta

Los subproductos del proceso de filtración lenta son sustancias naturales de degradación biológica sin ningún riesgo para la salud, ya que el proceso no requiere sustancias químicas que reaccionen con la materia disuelta en el agua. En tal sentido, los subproductos de la filtración lenta son dióxido de carbono y sales relativamente inocuas, como sulfatos, nitratos y fosfatos, además de un contenido bajo de oxígeno disuelto. Estas condiciones pueden ser revertidas con un proceso de aireación. (CEPIS/OPS, 1992).

Este es un proceso biológico y los sub-productos químicos son reacciones secundarias con mínimo impacto ambiental.

2.10. Equipos e infraestructura

Dada la sencillez de la filtración lenta, solo se requiere un equipo de bombeo cuando es necesario elevar la carga hidráulica que el agua llegue hasta el filtro. Por otro lado, la calidad del agua cruda determina el uso de otras instalaciones adicionales al filtro lento a fin de adecuar la calidad del agua cruda a las condiciones de operación del filtro. (CEPIS/OPS, 1992).

En el cuadro siguiente se muestra una síntesis de las alternativas de pretratamiento en función de las variaciones de calidad de la fuente para la instalación de un filtro lento de arena. (CEPIS/OPS, 1992).

Tabla VIII. **Criterios de selección de los procesos en función de la calidad de la fuente**

La tabla muestra las diferentes alternativas de filtros lentos y la calidad de las aguas, según diferentes niveles de parámetros contaminantes presentes en el agua.

ALTERNATIVAS	Límites de calidad del agua crudas aceptables		
	90% del tiempo	80% del tiempo	esporádicamente
Filtro lento de arena (FLA) solamente	To ≤ 500 UNT Co ≤ 50 UC Cf ≤ (10) ⁴ / 100 ml	To ≤ 20 UNT Co ≤ 40 UC	To max ≤ 100 UNT
FLA + prefiltro de grava (PG)	To ≤ 100 UNT Co ≤ 60 UC Cf ≤ (10) ⁴ / 100 ml	To ≤ 60 UNT Co ≤ 40 UC	To max ≤ 150 UNT
FLA + PG + sedimentador (S)	To ≤ 300 UNT Co ≤ 60 UC Cf ≤ (10) ⁴ / 100 ml	To ≤ 200 UNT Co ≤ 40 UC	To max ≤ 500 UNT
FLA + PG + S + presedimentador	To ≤ 500 UNT Co ≤ 60 UC Cf ≤ (10) ⁴ / 100 ml	To ≤ 200 UNT Co ≤ 40 UC	To max ≤ 1000 UNT
Co=	Color de agua cruda	To=	Turbiedad del agua cruda
Cf =	Coliformes fecales	UC=	Unidades de color cloro platino de cobalto
UNT =	Unidades nefelométricas de turbiedad		

Fuente: Huisman, L.; Wood, W.E. Slow sand filtration. WHO, Ginebra, 1974.

El parámetro de diseño más importante en un FLA es la velocidad de filtración (V_f). La misma debe tener un valor en el rango según Ojeda, Lloyd & Barry (1990):

$$0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ hora} - 0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ hora}$$

$$\text{Se debe notar que } [\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ hora}] = [\text{m}/\text{hora}]$$

Otros parámetros de diseño importantes en relación con el material filtrante son:

Tabla IX. **Lechos de soporte y medios filtrantes**

La tabla muestra el tamaño, diámetro, espesor, tipo de material y la medición de diferentes niveles de medios filtrantes, según sus factores de diseño.

Lecho de soporte			
Camada	Tipo	Diámetro de partícula (mm)	Espesor de la camada (mm)
Superior	Arena gruesa	1 – 2	50
Segunda	Gravilla fina	2 – 5	50
Tercera	Gravilla	5 – 10	50
Inferior	Grava	10 – 25	150
Medio filtrante			
Tamaño efectivo, d_{10}	0.15 – 0.45 mm		
Coefficiente de uniformidad CU	1.5 – 4.0		
Altura del medio filtrante	0.5 – 0.7 m		

Fuente: Ojeda, P., Lloyd, M., & Barry J. (1990). Slow sand filtration response to acute variations of influent bacteriological water quality.

Cuando el filtro lento es la única unidad de tratamiento, la velocidad será de 0,10 m/h. Se podrán considerar velocidades mayores en casos excepcionales cuando se consideren otros procesos preliminares, como se observa en el cuadro siguiente. (Ojeda, P., Lloyd, M., & Barry J. 1990).

Tabla X. **Velocidad de filtración de acuerdo con el número de procesos preliminares**

La tabla muestra los diferentes sistemas de filtración y su respectiva velocidad de retención.

Procesos	V_f (m/h)
FLA	0.10 – 0.20
Sedimentación (S) + FLA	0.15 – 0.30
Prefiltración (PF) + FLA	0.15 – 0.30
S + PF + FLA	0.30 – 0.50

Fuente: Ojeda, P., Lloyd, M., & Barry J. (1990). Slow sand filtration response to acute variations of influent bacteriological water quality.

La velocidad de diseño también es importante al decidir el número de unidades con las que operará el filtro. Con velocidades mayores de 0,2 m/h deberá considerarse un mínimo de tres unidades. (Ojeda, P., Lloyd, M., & Barry J. 1990).

A continuación se presentan una serie de ecuaciones y definiciones para calcular y diseñar un filtro lento según. (Ojeda, P., Lloyd, M., & Barry J. 1990):

El área de cada unidad (A_s) es una función de la velocidad de filtración (V_f), del caudal (Q), del número de turnos de operación (C) y del número de unidades (N).

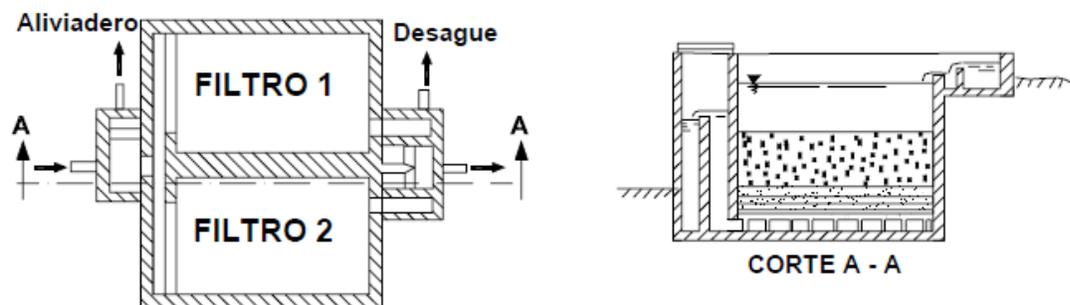
$$A_s = (Q \times C) / (N \times V_f) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Con operación continua el área de la unidad (en m^2) será igual a:

$$A_s = Q / (N \times V_f) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Los filtros lentos de arena pueden adoptar ser rectangulares o circulares, dependiendo del material con el que se elaboran: hormigón, ferrocemento o mampostería. La figura muestra un filtro lento modificado rectangular de hormigón.

Figura 6. **Diseño de filtro lento modificado.**



Filtro lento modificado rectangular de hormigón

Fuente: Huisman, L.; Wood, W.E. Slow sand filtration. WHO, Ginebra, 1974.

2.11. Requerimientos para la instalación

Dentro del diseño de un filtro lento, se dan aspectos importantes a tomar en cuenta, tales como: la ubicación, aspecto social de la comunidad, operación y mantenimiento del sistema, condiciones y calidad del agua, concentraciones de turbiedad y los materiales de los filtros.

2.11.1. Ubicación

- Debe estar en una zona accesible, con vías de comunicación que faciliten su posterior construcción, operación y mantenimiento.
- El agua subterránea debe estar ausente o muy profunda.
- La zona debe ser segura y no estar expuesta a riesgos naturales o humanos.
- De preferencia, la topografía de la zona seleccionada debe reunir los desniveles necesarios para que el sistema pueda operar totalmente por gravedad.

2.11.2. Aspectos relacionados con la comunidad

Efectuar estudios sociológicos para determinar las costumbres y creencias que puedan afectar la aceptación del sistema.

Comprobar la información demográfica disponible.

Determinar los recursos humanos y materiales disponibles para adecuar el diseño del sistema.

Estudiar la incidencia de enfermedades de origen hídrico y presencia de vectores.

2.11.3. Concepción del sistema

Para que la operación del sistema sea confiable, debe evitarse el uso de dispositivos para elevar el nivel del agua (bombas). De esta manera, la operación del sistema no dependerá del suministro de energía eléctrica ni de repuestos sofisticados que normalmente no están disponibles localmente y que incrementan el costo de mantenimiento del sistema.

Si tuviera que elevarse el nivel del agua por razones topográficas, se debería efectuar una sola etapa de bombeo que eleve el agua cruda hasta un nivel, desde el cual pueda distribuirse por gravedad al reservorio y a la red.

Preferentemente, el filtro lento debe operar en forma continua, esto permite unidades más pequeñas y abastecimiento continuo de nutrientes y oxígeno necesario para mantener la capa biológica. Para garantizar esta situación, cuando se tiene una etapa de bombeo, es recomendable construir un tanque de almacenamiento de agua cruda para abastecer por gravedad la planta durante las 24 horas del día.

2.11.4. Condiciones del agua cruda

Las condiciones del agua cruda que más afectan la eficiencia del filtro son la temperatura, la concentración de nutrientes y de sustancias tóxicas y los afluentes con turbiedad y color altos. A continuación se describen brevemente según Romero, (2008):

- **Temperatura:** Dado que en el filtro se desarrolla un proceso biológico, se ve afectado por las variaciones de temperatura y puede reducir 50% de su eficiencia cuando se opera a menos de 5°C.
- **Concentración de nutrientes:** La velocidad de desarrollo de la formación biológica en el filtro depende de la concentración de nutrientes en el agua, debido a que ésta es la fuente de alimentación de los microorganismos.
- **Concentración de algas:** Las algas son importantes en la formación del schmutzdecke. Pero su crecimiento excesivo, debido a la elevada disponibilidad de luz y nutrientes, como presencia de fosfatos y nitratos en el agua, puede crear serios problemas de operación y en la calidad de agua tratada. El control de la formación de algas es difícil, pero puede solucionarse mediante el control de nutrientes en la fuente y del efecto de la luz que cubre los reservorios de agua cruda. (Fogel, Reuton, Guasparini, Moorehead, Ongerth & Jerry, 1993).

2.11.5. Concentraciones altas de turbiedad

La capacidad de los filtros lentos para reducir la turbiedad cuando ésta es muy elevada es limitada. Ello se debe a que una alta turbiedad causa enlodamiento de la superficie del filtro, disminuye la capacidad de formación de la capa biológica y reduce drásticamente la duración de la carrera de filtración, lo cual además de afectar la calidad del agua producida, incrementa los costos de operación y mantenimiento. (Fogel, Reuton, Guasparini, Moorehead, Ongerth & Jerry, 1993).

2.11.6. Material filtrante

Es necesario considerar una plataforma colindante con los filtros para efectuar la operación de lavado y secado de la arena. Asimismo, se requiere un depósito techado para guardar la arena embolsada y las herramientas, y cercar las instalaciones de la planta para evitar el acceso a niños y animales. (Fogel, Reuton, Guasparini, Moorehead, Ongerth & Jerry, 1993).

2.11.7. Operación y mantenimiento

Las tareas rutinarias de operación comprenden los ajustes y medición del caudal; monitoreo de la calidad del agua producida; limpieza de la superficie de la arena, que se efectúa por “rascado” de la porción superior del filtro (aproximadamente 5 cm de arena); lavado y almacenamiento de la arena, y la posterior reconstrucción del lecho filtrante. Este período entre limpiezas, llamado “carrera”, es variable. A veces puede ser necesario realizarla cada tres o cuatro semanas y en otras circunstancias, pasados muchos meses. (Roque, Seda, Ortiz, Cardona & Trinidad 1990).

La adecuada operación y mantenimiento determinan la eficiencia de un filtro, principalmente en la etapa de inicio de la operación del filtro nuevo. Durante la operación normal, es importante el estado de maduración de la capa biológica, la frecuencia de los raspados, el período de duración de cada operación de limpieza y la forma en que se efectúe el rearenado del filtro. (Roque, Seda, Ortiz, Cardona & Trinidad 1990).

Con relación a la puesta en marcha, es necesario tener presente que la arena nueva no reduce la contaminación bacteriológica y que es necesario desechar el efluente inicial hasta comprobar que se está obteniendo un grado de eficiencia aceptable. Sin embargo, este proceso puede acelerarse

sembrando el filtro con arena madura proveniente de otros filtros en operación. (Roque, Seda, Ortiz, Cardona & Trinidad 1990).

El raspado del lecho filtrante debe iniciarse cuando el nivel del agua en la caja del filtro llega al máximo y el agua empieza a rebosar por el aliviadero. (Roque, Seda, Ortiz, Cardona & Trinidad 1990). Para disminuir el impacto sobre la eficiencia del tratamiento durante la operación de raspado del filtro, es necesario que esta operación se ejecute en un solo día para evitar la mortandad de los microorganismos benéficos en la capa de arena que permanecerá en el filtro y acortar el período de remaduración.

En la operación de rearenado, esto es, cuando la altura del lecho ha llegado al mínimo aceptable (0,30 m) y hay que restituir a la arena el espesor de diseño, es importante aplicar el método de trinchera. Para ello, la arena del fondo que está semicolmatada se colocará en la superficie del filtro, sobre la arena nueva, a fin de acelerar el período de maduración del lecho de arena. (Roque, Seda, Ortiz, Cardona & Trinidad 1990).

Por lo menos cada cinco años se realizará el lavado completo del filtro de la siguiente manera: se retira con mucho cuidado la arena y la grava para no mezclarlas; se lava la arena; se cepillan las paredes de la caja del filtro; se reacomoda el drenaje, y se vuelve a colocar el lecho de arena y la grava. (Romero, 2008). Si ha habido pérdida de arena y grava, será necesario reponerla. Si hay grietas en las paredes o en el fondo, deberán resanarse antes de colocar el lecho filtrante, (Romero, 2008).

Cuando los sistemas están bien diseñados, operados y mantenidos, el efluente de las plantas de filtración lenta requiere de dosis muy baja de cloro como última barrera; prácticamente sólo para asegurar que el agua conserve su calidad bacteriológica hasta ser consumida. (Romero, 2008), Es un agua con muy bajo riesgo sanitario.

2.12. Costos de equipos, operación y mantenimiento

Los costos de inversión de los filtros lentos están determinados, principalmente, por los costos del cemento, grava, acero de refuerzo, arena de filtro, tuberías, válvulas y demás. Los precios de estos materiales varían, dependiendo de diversas circunstancias regionales y locales. Por lo tanto, lo que se presenta a continuación es una estimación de costos de materiales por unidad de producción para cuatro diseños típicos. Debe tenerse en cuenta que este cuadro está basado en información recogida de un proyecto de filtración lenta; no incluye costos de mano de obra ni honorarios de los contratistas. (Huisman & Wood, 1974).

Tabla XI. Descripción de factores de diseño, costos y operación

La tabla muestra la descripción de materiales, volumen y el costo de operación y mantenimiento de diferentes filtros lentos.

DESCRIPCION	Costo de Capital en Quetzales por unidad de producción (m ³ /h)	Costo de operación y Mantenimiento al año
• Filtro con taludes protegidos	Q. 7 500 – Q. 30 000	10% del total de los costos de capital
• Filtro circular de ferrocenro	Q. 11 500 - Q.25 000	
• Filtro circular de mampostería	Q. 11 500 – Q. 45 000	
• Filtro de hormigon	Q. 25 000 – Q. 90 000	

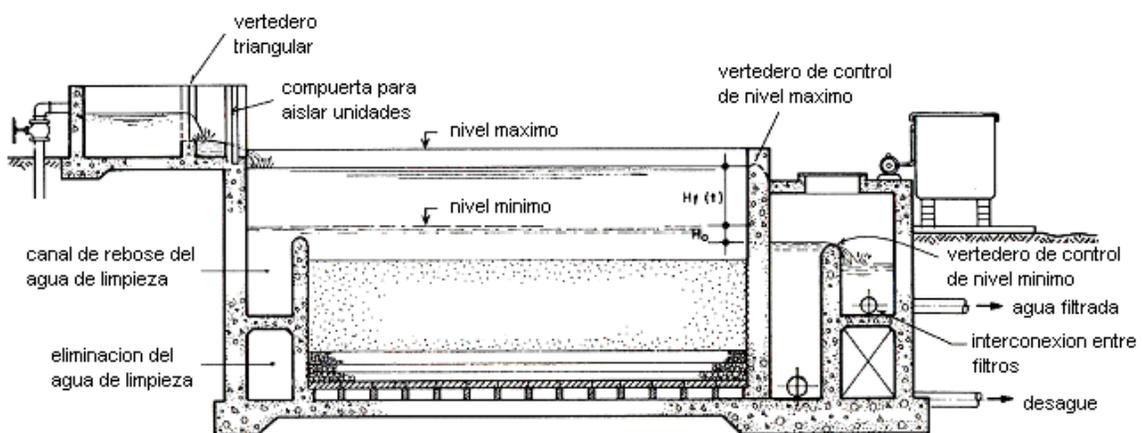
Fuente: Huisman, L.; Wood, W.E. Slow sand filtration. WHO, Ginebra, 1974.

2.12.1. Filtro lento de arena y algunos parámetros de Diseño

Una unidad de filtración lenta en arena consta generalmente de los siguientes elementos CEPIS & Vargas, (1992):

- Caja de filtración y estructura de entrada, b) sistema de drenaje, c) lecho filtrante, d) capa de agua sobrenadante y e) dispositivos para regulación, control y rebose.

Figura 7. **Diseño de un proceso de filtración lenta, corte longitudinal de un FLA**



Fuente: Huisman, L.; Wood, W.E. Slow sand filtration. WHO, Ginebra, 1974.

- **Caja de filtración y su estructura de entrada**

La caja del filtro posee un área superficial condicionada por el caudal a tratar, la velocidad de filtración y el número de filtros especificados para operar en paralelo. Se recomiendan áreas de filtración máxima por módulo de 100 m², para facilitar las labores manuales de operación y mantenimiento el filtro.

La estructura consta de un vertedor de excesos, canales o conductos para distribución, dispositivos para medición y control de flujo, cámara de entrada y ventana de acceso al filtro propiamente dicho.

- **Lecho filtrante**

El medio filtrante debe estar compuesto por granos de arena duros y redondeados, libres de arcilla y materia orgánica. La arena no debe contener más de 2% de carbonato de calcio y magnesio.

Tabla XII. **Granulometría de lecho filtrante**

La tabla muestra la el tamaño del material o medio filtrante, de los filtros lentos de arena.

CRITERIOS DE DISEÑO	VALORES RECOMENDADOS
Altura de arena (m)	
Inicial	1.00
Mínima	0.50
Diámetro efectivo (mm)	0.15 – 0.35
Coefficiente de uniformidad	
Aceptable	<3
Deseable	1.8 – 2.0
Altura del lecho de soporte, incluye drenaje	0.1 – 0.3

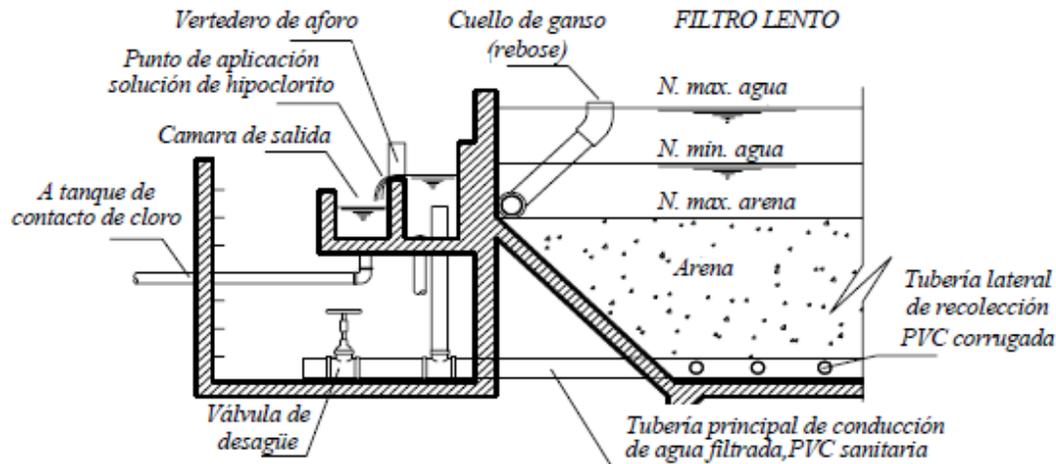
Fuente: Huisman, L.; Wood, W.E. Slow sand filtration. WHO, Ginebra, 1974.

La velocidad de filtración varía entre los 0.1 y 0.2 m/h dependiendo de la calidad del agua cruda. (Romero, 2008), A mayor contaminación del agua afluyente menor velocidad de filtración. La altura del agua sobre el lecho filtrante puede variar entre 1.0 y 1.50 m.

- **Sistema de drenaje, que incluye lecho de soporte y cámara de salida**

El nivel mínimo del filtro se controla, mediante el vertedero de salida, el cual se debe ubicar en el mismo nivel o 0.10 m. por encima de la superficie del lecho filtrante.

Figura 8. Estructura de salida de un filtro lento de arena (FLA)



Fuente: Huisman, L.; Wood, W.E. Slow sand filtration. WHO, Ginebra, 1974.

- **Capa de agua sobrenadante**

Se recomienda una altura de agua sobrenadante de 1.0 a 1.5 m. y un borde libre entre los 0.2 y 0.3 m.

- **Conjunto de dispositivos para regulación, control y rebose de flujo:**

- Válvula para controlar entrada de agua pretratada y regular velocidad de filtración
- Dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante, "cuello de ganso".
- Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia
- Válvula para drenar lecho filtrante
- Válvula para desechar agua tratada
- Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia
- Vertedero de entrada
- Indicador calibrado de flujo

- Vertedero de salida
- Vertedero de excesos

Según CEPIS & Vargas, (1992) se tienen los siguientes parámetros de dimensionamiento:

2.13. Dimensionamiento

- Caudal de diseño (Qd): Se expresa en (m³/h)
- Número de unidades (N): Mínimo dos unidades de filtración
- Área superficial (As):

$$\text{Área superficial (As)} = Qd \frac{Qd}{N * Vf} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde: As = m²

Vf = velocidad de filtración (m/h)

Qd = caudal de diseño (m³/h)

N = número de unidades

- **Coefficiente de mínimo costo (K):**

$$K = (2 * N) / (N + 1) \quad \text{Ecuación (4)}$$

- **Longitud de unidad:**

$$L = (As * K) / 2 \quad \text{Ecuación (5)}$$

- **Ancho de unidad:**

$$b = (As/K)^{1/2} \quad \text{Ecuación (6)}$$

- **Velocidad de filtración real (VR):**

$$VR = Qd / (2 \cdot A \cdot B) \quad \text{Ecuación (7)}$$

- **Sistema de drenaje:**

Los drenes se diseñarán con el criterio de que la velocidad límite en cualquier punto de estos no sobrepase de 0.30 m/s. La relación de velocidades entre el dren principal (V_p) y los drenes secundarios (V_s) debe ser de: $V_p/V_s < 0.15$, para obtener una colección uniforme del agua filtrada. (CEPIS & Vargas, 1992).

- **Pérdidas de carga:**

Se producen pérdidas de carga en las tuberías, en las válvulas, lecho filtrante, drenes y vertederos. (CEPIS & Vargas, 1992).

- Lecho filtrante: Esta en función de la granulometría del material, velocidad de filtración.

- Drenes: (menor a 10%)

$$h_d = 0.33 \left| \frac{1}{d_h} \cdot \frac{V^2}{2g} \right| \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde, d_h : diámetro hidráulico

$$V: \text{velocidad del dren, } (d_h = 4A_d/P) \quad \text{Ecuación (9)}$$

A_d : área del dren

P: perímetro del dren

- Compuerta de entrada:

$$hf_1 = K V^2 / 2g; V = VF Af / AC$$

Ecuación (10)

Donde, AC: área de la compuerta (m²)

Af: área de filtración (m²)

VF: velocidad de filtración (m/s)

- Vertedero de salida:

$$hf_2 = Qd_2/3/1,84 Lv$$

Ecuación (11)

Donde:

Lv = longitud de cresta del vertedero general (m)

Qd = caudal de diseño (m³/h)

2.14. Filtros de carbón activado

Los filtros de carbón activado son utilizados cuando se desean remover malos olores, sabores o color desagradable del agua, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas e incluso radón. El carbón activado tiene una gran área superficial y por lo tanto alta capacidad de adsorción de compuestos, que quedan adheridos a la superficie del mismo. Estos filtros son económicos, fáciles de mantener y operar, por lo que su uso es muy común. Entre las

limitaciones que presentan es que deben recibir mantenimiento frecuente y periódico para evitar obstrucción de tuberías. (CEPIS/OPS, 1992).

Es difícil percibir cuándo un filtro ha dejado de funcionar adecuadamente, por lo que una de sus limitaciones es que pueden haber dejado de funcionar y que el usuario no se haya percatado de ello. Otras limitaciones están relacionadas a que no remueven bacterias, metales, nitratos, pero principalmente que generan un residuo el carbón ya saturado- que no es de fácil disposición, especialmente si el agua contiene compuestos orgánicos tóxicos que son retenidos en el filtro de carbón activado. (CEPIS/OPS, 1992).

Tabla XIII. **Filtración convencional, tipos de filtros**

La tabla muestra las diferentes tecnologías, manejos, costos y las limitantes de la filtración convencional.

	Tecnología	Aplicación	Manejo	Costo	Limitantes
Filtración convencional	Filtros de arena	Sedimentos suspendidos remoción media de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en infraestructura y de manejo de costo elevado de terreno	Remoción de 80-90% de bacterias y 60% de materia orgánica, requiere gran superficie
	Filtros de tierras diatomáceas	Remoción de turbiedad y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión y de manejo	Útiles en caso de poca turbiedad y bajos conteos bacterianos, no retiene materia orgánica
	Filtros de carbón activado	Remoción de materia orgánica y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión, costo medio de mantenimiento	Generación de residuos, continua renovación del filtro, no remueve bacterias ni nitrato

Fuente: Huisman, L.; Wood, W.E. Slow sand filtration. WHO, Ginebra, 1974.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El capítulo resume resultados descriptivos y experimentales, se realizó una encuesta de una muestra de la población y municipal sobre la necesidad del proyecto y el grado de conocimiento sobre el sistema de agua para consumo humano, que se distribuye en el casco urbano del municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa, desde el ámbito del prestador del servicio (municipalidad) como el que lo recibe (población).

De igual manera se realizó un experimento piloto a escala 1/47 250, debido a que se utilizó un volumen de 8 litros (0.008m^3), mientras que el volumen del filtro lento real de diseño sería de 378m^3 , apenas un 0.021% del tamaño real, con un tiempo de retención de 5 minutos.

Se utilizaron tres capas, la primera capa de arena fina(arena de río), con una altura de 7cm, y un diámetro de material filtrante que oscila entre 0.30 a 0.45 mm, la segunda carbón activado con una altura de 5cm, y diámetro de material filtrante de 1 a 1.8 mm, y la última capa consiste en grava o piedrín con una altura de 4cm, y un diámetro de partícula filtrante de 0.5 a 2 cm, la altura total de las 3 capas es de 16cm, y se dejó un espacio de 10cm para la introducción del agua entubada que surte al casco urbano, proveniente del tanque de distribución, lo cual será distribuida por un galón, asumiendo el caudal de 1litro/ segundo, ya que el valor del caudal diario del tanque de distribución entre la unión del pozo mecánico y los 3 nacimientos es de 21 litros por segundo, 21 veces menor al caudal normal.

Fotos de alícuotas del tanque de distribución antes del filtro lento experimental

La figura muestra la toma de la alícuota de agua, para la realización del análisis para el metal pesado cianuro

Figura 9. Muestra de Cianuro



Fuente: elaboración propia.

La figura muestra la toma de la alícuota de agua, para la realización de los análisis de laboratorio fisicoquímicos sanitarios y de metales pesados.

Figura 10. Muestra fisicoquímica y metales pesados



Fuente: elaboración propia.

La figura muestra la toma de la alícuota de agua, para la realización del análisis microbiológico

Figura 11. **Muestra bacteriológica**



Fuente: elaboración propia.

La figura muestra los recipientes de agua, para la realización de los análisis de laboratorio microbiológico, fisicoquímico y de metales pesados, para ser transportados al laboratorio certificado.

Figura 12. **Muestras fisicoquímica sanitaria, microbiológica, cianuro y metales pesados**



Fuente: elaboración propia.

Fotos de alícuotas del filtro lento experimental

La figura muestra el recipiente, que fue utilizado como filtro lento experimental piloto de multicapas y etapas.

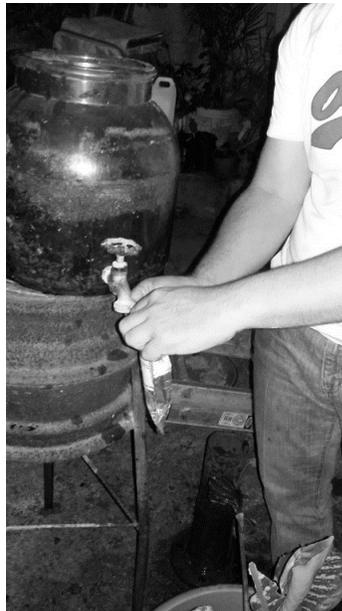
Figura 13. **Filtro lento experimental**



Fuente: elaboración propia.

La figura muestra la toma de la alícuota de agua, para el análisis microbiológico.

Figura 14. **Muestra bacteriológica después del filtro lento experimental**



Fuente: elaboración propia.

La figura muestra la toma de la alícuota de agua, para la realización del análisis de laboratorio fisicoquímico y de metales pesados

Figura 15. **Muestra fisicoquímica y metales pesados después del filtro lento experimental**



Fuente: elaboración propia.

Las alícuotas fueron llevadas al laboratorio de soluciones analíticas, laboratorio certificado, previamente a ello como muestran las respectivas figuras 13-19, se tomaron muestras antes del proceso piloto experimental de filtración lenta, directamente en la salida del tanque de distribución, donde se unen las aguas provenientes del pozo mecánico y los nacimientos una de cada análisis, fisicoquímico, bacteriológico y de metales pesados, la otra con la aplicación del filtro lento experimental, de igual manera se realizaron análisis de laboratorio fisicoquímico, bacteriológico y de metales pesados, 6 análisis en total, los análisis científicos corroboraron el grado de eficiencia del proceso de filtración física.

Se realizaron varias encuestas con una muestra de la población y una al jefe de servicios generales de la municipalidad, para saber la situación desde el prestador del servicio de agua potable hasta el consumidor del mismo, y la necesidad de invertir en proyectos que mejoren la calidad del agua para consumo humano en el casco urbano del municipio.

Entrevista con el jefe de servicios generales de la municipalidad de San Rafael Las Flores, licenciado Eli Aquino.

El entrevistado habló sobre las fuentes o suministros de agua que posee el casco urbano para su distribución, provenientes de un pozo mecánico y de 3 nacimientos que se encuentran en la parte alta del municipio, 2 en la aldea Morales, jurisdicción de Mataquescuintla, Jalapa y el otro denominado las cuevitas, que proviene de la parte alta del caserío la peña oscura, jurisdicción de San Rafael Las Flores.

Según información proporcionada por el jefe de servicios generales de la municipalidad, el licenciado Eli Aquino, el 7 de septiembre del 2016, expuso que la municipalidad no cuenta hasta la fecha con un presupuesto fijo para la conservación y protección de las fuentes de agua (nacimientos), únicamente el renglón presupuestario salud y ambiente, pero este se especifica más en temas de mejoramiento y tratamiento de agua, residual como potable. De igual manera el funcionario municipal, estableció que los ingresos que percibe la municipalidad son mínimos, ya que los usuarios pagan Q. 3.00 por mes, Q.36.00 al año, donde hasta la fecha se tienen registrados 1 091 usuarios, lo cual es insostenible a la fecha, ya que se gasta en el pago de luz del pozo mecánico, dos fontaneros, pastillas de cloro y otros servicios de mantenimiento preventivo como correctivo, lo cual hace insostenible el servicio y que la municipalidad subsidia casi por completo el servicio de agua para consumo

humano en el casco urbano en el municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa, y que no se contaba con una oficina exclusivamente para el tema de aguas y drenajes como otras municipalidades del país.

De igual manera (Aquino, 2016), comento que la municipalidad no cuenta con ningún tipo de reglamento municipal para el tema de aguas en el casco urbano y a nivel municipal, exponiendo que el único tratamiento que se realiza en el agua para consumo humano es la cloración y que se está estudiando algún otro método que pueda mejorar la calidad de agua en el casco urbano, que permita brindarle un mejor servicio a los usuarios.

Encuesta a los usuarios

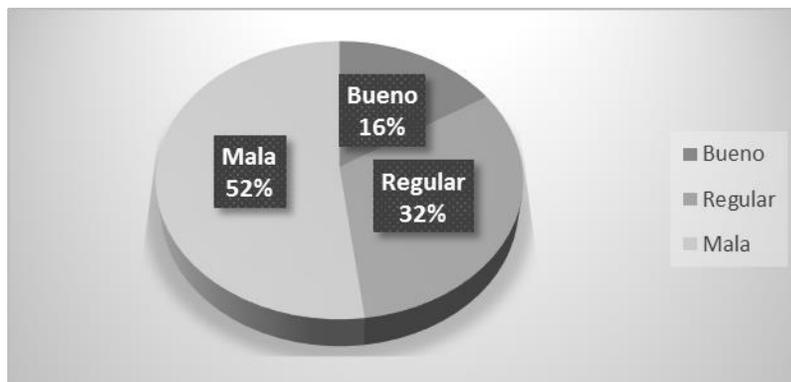
En la tabla XIV y figura 20, se pudo observar la percepción de la población sobre el estado actual del servicio de agua para consumo humano, se entrevistaron a 125 usuarios, donde se planteó 3 preguntas del estado actual del servicio, si se catalogaba como bueno, regular y mala de la red de distribución.

Tabla XIV. **Estado actual de la red de distribución del servicio de agua potable en el casco urbano**

Bueno	20
Regular	40
Mala	65

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Estado actual de la red de distribución del servicio de agua potable en el casco urbano**



Fuente: elaboración propia.

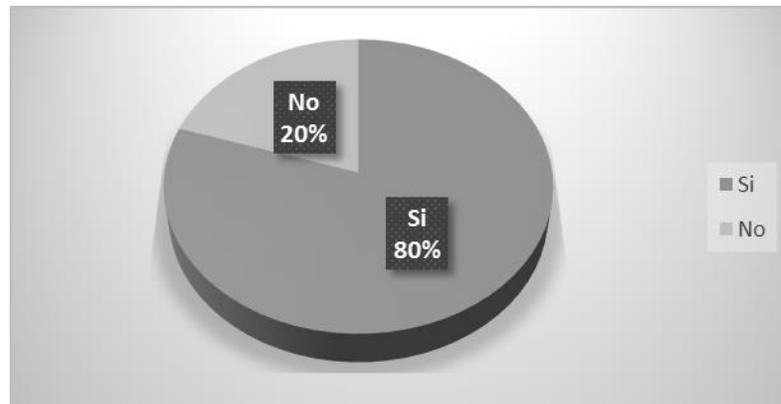
En la tabla XV y figura 21, se plantea la percepción del olor, sabor, color y la turbiedad de la distribución del agua para consumo humano, lo cual se enfocó en sí, no y la descripción, donde todos especificaron un hedor a huevo podrido y sabor a tierra o hierro.

Tabla XV. **Percepción de olor, sabor, color o turbiedad en la distribución del agua potable del Casco urbano**

Si	100	
No	25	
Descripción	sabor a tierra o hierro y hedor a huevo podrido	125

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Percepción de olor, sabor, color o turbiedad en el agua potable del casco urbano**



Fuente: elaboración propia.

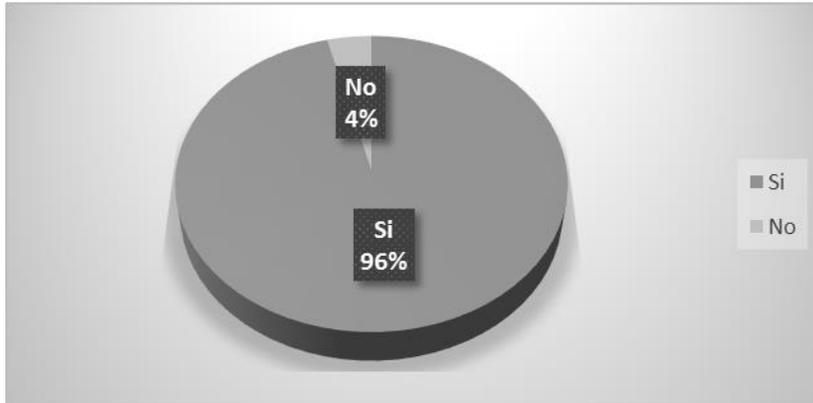
En la tabla XVI y figura 22, se enfoca en la aplicación de métodos de filtración adecuada, para mejorar la calidad del agua del casco urbano, con 3 respuestas clave, si, no y el porqué, dentro del porqué se puede notar la mayoría se enfoca en mejorar la calidad, otro aspecto en la confianza y el otro en la mejora del agua.

Tabla XVI. **Aplicación de métodos de filtración adecuados para mejorar la calidad del agua en el casco urbano**

Si	120					
No	5					
Porque:	calidad del servicio	100	más confianza	15	mejor agua	10

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Necesidad de aplicar métodos de filtración lenta, para mejorar la calidad del agua del casco urbano**



Fuente: elaboración propia.

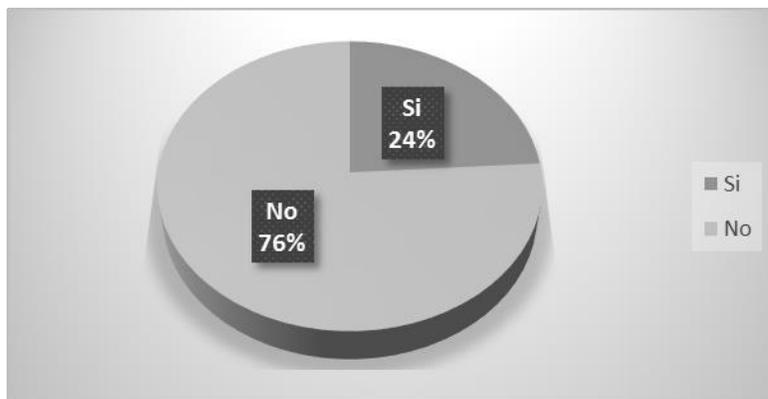
La tabla XVII y figura 23, contempla la aplicación de un buen tratamiento de mejora de la calidad del servicio de agua, que surte al casco urbano, enfocándose en el sí, no y el porqué, donde la mayoría cito que era necesario porque el agua estaba sucia y otra cantidad expuso que se siente un mal olor.

Tabla XVII. **Se realiza un buen tratamiento del servicio de agua potable en el casco urbano**

Si	30			
No	95			
Porque:	porque llega el agua sucia	90	se siente mal olor	35

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Se realiza un buen tratamiento adecuado para el servicio de agua potable en el casco urbano**



Fuente: elaboración propia.

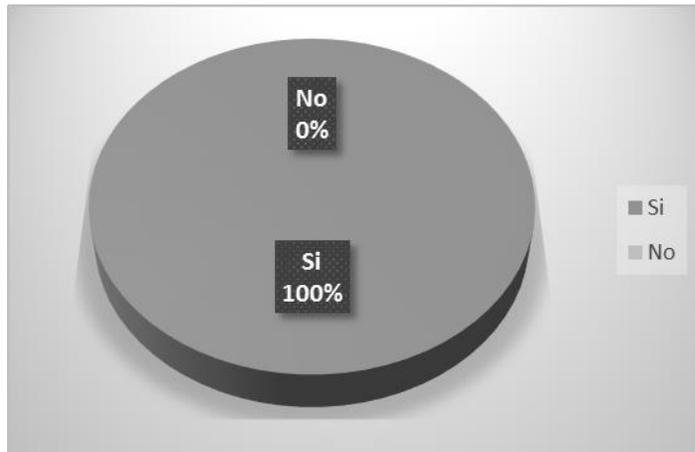
La tabla XVIII y figura 24, contempla la necesidad de que la municipalidad invierta más en proyectos de saneamiento, que mejoren la calidad y cantidad del servicio de agua para consumo humano, en el casco urbano, en tres aspectos el sí, no y porqué, donde el porqué, la mayoría se enfocó en mejorar la calidad, y la minoría en que es un servicio básico y hay dinero.

Tabla XVIII. **La municipalidad debe de invertir más en proyectos, para mejorar la calidad y cantidad del servicio de agua potable en el casco urbano**

Si	125					
No	0					
Porque:	Mejorar la calidad	120	servicio básico	3	Hay dinero	2

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **La municipalidad debe de invertir en proyectos para mejorar la calidad y cantidad del agua en el casco urbano**



Fuente: elaboración propia.

Los análisis de laboratorio realizados presentaron aspectos microbiológicos, fisicoquímicos y de metales pesados, antes y después del filtro lento, por medio de un experimento piloto, 2 muestras por cada análisis, ambas alícuotas en la salida del tanque de distribución previo al tratamiento químico de cloración.

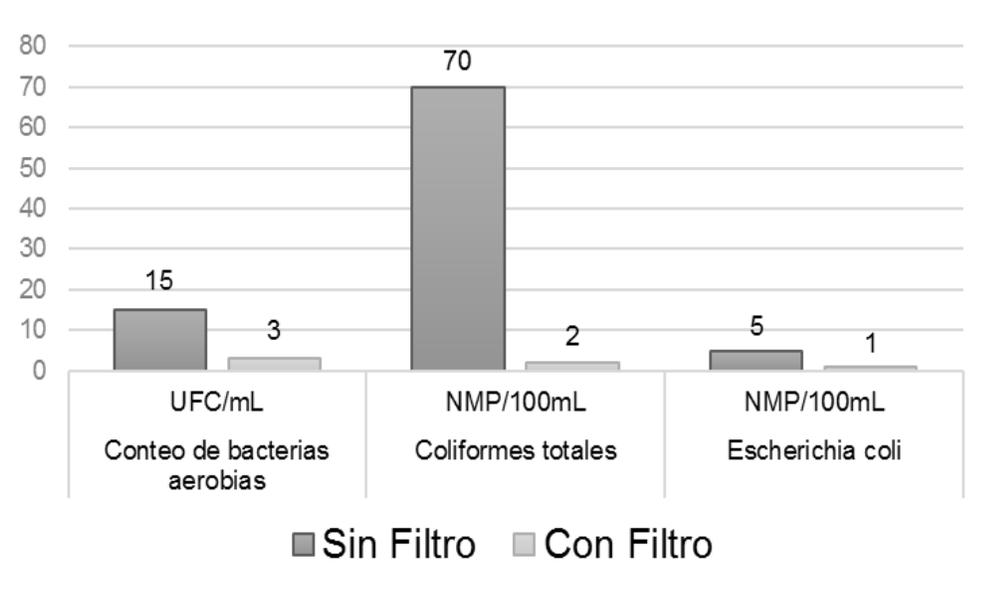
La tabla XIX, figura 25 y 26 muestran los resultados bacteriológicos del antes y después del filtro lento experimental, donde se expresa, el conteo de bacterias aerobias, los coliformes totales y la E. coli, de igual manera el grado porcentual de disminución y eficiencia del filtro lento experimental.

Tabla XIX. **Resultado de análisis microbiológico antes y después del experimento piloto de filtración lenta**

Resultado microbiológico				
Descripción	U. medida	Sin Filtro	Con Filtro	Porcentaje de disminución de carga contaminante
Conteo de bacterias aerobias	UFC/mL	15	3	80.00%
Coliformes totales	NMP/100mL	70	2	97.14%
Escherichia coli	NMP/100mL	5	1	80.00%

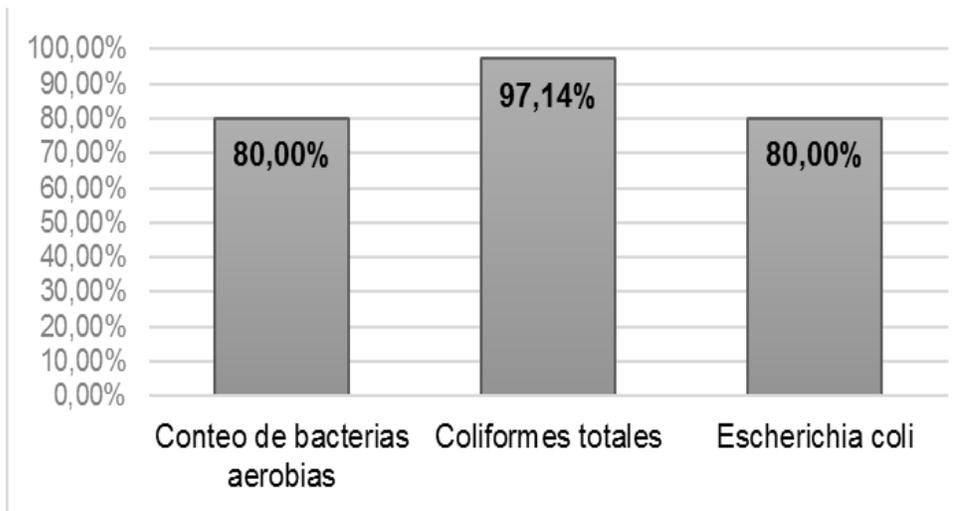
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Resultado de análisis bacteriológico antes y después del tratamiento de filtración lenta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Porcentaje de eficiencia y disminución de carga contaminante del experimento piloto de filtración lenta**



Fuente: elaboración propia.

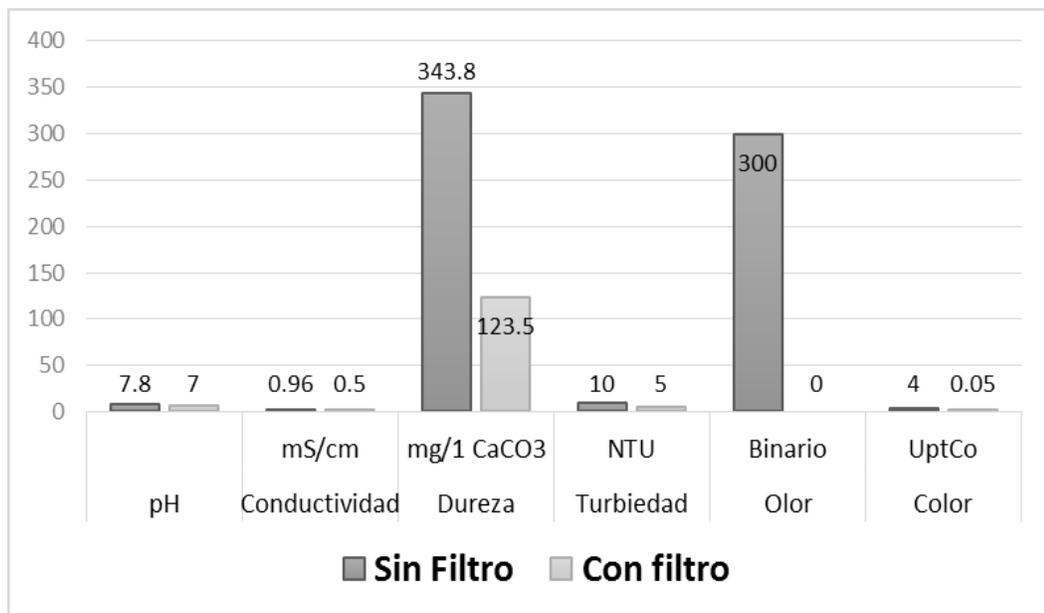
La tabla XX, figura 27 y 28 muestran los resultados fisicoquímicos de los parámetros y porcentaje de disminución de los mismos y grado de eficiencia del proceso experimental piloto de filtración física, antes y después del filtro, en el casco urbano del municipio de San Rafael Las Flores, donde se expresa la categoría binario, que es referente al olor, donde es rechazable y no rechazable, donde 300 es no rechazable y 0 rechazable.

Tabla XX. **Parámetros fisicoquímicos antes y después del filtro lento experimental**

Parámetros Fisicoquímicos				
Descripción	U. Medida	Sin Filtro	Con filtro	Porcentaje de disminución
pH		7.8	7	10.26%
Conductividad	mS/cm	0.96	0.5	47.92%
Dureza	mg/l CaCO ₃	343.8	123.5	64.08%
Turbiedad	NTU	10	5	50.00%
Olor	Binario	300	0	100.00%
Color	UptCo	4	0.05	98.75%

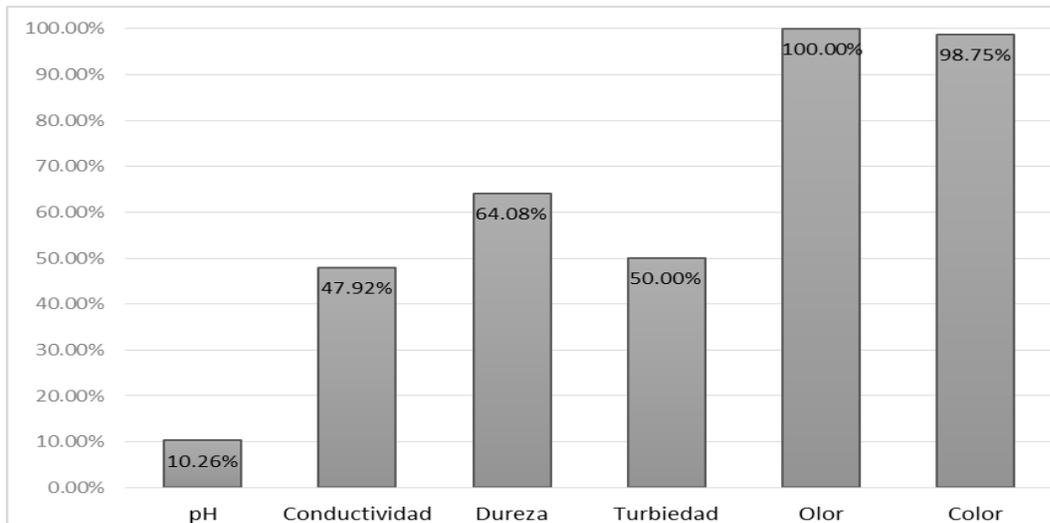
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Parámetros fisicoquímicos antes y después del filtro lento experimental**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Porcentaje de eficiencia y disminución de parámetros fisicoquímicos del experimento piloto de filtración lenta**



Fuente: elaboración propia

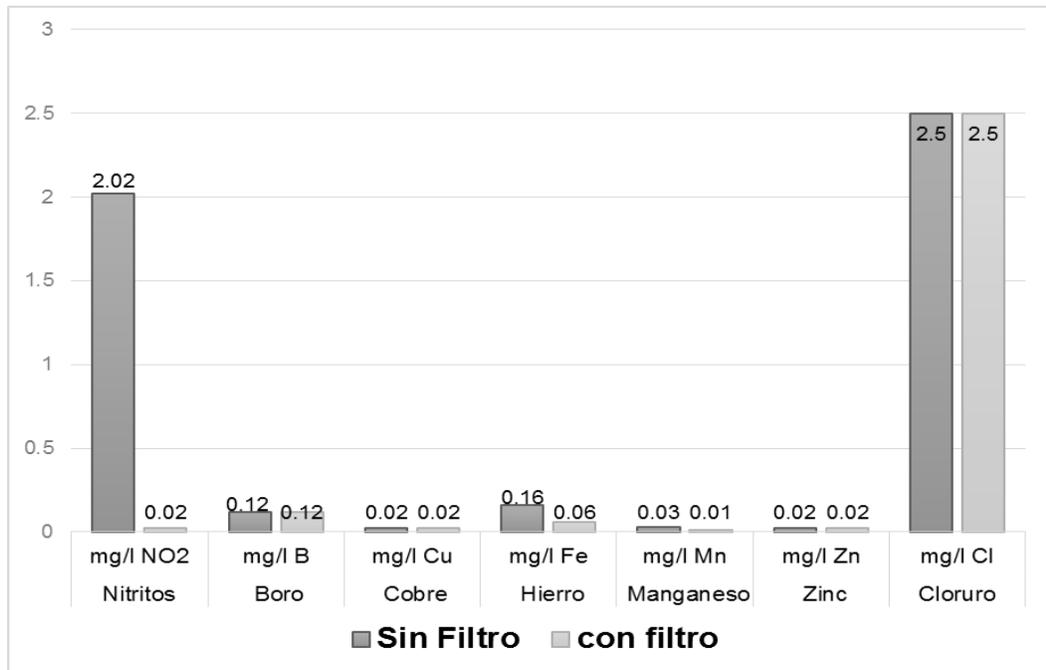
La tabla XXI, figura 29 y 30, muestra los resultados fisicoquímicos de los elementos generales, antes y después del filtro lento experimental, grado de eficiencia y disminución porcentual del proceso.

Tabla XXI. **Elementos fisicoquímicos antes y después del filtro lento experimental**

Elementos Fisicoquímicos				
Descripción	U. Medida	Sin Filtro	con filtro	Porcentaje de disminución
Nitritos	mg/l NO ₂	2.02	0.02	99.01%
Boro	mg/l B	0.12	0.12	0.00%
Cobre	mg/l Cu	0.02	0.02	0.00%
Hierro	mg/l Fe	0.16	0.06	62.50%
Manganeso	mg/l Mn	0.03	0.01	66.67%
Zinc	mg/l Zn	0.02	0.02	0.00%
Cloruro	mg/l Cl	2.5	2.5	0.00%

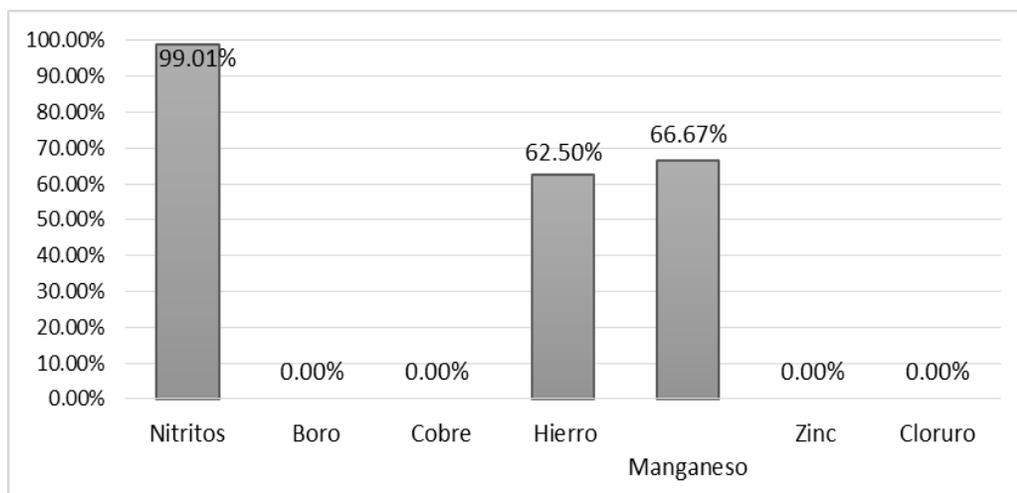
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Elementos fisicoquímicos antes y después del filtro lento experimental**



Fuente: elaboración propia

Figura 26. **Porcentaje de eficiencia y disminución de elementos fisicoquímicos del experimento piloto de filtración lenta**



Fuente: elaboración propia.

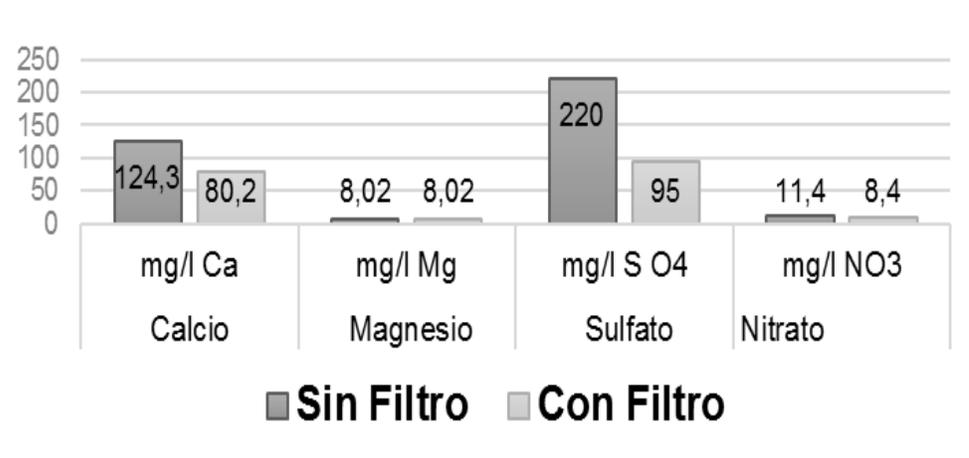
La tabla XXII, figura 31 y 32, muestra los resultados fisicoquímicos de los elementos considerables, que están relacionados directamente con el olor, color, sabor, turbiedad y dureza en el agua, antes y después del filtro lento experimental, grado de eficiencia y disminución porcentual de los mismos.

Tabla XXII. **Elementos fisicoquímicos considerables antes y después del filtro lento experimental**

Elementos Fisicoquímicos Considerables				
Descripción	U. Medida	Sin Filtro	Con Filtro	Porcentaje de disminución
Calcio	mg/l Ca	124.3	80.2	35.48%
Magnesio	mg/l Mg	8.02	8.02	0.00%
Sulfato	mg/l SO ₄	220	95	56.82%
Nitrato	mg/l NO ₃	11.4	8.4	26.32%

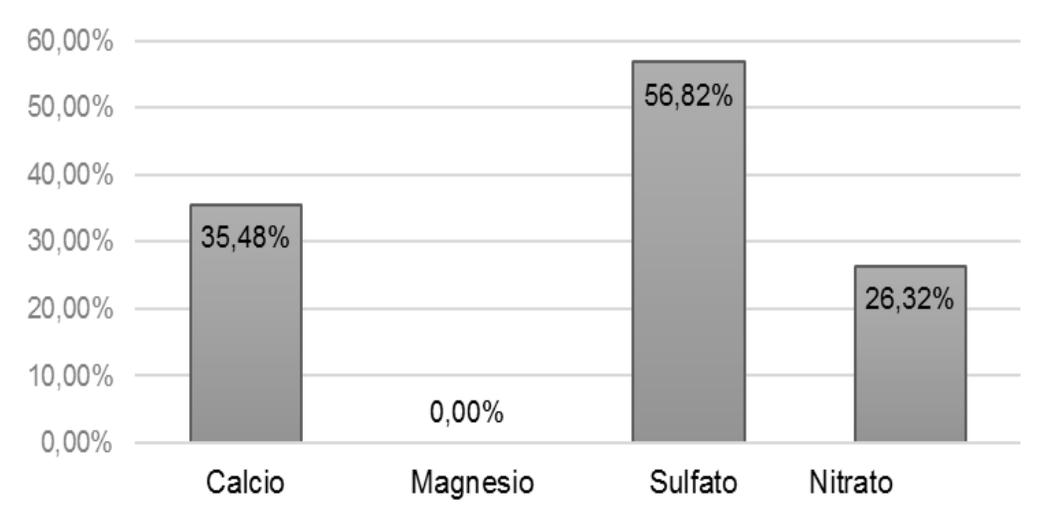
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Elementos fisicoquímicos considerables antes y después del filtro lento experimental**



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Porcentaje de eficiencia y disminución de elementos considerables fisicoquímicos del experimento piloto de filtración lenta**



Fuente: elaboración propia.

La tabla XXIII, figura 33 y 34, muestra los resultados del análisis de metales pesados, antes y después del sistema de filtración lenta experimental, el porcentaje de disminución y eficiencia del proceso.

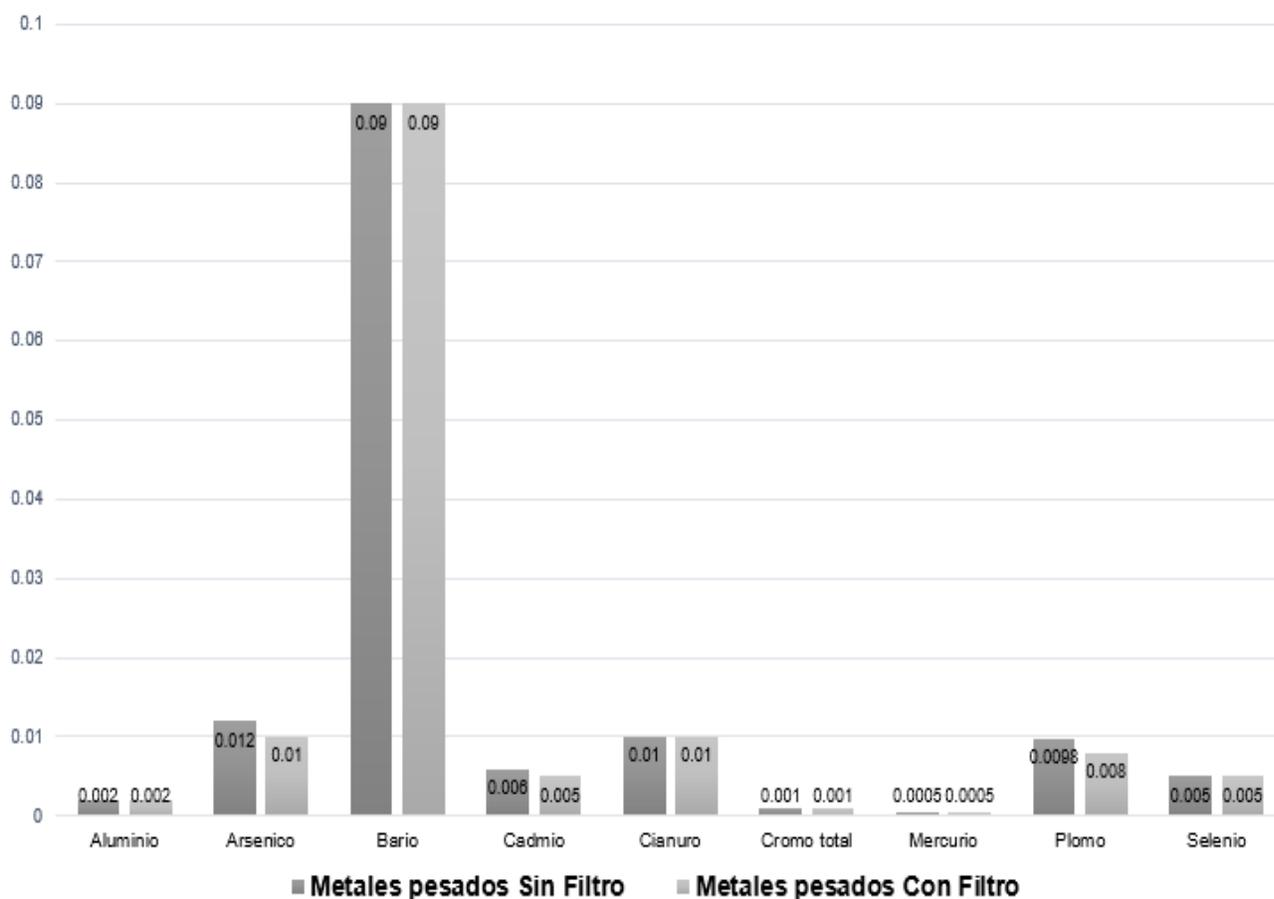
Tabla XXIII. **Resultados de metales pesados antes y después del experimento piloto de filtración lenta**

Metales pesados					
Descripción	U. Medida		Sin Filtro	Con Filtro	Porcentaje de disminución
Aluminio	mg/L Al	<	0.002	0.002	0.00%
Arsénico	mg/L As		0.012	0.01	16.67%
Bario	mg/L Ba		0.09	0.09	0.00%
Cadmio	mg/L Cd	<	0.006	0.005	16.67%
Cianuro	mg/L CN	<	0.01	0.01	0.00%
Cromo total	mg/L Cr	<	0.001	0.001	0.00%

Mercurio	mg/L Hg	<	0.0005	0.0005	0.00%
Plomo	mg/L Pb	<	0.0098	0.008	18.37%
Selenio	mg/L Se	<	0.005	0.005	0.00%

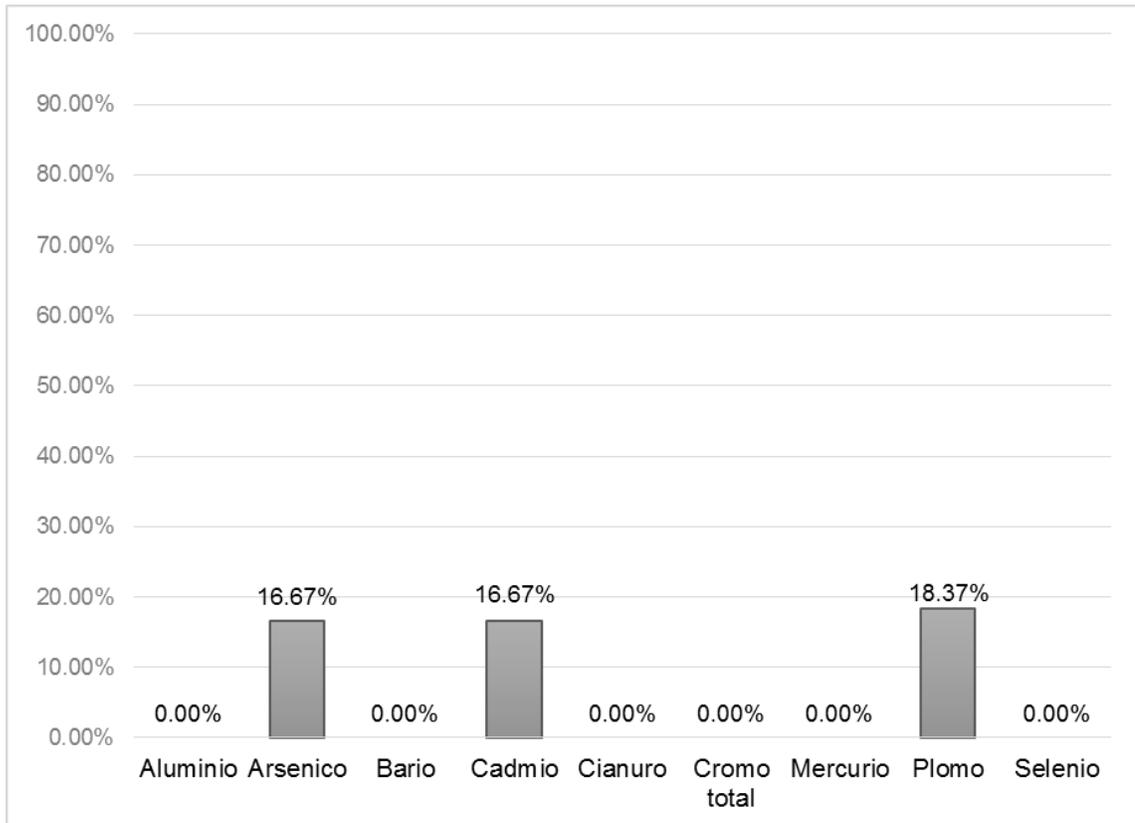
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Resultados de metales pesados, antes y después del filtro lento experimental**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Porcentaje de disminución de metales pesados antes y después del proceso de filtración lenta experimental y eficacia del filtro**



Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo muestra la interpretación objetiva, sobre los resultados del proceso de investigación, donde se realizaron encuestas con el jefe de servicios generales de la municipalidad y otra con una muestra de vecinos (125) del casco urbano, de igual manera los resultados obtenidos del experimento piloto de filtración lenta a escala, los análisis de laboratorio fisicoquímico, bacteriológico y de metales pesados, lo cual se ven resumidos en la disminución de la carga contaminante en cada análisis científico de agua, mostrando la eficiencia y eficacia del filtro lento experimental.

La encuesta con el jefe de servicios generales de la municipalidad de San Rafael Las Flores, el licenciado Eli Aquino, el 7 de diciembre de 2016, fue bastante amplia, donde el licenciado expuso la carencia de reglamentos municipales, presupuesto específico para el mejoramiento de la calidad del agua y el control de la misma, lo cual muestra la debilidad operacional no solo de la municipalidad de San Rafael las Flores, sino la mayoría de municipalidades del país.

Otro dato relevante proporcionado por el jefe de servicios generales de la municipalidad, el licenciado Aquino, fue la insostenibilidad en el gasto municipal, respecto al cobro de la tasa municipal por el servicio de agua potable, notándose que el servicio no es sostenible pagándose Q.3.00 al mes, Q. 36.00 al año, lo cual se recibiría anualmente un monto de Q. 39 276.00, este sería el rubro pagado por los 1,091 usuarios del casco urbano por un gasto de Q. 2 452 930.78 en promedio por el pago de fontaneros, pago de luz eléctrica del pozo mecánico, implementación de filtro lento, gasto en insumos de cloración,

fontaneros, mantenimiento preventivo como correctivo entre otros gastos, lo cual muestra la debilidad de la capacidad de gestión y la necesidad de mejorar dicha recaudación, con más de un 98.42 % de déficit, siempre y cuando se note la mejora no solo en la cantidad sino la calidad del servicio apegándose a la norma COGUANOR NGO 29001. Cuando se refiere al servicio de agua potable, hablamos preferentemente de la calidad del servicio, para hacer de la palabra agua potable, agua sanitariamente segura y brindar un servicio que se acople a estándares de calidad tanto nacionales como internacionales.

Tanto la tabla XIV como la figura 20, se pudo observar que más del 52% de la población reprueba las condiciones actuales de la red de distribución de agua potable que surte del vital líquido sus hogares, un 32% regular y únicamente un 16% lo ve bien, esto es preocupante debido a que se nota un malestar de los usuarios por la red de distribución, reclamando que no les llega el agua en cantidad y que ya está obsoleta la tubería.

La tabla XV y la figura 21, plantean la percepción del mal olor, sabor, color y turbiedad percibida por los usuarios, en la distribución final del agua para consumo humano en sus hogares, notándose que el 80% percibe el olor a huevo podrido, provocado posiblemente por la presencia de sulfatos en el agua (SO_4), se percibe también sabor a hierro o tierra provocado probablemente por la turbiedad y desprendimiento y oxidación de la tubería proveniente del pozo mecánico, ya que tiene más de 10 años sin ser cambiada o reparada, únicamente el 20% no reportó la percepción de estos contaminantes en el agua.

En la tabla XVI y la figura 22, el 96% de la población percibió la necesidad de la aplicación de métodos de filtración física para mejorar la calidad del agua en el casco urbano, teniendo así mejor confianza en el servicio, dentro de los parámetros más mencionados se notó su mayoría que esto vendría a mejorar la

calidad del servicio de agua entubada, lo cual daría mayor confianza a los usuarios, únicamente un 4% no cree necesario la aplicación de métodos de filtración física, porque no les dan mantenimiento, según opinión verbal de algunas personas.

La tabla XVII y figura 23 muestran que más del 76% de la población está descontenta con los métodos de tratamiento que actualmente se le da al agua potable que surte al casco urbano, en su mayoría porque en sus depósitos hay sedimentos o turbiedad que se depositan hasta el fondo y se percibe mal olor y se tapan las regaderas, primordialmente los que utilizan agua caliente para bañarse.

Esto es producto de que el ion sulfuro desprende cierto olor mayormente cuando aumenta la temperatura, la razón que se tapan las regaderas es debido a que el agua proveniente del pozo, según los datos de laboratorio es bastante dura (343.8mg/l CaCO_3) primordialmente se notó contenido que superó el límite máximo aceptable (LMA), el cual es de 100 mg/l CaCO_3 , contemplado en la norma COGUANOR NGO 29001 de sulfatos y calcio elementos clave que representan la dureza del agua, acompañados de carbonatos, lo cual pueden formar incrustaciones en tuberías.

La percepción negativa de la gente es que en el casco urbano, el único tratamiento que se le da al agua, es la cloración, pero no es un tratamiento físico sino químico, lo cual solo el 24 % de la población dio el aval que se hace un buen tratamiento del agua que se distribuye y que surte sus hogares.

La tabla XVIII y la figura 24, mostraron que el 100% de la población está consiente que la municipalidad debe de invertir más en proyectos, no solo que mejoren la cantidad de agua sino la calidad de la misma, en su mayoría la

población cree que es necesario porque se deben de enfocar en mejorar la calidad, cuenta con la capacidad financiera y sobre todo es un servicio básico.

Los usuarios del servicio de agua potable del casco urbano, están en lo correcto, esto es una competencia propia, basado en el Artículo 68 inciso a del Código Municipal, lo cual la municipalidad en conjunto con el ministerio de Salud, primordialmente la unidad de saneamiento ambiental de cada centro de Salud local, son los entes encargados de velar por la calidad del servicio, la municipalidad con el control y el Ministerio de Salud con la vigilancia, de igual manera la empresa minera inyecta una fuerte suma de dinero que cuadriplica el presupuesto de años anteriores, preferentemente del año 2013 en adelante, lo cual la población está descontenta y exige que el servicio de agua para consumo humano, sea en cantidad, pero preferentemente de calidad, ya que en el año 2015 a la fecha el municipio está catalogado como municipio de agua segura pero únicamente por el uso de clorinadores artesanales e industriales.

La tabla XIX mostró los resultados de los análisis de laboratorio bacteriológicos del antes y después del filtro lento experimental, donde se expresó, el conteo de bacterias aerobias, los coliformes totales y la E. coli, de igual manera el grado porcentual de disminución y eficiencia del filtro lento experimental, en las figuras 18 y 19 se notó un decremento considerable de todas las bacterias, las bacterias aerobias no son un factor contaminante que afecte demasiado, únicamente son parámetros de la capacidad de las bacterias a formar colonias con base a mililitros de solución. En cuanto a los coliformes totales y la E. coli, se disminuyeron notablemente, donde se mostró la eficiencia del tratamiento de filtración lenta a escala piloto.

El conteo de bacterias aerobias mostro una disminución de un 80% (>15 a >3 UFC/ml), en cuanto a la formación de colonias, los coliformes totales un

97.14% (de 70 a 2 NMP/ 100ml), y la Escherichia coli un 80% (de 5 a <1 NMP/ 100ml), cumpliendo con la norma COGUANOR NGO 29001, sin presencia de E. coli, lo cual muestra el grado de eficiencia del filtro piloto experimental, donde el tiempo de retención y la exposición a la intemperie fue la clave para remover un alto porcentaje de la carga contaminante, permitiéndose formar la película de bacterias buenas o capa de materia orgánica conocida como schmutzdecke o capa biológica, cuya función primordial es formar bacterias buenas para comerse las malas, las cuales se estabilizaron en los microporos de la granulometría del material filtrante por efectos de la gravedad.

Sin embargo, el agua aun no es apta para consumo humano, según la norma COGUANOR NGO 29001 (presencia de coliformes totales 2 NMP/ 100ml, donde la norma estipula que no debe de existir presencia de bacterias <1 NMP/ 100ml), debido a que el agua no solo proviene del pozo mecánico, sino de nacimientos que pueden contaminarse por las heces de animales de sangre caliente, debido a que este tipo de bacterias las coliformes totales, o bacterias termotolerantes son eliminadas en su totalidad por métodos químicos como la cloración u otro método de desinfección química, donde con esta considerable disminución se notó que el filtro lento experimental es bastante aceptable, para reducir bacterias contaminantes, como efecto positivo secundario se ahorrara el gasto de pastillas de cloración, ya que la dosis sería menor, mejorando el rendimiento y economizando el costo de las pastillas de cloración en el sistema, ahorrando y mejorando la calidad del agua para la municipalidad.

Las tabla XX, XXI, XXII y figuras 27 a la 32, mostraron los resultados de los análisis de laboratorio fisicoquímicos de los parámetros, elementos y elementos considerables, que tienen que ver directamente con el olor, sabor, color, turbiedad y dureza del agua que se distribuye en el casco urbano,

porcentaje de disminución de los mismos y grado de eficiencia del proceso experimental piloto de filtración física, antes y después del método de filtración lenta, donde se expresa la categoría binario, que es referente al olor, donde es rechazable y no rechazable, donde 300 es no rechazable y 0 rechazable. Algunos parámetros y elementos se mantuvieron y otros disminuyeron notablemente.

La figura 28 mostró el porcentaje de disminución y eficiencia de los parámetros fisicoquímicos que se redujeron durante el proceso experimental de filtración lenta, donde el pH se redujo en un 10.26% (7.8 a 7), el parámetro se mantuvo normal siempre neutro, no afectando el estado normal de agua, en cuanto a la conductividad 47.92% (0.96 a 0.50 mS/cm), la dureza 64.08% (343.8 a 123.5 mg/l CaCO₃), y la turbiedad 50% (10 a <5 NTU), estos parámetros se redujeron considerablemente, debido a que la conductividad está ligada con la dureza del agua si la dureza se reduce lo hará la conductividad por los cationes de Ca⁺² y Mg⁺².

La turbiedad se redujo la mitad, lo cual el efecto de retención y absorbente del filtro lento fue eficiente, esto repercute en el análisis microbiológico, debido a que la turbiedad en muchas ocasiones hace que las bacterias formen esporas resistentes, que en la etapa de cloración no se pueden eliminar, con la reducción de este agente contaminante no solo se disminuye el valor de la turbiedad sino se reduce el consumo de pastillas de cloración y aumenta el poder de desinfección.

El olor se redujo en un 100% (de no rechazable a rechazable) y color 98.75% (4 a 0.05 UPtCo), ambos sin sobrepasar los límites de la norma COGUANOR NGO 29001 (rechazable para el color y de 5 a 35 UPtCo, para el color), lo cual mostro la eficiencia del filtro lento experimental, primordialmente

la capa secundaria de carbón activado, que su poder adsorbente de olores y sabores se notó, donde el olor y sabor resulto rechazable, el color se redujo casi totalmente, mostrando la eficiencia del filtro lento de multicapas.

La figura 30 mostró el porcentaje de disminución y eficiencia de los elementos fisicoquímicos que se redujeron durante el proceso experimental de filtración lenta, los nitritos se redujeron en un 99.01% (2.02 a 0.02 mg/l NO_2), esto probablemente es debido a que se degradan y oxidan los compuestos nitrogenados, directamente es otra causa de la remoción y retención de partículas suspendidas en grados de coloides y reducción del color, por la filtración lenta.

El hierro (Fe^{+2}) y el manganeso (Mn^{+2}) tuvieron una reducción de 62.50% (0.16 a <0.06 mg/l Fe), y 66.67% (0.03 a 0.01 mg/l Mn), posiblemente porque ambos se redujeron por la pérdida de electrones, por estar expuestos a la intemperie y producto de la oxidación biológica del filtro lento experimental, ambos no sobrepasaron la norma COGUANOR NGO 29001 (para el hierro, 0.30 mg/l Fe y 0.40 mg/l Mn, para el manganeso) todos los demás elementos no mostraron cambio alguno.

Otro factor de la reducción del hierro y manganeso es que en ocasiones puede unirse con los sulfatos o sulfuros en el caso del hierro pueden formar sulfuro de hierro o sulfato de hierro, en las tuberías del agua que suministra el pozo mecánico, se nota que tienen una mezcla negra y rojo oxidado, probablemente el sulfato de hierro, ya que no huele a hierro sino cierto hedor de mezcla de ambos, hierro y azufre.

Las figuras 31 y 32 mostraron los elementos fisicoquímicos considerables, que afectan el olor, sabor, color, turbiedad y dureza del agua, antes y después

del filtro lento piloto experimental, de igual manera el porcentaje de disminución y eficiencia de los elementos fisicoquímicos considerables que se redujeron durante el experimento piloto. El calcio tubo una reducción del 35.45% (124.30 a 80.20 mg/l Ca), lo cual está ligado con la dureza del agua, donde el filtro experimental resulto eficiente en la disminución del calcio haciendo más blanda el agua, el nitrato se redujo 26.32% (11.40 a 8.40 mg/l NO₃), probablemente es producto de la oxidación biológica del filtro lento de multicapas y etapas piloto de carácter experimental.

Los sulfatos se redujeron un 56.82% (220 a 95 mg/l SO₄), este elemento está relacionado con la dureza del agua, donde puede formar sulfatos de calcio, magnesio, hierro u otra sulfosal, de carácter incrustante y nocivo no solo para la salud humana, sino para las tuberías que conducen agua potable por su carácter incrustante, el mismo está ligado al mal olor, sabor y color del agua, reduciéndose más de la mitad, lo cual el filtro mostro la eficiencia y eficacia para remover este agente contaminante nocivo.

Los datos de los análisis de laboratorio, después del filtro lento experimental, mostraron que ningún parámetro y elemento fisicoquímico sobrepaso los límites máximos permisibles (LMP) de la norma COGUANOR NGO 29001, algunos sobrepasaron los límites máximos aceptables (LMA), como el caso de la dureza (123.8 mg/l CaCO₃ y el límite máximo aceptable LMA, de la norma COGUANOR NGO 29001, es de 100 mg/l CaCO₃) y el calcio (80.20 mg/l Ca, LMA de la norma COGUANOR NGO 29001 es de 75 mg/l Ca), pero según la norma COGUANOR NGO 29001, es catalogada como agua segura, para consumo humano.

La tabla XXIII y figura 33 mostró los resultados de los análisis de laboratorio de metales pesados y el grado de disminución antes y después de la

aplicación del filtro lento experimental a escala piloto, los únicos 3 metales pesados que tuvieron una variación leve fueron el arsénico, plomo y el cadmio, metales que debido a la zona volcánica, y cercanía de yacimientos minerales de plata, oro, plomo y zinc en la zona, son muy comunes encontrar vetas de sulfuro de plomo y de zinc, en agua subterránea, estos metales son acarreados por medio del pozo mecánico.

La figura 34 mostró el porcentaje de disminución de los metales pesados y el grado de eficiencia del método durante el proceso experimental de filtración lenta, el arsénico disminuyó un 16.67% (0.012 a 0.010 mg/L As), al igual que el cadmio 16.67% (<0.006 a <0.005 mg/L Cd), y un 18.37% el plomo, (<0.098 a <0.08 mg/L Pb), esto es producto de los microporos del material filtrante, que atrapo algunas microparticulas de estos metales, haciéndolo un buen tratamiento de remoción de arsénico, cadmio y plomo en zonas que lo necesiten, un dato relevante es que el arsénico estaba el 16.57% arriba del límite máximo permisible (LMP), de la norma COGUANOR NGO 29001, lo cual es importante mencionarlo y controlarlo, debido a que este metal es supernocivo (cancerígeno) y causa serios daños y efectos secundarios a la salud de las personas.

Por lo cual, el arsénico debe de ser sujeto análisis de agua periódicos para mantener una medida preventiva a este metal, y no permitir que sobrepase la norma COGUANOR NGO 29001, debido a que en la zona se encuentra una minera de plata y oro, donde muchas veces la presencia de arsénico en el agua subterránea es un indicador de presencia de oro, plata u otro metal de interés minero contenido muchas veces en el mineral arsenopirita. (FeAsS). Todos los demás parámetros no tuvieron ningún cambio, a excepto de los 3 anteriormente mencionados.

5. PROPUESTA DE SISTEMA DE TRATAMIENTO FÍSICO, MEDIANTE FILTRACIÓN LENTA

El sistema de tratamiento físico, mediante filtración lenta, propuesto para el tratamiento de agua del casco urbano, del municipio de San Rafael Las Flores, es un método de tecnología sanitaria económico y eficiente, tal como se corroboró con los análisis de laboratorio microbiológicos, fisicoquímicos y de metales pesados, la eficiencia del filtro es bastante aceptable, mejorando el porcentaje de disminución y eficiencia del sistema de filtración lenta en cuanto a la carga contaminante, es conveniente implementar de una a dos capas más de material filtrante de diferentes diámetros, un prefiltro sedimentador para mejorar el rendimiento y ampliar el tiempo de retención del mismo.

El método de filtración física experimental tubo buenos resultados, por ende, se propone el diseño de un sistema de filtración lenta convencional modificado, anuente a ello se planteó el monto del costo real de la tarifa que debería de cobrar la municipalidad por el servicio de agua para consumo humano a los usuarios.

Otro dato relevante es que la mayoría de materiales que se utilizaron para el experimento piloto de filtración física son encontrados en el municipio de San Rafael Las Flores, y en otros municipios de Guatemala, a excepción del carbón activado que es necesario la compra en distribuidores adecuados, el mantenimiento es muy sencillo y se puede cambiar dos o tres veces al año, ya que como se mencionó anteriormente el material filtrante está disponible, de igual manera se puede remover periódicamente la primera capa, ya que está área es donde se forma la película de la formación de bacterias buenas, pero

con el tiempo en vez de ayudar contaminaría más, se puede remover ya sea en cierto porcentaje o total, según sea el caso y accesibilidad del material filtrante en la zona.

El filtro propuesto tiene un volumen de 378m³, (9m de ancho, 14m de longitud y 3m de profundidad), las especificaciones técnicas, fórmulas de cálculo, diseños, presupuesto y planos se encuentran en el anexo 7 al 10, para presentar un mejor detalle del diseño, el cual se realizó con el apoyo de un arquitecto, el material filtrante tiene diferentes tamaños (arena fina 0.60m, carbón activado 0.30m y grava 0.74m), todos los cálculos y diseños fueron elaborados con estándares y normas de la CEPIS.

Por medio de una tabla donde se analizaron diferentes aspectos, tales como sueldos de empleados, costos de operación y mantenimiento del filtro lento, entre otros aspectos necesarios para el buen funcionamiento y distribución del servicio de agua potable en el casco urbano, se tomaron en cuenta para establecer una tarifa real, donde el subsidio de la municipalidad se ve plasmado en el anexo 11, el cual es de Q.187.36 por usuario, donde en el casco urbano hay 1 091 usuarios, acumulando un monto mensual de Q. 204 410.90 y anual sería de Q.2 452 930.78, se notó claramente la insostenibilidad del servicio, ya que el costo por usuario al mes actual es de Q. 3.00, recolectando al mes por todos los usuarios Q.3 273 y al año Q.39 276 un déficit de Q. 2 413 654.78 (98.42%), donde se hace la propuesta que para que el servicio de agua potable sea sostenible se debe de cobrar al mes por usuario Q. 190.36 (anexo 11)

En la tabla XXIV se muestra el resumen desglosado del costo del sistema de tratamiento de filtración lenta convencional modificado, el cual el monto total del diseño y construcción sería de Q 327 372.49.

Tabla XXIV. **Costo desglosado del diseño y construcción del filtro lento**

No.	Descripción	Cantidad	Unidad de Medida	Costo Global	Costo Impuestos	Costo Total
2	trabajos preliminares	201.00	M ²	Q15,520.00	Q 2,638.40	Q 18,158.40
	Nivelación y Limpieza			Q34,105.40	Q 5,797.92	Q 39,903.32
	Trazo y Estaqueado	201.00	M ²	Q 4,528.30	Q 769.81	Q 5,298.11
	Bodega	1.00	Global	Q19,567.68	Q 3,326.51	Q 22,894.19
	Losa de Cimentación	10.00	M ²	Q42,927.86	Q 7,297.74	Q 50,225.60
	Muros	201.00	M ²	Q65,464.00	Q11,128.88	Q 76,592.88
	Asesor y supervisores	2.00	Global			Q 50,000.00
	Costos Indirectos	1.00	U	global	Q16,300.00	Q 16,300.00
	Costo de Materiales filtrantes	3.00	M ³	global		Q 12,000.00
	Mantenimiento		Global	anual		Q 36,000.00
				TOTAL		Q 327,372.49

Fuente: elaboración propia.

De igual manera es conveniente la realización de reglamentos, manuales de operación y mantenimiento y mejorar la tasa actual, por el servicio de agua potable en el casco urbano, ya que es insostenible, mejorar el gasto de inversión, con proyectos que mejoren la calidad y cantidad del servicio de agua para consumo humano en el casco urbano y el municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa.

CONCLUSIONES

1. El 80 % de la población entrevistada coincide que se percibe mal sabor, olor, turbiedad (olor a huevo podrido y sabor a tierra), en el agua entubada, lo cual es causa considerable de la presencia de contaminantes nocivos en el agua que surte al casco urbano, y la necesidad de la implementación de un diseño de filtración física que erradique y elimine estos contaminantes.
2. Los análisis de laboratorio microbiológicos primordialmente, los coliformes totales disminuyeron un 97.14% y la Escherichia coli un 80%, lo cual mostró el grado de eficiencia del filtro piloto experimental, donde el tiempo de retención y la exposición a la intemperie fue la clave para remover un alto porcentaje de la carga contaminante, donde la E. coli se disminuyó de tal manera que no hubo presencia de número más probable NMP en los 100ml de solución, según lo estipula la COGUANOR NGO 29001.
3. Los resultados del análisis de laboratorio fisicoquímico, tanto los parámetros como elementos químicos no sobrepasaron los límites máximos permisibles (LMP) de la norma COGUANOR NGO 29001, dentro de los más importantes que se redujeron, debido a que tienen efecto negativo, tanto en la salud de las personas como en el deterioro de las tuberías, contaminantes como la dureza 64.08% y la turbiedad 50%, estos parámetros se redujeron considerablemente, el olor se redujo en un 100% y color 98.75%, lo cual mostró la eficiencia del filtro lento experimental, primordialmente la capa secundaria de carbón

activado. El calcio tubo una reducción del 35.45 %, lo cual está ligado con la dureza del agua e incrustación de tuberías, al igual que el nitrato se redujo 26.32 %.

4. El sistema actual de distribución de agua entubada presenta mal olor y sabor, turbiedad e incrustación de tuberías, los análisis de laboratorio corroboraron esta información con datos científicos, que se perciben por la población, donde el mal olor producido por el ion sulfuro o sulfato, también responsable de la incrustación de la tuberías, ya que su valor supero el LMA y casi el LMP, el filtro lento lo redujo considerablemente un 56.82% (220 a 95 mg/l SO₄), este elemento está relacionado con la dureza del agua, donde puede formar sulfatos de calcio, magnesio, hierro u otra sulfosal, de carácter incrustante y nocivo no solo para la salud humana, sino para las tuberías que conducen agua potable por su carácter incrustante, como se mencionó anteriormente está ligado al mal olor, sabor y color del agua, reduciéndose más de la mitad, lo cual el filtro mostro la eficiencia y eficacia para remover este agente contaminante nocivo para la salud de las personas y la tubería.
5. El arsénico disminuyó un 16.57%, al igual que el cadmio y un 18.37% el plomo, todos los demás metales pesados no presentaron ninguna variación durante el experimento piloto de filtración lenta. De los metales pesados el arsénico estaba el 16.57% arriba del límite máximo permisible (LMP), de la norma COGUANOR NGO 29001, lo cual es importante controlarlo, ya que este metal es supernocivo (cancerígeno) y causa serios daños y efectos secundarios a la salud de las personas.
6. Los principales beneficios de la implementación de un sistema de filtración física, sería la eliminación del mal olor, color, sabor, turbiedad y

otros contaminantes presentes en el agua potable del casco urbano, donde el 96% de la población percibió la necesidad de la aplicación de métodos de filtración física para mejorar la calidad del agua y así tener mejor confianza en el servicio, debido a que según los análisis de agua técnico-científicos, y la aplicación del experimento piloto de filtración lenta minimizó considerablemente los parámetros y elementos químicos contenidos en el agua entubada del casco urbano.

7. El costo total del diseño y construcción del sistema de tratamiento de filtración lenta modificada será de Q 327 372.49, lo cual para la municipalidad de San Rafael Las Flores, es un gasto necesario y no elevado, dándole cumplimiento a las competencias propias basadas en el artículo 68 inciso a, del código municipal.
8. El costo real de la tarifa para por el servicio de agua potable en el casco urbano del municipio de San Rafael Las Flores, que debería de pagar mensualmente cada usuario sería de Q. 190.36, para que el servicio sea sostenible y sustentable.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario mejorar el cobro de la tarifa municipal, por la prestación del servicio de agua potable, para hacer sostenible dicho servicio y mejorar las finanzas municipales, de igual forma la creación de reglamentos y manuales de operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable para que sea más eficientes.
2. Aplicar un tratamiento o tecnología sanitariamente adecuada, como un sistema de filtración lenta convencional, para mejorar la calidad del agua que distribuye la municipalidad de San Rafael Las Flores, ya que la municipalidad cuenta con los recursos necesarios para implementar este tipo de proyectos, además es una competencia propia.
3. Se debe de colocar otra capa extra de material filtrante como arena más fina, para eliminar casi en su totalidad la turbiedad, mejorando así la eficiencia del proceso de cloración, de igual manera es conveniente implementar de una a dos capas más de material filtrante de diferentes diámetros, un prefiltro sedimentador para mejorar el rendimiento y ampliar el tiempo de retención del filtro lento.
4. Se sugiere la aplicación de otro sistema ya sea físico o químico, idóneo para eliminar la dureza del agua, contenida ya sea en carbonatos o sulfatos de calcio, magnesio, hierro u otro químico con características incrustantes o corrosivas en el agua y en la tubería de distribución, que distribuye el vital líquido al casco urbano, como un tratamiento mixto (químico y físico), con la utilización de tanques o filtros sedimentadores.

5. Es idóneo la aplicación de una tecnología o proceso sanitario para la eliminación del arsénico en caso se siga presentando, como la utilización de un tratamiento de remoción de arsénico por medio de filtros absorbentes y adsorbentes u otro método que reduzca o elimine dicho metal nocivo, para la salud de las personas, una planta de remoción de arsénico de medios filtrantes, con la utilización de químicos como el sulfato férrico que permita oxidar el arsénico y la utilización de hipoclorito de calcio al 10%, ya que estos dos químicos son eficientes para oxidación del arsénico de arsenito (As^{+3}) a arsenato (As^{+5}) y después la aplicación de medio filtrantes como los filtros rápidos.

6. Se deben de realizar análisis de agua periódicos, tanto microbiológicos, fisicoquímicos y de metales pesados, para saber el grado de calidad del agua potable, que se distribuye en el casco urbano, en el caso del bacteriológico mensual, el fisicoquímico bimensual y el de metales pesados trimestral, para aplicar un control y vigilancia preventiva y no correctiva.

7. Evaluar el sistema de cloración actual, por otro de mejor eficiencia y menor costo como el oxiclورو (ClO_2), cloro líquido u otros que permita mejorar la calidad y reducir costos, ya que se está usando pastillas de hipoclorito de calcio, lo cual se consumen demasiado rápido, provocando un gasto excesivo en dicho químico y en decremento de las finanzas municipales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aquino, E. (2016). Entrevista, jefe de servicios generales, municipalidad de San Rafael Las Flores, Santa Rosa, Guatemala.
2. Castañón, C. (2000). Perspectivas de valoración económica del agua
3. CEPIS/OPS, (1992). Programa Regional HEP/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Serie, Filtración Lenta. Manual II, Diseño.
4. COGUANOR 29001, (2009), acuerdo ministerial1148-09, agua potable y sus especificaciones. [http:// www.mspas.gob.gt/.regulaciones-vigentes-agua-saneamiento-calidad](http://www.mspas.gob.gt/.regulaciones-vigentes-agua-saneamiento-calidad).
5. Colom, E. (2001). Estado del agua en Guatemala, funsolar
6. Fogel, D., Reuton, I., Guasparini, J., Moorehead, R., Ongerth, W., & Jerry E. (1993). Removing Giardia and Cryptosporidium by slow sand filtration.
7. Galvis, G., Vischer, J., Lloyd, T., & Barry. (1992). Multi-stage surface water treatment for community water supply in Colombia. *Waterlines: Journal of appropriate water supply and sanitation technologies*.

8. González, J. (1995). Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable Santa Luisa. Guatemala, USAC. Pág. 1-3.
9. Huisman, L. & Wood, W. (1974). Slow sand filtration, Ginebra.
10. INFOM, (1998). Obtenido de la ley organica, documento localizado en la pagina [http:// www.infom.gob.gt/archivos/leyorganica.pdf](http://www.infom.gob.gt/archivos/leyorganica.pdf)
11. Loy, F. (Julio de 2015).Obtenido de dirección administrativa y financiera municipal (DAFIM), <http://www.munisanrafaellasflores.gob.gt/cms2/index.php>.
12. Ojeda, P., Lloyd, M., & Barry J. (1990). Slow sand filtration response to acute variations of influent bacteriological water quality.
13. OMS, (2008), calidad del agua potable, obtenido de la web http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/es.
14. OPS/CEPIS, Solsona, F. (2003). Filtración dinámica.
15. Pacajoj, J. (2003). Diagnóstico municipal del abasto de agua. Lic. en trabajo social, director gestión comunitaria servicio para el desarrollo. Quetzaltenango.
16. Romero, M. (2008). Tratamientos utilizados en la potabilización de agua, boletín electrónico N. 8, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar (URL). Pp. 1-12.

17. Roque, A., Seda, R., Ortiz, S., Cardona J. & Trinidad I. (1990). Caracterización de un filtro lento de arena con un prefiltro de flujo horizontal de grava.
18. SEGEPLAN, (2011). Obtenido de la política nacional del sector de agua potable, [http://www.segeplan.gob.gt/.../Politica Nacional del Sector de Agua Potable](http://www.segeplan.gob.gt/.../Politica_Nacional_del_Sector_de_Agua_Potable).
19. UNESCO, (2002). El agua y la salud, obtenido de la página web http://www.unesco.org/water/news/newsletter/134_es.shtml.
20. Unidad de acceso a la información, (junio de 2015). Obtenido de la página, http://www.tumuniguate.com_gob.gt/cms2/index.php.
21. Vargas, L. (1992). Programa regional de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano, tratamiento de filtración lenta, manual I, II, II.
22. Vargas, L. (2000). Programa regional para la promoción del uso de tecnologías apropiadas en saneamiento básico.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de laboratorio de agua resultado microbiológico antes del filtro lento experimental



Soluciones Analíticas
Agricultura • Industria • Ambiente



INFORME DE ANÁLISIS DE MICROBIOLOGÍA
ACREDITADO ISO 17025
QGA-LE-031-09

14 Av. 19-50 Conrado El Nerarajo,
Oficodagas San Sebastián, Bodega 23,
Zona 4 Mixco, Guatemala
P.O.B.: 2410-2916 Fax: 2410-2917
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

Cliente : ARMANDO MORALES (11572) Dirección : 10 av. 12-03, Planes de Minerva 2, Zona 11 Mixco Persona Responsable: ARMANDO MORALES	Numero de orden : 95445 Código de muestra : 16.04.19.02.17 Fecha de ingreso : 9/11/2016 Fecha del informe : 22/11/2016 Asesor : EDGAR MENA	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Referencia Cliente : TANQUE DISTRIBUCIÓN FINAL SIN FILTRO

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo : 9/11/2016	Fecha de inicio del análisis : 9/11/2016
Hora de Muestreo : 10:00 A.M.	Hora del análisis : 14:36 P.M.
Tipo de Muestra : AGUA	Hora de Ingreso : 13:56:50
Coordenadas :	Temperatura de Ingreso : °C
Recipiente : BOLSA ESTERIL	Resp. De Muestreo : CLIENTE
Apariencia : CLARA	Temp. De almacenamiento : 2.5 ±1.5 °C
Procedencia : NO INDICA	

RESULTADOS

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	* VALOR PERMITIDO	LIMITE DE DETECCIÓN	METODOLOGIA
** CONTEO DE BACTERIAS AEROBIAS	UFC/ mL	>15	-	<10	SM 9215 B
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	70	<1	<1	SM 9223 B
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	5.0	<1	<1	SM 9223 B

UFC: Unidades Formadoras de Colonia.
 NMP: Número más probable.

* Según Norma Guatemalteca COGUANOR (NTG 29001) para análisis microbiológico de agua potable.

Metodología con base en:

- Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF 22nd ed, 2012.

** Temperatura / Tiempo de incubación : 35 ± 0.5 °C / 48h
 Medio de cultivo: Plate Count Agar (PCA)

Licda. Elsa Jauregui Jimenez
QUÍMICA BIÓLOGA
COLEGIADA No. 1192

Revisado: _____
 Licda. Elsa Jauregui
 Química Bióloga, Colegiada No. 1192

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra o para sus recibidos en el Laboratorio.
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
 Este informe es válido únicamente en su impresión original.



Página 1 / 1

Fuente: Laboratorio de soluciones analíticas.

Anexo 2. Análisis de laboratorio de agua, resultado fisicoquímico antes del filtro lento experimental



Soluciones Analíticas
Agricultura • Industria • Ambiente



14 Av. 19-50 Condado El Naranjo,
Oficinas San Sebastián, Bodega 23,
Zona 4 Miraflores, Guatemala
P.BX.: 2416-2915 Fax: 2416-2917
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS DE AGUA POTABLE

Cliente : ARMANDO MORALES (11572)
 Persona Responsable : ARMANDO MORALES
 Asesor : EDGAR MENA
 Cultivo : SIN CULTIVO

Número de orden : 95445
 Código de muestra : 16.04.19.01.03
 Fecha de ingreso : 9/11/2016
 Fecha del informe : 22/11/2016

DATOS DE LA MUESTRA

Ubicación	: NO INDICA	Temperatura de ingreso	: 9.8 °C
Fecha de muestreo	: 9/11/2016	Temperatura almacenaje	: REFRIGERADA
Hora de muestreo	: 10:00	Apariencia	: CLARA
Tipo de muestra	: NO INDICA	Fecha de ingreso	: 9/11/2016
Recipiente	: PLASTICO	Hora de ingreso	: 15:35:39
Coordenadas	:	Hora inicio analisis	: 6:00 A.M.
Procedencia	: NO INDICA	Responsable de muestreo	: NO INDICA
Referencia cliente	: TANQUE DISTRIBUCIÓN FINAL SIN FILTRO		

Parámetros	Dimensional	Valor	LMA*	LMP*
Ph		7.8	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	0.96	0.75	< 1.5
DUREZA	mg/l CaCO ₃	343.8	100.0	500.0
TURBIEDAD	NTU	10.00	5.0	15.0
OLOR		NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	—
COLOR	UPtCo	4.00	5.0	35.0

Elemento	Dimensional	Valor	LMA*	LMP*
Nitrato	mg/l NO ₃	11.40	—	50.00
Nitritos	mg/l NO ₂	2.02	—	3.00
Calcio	mg/l Ca	124.30	75.00	150.00
Magnesio	mg/l Mg	8.02	50.00	100.00
Sulfato	mg/l S O ₄	220.00	100.00	250.00
Boro	mg/l B	0.12	—	0.30
Cobre	mg/l Cu	< 0.02	0.05	1.50
Hierro	mg/l Fe	0.16	0.30	—
Manganeso	mg/l Mn	0.03	0.10	0.40
Zinc	mg/l Zn	< 0.02	3.00	70.00
Cloruro	mg/l Cl	2.50	100.00	250.00

Revisado:  **INGENIERA QUÍMICA**
COLEGIADA No. 1.140
Gerente de Laboratorios

*Con base en: la Norma COGUANOR NTG28001 Agua para consumo humano (agua potable).

- Límite Máximo Aceptable (LMA): Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del Consumidor.

- Límite Máximo Permisible (LMP): Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad de agua, arriba del cual el agua no es adecuada para consumo humano.

— = No se tienen Límites debido a que la Norma COGUANOR NTG29001 (Agua para consumo Humano), no solicita estos parámetros

NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez

Metodología con base en:

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WWA, 20th.ed. 1998

Las copias extra de este informe son válidas únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.
La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
Este informe es válido únicamente en su impresión original.



Fuente: Laboratorio de soluciones analíticas.

Anexo 3. **Análisis de laboratorio de agua resultado de metales pesados antes del filtro lento experimental**



Soluciones Analíticas
Agricultura • Industria • Ambiente



LABORATORIO AMBIENTAL

INFORME DE ANALISIS

14 Av. 19-a0 Condado E. Naranjo,
Ofimodagas San Sebastián, Bodega 23,
Zona 4 Mixco, Guatemala
PRX: 2416-2916 Fax: 2416-2917
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

Cliente : ARMANDO MORALES (11572)
 Dirección : 10 av. 12-01, Planos de Minería 2, zona 11 Mixco
 Persona Responsable : ARMANDO MORALES
 Referencia cliente : TANQUE DISTRIBUCIÓN FINAL SIN FILTRO
 Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 95445
 Código de muestra : 5604.19.06.04
 Fecha de Ingreso : 9/11/2016
 Fecha Informe : 22/11/2016
 Autor : EDGAR MENA

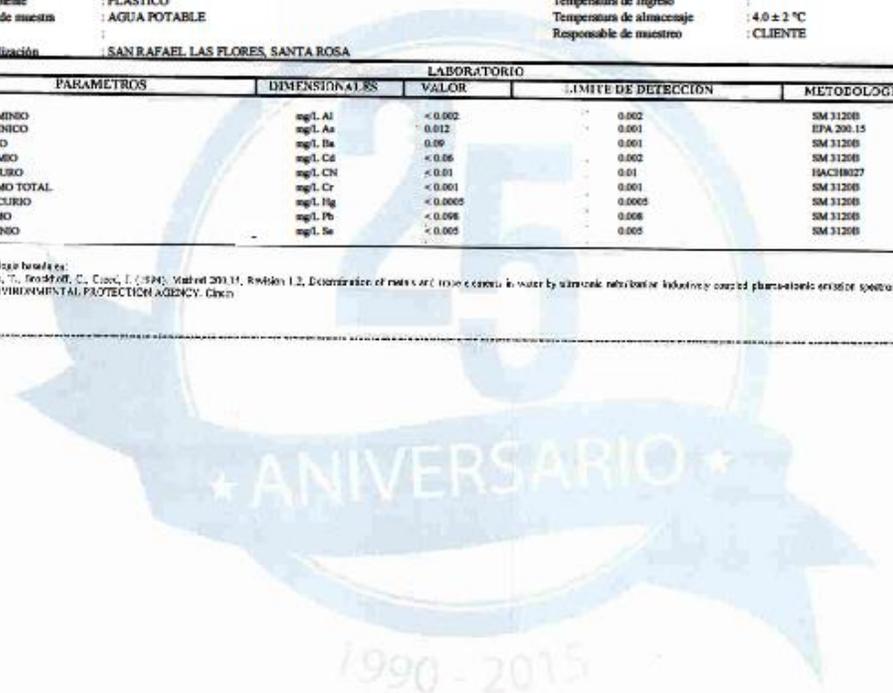
LA MUESTRA

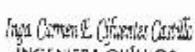
Fecha de Muestreo : 9/11/2016 Hora de Muestreo : 10:00 Recipiente : PLASTICO Tipo de muestra : AGUA POTABLE Localización : SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA	Fecha Inicio de Análisis : 9/11/2016 Hora de Ingreso : 13:52:56 Temperatura de Ingreso : Temperatura de almacenamiento : 4.0 ± 2 °C Responsable de muestreo : CLIENTE
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

LABORATORIO

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LÍMITE DE DETECCIÓN	METODOLOGIA
ALUMINIO	mg/l. Al	< 0.002	0.002	SM 31200
ARSENICO	mg/l. As	0.012	0.001	EPA 200.15
BARIO	mg/l. Ba	0.06	0.001	SM 31200
CADMILO	mg/l. Cd	< 0.06	0.002	SM 31200
CIANURO	mg/l. CN	< 0.01	0.01	ISO18027
CROMO TOTAL	mg/l. Cr	< 0.001	0.001	SM 31200
MERCURIO	mg/l. Hg	< 0.0005	0.0005	SM 31200
PLOMO	mg/l. Pb	< 0.056	0.008	SM 31200
SELENIO	mg/l. Se	< 0.005	0.005	SM 31200

Metodología utilizada:
 Neme, T., Grodzoff, C., Cline, J. (1994). Method 200.15. Determination of metals and trace elements in water by atomic absorption/inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy.
 U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Clean




Inga Carmen El Chifanter Casado
 INGENIERA QUÍMICA
 COLEGADA No. 1.140

Revisado:  _____
 Gerente de Laboratorios

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
 Este informe es válido únicamente en su impresión original



Página 1 / 1

Fuente: Laboratorio de soluciones analíticas.

Anexo 4. **Análisis de laboratorio de agua resultado microbiológico después del filtro lento experimental**



Soluciones Analíticas
Agricultura • Industria • Ambiente



INFORME DE ANÁLISIS DE MICROBIOLOGÍA
ACREDITADO ISO 17025
OGA-LE-031-09

14 Av. 19-50 Conda de El Naranjo,
Oficodagas San Sebastián, Bodega 23,
Zona 4 Mixco, Guatemala
PBR.: 2416-2916 Fax.: 2416-2917
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

Cliente : ARMANDO MORALES (11572) Dirección : 10 av. 12-03, Planes de Minerva 2, Zona 11 Mixco Persona Responsable: ARMANDO MORALES	Numero de orden : 95446 Código de muestra : 16.04.19.02.18 Fecha de ingreso : 9/11/2016 Fecha del informe : 22/11/2016 Asesor : EDGAR MENA
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Referencia Cliente : TANQUE DISTRIBUCIÓN FINAL CON FILTRO

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo : 9/11/2016 Hora de Muestreo : 10:00 A.M. Tipo de Muestra : AGUA Coordenadas : Recipiente : BOLSA ESTERIL Apariencia : CLARA Procedencia : NO INDICA	Fecha de inicio del análisis : 9/11/2016 Hora del análisis : 14:36 P.M. Hora de Ingreso : 13:56:50 Temperatura de Ingreso : °C Resp. De Muestreo : CLIENTE Temp. De almacenamiento : 2.5 ±1.5 °C
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

RESULTADOS

PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	* VALOR PERMITIDO	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
** CONTEO DE BACTERIAS AEROBIAS	UFC/ mL	>3	--	<10	SM 9215 B
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	2	<1	<1	SM 9223 B
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	<1.0	<1	<1	SM 9223 B

UFC: Unidades Formadoras de Colonia.
 NMP: Número más probable.

* Según Norma Guatemalteca COGUANOR (NTG 29001) para análisis microbiológico de agua potable.

Metodología con base en:

- Standard Methods for the examination of water and wastewater APHA, AWWA, WEF 22nd ed, 2012.

** Temperatura / Tiempo de incubación : 35 ± 0.5 °C / 48h
 Medio de cultivo: Plate Count Agar (PCA)

Última Línea

ANIVERSARIO 1990-2015

Licda. Elsa Jauregui Jimenez
QUÍMICA BIÓLOGA
COLEGIADA No. 1192

Revisado: _____
 Licda. Elsa Jauregui
 Química Bióloga, Colegiado No. 1192

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra o como fue recibida en el Laboratorio.
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
 Este informe es válido únicamente en su impresión original.



Página 1 / 1

Fuente: Laboratorio de soluciones analíticas.

Anexo 5. Análisis de laboratorio de agua resultado fisicoquímico después del filtro lento experimental



Soluciones Analíticas
Agricultura • Industria • Ambiente



GREEN FOOD PRINT
GRUPO INDUSTRIAL

14 Av. 19-50 Condado El Naranjo,
Offshores San Sebastián, Bodega 23,
Zona 4 Mixco, Guatemala
PBX: 2416-2915 Fax: 2416-2917
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS DE AGUA POTABLE

Cliente	: ARMANDO MORALES (11572)	Número de orden	: 95446
Persona Responsable	: ARMANDO MORALES	Código de muestra	: 16.04.19.01.04
Asesor	: EDGAR MENA	Fecha de ingreso	: 9/11/2016
Cultivo	: SIN CULTIVO	Fecha del informe	: 22/11/2016

DATOS DE LA MUESTRA

Ubicación	: NO INDICA	Temperatura de ingreso	: 9.8 °C
Fecha de muestreo	: 9/02/2016	Temperatura almacenaje	: REFRIGERADA
Hora de muestreo	: 10:00	Apariencia	: CLARA
Tipo de muestra	: NO INDICA	Fecha de ingreso	: 9/11/2016
Recipiente	: PLASTICO	Hora de ingreso	: 15:35:39
Coordenadas	:	Hora inicio análisis	: 6:00 A.M.
Procedencia	: NO INDICA	Responsable de muestreo	: NO INDICA
Referencia cliente	: TANQUE DISTRIBUCIÓN FINAL CON FILTRO		

Párametros	Dimensional	Valor	LMA*	LMP*
Ph		7.0	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	0.50	0.75	< 1.5
DUREZA	mg/l CaCO ₃	123.5	100.0	500.0
TURBIEDAD	NTU	< 5.00	5.0	15.0
OLOR		RECHAZABLE	RECHAZABLE	—
COLOR	UPtCo	0.05	5.0	35.0

Elemento	Dimensional	Valor	LMA*	LMP*
Nitrato	mg/l NO ₃	8.40	—	50.00
Nitritos	mg/l NO ₂	0.02	—	3.00
Calcio	mg/l Ca	80.20	75.00	150.00
Magnesio	mg/l Mg	8.02	50.00	100.00
Sulfato	mg/l S O ₄	95.00	100.00	250.00
Boro	mg/l B	0.12	—	0.30
Cobre	mg/l Cu	< 0.02	0.05	1.50
Hierro	mg/l Fe	< 0.06	0.30	—
Manganeso	mg/l Mn	0.01	0.10	0.40
Zinc	mg/l Zn	< 0.02	3.00	70.00
Cloruro	mg/l Cl	2.50	100.00	250.00

Revisado:  **Inga Carmen E. Cifuentes Castillo**
INGENIERA QUÍMICA
COLEGIADA No. 1.160
Gerente de Laboratorios

* Con base en la Norma COGUANOR NTG29001 Agua para consumo humano (agua potable).

- Límite Máximo Aceptable (LMA): Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del Consumidor.

- Límite Máximo Permisible (LMP): Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad de agua, arriba del cual el agua no es adecuada para consumo humano.

— = No se tienen Límites debido a que la Norma COGUANOR NTG29001 (Agua para consumo Humano), no solicita estos parámetros

NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez

Metodología con base en:

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WWA, 20th.ed. 1998

Las muestras de agua potable son recibidas únicamente para su análisis como fue recibida en el Laboratorio.
La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
Este informe es válido únicamente en su impresión original.



Fuente: Laboratorio de soluciones analíticas.

Anexo 6. Análisis de laboratorio de agua resultado de metales pesados después del filtro lento experimental



Soluciones Analíticas
Agua • Aire • Sólidos • Suelo



INFORME DE ANALISIS

14 Av. 19-50 Conrado E. Naranjo,
Oficinas San Sebastián, Bodega 23,
Zona 4 Misco, Guatemala
PRX: 2416-2916 Fax: 2416-2917
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

Cliente : ARMANDO MORALES (11572)
Dirección : 10 av. 12-03, Pisos de Minería 2, zona 11 Misco
Persona Responsable : ARMANDO MORALES
Referencia cliente : TANQUE DISTRIBUCIÓN FINAL CON FILTRO
Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO

Número de orden : 95446
Código de muestra : 15.04.19.06.05
Fecha de Ingreso : 9/11/2016
Fecha Informe : 22/11/2016
Análisis : EDGAR MENA

LA MUESTRA

Fecha de Muestra : 9/11/2016 Hora de Muestra : 10:00 Recipiente : PLASTICO Tipo de muestra : AGUA POTABLE Localización : SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA	Fecha Inicio de Análisis : 9/11/2016 Hora de Ingreso : 13:52:56 Temperatura de Ingreso : Temperatura de almacenaje : 4.0 ± 2 °C Responsable de muestreo : CLIENTE
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

LABORATORIO				
PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCIÓN	METODOLOGIA
ALUMINIO	mg/L Al	< 0.002	0.002	SM 3120B
ARSENICO	mg/L As	0.010	0.001	EPA 200.15
BARIO	mg/L Ba	0.09	0.001	SM 3120B
CADMILO	mg/L Cd	< 0.05	0.002	SM 3120B
CIANURO	mg/L CN	≤ 0.01	0.01	ISACH18027
CROMO TOTAL	mg/L Cr	< 0.001	0.001	SM 3120B
MERCURIO	mg/L Hg	< 0.0005	0.0005	SM 3120B
PLOMBO	mg/L Pb	< 0.008	0.008	SM 3120B
SELENO	mg/L Se	< 0.005	0.005	SM 3120B

Métodos base/es:
 405.1, 405.2, 405.3, 405.4, 405.5, 405.6, 405.7, 405.8, 405.9, 405.10, 405.11, 405.12, 405.13, 405.14, 405.15, 405.16, 405.17, 405.18, 405.19, 405.20, 405.21, 405.22, 405.23, 405.24, 405.25, 405.26, 405.27, 405.28, 405.29, 405.30, 405.31, 405.32, 405.33, 405.34, 405.35, 405.36, 405.37, 405.38, 405.39, 405.40, 405.41, 405.42, 405.43, 405.44, 405.45, 405.46, 405.47, 405.48, 405.49, 405.50, 405.51, 405.52, 405.53, 405.54, 405.55, 405.56, 405.57, 405.58, 405.59, 405.60, 405.61, 405.62, 405.63, 405.64, 405.65, 405.66, 405.67, 405.68, 405.69, 405.70, 405.71, 405.72, 405.73, 405.74, 405.75, 405.76, 405.77, 405.78, 405.79, 405.80, 405.81, 405.82, 405.83, 405.84, 405.85, 405.86, 405.87, 405.88, 405.89, 405.90, 405.91, 405.92, 405.93, 405.94, 405.95, 405.96, 405.97, 405.98, 405.99, 406.00, 406.01, 406.02, 406.03, 406.04, 406.05, 406.06, 406.07, 406.08, 406.09, 406.10, 406.11, 406.12, 406.13, 406.14, 406.15, 406.16, 406.17, 406.18, 406.19, 406.20, 406.21, 406.22, 406.23, 406.24, 406.25, 406.26, 406.27, 406.28, 406.29, 406.30, 406.31, 406.32, 406.33, 406.34, 406.35, 406.36, 406.37, 406.38, 406.39, 406.40, 406.41, 406.42, 406.43, 406.44, 406.45, 406.46, 406.47, 406.48, 406.49, 406.50, 406.51, 406.52, 406.53, 406.54, 406.55, 406.56, 406.57, 406.58, 406.59, 406.60, 406.61, 406.62, 406.63, 406.64, 406.65, 406.66, 406.67, 406.68, 406.69, 406.70, 406.71, 406.72, 406.73, 406.74, 406.75, 406.76, 406.77, 406.78, 406.79, 406.80, 406.81, 406.82, 406.83, 406.84, 406.85, 406.86, 406.87, 406.88, 406.89, 406.90, 406.91, 406.92, 406.93, 406.94, 406.95, 406.96, 406.97, 406.98, 406.99, 407.00, 407.01, 407.02, 407.03, 407.04, 407.05, 407.06, 407.07, 407.08, 407.09, 407.10, 407.11, 407.12, 407.13, 407.14, 407.15, 407.16, 407.17, 407.18, 407.19, 407.20, 407.21, 407.22, 407.23, 407.24, 407.25, 407.26, 407.27, 407.28, 407.29, 407.30, 407.31, 407.32, 407.33, 407.34, 407.35, 407.36, 407.37, 407.38, 407.39, 407.40, 407.41, 407.42, 407.43, 407.44, 407.45, 407.46, 407.47, 407.48, 407.49, 407.50, 407.51, 407.52, 407.53, 407.54, 407.55, 407.56, 407.57, 407.58, 407.59, 407.60, 407.61, 407.62, 407.63, 407.64, 407.65, 407.66, 407.67, 407.68, 407.69, 407.70, 407.71, 407.72, 407.73, 407.74, 407.75, 407.76, 407.77, 407.78, 407.79, 407.80, 407.81, 407.82, 407.83, 407.84, 407.85, 407.86, 407.87, 407.88, 407.89, 407.90, 407.91, 407.92, 407.93, 407.94, 407.95, 407.96, 407.97, 407.98, 407.99, 408.00, 408.01, 408.02, 408.03, 408.04, 408.05, 408.06, 408.07, 408.08, 408.09, 408.10, 408.11, 408.12, 408.13, 408.14, 408.15, 408.16, 408.17, 408.18, 408.19, 408.20, 408.21, 408.22, 408.23, 408.24, 408.25, 408.26, 408.27, 408.28, 408.29, 408.30, 408.31, 408.32, 408.33, 408.34, 408.35, 408.36, 408.37, 408.38, 408.39, 408.40, 408.41, 408.42, 408.43, 408.44, 408.45, 408.46, 408.47, 408.48, 408.49, 408.50, 408.51, 408.52, 408.53, 408.54, 408.55, 408.56, 408.57, 408.58, 408.59, 408.60, 408.61, 408.62, 408.63, 408.64, 408.65, 408.66, 408.67, 408.68, 408.69, 408.70, 408.71, 408.72, 408.73, 408.74, 408.75, 408.76, 408.77, 408.78, 408.79, 408.80, 408.81, 408.82, 408.83, 408.84, 408.85, 408.86, 408.87, 408.88, 408.89, 408.90, 408.91, 408.92, 408.93, 408.94, 408.95, 408.96, 408.97, 408.98, 408.99, 409.00, 409.01, 409.02, 409.03, 409.04, 409.05, 409.06, 409.07, 409.08, 409.09, 409.10, 409.11, 409.12, 409.13, 409.14, 409.15, 409.16, 409.17, 409.18, 409.19, 409.20, 409.21, 409.22, 409.23, 409.24, 409.25, 409.26, 409.27, 409.28, 409.29, 409.30, 409.31, 409.32, 409.33, 409.34, 409.35, 409.36, 409.37, 409.38, 409.39, 409.40, 409.41, 409.42, 409.43, 409.44, 409.45, 409.46, 409.47, 409.48, 409.49, 409.50, 409.51, 409.52, 409.53, 409.54, 409.55, 409.56, 409.57, 409.58, 409.59, 409.60, 409.61, 409.62, 409.63, 409.64, 409.65, 409.66, 409.67, 409.68, 409.69, 409.70, 409.71, 409.72, 409.73, 409.74, 409.75, 409.76, 409.77, 409.78, 409.79, 409.80, 409.81, 409.82, 409.83, 409.84, 409.85, 409.86, 409.87, 409.88, 409.89, 409.90, 409.91, 409.92, 409.93, 409.94, 409.95, 409.96, 409.97, 409.98, 409.99, 410.00, 410.01, 410.02, 410.03, 410.04, 410.05, 410.06, 410.07, 410.08, 410.09, 410.10, 410.11, 410.12, 410.13, 410.14, 410.15, 410.16, 410.17, 410.18, 410.19, 410.20, 410.21, 410.22, 410.23, 410.24, 410.25, 410.26, 410.27, 410.28, 410.29, 410.30, 410.31, 410.32, 410.33, 410.34, 410.35, 410.36, 410.37, 410.38, 410.39, 410.40, 410.41, 410.42, 410.43, 410.44, 410.45, 410.46, 410.47, 410.48, 410.49, 410.50, 410.51, 410.52, 410.53, 410.54, 410.55, 410.56, 410.57, 410.58, 410.59, 410.60, 410.61, 410.62, 410.63, 410.64, 410.65, 410.66, 410.67, 410.68, 410.69, 410.70, 410.71, 410.72, 410.73, 410.74, 410.75, 410.76, 410.77, 410.78, 410.79, 410.80, 410.81, 410.82, 410.83, 410.84, 410.85, 410.86, 410.87, 410.88, 410.89, 410.90, 410.91, 410.92, 410.93, 410.94, 410.95, 410.96, 410.97, 410.98, 410.99, 411.00, 411.01, 411.02, 411.03, 411.04, 411.05, 411.06, 411.07, 411.08, 411.09, 411.10, 411.11, 411.12, 411.13, 411.14, 411.15, 411.16, 411.17, 411.18, 411.19, 411.20, 411.21, 411.22, 411.23, 411.24, 411.25, 411.26, 411.27, 411.28, 411.29, 411.30, 411.31, 411.32, 411.33, 411.34, 411.35, 411.36, 411.37, 411.38, 411.39, 411.40, 411.41, 411.42, 411.43, 411.44, 411.45, 411.46, 411.47, 411.48, 411.49, 411.50, 411.51, 411.52, 411.53, 411.54, 411.55, 411.56, 411.57, 411.58, 411.59, 411.60, 411.61, 411.62, 411.63, 411.64, 411.65, 411.66, 411.67, 411.68, 411.69, 411.70, 411.71, 411.72, 411.73, 411.74, 411.75, 411.76, 411.77, 411.78, 411.79, 411.80, 411.81, 411.82, 411.83, 411.84, 411.85, 411.86, 411.87, 411.88, 411.89, 411.90, 411.91, 411.92, 411.93, 411.94, 411.95, 411.96, 411.97, 411.98, 411.99, 412.00, 412.01, 412.02, 412.03, 412.04, 412.05, 412.06, 412.07, 412.08, 412.09, 412.10, 412.11, 412.12, 412.13, 412.14, 412.15, 412.16, 412.17, 412.18, 412.19, 412.20, 412.21, 412.22, 412.23, 412.24, 412.25, 412.26, 412.27, 412.28, 412.29, 412.30, 412.31, 412.32, 412.33, 412.34, 412.35, 412.36, 412.37, 412.38, 412.39, 412.40, 412.41, 412.42, 412.43, 412.44, 412.45, 412.46, 412.47, 412.48, 412.49, 412.50, 412.51, 412.52, 412.53, 412.54, 412.55, 412.56, 412.57, 412.58, 412.59, 412.60, 412.61, 412.62, 412.63, 412.64, 412.65, 412.66, 412.67, 412.68, 412.69, 412.70, 412.71, 412.72, 412.73, 412.74, 412.75, 412.76, 412.77, 412.78, 412.79, 412.80, 412.81, 412.82, 412.83, 412.84, 412.85, 412.86, 412.87, 412.88, 412.89, 412.90, 412.91, 412.92, 412.93, 412.94, 412.95, 412.96, 412.97, 412.98, 412.99, 413.00, 413.01, 413.02, 413.03, 413.04, 413.05, 413.06, 413.07, 413.08, 413.09, 413.10, 413.11, 413.12, 413.13, 413.14, 413.15, 413.16, 413.17, 413.18, 413.19, 413.20, 413.21, 413.22, 413.23, 413.24, 413.25, 413.26, 413.27, 413.28, 413.29, 413.30, 413.31, 413.32, 413.33, 413.34, 413.35, 413.36, 413.37, 413.38, 413.39, 413.40, 413.41, 413.42, 413.43, 413.44, 413.45, 413.46, 413.47, 413.48, 413.49, 413.50, 413.51, 413.52, 413.53, 413.54, 413.55, 413.56, 413.57, 413.58, 413.59, 413.60, 413.61, 413.62, 413.63, 413.64, 413.65, 413.66, 413.67, 413.68, 413.69, 413.70, 413.71, 413.72, 413.73, 413.74, 413.75, 413.76, 413.77, 413.78, 413.79, 413.80, 413.81, 413.82, 413.83, 413.84, 413.85, 413.86, 413.87, 413.88, 413.89, 413.90, 413.91, 413.92, 413.93, 413.94, 413.95, 413.96, 413.97, 413.98, 413.99, 414.00, 414.01, 414.02, 414.03, 414.04, 414.05, 414.06, 414.07, 414.08, 414.09, 414.10, 414.11, 414.12, 414.13, 414.14, 414.15, 414.16, 414.17, 414.18, 414.19, 414.20, 414.21, 414.22, 414.23, 414.24, 414.25, 414.26, 414.27, 414.28, 414.29, 414.30, 414.31, 414.32, 414.33, 414.34, 414.35, 414.36, 414.37, 414.38, 414.39, 414.40, 414.41, 414.42, 414.43, 414.44, 414.45, 414.46, 414.47, 414.48, 414.49, 414.50, 414.51, 414.52, 414.53, 414.54, 414.55, 414.56, 414.57, 414.58, 414.59, 414.60, 414.61, 414.62, 414.63, 414.64, 414.65, 414.66, 414.67, 414.68, 414.69, 414.70, 414.71, 414.72, 414.73, 414.74, 414.75, 414.76, 414.77, 414.78, 414.79, 414.80, 414.81, 414.82, 414.83, 414.84, 414.85, 414.86, 414.87, 414.88, 414.89, 414.90, 414.91, 414.92, 414.93, 414.94, 414.95, 414.96, 414.97, 414.98, 414.99, 415.00, 415.01, 415.02, 415.03, 415.04, 415.05, 415.06, 415.07, 415.08, 415.09, 415.10, 415.11, 415.12, 415.13, 415.14, 415.15, 415.16, 415.17, 415.18, 415.19, 415.20, 415.21, 415.22, 415.23, 415.24, 415.25, 415.26, 415.27, 415.28, 415.29, 415.30, 415.31, 415.32, 415.33, 415.34, 415.35, 415.36, 415.37, 415.38, 415.39, 415.40, 415.41, 415.42, 415.43, 415.44, 415.45, 415.46, 415.47, 415.48, 415.49, 415.50, 415.51, 415.52, 415.53, 415.54, 415.55, 415.56, 415.57, 415.58, 415.59, 415.60, 415.61, 415.62, 415.63, 415.64, 415.65, 415.66, 415.67, 415.68, 415.69, 415.70, 415.71, 415.72, 415.73, 415.74, 415.75, 415.76, 415.77, 415.78, 415.79, 415.80, 415.81, 415.82, 415.83, 415.84, 415.85, 415.86, 415.87, 415.88, 415.89, 415.90, 415.91, 415.92, 415.93, 415.94, 415.95, 415.96, 415.97, 415.98, 415.99, 416.00, 416.01, 416.02, 416.03, 416.04, 416.05, 416.06, 416.07, 416.08, 416.09, 416.10, 416.11, 416.12, 416.13, 416.14, 416.15, 416.16, 416.17, 416.18, 416.19, 416.20, 416.21, 416.22, 416.23, 416.24, 416.25, 416.26, 416.27, 416.28, 416.29, 416.30, 416.31, 416.32, 416.33, 416.34, 416.35, 416.36, 416.37, 416.38, 416.39, 416.40, 416.41, 416.42, 416.43, 416.44, 416.45, 416.46, 416.47, 416.48, 416.49, 416.50, 416.51, 416.52, 416.53, 416.54, 416.55, 416.56, 416.57, 416.58, 416.59, 416.60, 416.61, 416.62, 416.63, 416.64, 416.65, 416.66, 416.67, 416.68, 416.69, 416.70, 416.71, 416.72, 416.73, 416.74, 416.75, 416.76, 416.77, 416.78, 416.79, 416.80, 416.81, 416.82, 416.83, 416.84, 416.85, 416.86, 416.87, 416.88, 416.89, 416.90, 416.91, 416.92, 416.93, 416.94, 416.95, 416.96, 416.97, 416.98, 416.99, 417.00, 417.01, 417.02, 417.03, 417.04, 417.05, 417.06, 417.07, 417.08, 417.09, 417.10, 417.11, 417.12, 417.13, 417.14, 417.15, 417.16, 417.17, 417.18, 417.19, 417.20, 417.21, 417.22, 417.23, 417.24, 417.25, 417.26, 417.27, 417.28, 417.29, 417.30, 417.31, 417.32, 417.33, 417.34, 417.35, 417.36, 417.37, 417.38, 417.39, 417.40, 417.41, 417.42, 417.43, 417.44, 417.45, 417.46, 417.47, 417.48, 417.49, 417.50, 417.51, 417.52, 417.53, 417.54, 417.55, 417.56, 417.57, 417.58, 417.59, 417.60, 417.61, 417.62, 417.63, 417.64, 417.65, 417.66, 417.67, 417.68, 417.69, 417.70, 417.71, 417.72, 417.73, 417.74, 417.75, 417.76, 417.77, 417.78, 417.79, 417.80, 417.81, 417.82, 417.83, 417.84, 417.85, 417.86, 417.87, 417.88, 417.89, 417.90, 417.91, 417.92, 417.93, 417.94, 417.95, 417.96, 417.97, 417.98, 417.99, 418.00, 418.01, 418.02, 418.03, 418.04, 418.05, 418.06, 418.07, 418.08, 418.09, 418.10, 418.11, 418.12, 418.13, 418.14, 418.15, 418.16, 418.17, 418.18, 418.19, 418.20, 418.21, 418.22, 418.23, 418.24, 418.25, 418.26, 418.27, 418.28, 418.29, 418.30, 418.31, 418.32, 418.33, 418.34, 418.35, 418.36, 418.37, 418.38, 418.39, 418.40, 418.41,

Anexo 7. Fórmulas y parámetros de diseño del filtro lento

$$As = \frac{Q \times C1}{N \times Vf} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

Q= Caudal (m³/hora)

C1= Coeficiente de numero de turnos (8 horas cada turno)

N= Número de unidades

Vf= Velocidad de filtración (m/hora)

As= Área de filtración (m²)

Introduciendo datos de diseño:

$$As = \frac{75.6 \times 1}{3 \times 0.20} = 126$$

$$A = \frac{\sqrt{As}}{K} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

A= Ancho del filtro (m)

As= Área de filtración (m²)

K= Relación mínima costo depende del número de unidades (N)

$$K = \frac{2 \times N}{N+1} \quad \text{Ecuación (14)}$$

$$K = \frac{2 \times 3}{3 + 1} = 1.5$$

$$A = \frac{\sqrt{126}}{1.5} = 9.16 = \mathbf{9 \text{ metros ancho}}$$

$$B = \sqrt{As * K} \quad \text{Ecuación (15)}$$

Donde:

B= Largo del filtro (m)

As= Área de filtración (m²)

K= Relación mínima costo depende del número de unidades (N)

Sustituyendo datos

$$B = \sqrt{126 * 1.5} = 14.12 = \mathbf{14 \text{ metros de largo}}$$

Según parámetros de diseño de CEPIS

La altura del lecho filtrante máxima es de 1.40 metros, y la capa sobrenadante de agua de 1.5 metros, lo cual la profundidad idónea del filtro es de 3 metros.

$$Vfl = A * B * C \quad \text{Ecuación (16)}$$

Donde:

Vfl= Volumen del filtro lento

A= Ancho del filtro lento

B= Largo del filtro lento

C= Profundidad del filtro lento

Sustituyendo valores:

$$Vfl = 14\text{m} * 9\text{m} * 3\text{m} = \mathbf{378\text{m}^3}$$

Tabla XXV. Criterios de diseño para filtro lentos, según la CEPIS

CRITERIOS DE DISEÑO PARA FILTROS LENTOS		
PARÁMETROS	VALORES	SÍMBOLOS
Velocidad de filtración (m/h)	0.10--0.20	Vf
Área máxima de cada unidad (m ²)	10 -- 100	$\frac{Q \cdot C_1}{V_f}$
Número mínimo de unidades	2	N
Borde libre (m)	0.20 -- 0.30	H ₁
Capa de agua (m)	1.0 -- 1.5	H ₂
Altura del lecho filtrante (m)	1.20 -- 1.40	H ₃
Granulometría del lecho	<u>0.15 -- 0.36 mm</u>	$\frac{d_{10}}{CU}$
	1.8 -- 2.0	CU
Altura de la capa soporte (m)	0.20 -- 0.30	H ₄
Altura del drenaje (m)	0.30 -- 0.50	H ₅

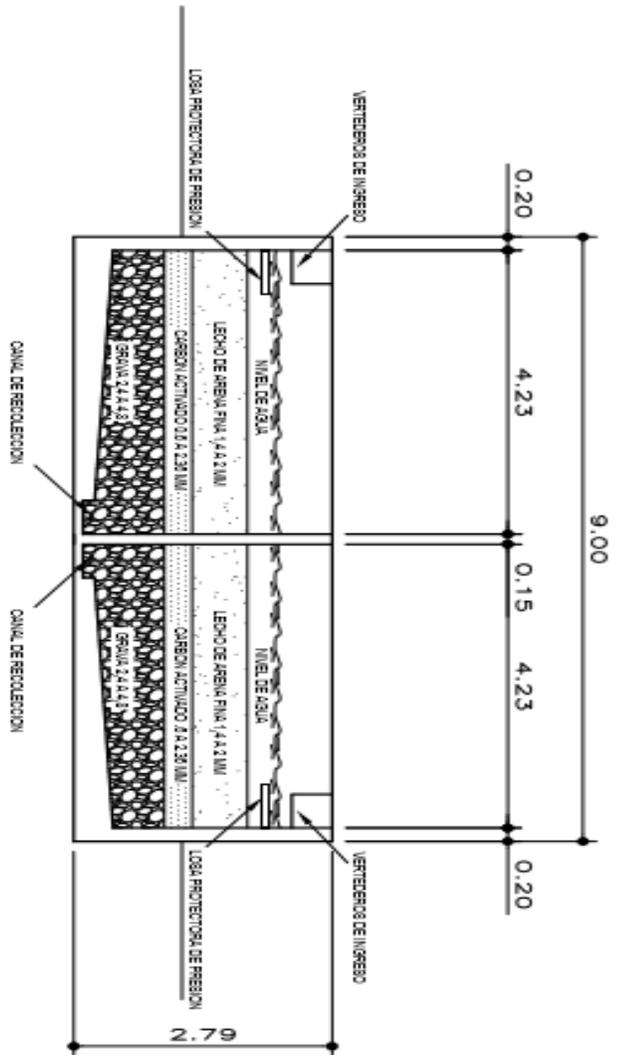
Fuente: CEPIS/OPS.

Tabla XXVI. Diseños de capa soporte para filtros lentos, según el manual de la CEPIS

DISEÑO DE LA CAPA SOPORTE		
CAPAS	DIAMETROS (mm)	ALTURAS (cm)
1	1.5-- 4.0	5
2	4.0 -- 15.0	5
3	10.0 -- 40.0	10

Fuente: CEPIS/OPS.

Anexo 8. Diseño de filtro lento modificado plano de corte Transversal

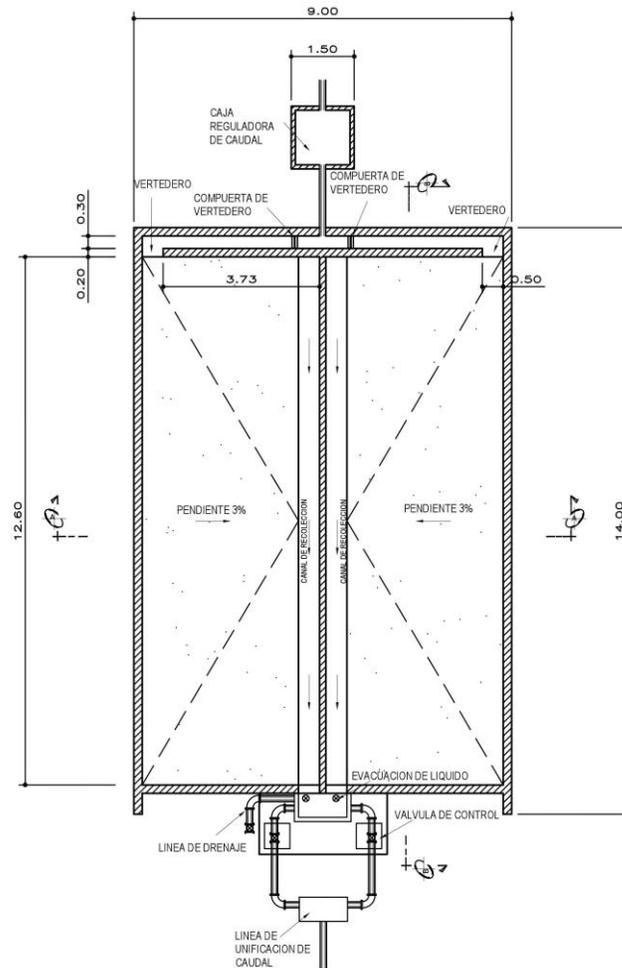


ESPESOR DE MEDIOS FILTRANTES	
LECHO DE ARENA FINA	0.60 M
CARBON ACTIVADO	0.30 M
GRAVA	0.74 M

CORTE TRANSVERSAL PLANTA DE FILTRADO LENTO
 ESC.: 1/250

Fuente: elaboración propia.

Anexo 10. Diseño de filtro lento modificado plano de planta



NOTA:
EN LA CANALETA DE DISTRIBUCION
CUENTA CON UN SISTEMA DOBLE E
INDEPENDIENTE POR MEDIO DE
COMPUERTAS, PARA QUE NO SE
INTERRUMPA LA DOTACION DE
LIQUIDO A LA RED.

PLANTA DE FILTRADO LENTO

ESC.: 1/250

Fuente: elaboración propia.

Anexo 11. **Costo real de la tarifa por el servicio de agua potable, en el casco urbano, del municipio de San Rafael las Flores, Santa Rosa.**

COSTO DETALLADO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE					
Expresado en Quetzales					
No.	DESCRIPCIÓN	Costo Unitario	Sub parcial	PARCIALES	TOTALES
	USUARIOS DEL SERVICIO 1,091				
	COSTOS DIRECTOS				
	SALARIOS DE FONTANEROS				
2	FONTANEROS (Q. 3000.00 * 2*12)	Q 3,000.00	Q 6,000.00	Q 72,000.00	
	BONO 14 (sumatoria de pago mensual *1)	Q 6,000.00	Q 6,000.00	Q 6,000.00	
	AGUINALDO (sumatoria de pago mensual *1)	Q 6,000.00		Q 6,000.00	
*	Prestaciones: IGSS Patronal, 10.67%; Plan de Prestaciones del empleado municipal, patronal 10%; Vacaciones, 8.33%. Total 29% *(Q. 180,000.00)	Q 72,000.00		Q 20,880.00	Q 104,880.00
1	SALARIO ANUAL RECEPTORA (Q. 3,000.00 * 12)	Q 3,000.00		Q 36,000.00	
	BONO 14	Q 3,000.00		Q 3,000.00	
	AGUINALDO	Q 3,000.00		Q 3,000.00	
	Prestaciones: IGSS Patronal, 10.67%; Plan de Prestaciones del empleado municipal, patronal 10%; Vacaciones, 8.33%. Total 29% de Q. 24,600.00			Q 10,440.00	Q 52,440.00
1	SALARIO ANUAL ENCARGADO MODULO PRESUPUESTO (Q. 4,500.00 * 12)	Q 4,500.00		Q 54,000.00	
	BONO 14	Q 4,500.00		Q 4,500.00	
	AGUINALDO	Q 4,500.00		Q 4,500.00	
	Prestaciones: IGSS Patronal, 10.67%; Plan de Prestaciones del empleado municipal, patronal 10%; Vacaciones, 8.33%. Total 29% de Q. 54,000.00			Q 15,660.00	Q 78,660.00
1	SALARIO ANUAL ENCARGADA MODULO CONTABLE (Q. 4,000.00 * 12)	Q 4,000.00		Q 48,000.00	
	BONO 14	Q 4,000.00		Q 4,000.00	
	AGUINALDO	Q 4,000.00		Q 4,000.00	
	Prestaciones: IGSS Patronal, 10.67%; Plan de Prestaciones del empleado municipal, patronal 10%; Vacaciones, 8.33%. Total 29% de Q. 48,000.00			Q 13,920.00	Q 69,920.00
1	SALARIO ANUAL ENCARGADO MODULO COMPRAS Y SUMINISTROS (Q. 4,000.00 * 12)	Q 4,000.00		Q 48,000.00	
	BONO 14	Q 4,000.00		Q 4,000.00	
	AGUINALDO	Q 4,000.00		Q 4,000.00	
	Prestaciones: IGSS Patronal, 10.67%; Plan de Prestaciones del empleado municipal, patronal 10%; Vacaciones, 8.33%. Total 29% de Q. 4,000.00			Q 13,920.00	Q 69,920.00
1	SALARIO ANUAL DIRECTOR DAFIM (Q. 11,000 * 12)	Q 11,000.00		Q 132,000.00	
	BONO 14	Q 11,000.00		Q 11,000.00	
	AGUINALDO	Q 11,000.00		Q 11,000.00	
	Prestaciones: IGSS Patronal, 10.67%; Plan de Prestaciones del empleado municipal, patronal 10%; Vacaciones, 8.33%. Total 29% de Q. 132,000.00			Q 38,280.00	Q 192,280.00
1	COSTOS INDIRECTOS				
	SALARIO ANUAL ALCALDE MUNICIPAL (Q. 30,000 * 12)	Q 30,000.00		Q 360,000.00	
	BONO 14	Q 30,000.00		Q 30,000.00	
	AGUINALDO	Q 30,000.00		Q 30,000.00	
1	Prestaciones: IGSS Patronal, 10.67%; Plan de Prestaciones del empleado municipal, patronal 10%; Vacaciones, 8.33%. Total 29% de Q. 360,000.00			Q 104,400.00	Q 524,400.00
	COSTOS DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO:				
	Costo del Recibo 7-B utilizado, incluye viáticos y transporte (Q. 3.00 * 1150 usuarios * 12 meses)	Q 1,091.00		Q 39,276.00	Q 39,276.00
	CUBETAS DE CLORO (5* Q.2,050.00 AL MES * 12 MESES)	Q 10,250.00		Q 123,000.00	Q 123,000.00
	MANTENIMIENTO, COMPRA Y REPARACIONES				
1	Pago de luz de pozo mecanico	Q 22,000.00		Q 264,000.00	
	Productos Plásticos, PVC y vinil	Q 3,500.00		Q 42,000.00	
	Mantenimiento de Planta de Tratamiento de filtración lenta	Q 3,000.00		Q 36,000.00	
	Materiales, Accesorios y limpieza de pozo mecanico(2 al año)	Q 160,000.00	Q 188,500.00	Q 160,000.00	Q 502,000.00
	GASTOS GENERALES DE LA TESORERÍA				
1,150	Tintas, pinturas y colorantes (Toner) a Q.1500.00 c/u) anuales	Q 1,500.00		Q 4,500.00	
3	Tintas, pinturas y colorantes (Cinta) a Q.200.00 c/u) anuales			Q 400.00	
	Materiales y suministros mensuales	Q 1,500.00		Q 18,000.00	Q 22,900.00
	TOTALES	Q 200.00			Q 1,779,676.00

DESCRIPCIÓN	PARCIALES	Sub Parciales	SUB - TOTALES	TOTALES
COSTOS DIRECTOS				
Recibos 7-B utilizados (Q. 3.00 * 1091 usuarios * 12 meses)	Q 41,400.00		Q 41,400.00	
CUBETAS DE CLORO (5 * Q.2,050.00 AL MES * 12 MESES)	Q 10,250.00		Q 123,000.00	
100% Salario y Prestaciones de Encargado de agua, Fontaneros, y Jornaleros	Q 104,880.00		Q 104,880.00	
25% Salario y Prestaciones Encargado Módulo Presupuesto (Aproximadamente, el 25% del tiempo de trabajo es dedicado a esta actividad).	Q 78,660.00		Q 19,665.00	
**15% Salario y Prestaciones de Encargado del Módulo Contable	Q 69,920.00		Q 10,488.00	
**1% Salario y Prestaciones de Encargado de Compras y suministros (G 39)	Q 52,440.00		Q 524.40	
**10% Salario y Prestaciones del Director DAFIM	Q 192,280.00		Q 19,228.00	
Mantenimiento de las Instalaciones del Servicio (Q.190,774.50 mensuales x 12)	Q 190,774.50		Q 2,289,294.00	
TOTAL COSTOS DIRECTOS				Q 2,608,479.40
COSTOS INDIRECTOS				
**2% Salario y Prestaciones de Alcalde (a) Municipal	Q 524,400.00		Q 10,488.00	
**35% de los gastos generales de la Tesorería Municipal	Q 22,900.00		Q 8,015.00	
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				Q 18,503.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS				Q 2,626,982.40
COSTO POR 30 m³ MES: Q. 2,784,302.40/12 meses/1,091 usuarios				Q 190.36

	Tasa/subsidio	Mensual	Anual
Costo Unitario del Servicio	190.36	Q 190.36	Q 2,284.33
Ingreso mensual y anual por usuarios reistrados y tasa autorizada.	Q 3.00	Q 3,273.00	Q 39,276.00
SUBSIDIO MENSUAL Y ANUAL	Q 187.36	Q 204,410.90	Q 2,452,930.78

Fuente: Presupuesto municipal 2016, Planillas, DAFIM, SICOIN GL (padrones de usuarios).