

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

Diseño de una planta de tratamiento de agua potable en el municipio de San Juan Ermita, departamento de Chiquimula

Trabajo de Investigación presentado por Marialina Trujillo Monroy para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala

2005



Diseño de una planta de tratamiento de agua potable en el municipio de San  
Juan Ermita, departamento de Chiquimula

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Diseño de una planta de tratamiento de agua potable en el municipio de San  
Juan Ermita, departamento de Chiquimula

Trabajo de investigación presentado por Marialina Trujillo Monroy para optar al grado  
académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala

2005

Vo.Bo :

(f) \_\_\_\_\_  
Ingeniero Alejandro Hidalgo

Tribunal:

(f) \_\_\_\_\_  
Ingeniero José Eduardo Calderón

(f) \_\_\_\_\_  
Ingeniero Jorge Muñoz

(f) \_\_\_\_\_  
Ingeniero Alejandro Hidalgo

Fecha de Aprobación: 09 de diciembre del año 2005

## PREFACIO

Agradezco:

A Dios, por ser la persona más especial en mi vida, quien me ha dado la fuerza para seguir adelante.

A mi papá: Quien me ha ayudado en todo, y ha estado siempre brindándome apoyo y comprensión.

A mi mamá: Por su amor, confianza, sabiduría, por estar siempre conmigo y ser mi ejemplo a seguir.

A mi hermanita: Quien ha sido siempre mi mayor amiga y quien ha estado allí cuando la necesito.

A mi mamita: Por sus oraciones, su cariño, cuidado, sabiduría y confianza y por siempre estar conmigo.

Particularmente, agradezco a mi asesor de trabajo de graduación, Ingeniero Alejandro Hidalgo, junto al Director del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala, Ingeniero José Eduardo Calderón, por su colaboración incondicional en el desarrollo de esta investigación; así mismo agradezco al Ingeniero Rolando Martínez, alcalde actual del municipio de San Juan Ermita y a todos los integrantes de la respectiva municipalidad, por proporcionar información relevante.

*Marialina Trujillo*

*octubre 2005*

## RESUMEN

A continuación se presenta el diseño de una planta de tratamiento de agua potable para el municipio de San Juan Ermita, Chiquimula. El diseño realizado posee todos los elementos necesarios para su construcción y buen funcionamiento que, por consecuencia, su posible implementación podría aportar grandes beneficios a la población.

Cabe mencionar lo importante que resulta la planta de tratamiento de agua potable para la población en mención, ya que la misma está diseñada para ser implementada en la fuente principal de abastecimiento, traduciéndose en una importante herramienta de contribución a la salud de la población, misma que en su mayoría no cuentan con recursos económicos suficientes para cubrir los efectos que provocan las enfermedades intestinales producidas por ingerir agua en condiciones no seguras e inapropiadas para el consumo humano.

Es preciso agregar, que la propuesta involucra un proceso de aumento de capacidad del tanque de captación actual, la construcción de una planta construida por dos filtros lentos de arena, la conexión de los tanques de recolección y el filtro lento de arena y la construcción de dos tanques de distribución, en orden a proyectar mejor el sistema de abastecimiento de agua para los habitantes y que se suministre, agua en condiciones aceptables para el consumo de los habitantes hasta un mediano y largo plazo.

Para el diseño de la planta hubo necesidad de realizar varias visitas de campo, de donde se obtuvo toda la información necesaria que involucró, desde el estudio de la ubicación del lugar, toma de las muestras de agua que se utilizaron para el análisis de laboratorio de donde se obtuvieron importantes resultados, la toma de decisión para diseñar la planta adecuada y elaboración de los planos de las instalaciones propuestas.

Debido a lo anteriormente mencionado se sugiere aprovechar este estudio de diseño para continuar el proyecto e implementarlo a la brevedad posible, considerando a su vez factores adicionales como el establecimiento de todos los procedimientos de operación, la capacitación adecuada del personal encargado del funcionamiento y mantenimiento de la misma, para garantizar sin lugar a duda, que el agua que consuma la población sea realmente potable.

## ABSTRACT

The following study presents the design of a potable water treatment plant for San Juan Ermita, Chiquimula. The design also considers all the important data in order to its construction and suitable operation, that will contribute in the development of the place.

The importance of the construction of a potable water treatment plant in a community like San Juan Ermita, is significant, due to the fact of the poverty on which the place is involved, not only because it will contribute to work against the illness caused by the poor quality of the water, but also because it will contribute giving a sureness feeling to the people that the government has not forgotten them and also, it will help in the complete development not only of the town, but also of the area..

It is well to add, that the purpose of the design is to give several solutions and recommendations for a suitable implementation and operation of the plant, in order to give to the inhabitants of the place who are supplied by the source the completely sureness that they are having really potable water all time of the year, since the implementation of the plant for as long as 15 years from then.

In order to make the design possible, it was necessary to go several times to the place, where it was taken all the information that involved the study of the correct place to suggest the construction of the plant, take of the samples for the physicchemical analyzis on which the design was made, and finally the construction map.

It might be important to take advantage of the design made in this study, in order to follow the proyect, and make the implementation of the plant as soon as posible, taking in mind additional factors like proper training to the employee and buy the maintenance material on time, so people can get from the plant the guarantee they are consuming water of high quality.

# CONTENIDO

	Página
PREFACIO.....	iv
ABSTRACT.....	v
RESUMEN.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	xi
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
A. Generalidades del agua.....	3
B. Potabilización del agua.....	4
C. Contaminación del agua.....	6
D. Normas para la potabilización del agua.....	11
E. Aguas superficiales.....	14
F. Generalidades del tratamiento de agua.....	15
G. Tratamiento de agua de origen superficial.....	16
1. Aireación.....	17
2. Coagulación y floculación.....	18
3. Sedimentación.....	19
4. Filtración.....	21
H. Generalidades hidráulicas del Municipio de San Juan	
Ermita.....	31
I. Caracterización del municipio.....	33
J. Medios de comunicación.....	34
K. Aspectos económicos.....	34
L. Medio ambiente.....	34

M. Tratamiento actual.....	35
1. Captación.....	35
2. Desinfección.....	36
3. Distribución.....	36
III. JUSTIFICACIÓN.....	37
IV. OBJETIVOS.....	38
A. Generales.....	38
B. Específicos.....	38
V. PROBLEMA A RESOLVER.....	39
VI. METODOLOGÍA.....	40
VII. RESULTADOS.....	41
A. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua.....	41
B. Orígenes de contaminación.....	42
C. Diseño para la planta de tratamiento de agua potable.....	42
D. Identificación del lugar donde se ubicará la planta.....	43
E. Proceso de potabilización del agua.....	43
1. Captación.....	43
2. Filtración.....	45
a. Capa de agua sobrenadante.....	47
b. Lecho de arena filtrante.....	48
c. Dispositivo de regulación y control del filtro.....	48
d. Elementos físicos que lo constituyen.....	49
e. Zona de entrada.....	49
f. Zona de salida.....	50
g. Granulometría del lecho filtrante.....	51
h. Espesor del lecho filtrante.....	52
i. Grado de saturación superficial e la arena.....	52
j. El grado y profundidad de avance.....	52
k. Capa soporte de grava y drenaje.....	53
l. Elementos adicionales.....	56
m. Operación y mantenimiento.....	56

n. Material y equipo involucrado.....	57
3. Desinfección en tanques de distribución.....	57
4. Seguridad en el Proceso.....	60
F. Propuesta Económica.....	61
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	62
IX. CONCLUSIONES.....	65
X. RECOMENDACIONES.....	67
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	68
XII. APÉNDICE.....	70
A. Puesta en marcha de la planta de filtro lento.....	70
B- Proceso de lavado de la arena.....	70
C. Descripción del presupuesto.....	71
D. Actividades del personal.....	80
E. Planos de construcción de la planta de filtro lento de arena...	81
F. Formularios para buscar financiamiento para la implementación del proyecto.....	82
G. Glosario.....	83

## LISTA DE CUADROS

CUADRO	Página
1. Propiedades del agua.....	5
2. BACTERIAS-Agentes patógenos presentes en el agua que se transmiten por vía oral.....	7
3. VIRUS-Agentes patógenos presentes en el agua que se transmiten por vía oral.....	8
4. PROTOZOARIOS y HELMINTOS-Agentes patógenos presentes en el agua que se transmiten por vía oral.....	8
5. Normas internacionales sobre componentes del agua.....	12
6. Normas internacionales sobre propiedades del agua.....	13
7. Normas internacionales sobre contaminación orgánica del agua.....	13
8. Normas específicas del agua correspondiente a la norma COGUANOR para el agua potable NGO 29001.....	14
9. Recomendaciones para el tratamiento del agua.....	17
10. Distribución hídrica en la cabecera municipal de San Juan Ermita.....	31

CUADRO	Página
11. Información actual específica del municipio en base a documentación interna de la municipalidad.....	32
12. Proyección de la situación del municipio al 2010.....	32
13. Proyección de la situación del municipio al 2015.....	33
14. Resultados del análisis fisicoquímico del agua.....	41
15. Características del lecho de soporte.....	53
16. Concentración de cloro libre residual necesario.....	58
17. Propuesta económica.....	61
18. Descripción de ingresos del proyecto.....	61
19. Presupuesto de ampliación del tanque de captación.....	71
20. Presupuesto de construcción de filtros de arena.....	72
21. Presupuesto para la construcción de los tanques de distribución .....	74
22. Presupuesto para la construcción de la tubería para conectar los tanques de recolección con la planta de filtración lenta.....	75

CUADRO	Página
23. Presupuesto para el proceso de desinfección.....	76
24. Inversión inicial.....	77
25. Costos de operación para el hipoclorito de sodio utilizado.....	78
26. Costos de operación laborales.....	78
27. Costos de operación.....	78
28. Costos de de limpieza del lugar de la planta y del tanque de recolección.....	79
29. Costos de mantenimiento.....	79
30. Costos totales.....	80
31. Descripción de actividades del personal.....	80

## LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN	Página
1. Abastecimiento de agua de una fuente superficial.....	3
2. Filtro lento de arena.....	27
3. Esquema de operación de un filtro lento de arena.....	27
4. Sistema actual de abastecimiento de agua .....	31
5. Sistema actual de captación de agua, aldea “El Zarzal”.....	35
6. Aplicación actual del desinfectante.....	36
7. Tanques actuales de distribución.....	36
8. Propuesta de aumento de capacidad del tanque de captación.....	44
9. Tanques recolectores (actuales tanques de distribución).....	44
10. Planta filtro lento de arena.....	46

ILUSTRACIÓN	Página
11. Vista transversal de un filtro lento de arena.....	47
12. Caracterización de la arena.....	54
13. Caracterización de los tubos de drenaje.....	55
14. Caracterización del sistema de drenaje.....	55
15. Caseta de desinfección.....	57
16. Tanques de distribución.....	58
17. Distribución General del Proceso de Potabilización de la Fuente El Zarzal.....	60

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los suministros vitales para el desarrollo de las comunidades, primeramente por su importancia en la vida de las personas y también por el papel que desempeña en la evolución y en los avances de las sociedades. La salud, la educación, la industrialización, entre otros, son ejemplos de los campos en los que el agua constituye un elemento vital del desarrollo.

Actualmente es de interés, por parte de las autoridades del municipio de San Juan Ermita, proporcionar agua de calidad a los habitantes de las comunidades incluyentes y para ello, es necesario invertir en infraestructura propia que cumpla dicha función así como garantizar su sostenibilidad.

La mayor contaminación del agua superficial en una población en crecimiento permanente, tiene un impacto negativo sobre la salud humana. Grandes proyectos e inversiones de los gobiernos en el sector de la salud se quedan sin mayor impacto sobre la población por tomar únicamente medidas correctivas sobre las enfermedades, sin enfatizar en las medidas preventivas que, a largo plazo, serían una mejor solución. Es decir, enfatizar sus esfuerzos para proveer un agua de mejor calidad, sería más beneficioso, que gastar en proyectos antidiarreicos y de control de enfermedades gastrointestinales causadas por bacterias que habitan en el agua de consumo.

Por esta razón surge la idea de diseñar una planta de tratamiento de agua potable para el municipio de San Juan Ermita, ya que es una región de altos índices de insalubridad y de enfermedades gastrointestinales provocadas por la mala calidad del agua de consumo.

Debido a que San Juan Ermita, municipio perteneciente a la etnia Chortí en Chiquimula, siempre ha estado entre los municipios con mayor índice de exclusión, pobreza y pobreza extrema, surge la necesidad de colaborar con el mismo, realizando el presente estudio, que involucra el diseño completo y específico de una planta de tratamiento de agua potable para la mayor fuente de abastecimiento de agua en la cabecera municipal, considerando para ello estudios sobre la calidad del agua sin tratar, tratamiento actual (cloración), población consumidora y calidad del sistema hidráulico actual, con el propósito de establecer el diseño más adecuado que cumpla con las expectativas y las necesidades de la comunidad.

El proceso involucra el aumento de capacidad del tanque de captación actual, la construcción de una planta constituida por dos filtros lentos de arena, la conexión de los tanques de recolección con los filtros lentos de arena y la construcción de dos tanques de distribución, en orden a proyectar mejor los sistemas de abastecimiento de agua para los habitantes y que se suministre agua en condiciones aceptables para el consumo de los habitantes hasta un mediano y largo plazo.

Así mismo, se completa este estudio con una propuesta económica que le servirá a la municipalidad local para solicitar financiamiento para su implementación ante diversas instituciones gubernamentales y cooperación internacional.

## II. ANTECEDENTES

### A. Generalidades del agua

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace miles de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. Su naturaleza se compone de tres átomos, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, que unidos entre si forman una molécula de agua, H<sub>2</sub>O, la unidad mínima en que ésta se puede encontrar.

Alrededor del 98 % del agua de nuestro planeta, corresponde a agua salada que se encuentra en mares y océanos, el agua dulce que disponemos, se encuentra en un 69 % atrapada en glaciares y nieves eternas, sólo un 30 % está constituida por aguas subterráneas y cerca del 1 % del agua restante se encuentra en fuentes superficiales como ríos, lagos, lagunas y manantiales, siendo estas últimas las que sufren más contaminación.

El agua no se encuentra en la naturaleza en su forma químicamente pura, la lluvia es la forma más cercana de agua libre de contaminantes que existe, pero contiene pequeñas cantidades de materia orgánica y gases disueltos tomados del aire.

Según lo indica el informe de Desarrollo Humano del 2001, Guatemala siendo el país centroamericano con el recurso hídrico renovable interno más abundante, reporta el uso de agua per capita más bajo de la región. Además, el recurso del agua sigue presentando problemas de insatisfacción y demandas, mal uso y conflictos, lo cual tiende a causar deterioro en su calidad y cantidad. (Conil 2002: 270).



ILUSTRACIÓN 1- Abastecimiento de agua de una fuente superficial (Matuk 2004)

## B. Potabilización del agua

El agua es la sustancia capaz de disolver mayor cantidad de sustancias. Siendo ésta la razón por la cual se disuelven en el agua materias que deterioran su calidad y la hacen no apta para el consumo humano. Se entiende por agua potable, aquella agua que es incapaz de dañar la salud.

La potabilización es el tratamiento previo que recibe el agua de abastecimiento con el fin de hacerla apta para el consumo, en palabras más técnicas puede también decirse que es el proceso que consiste en la eliminación de los sólidos suspendidos, aglomeración y decantación de los coloides, y desinfección de organismos patógenos mediante la coagulación, el ablandamiento, la eliminación de hierro y manganeso, la eliminación de olor y sabor, la sedimentación, la filtración, el control de corrosión, la evaporación y la desinfección, realizado en plantas o estaciones de tratamiento de agua potable, teniendo por objetivo principal hacer el agua apta para su consumo.

Se trata de agua segura, aquélla que ha sufrido tratamiento específico para la eliminación de bacterias para que el agua sea apropiada para el consumo humano.

El agua pura apta para consumo no se encuentra en forma natural porque está normalmente contaminada por impurezas existentes en el aire y el suelo. Los contaminantes del agua pueden ser orgánicas e/o inorgánicas y pueden encontrarse ya sea disueltas, o en forma de partícula visible o invisible para el ojo humano.

Dependiendo los fines que se deseen, se puede decir que el agua tiene tres clases de uso:

- PRIMARIO: Si el agua se destina exclusivamente a usos domiciliarios como: bebida, preparación de alimentos, baños y lavado de ropa
- SECUNDARIO: Si el agua se emplea para llevar los desechos, en la protección contra el fuego, riego etc.
- Terciario: Incluye el uso del agua en corrientes naturales, criaderos de peces, moluscos etc., navegación y fuerza hidroeléctrica.

El agua potable se distribuye a los domicilios e industrias a través de una red subterránea de tuberías que conectan a la red pública de distribución con la red domiciliaria de distribución. Esta agua ya potable puede fluir por las tuberías por la fuerza de gravedad o también por la presión de bombas impelentes.

Entre los principales problemas que pueden observarse en el proceso de potabilización del agua se encuentran:

- Baja cobertura de abastecimiento aceptable en el sector agua potable y saneamiento.
- Inadecuada organización de las instituciones del sector implicado dispendios de recursos humanos y financieros.
- Alto porcentaje de fugas de agua en las redes de distribución
- Deficiencias operacionales y de mantenimiento preventivos en los sistemas de agua potable
- Falta de política institucional para el saneamiento y disposición de excretas con el objetivo de controlar las enfermedades hídricas.

Para que el agua de consumo sea aceptable por los consumidores, debe llenar los siguientes requisitos:

CUADRO 1- Propiedades del agua

Propiedad	Descripción
Color	Producido por materiales vegetales y minerales en solución, no debe pasar de cinco en la escala de Cobalto
Olor	No debe tener olores desagradables
pH	El potencial de Hidrógeno debe estar optimamente neutro
Sabor	Que no contenga sabores extraños
Turbiedad	Casi siempre provocada por materiales coloidales en suspensión (arcillas), no debe ser mayor de 10 ppm de la escala de sílice
Temperatura	Debe ser de 5 °C a 10 °C menos de la temperatura del ambiente o preferiblemente entre 18 °C y 30 °C

## C. Contaminación del agua

Se pueden clasificar las impurezas y contaminación del agua en dos grupos: de origen mineral (o inorgánico) y de origen orgánico, pues normalmente el agua presenta residuos, de la erosión de la tierra, vegetal, animal e industrial, así como disolución de minerales; presentando de esta forma un riesgo para la salud. 6 °C.

1. **Contaminación orgánica.** Todas las impurezas de origen orgánico pueden ser de carácter macroscópico como algas, diatomeas y bacterias, o microscópico como virus, bacterias y protozoos.

Es muy difícil en el laboratorio, determinar bacterias patógenas específicas que sean de origen hídrico, pero se sabe que un determinado grupo de bacterias “*Escherichia coli*”, son huéspedes permanentes y normales del intestino del hombre y de animales superiores, por lo cual la presencia de este grupo en el agua se toma como señal de contaminación fecal.

Sin embargo, las enfermedades infecciosas causadas por bacterias, virus, protozoarios patógenos o parásitos son el riesgo para la salud más común y difundida que lleva consigo el agua de bebida. Éstas, se transmiten principalmente a través de las excretas de seres humanos y animales. Si hay casos activos o portadores en la comunidad, la contaminación fecal de las fuentes de agua hará que los organismos causantes estén presentes en ésta. El uso de esa agua para beber o preparar alimentos, el contacto con ella durante el baño o el lavado de ropa e incluso la inhalación de vapor de agua o aerosoles pueden producir alguna infección.

Los patógenos humanos que pueden transmitirse por el agua que se bebe se enumeran en el cuadro dos de la página número ocho, y cuadro tres y cuatro en página número nueve

CUADRO 2-BACTERIAS-Agentes patógenos presentes en el agua que se transmiten por vía oral

Agente patógeno	Enfermedad	Importancia para la salud	Persistencia en el agua	Resistencia al cloro	Dosis infecciosa relativa
Bacteria					
Campylobacter jejuni, C. coli	Diarrea aguda	Considerable	Moderada	Baja	Moderada
Escherichia coli patógeno	Diarrea con o sin sangre	Considerable	Moderada	Baja	Alta
Salmonella typhy	Tifus	Considerable	Moderada	Baja	Alta
Otra salmonelas	Salmonellosis	Considerable	Prolongada	Baja	Alta
shigella spp.	Disenteria	Considerable	Breve	Baja	Moderada
Vibrio Cholerae	Cólera	Considerable	Breve	Baja	Alta
Yersinia enterocolitica	Diarrea	Considerable	Prolongada	Baja	Alta
Pseudomonas aeruginosa	Diarrea aguda	Moderada	Pueden multiplicarse	Moderada	Alta
Aeromonas spp	Diarrea aguda	Moderada	Pueden multiplicarse	Baja	Alta

CUADRO 3- VIRUS-: Agentes patógenos presentes en el agua que se transmiten por vía oral

Agente patógeno	Enfermedad	Importancia para la salud	Persistencia en el agua	Resistencia al cloro	Dosis infecciosa relativa
Virus					
Adenovirus	Enfermedad Respiratoria	Considerable	Prolongada	Moderada	Baja
Enterovirus	Lesiones en las mucosas y problemas respiratorios	Considerable	Prolongada	Moderada	Baja
Picomavirus	Hepatitis A	Considerable	Prolongada	Moderada	Baja
Virus de Norwalk	Gastroenteritis	Considerable	Prolongada	Moderada	Moderada
Rotavirus	Diarrea aguda	Considerable	Prolongada	Moderada	Baja

CUADRO 4- PROTOZOARIOS Y HELMINTOS-: Agentes patógenos presentes en el agua que se transmiten por vía oral

Agente patógeno	Enfermedad	Importancia para la salud	Persistencia en el agua	Resistencia al cloro	Dosis infecciosa relativa
Protozoarios					
Entamoeba Histolitica	Amebiasis	Considerable	Moderada	Alta	Baja
Giardia intestinalis	Diarrea aguda	Considerable	Moderada	Alta	Baja
Cyptosporidium parvum	criptosporidosis	Considerable	Prolongada	Alta	Baja
Helmintos					
Dracunculus medinesis	Dracontiasis	Considerable	Moderada	Moderada	Baja

La contaminación fecal se dispersa rápidamente en las aguas superficiales, los patógenos y parásitos más comunes transmitidos por el agua son los que poseen una alta infecciosidad o una gran resistencia fuera del organismo. (OMS 1995: 140).

2. **Contaminación inorgánica:** Aparte de la contaminación orgánica previamente escrita, existen otros contaminantes de carácter mineral, que proporciona al agua características especiales indeseables.

a. **Turbidez:** La turbidez, está causada por la presencia de coloides en suspensión en el agua. La apariencia del agua con una turbidez menor a cinco NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), es aceptable para los consumidores. Este es un parámetro operacional importante pues define el tratamiento a brindar al agua. Pues usualmente se elimina con floculación-coagulación y es otro proceso de tratamiento a considerar.

b. **Dureza:** Las sales de calcio y magnesio, que constituyen juntos la mayor parte de la llamada dureza, son probablemente las que más abundan en ciertas aguas. Se distinguen dos clases de dureza:

**Dureza carbonatada o temporal:** Formada por carbonatos y/o bicarbonatos de calcio y magnesio ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ), los cuales al entrar el agua en ebullición se remueven más o menos bien.

**Dureza no carbonatada o permanente:** Constituida por los sulfatos de calcio y magnesio ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ), que no se remueven con la ebullición.

Ambos tipos de dureza no afectan mucho la salud humana, salvo de producir trastornos intestinales ligeros cuando se encuentran en grandes cantidades debido a sus cualidades laxativas. Sin embargo, sí alteran las características deseables en la misma como se lista a continuación:

- El agua es de mal sabor, la gente la encuentra pesada
- Viene a formar incrustaciones o depósitos en las cañerías de agua potable, disminuyendo la capacidad de éstas
- Hacen prácticamente imposible el lavado de utensilios y ropa por el gran consumo de jabón que requiere.

Dependiendo de la interacción de otros factores como el pH y la alcalinidad, el agua con una dureza aproximadamente mayor a 200 ppm puede causar problemas en los métodos de tratamiento, en el sistema de distribución y en los sistemas internos de plomería, también causaría el uso excesivo de jabón. En el tratamiento de agua dura debe considerarse también, no llevar a menos de 100 ppm porque puede causar más corrosión, por tener poco poder amortiguador. Actualmente no existen normas internacionales para proporcionar valores extremos de la dureza para el consumo humano. (Guías de la OMS 1997:140)

c. Hierro y Manganeseo: Ocurre en muchas formas naturales y en diversas combinaciones químicas. El hierro es un constituyente de la clorofila de las hojas, se encuentra en muchos depósitos de esta clase, en pantanos y en aguas estancadas.

La objeción principal al hierro en el agua es que produce un sabor metálico y mala apariencia; también tiene la desventaja que forma manchas difíciles de quitar en las telas lavadas con aguas ferruginosas. Además forma incrustaciones o tuberculaciones en las cañerías.

Para el consumo humano la tolerancia de hierro, no debe pasar de 0.3 ppm y del Manganeseo, no debe pasar de 0.4 ppm

d. Flúor: El flúor se presenta generalmente en aguas subterráneas o en aguas superficiales de origen volcánico, en cantidades excesivas produce la llamada fluorosis dental o dientes manchados. Últimamente se ha comprobado que el flúor en el agua, o en una proporción de una parte por millón (1 ppm), protege la dentadura contra caries y se aconseja como una medida de salud pública al agregar esta cantidad de flúor a las aguas para consumos públicos que carecen de él. La tolerancia para abasto público es de 1.5 ppm

e. Plomo: El plomo es un veneno acumulativo y esto es su mayor peligro puesto que aún ingerido en pequeñas dosis es dañino para el cuerpo humano, y produce una enfermedad llamada Plumbosis. Puede encontrarse plomo en el sólo en estado natural, sino por la acción de aguas ácidas que corren a cierto tipo de cañerías. No debe pasar de 0.1 ppm.

f. Otras sustancias minerales: El cobre, Cinc, Magnesio, Cromo, Selenio, Arsénico, son productos de disolución en aguas que recorren terrenos impregnados de estas sales

g. Gases: Todas las aguas naturales contienen gases en solución, siendo los más comunes son, el Oxígeno, Nitrógeno y Anhídrido Carbónico, que le imparten su sabor característico. Sin estos gases el agua sería insípida (agua destilada)El CO<sub>2</sub> tiene especial importancia en relación con el poder corrosivo del agua, una impureza gaseosa indeseable, es el anhídrido sulfuroso (H<sub>2</sub>S) que es

común encontrarlo en aguas profundas de origen magmático y que al extraerlas a la superficie precipitan el azufre en forma coloidal.

El agua para beber debe cumplir con una serie de requisitos de calidad física, química y biológica y cada país tiene sus propias normativas que la rigen. En Guatemala, estas normas la dictan las Normas COGUANOR.

## D. Normas para la potabilización del agua

La disponibilidad del agua para uso y consumo humano debe ser evaluada en función de su cantidad y calidad. La calidad del agua potable se expresa a través de límites permisibles atribuidos a parámetros físicos, químicos, biológicos y radiológicos que se encuentran presentes en el agua. La comparación de los valores medidos con esos límites permisibles (normas o estándares) determina si el agua es potable. Además, el control de calidad del agua potable es factor fundamental en la prevención de enfermedades de origen hídrico.

Existen varias normas con respecto a la calidad del agua. La mayoría de los países en vías de desarrollo adoptan las normas de la O.M.S. que incluyen criterios de calidad del agua en sus aspectos físicos, químicos y bacteriológicos.

Se dice ser agua potable, aquella que por sus características de calidad especificadas en una norma es adecuada para el consumo humano

1. **Normas internacionales del agua según la OMS:** Estas guías son los referentes internacionales para formular normas que aseguren la calidad del agua potable. Las guías se basan en publicaciones que explican cómo se establecen los criterios de calidad y sirven de orientación para implementar actividades relacionadas con el agua segura.

El cuadro cinco, en página número 13, y el cuadro seis y siete en página número 14 muestra un resumen de los parámetros que consideran el conjunto de guías internacionales sobre normativas de agua según la última versión de la OMS, 1997.

CUADRO 5- Normas internacionales sobre componentes del agua

Compuesto	Límite Máximo Aceptable (mg/L) ppm	Límite Máximo Permisible (mg/L) ppm
Aluminio (Al)	0.05	1
Arsenico (As)	0.01	0.01
Bario (Ba)	0.7	1
Bromo (Br)	0.5	-----
Calcio (Ca)	300	200
Cromo (Cr)	0.05	-----
Cobre (Cu)	0.5	1.05
Cloro (Cl)	5	5
Fluor (F)	1.5	1.6
Plomo (Pb)	0.1	-----
Hierro (Fe)	0.3	-----
Selenio (Se)	0.01	-----
Uranio (U)	0.015	0.02
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50	-----
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	3	-----
Zinc(Zn)	5	-----
Sulfato de Sodio Na <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )	250	-----
Sulfato de Calcio Ca (SO <sub>4</sub> )	1000	-----
Magnesio (Mg)	0.4	-----
Dureza total CaCO <sub>3</sub>	100	500

CUADRO 6- Normas internacionales sobre propiedades del agua

Propiedades	Limite máximo aceptable	Limite máximo permisible
Color	Menor a 5 HU	Menor a 15 HU
Temperatura	18 °C a 30 °C	No mayor a 34 °C
Conductividad eléctrica a 25	50-1500 mho/cm	
Residuos totales	500 ppm	1500 ppm
Turbidez	5 NTU	25 NTU
pH	6.5-8	6.5-9.2

NOTA: La Turbidez se mide en Unidades Nafelométricas de Turbidez (NTU) y El Color se mide en Unidades Hazen o Unidades Platino-Cobalto (HU)

CUADRO 7- Normas internacionales sobre contaminación orgánica del agua

Parámetros bacteriológicos	Unidades	Límites máximos aceptables	Límites máximos permisibles
E. coli	UFC/100 mL	0	0
Coliformes totales	UFC/100 mL	0	0
Bacterias heterotróficas	UFC/ mL	100	100

NOTA: Las unidades para medir los parámetros bacteriológicos se refieren a las Unidades de Formación de Colonias o UFC por un volumen determinado.

2. Normas COGUANOR: La Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR y su respectivo reglamento se oficializó por medio del Acuerdo Gubernativo 126 del año 1966 y su trabajo involucra la elaboración de normas que promuevan el desenvolvimiento ordenado de las actividades industriales, agrícolas y comerciales.

La razón principal que no se preconice la adopción de normas internacionales para la calidad del agua potable radica en las ventajas que presenta, la aplicación de un enfoque basado en la relación (cuantitativa

o cualitativa) entre riesgos y beneficios ya que un enfoque de ese tipo permitirá adoptar normas y reglamentaciones fáciles de aplicar y hacer cumplir. De esta manera las normas elaboradas por los diversos países podrán tener en cuenta las prioridades nacionales y los factores económicos.

CUADRO 8- Normas específicas del agua, según la norma COGUANOR  
NGO 29001

Parámetros fisicoquímicos	Unidades	Límites máximos aceptables	Límites máximos permisibles
Color aparente	Unidades Pt-Co	5	35
Sulfato	mg/L $\text{SO}_4^{-2}$	100	250
Nitrato	mg/L $\text{NO}_3^-$	No se contempla	10
Nitrito	mg/L $\text{NO}_2^-$	No se contempla	1
Hierro total	mg/L Fe	0.1	1
Manganeso total	mg/L Mn	0.05	0.5
Dureza total	mg/L $\text{CaCO}_3$	100	500
Calcio	mg/L Ca	75	150
Magnesio	mg/L Mg	50	100
pH	Unidades pH	7.0-7.5	6.5-8.5
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	100	750
Sólidos disueltos totales	mg/L	500	1000
Turbiedad	NTU	5	15

Parámetros bacteriológicos	Unidades	Límites máximos aceptables	Límites máximos permisibles
Coliformes totales	NMP/100mL	No se contempla	menor a dos

(Según Acuerdo Gubernamental No 986-1999) Publicado en el Diario de Centro América el 4 de febrero del 2000

## E. Aguas superficiales

Las grandes corrientes usualmente reciben agua de cuencas habitadas y reciben también contaminaciones más serias producidas por el escurrimiento superficial de las tierras erosionadas o aradas, por lo que las características físicas de esta agua son, por lo general inferiores a las de grandes cañadas. Además, las

aguas negras y los desperdicios industriales pueden ser descargados directamente a muchas corrientes sin tratamiento adecuado. Los lagos, represas y embalses proporcionan agua de mejor calidad que la mayoría de las corrientes debido al efecto benéfico de la auto-purificación por sedimentación y reposo.

Los abastecimientos de agua de los ríos requieren, por lo común, de los mayores recursos para su tratamiento, pues la turbiedad, el contenido de materia, el contenido mineral y el grado de contaminación varían considerablemente de un día a otro. La variación de la temperatura del agua durante el año también puede hacerla indeseable.

A menudo, el abastecimiento de un río o ramal del mismo, se prefiere solamente cuando no es posible obtener agua de otras fuentes seguras. Por otro lado, se tiene la ventaja que la inversión que debe hacerse en la planta de tratamiento es menor, porque no se requiere construir costosos muros de retención, ni grandes extensiones de terreno.

## F. Generalidades del tratamiento de agua

El agua es indispensable para la vida y es necesario poner a disposición de los consumidores un abastecimiento satisfactorio, haciendo todo lo posible para obtener la mejor calidad que permitan las circunstancias. El enfoque principal es protegerla de la contaminación y para ello el mejor método es casi siempre la protección de la fuente, que debe preferirse al tratamiento del agua contaminada a fin de hacerla apta para el consumo. Sin embargo, cuando se advierte la existencia de una situación potencialmente peligrosa deben tomarse en consideración el riesgo para la salud, la disponibilidad de otras fuentes y la posibilidad de aplicar medidas correctivas apropiadas antes de decidir si es o no aceptable el abastecimiento de que se trata. (Orozco 2002:140)

Existen dos tipos principales de tratamiento de agua, según sea su forma de obtención, ya que puede ser el tratamiento de agua dulce natural o el tratamiento para reutilización de agua que ha sido residuo después de usarla.

Es decir

- Tratamiento de aguas de origen superficial o subterráneo.
- Tratamiento de aguas residuales de origen doméstico o industrial.

Para el tratamiento de aguas, ya sea de origen superficial o subterráneo, existen también diferentes tipos de tratamiento y la selección de los mismos debe atender las exigencias de carácter microbiológico y químico específicos según sea demandada. Esto sólo puede efectuarse después de un estudio cuidadoso y detallado de la fuente hidrográfica que incluya la evaluación de las fuentes probables de contaminación. Al decidir qué procesos de tratamiento se utilizarán en un caso concreto, se debe tener en cuenta las normas establecidas localmente. Pues la finalidad fundamental del tratamiento del agua es proteger al consumidor contra los agentes patógenos y las impurezas que pueden resultarle desagradables o ser perjudiciales para su salud. (Orozco 2002:160)

## G. Tratamiento de agua de origen superficial

El tratamiento de agua para una población es esencialmente un proceso industrial continuo cuya materia prima es el agua cruda (sin tratar) y el producto que se vende al consumidor es el agua potable

El tratamiento del agua está basado en los siguientes principios, según Orozco, 2002

- PRINCIPIO MECÁNICO: Efectuar la separación de sólidos flotantes más o menos gruesos por medio de rejillas o tamices
- PRINCIPIO HIDRAÚLICO: Efectuar la separación de las partículas más pesadas que el agua y que no han sido retenidas por las rejillas; tal es el principio en que se basa la sedimentación
- PRINCIPIO DE COAGULACIÓN: Efectúa la separación de sólidos no sedimentables y de coloides por reacciones electroquímicas.
- PRINCIPIO DE REACCIÓN QUÍMICA: Cuando se efectúa una verdadera reacción química, esto es cuando se da la unión de dos o más elementos químicos y resulta uno o varios compuestos de naturaleza distinta a los primeros. Esto se da en el caso de la aeración que es una oxidación.

CUADRO 9- Recomendaciones para el tratamiento del agua

Fuente y calidad del agua	Combinación de principios de tratamiento empleados
Aguas superficiales vírgenes	1. Desinfección
Aguas superficiales de buena calidad	1. Coagulación
	2. Sedimentación
	3. Filtración rápida
	4. Desinfección
	5. Reacción química (ajuste del pH)
Aguas superficiales de mala calidad	1. Aireación
	2. Coagulación
	3. Sedimentación
	4. Filtración rápida
	5. Filtración lenta
	6. Desinfección
	7. Reacción química (ajuste del pH)
Aguas subterráneas de seguridad probada	Ningún tratamiento
Aguas subterránea sujeta a ligera contaminación, real o posible	1. Desinfección
Aguas duras (superficiales o profundas)	1. Ablandamiento
	2. Sedimentación
	3. Filtros rápidos
	4. Desinfección

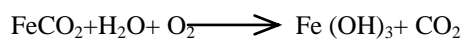
1. Aireación: La naturaleza provee cierto grado de auto-purificación a todas las aguas que hayan sido corrompidas o contaminadas por la introducción de desechos, la aeración siendo el método de auto-purificación más utilizado se practica en el tratamiento de agua por tres razones:

- Para introducir oxígeno del aire
- Para dejar que escapen los gases disueltos como el dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico
- Para eliminar las sustancias volátiles que causan olor y sabor.

La introducción de oxígeno constituye la primera etapa en el proceso de eliminación del hierro y manganeso por filtración. La eliminación del dióxido de carbono mediante la aeración es un método para hacer que la acción corrosiva de las aguas de un abastecimiento sea mínima. (Hilleboe 1974:82)

La aeración puede llevarse a cabo por métodos muy diversos. Se ha encontrado que el método más eficaz consiste en usar aspersores por medio de los cuales el agua se pulveriza en la atmósfera hasta formar una neblina o gotas muy pequeñas. Otro método consiste en descargar el agua por la tubería elevada que la lleve a una serie de artesas de las que caiga el agua, a través de pequeños agujeros del fondo o derramándose por los bordes. Una modificación de este procedimiento consiste en dejar que el agua salpique y escurra por una serie de artesas o lechos que contengan grava o piedra triturada. Otro método consiste en forzar el paso de aire comprimido dentro del agua que se va a tratar.

Un tipo de reacción en la aireación



Reacción 1

El control del laboratorio del proceso de aeración consiste en llevar a cabo determinaciones de la concentración del oxígeno disuelto, del dióxido de carbono y del ácido sulfhídrico, así como del pH. (Hilleboe, 1974:83)

2. **Coagulación y floculación:** La coagulación se refiere a la formación de flóculos precipitados o incipientes mediante los cambios físico-químicos que tienen lugar entre el coagulante soluble y la alcalinidad del agua y consiste en agregar al agua compuestos químicos como el sulfato de aluminio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico para neutralizar las cargas de las partículas y facilitar su aglomeración durante el lento proceso de mezcla que tiene lugar en la fase de floculación. Las masas flocosas resultantes forman coprecipitados con las partículas colorantes y minerales de origen natural, las absorben y las retienen, reduciendo considerablemente la turbiedad y el número de protozoarios, bacterias y virus.

La coagulación implica tres etapas: adición de coagulante, desestabilización de la partícula coloidal y formación de flóculos. La adición de sales coagulantes, produce cationes poliméricos tales como  $[\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}]^{7+}$  y  $[\text{Fe}_3(\text{OH})_4]^{5+}$  cuyas cargas positivas neutralizan las cargas negativas de los coloides, permitiendo que las partículas se unan formando aglomerados pequeños denominados flóculos.

La floculación consiste en agitar suavemente el agua tratada con coagulante, durante un período de tiempo apreciable, para completar las reacciones de coagulación, asta alcanzar condiciones que permitan que el material floculante se junte y adhiera formando grandes masas de flóculos.

La reunión de estos flóculos pequeños en conglomerados mayores (floculación) se realiza con ayuda de polímeros polielectrolíticos, que permiten la decantación a velocidades altas de sedimentación. Debido a que la coagulación y la inmediata etapa de floculación ocurren muy rápidamente, en la práctica poco se distinguen.

La coagulación y la floculación requieren grandes aptitudes de supervisión. Antes de decidir utilizar la coagulación como parte del tratamiento, se deben considerar cuidadosamente las probabilidades de contar con un suministro regular de productos químicos y con personal calificado.

Para el control de los trihalometanos por coagulación/sedimentación sea lo mejor posible, sólo se debe comenzar a agregar al cloro una vez terminado el proceso, a fin de conseguir la máxima eliminación de precursores antes de la cloración. En plantas de tratamiento a gran escala, la reducción de la producción de trihalometanos ha alcanzado en 75 % cuando la aplicación inicial de cloro se ha desplazado a un punto situado después del lugar en que se aplica el proceso de coagulación/sedimentación. (OMS 1995:140)

a. Aplicación de coagulantes químicos : Hay cierto número de sustancias químicas que se usan como coagulantes para el agua, pero el que más generalmente se usa es el sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) comúnmente llamado alumbre

El alumbre es una sustancia fácilmente soluble en el agua y se aplica con facilidad en solución o directamente en forma de material seco. Las reacciones entre el alumbre y los constituyentes naturales de diversas aguas son influidas por muchos factores; por ello, se considera como buena práctica de operación determinar por experimentación las cantidades de coagulante que se requieran. (Hilleboe 1974:82)

Las dosis de coagulantes son mayores a 0.03 milimoles/litro como Fe y mayores a 0.05 M (mol/L) como Al y el pH más cercano al neutro, es el más adecuado. Los poli electrolitos más usuales son las poli acrilamidas con grupos carboxilato. (Hilleboe 1974:84)

3. **Sedimentación:**El método más simple y antiguo de remover impurezas suspendidas del agua, es por sedimentación simple. Ésta viene posterior a los procesos de la coagulación y floculación primeramente para disminuir la carga en los filtros.

Los sedimentadotes pueden ser naturales o artificiales. Por lo general un tanque de sedimentación artificial es una estructura a través de la cual fluye el agua a tan baja velocidad que el material suspendido caerá depositándose en el fondo del tanque, saliendo de éste un agua relativamente clara.

Las impurezas disueltas incluyendo las sales minerales no pueden ser removidas, pues únicamente la materia suspendida puede eliminarse. El grado de remoción depende del período de retención, del tamaño de las partículas suspendidas y de la temperatura del agua. Entre más alta sea la temperatura, más rápido será la tasa de precipitación.

Para algunos propósitos como agua condensada, en donde la completa clarificación no es necesaria, la sedimentación puede satisfacer las necesidades, pero el principal uso de este tratamiento, es como una fase anterior a la filtración para reducir la carga en el filtro, sumamente necesaria cuando se trabaja con agua muy turbia para prever que los filtros se sobresaturen rápidamente.

Los tanques de sedimentación pueden operar de forma continua o intermitente. Cuando se utiliza un solo tanque o cuenca, el agua pasa por ella de forma continua. Los lagos naturales pueden considerarse como cuencas de sedimentación continua. Los tanques artificiales para sedimentación simple son hechos generalmente de concreto con un fondo inclinado con canales y desagües para el lavado de los mismos, el cual se hace periódicamente. Algunas veces cuando el tamaño y la forma del recipiente lo permiten, un clarificador mecánico es utilizado para remover continuamente los sedimentos tan rápido como se depositan.

Se puede decir que para cierta capacidad en una planta de tratamiento, la proporción del material suspendido que se elimine será mayor mientras más grande sea el tanque de sedimentación. La determinación de las dimensiones que debe tener un tanque para lograr una buena sedimentación es un problema complejo que incluye entre otras cosas, el hacer un balance económico entre el aumento del costo debido a los tanques de sedimentación más grandes y la reducción del costo de operación del filtro. Luego se debe de saber que no siempre, el tanque de sedimentación que elimine mejor al material suspendido, es necesariamente el adecuado, porque debe depositarse algo del flóculo en la superficie del filtro para que éste opere satisfactoriamente. (Hilleboe 1974:82)

Sin embargo, se tiende generalmente a obtener una coagulación y clarificación completa hasta donde sea posible que sea que se logre por el diseño o por detalles de operación. Generalmente se especifican períodos de retención de tres a seis horas y velocidades horizontales menores a 0.015 m/s. (Hilleboe 1974:85)

Los factores de operación más importantes de un tanque de sedimentación son:

- Que el agua al entrar en el tanque provoque la mínima turbulencia.
- Impedir corrientes en corto circuito o directas entre la entrada y la salida.
- Que el efluente salga sin provocar disturbios para que no arrastre hacia fuera del tanque el material sedimentado.

El control del laboratorio incluye determinación de turbiedad, color, alcalinidad, pH y alumbre residual, junto con el recuento de bacterias en placa. (Hilleboe 1974:83)

La cantidad de turbidez removida por simple sedimentación es en promedio del 60-70 % en proporción.

Para la operación intermitente se necesitan dos o más; un recipiente se mantiene quieto mientras los otros son utilizados.

La sedimentación simple no incluye la adición de ningún compuesto químico al agua, es pues de allí donde se diferencia la sedimentación de la coagulación. (Ryan 1937:183)

4. **Filtración:** La filtración es la etapa final de la remoción física de las impurezas del agua. Es seguro que se puede producir un efluente satisfactorio del filtro, mediante una coagulación eficaz, sin emplear la sedimentación, sin embargo, los filtros se taponarían muy rápidamente y los costos de operación serían tan altos que el proceso no sería práctico.

Cuando la filtración rápida tiene lugar después de la coagulación, el éxito de la eliminación de los microorganismos y la turbiedad varía en el intervalo de dos lavados por corrientes de agua limpia. Inmediatamente después de uno de estos lavados, los resultados no son satisfactorios hasta que el hecho filtrante se compacta. Los resultados se deterioran también progresivamente cuando hace falta un lavado, ya que la masa flocosa puede escapar a través del lecho filtrante, introduciéndose en el agua tratada. Todo esto pone en relieve la necesidad de supervisar y controlar adecuadamente la filtración en las instalaciones.

La filtración rápida por arena es una filtración mecánica y su principal diferencia entre la filtración lenta por arena radica en la velocidad de filtración y en el caudal de agua que es capaz de filtrar. Además la capacidad de un filtro rápido de arena ocupa mucho menor espacio, pero necesita más capacidad de manejo.

La filtración lenta con arena es más fácil de realizar que la rápida, ya que no se necesitan lavados frecuentes por corrientes de agua limpia. Por ello, es especialmente adecuada para los países en desarrollo y los pequeños sistemas rurales, pero sólo puede utilizarse si se dispone de suficiente terreno.

a. **Filtros lentos de arena** : La filtración lenta en arena (FLA) es el sistema de tratamiento de agua más antiguo del mundo. Copia del 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. El filtro lento se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua, pero si se diseña y opera convenientemente puede ser considerado como un sistema de desinfección del agua.

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.

Básicamente, un filtro lento consta de una caja o tanque que contiene una capa sobrenadante del agua que se va a desinfectar, un lecho filtrante de arena, drenajes y un juego de dispositivos de regulación y control.

Es preciso agregar que cuando se pone en marcha por primera vez un filtro lento de arena, en los granos de ésta, en especial en la superficie del lecho filtrante, se desarrollan fangos microbianos compuestos por bacterias, protozoarios ciliados y amebas en estado libre, crustáceos y larvas de invertebrados que intervienen en cadenas alimentarias y tales fangos causan la oxidación de las sustancias orgánicas contenidas en el agua y del nitrógeno amoniacal para producir nitrato. Las bacterias, los virus patógenos y las fases inactivas de los parásitos se eliminan principalmente por adsorción y ulterior predación. Cuando las cargas son correctas, la filtración lenta con arena mejora la calidad del agua que cualquier proceso tradicional de tratamiento considerado aisladamente. Las bacterias se eliminarán en un 98-99.5 % o más, el número de E. coli quedará dividido por 1000 y la destrucción de virus será aún mayor. Los filtros lentos de arena son también muy eficaces para eliminar los parásitos. (OMS 1995:150)

1) **Propiedades y descripción de la desinfección mediante filtración lenta:** El filtro lento se caracteriza por ser un sistema sencillo, limpio y a la vez eficiente para el tratamiento de agua. Comparado con el filtro rápido, requiere de áreas más grandes para tratar el mismo caudal y por lo tanto, tiene mayor costo inicial. Sin embargo, su simplicidad, bajo costo de operación y mantenimiento lo convierte en un sistema ideal para zonas rurales y pequeñas comunidades, teniendo en cuenta además que los costos por área de terreno son comparativamente menores en estas zonas.

La filtración lenta, como se ha mencionado, 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

cuidadoso mantenimiento para no afectar el mecanismo biológico del filtro ni reducir la eficiencia de remoción microbiológica. Huisman & Wood describieron en 1974 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.

El agua cruda que ingresa a la unidad permanece sobre el medio filtrante tres a doce horas, dependiendo de las velocidades de filtración adoptadas. En ese tiempo, 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. 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.

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 formada principalmente por algas y otras numerosas formas de vida, como plankton, diatomeas, protozoarios, rotíferos 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.

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.

2) Mecanismos de purificación mediante la filtración lenta: En el proceso de filtración lenta actúan varios fenómenos o mecanismos físicos similares a los de la filtración rápida previos al mecanismo biológico que desinfecta el agua. Estos mecanismos son muy importantes, dado que permiten la concentración y adherencia de las partículas orgánicas al lecho biológico para su biodegradación

A continuación se 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.

a) 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.

- 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.
- Intercepción: Mediante este mecanismo las partículas pueden colisionar con los granos de arena.
- 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.
- 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.
- 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. Este cambio continuo de dirección del flujo crea mayor oportunidad de colisión.

b) Mecanismos de adherencia: Este mecanismo es el que permite remover las partículas que, mediante los mecanismos de transporte 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 rotíferos

c) Mecanismos 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.

Sólo cuando se ha llegado a ese punto, el FLA podrá operar correctamente. Entonces se dice que el filtro “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. (OPS-OMS 2003:140)

Estas bacterias oxidan la materia orgánica para obtener la energía que necesitan para su metabolismo (desasimilación) y convierten parte de ésta en material necesario para su crecimiento (asimilación). Así, las sustancias y materia orgánica muerta se convierten en materia viva. Los productos de la desasimilación son llevados por el agua a profundidades mayores y son utilizados por otros organismos. 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. (OPS-OMS 2003:140)

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. La actividad bacteriológica descrita es más pronunciada en la parte superior del lecho filtrante y decrece gradualmente con la profundidad y la disponibilidad de alimento. 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). 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, sobre todo de la turbiedad. La maduración de un FLA puede demorar de dos a cuatro semanas. (OPS-OMS 2003:140)

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. (OPS-OMS 2003:140)

3) Instalación de filtros lentos de arena: La filtración del agua por filtros lentos consiste en hacer pasar el agua cruda por lechos filtrantes constituidos por gravado triturado y, arena fina y luego ésta es recolectada por tuberías perforadas situadas en el fondo de los tanques

Aunque la tendencia general se dirige hacia la construcción de plantas de tratamiento que usen la filtración rápida por arena, hay instaladas muchas plantas que emplean la filtración lenta por arena y que son eficaces al proporcionar un agua segura y potable. Sin embargo, existen limitaciones en el empleo de este tipo de plantas de tratamiento. Generalmente la turbiedad media está limitada a un máximo de 30 ppm, Dentro de estos límites puede llevarse a cabo eficazmente la eliminación de la turbiedad y de las bacterias, lográndose además una disminución del color de cerca del 40 %. Evidentemente, se requiere de algo más que esta acción filtrante para eliminar concentraciones bajas de turbiedad, bacterias y color. La adsorción que es la retención de sustancias sobre la superficie de una partícula, es indudablemente un factor importante. Por este motivo, la operación de los filtros lentos de arena debe hacerse a un gasto relativamente bajo, no mayor de unos 67,000 m<sup>3</sup> por día, por hectárea de superficie del lecho de arena. La arena limpia es relativamente poco eficaz, hasta que se forma una película adsorbente sobre la superficie de las partículas de arena, así que, normalmente se desecha el agua proveniente de lechos en los que se acaba de cargar arena limpia, durante unos días hasta que se forme dicha película. La velocidad de filtración de lechos limpios debe ser inicialmente muy baja y aumentarse gradualmente hasta que se alcance el gasto deseado y la calidad del efluente sea satisfactoria. (Hilleboe 1974:83)

Una planta de filtros lentos de arena consiste en un estanque de concreto cubierto donde se colocan líneas de tubos para drenaje. Las líneas de tubos de drenaje se cubren con unos 20 a 45 cm de gravas clasificadas por tamaños, poniendo los tamaños más gruesos en el fondo y cubriéndolos gradualmente con los más chicos hasta que la grava se cubre a su vez con unos 60 cm de arena. La cubierta de la estructura debe estar cuando menos a 1.60 m sobre la superficie de la arena para que pueda haber una capa de agua de profundidad adecuada, sobre la arena y suficiente espacio para llevar a cabo la limpieza. La cubierta consiste usualmente de una losa de concreto sostenida por columnas, cabe mencionar que todos los parámetros anteriormente mencionados son expuestos por Hilleboe en 1974 en su libro “Manual de Tratamiento de Aguas”.

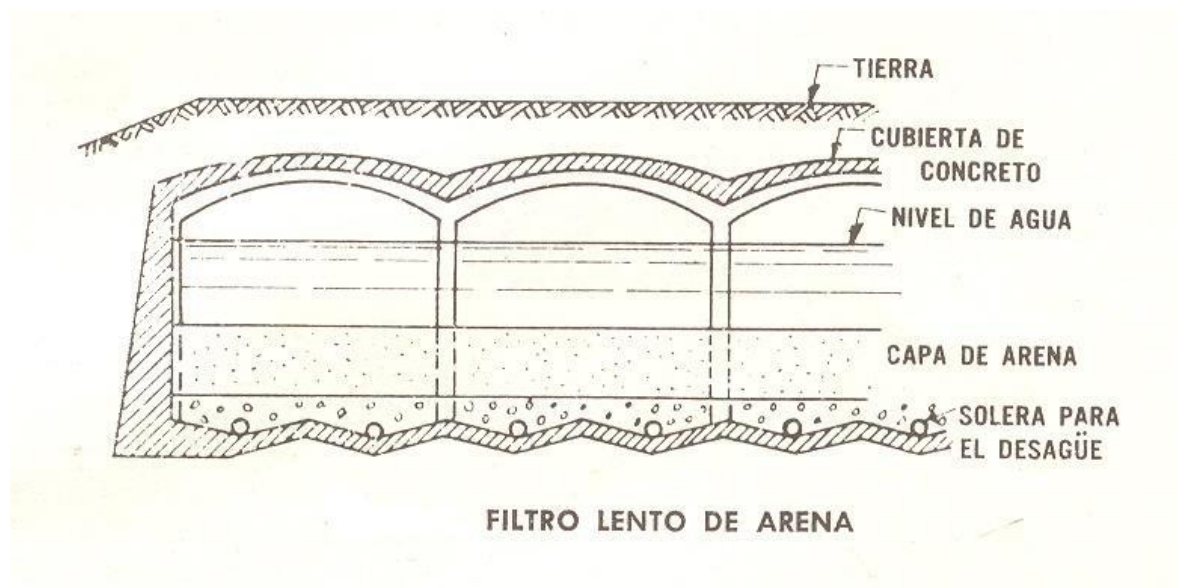


ILUSTRACIÓN 2. Filtro lento de arena (Hilleboe 1974:84)

Durante un ciclo de operación del filtro, la velocidad de filtración se mantiene a régimen constante. Por lo general, tanto las líneas de influente como del efluente son controladas por válvulas, ya sea automáticas u operadas manualmente, para lograr dicho régimen.

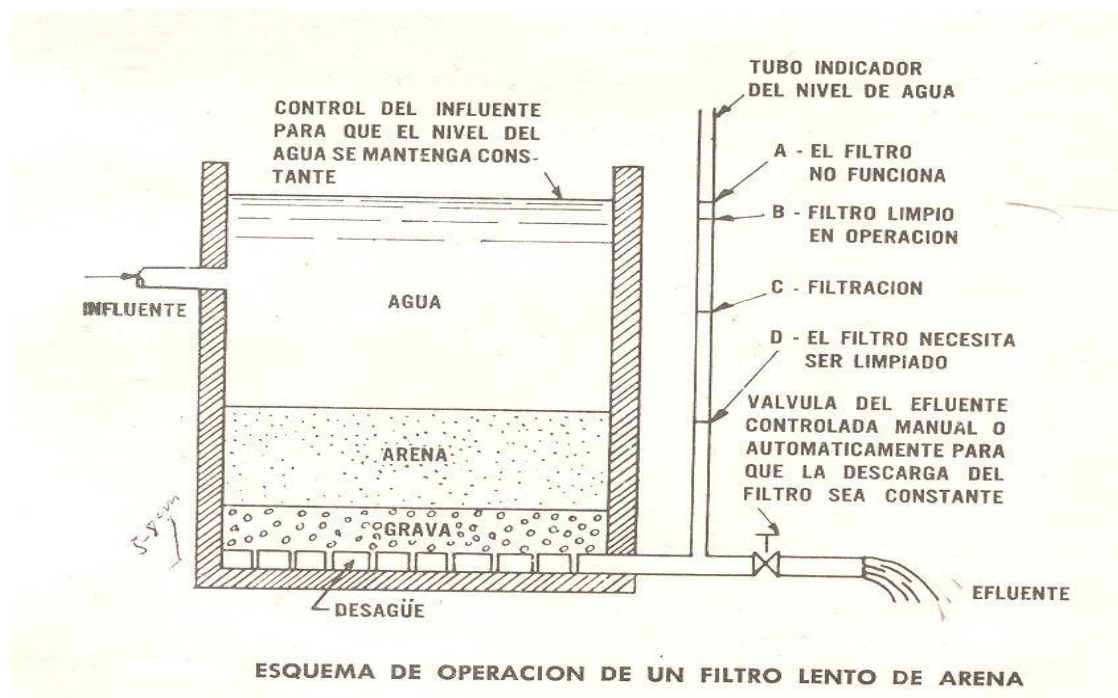


ILUSTRACIÓN 3. Esquema de operación de un filtro lento de arena (Hilleboe 1974:83)

Si se supone que el filtro se ha limpiado y llenado con agua y que está listo para reanudar su operación, pero aún está cerrada la válvula del efluente. Si hay un tubo indicador del nivel del agua en la línea del efluente, antes de la válvula, el nivel del agua será exactamente el mismo que el que hay sobre la arena, como lo indica el nivel A de la ilustración 3. Ahora bien, si la válvula del efluente se abre lo suficiente para permitir solamente un gasto de unos  $20 \text{ m}^3$  por día y por hectárea, a través del filtro (permaneciendo constante el nivel del agua dentro del mismo), el nivel de agua en el tubo indicador bajará unos centímetros, hasta el punto B y permanecerá en ese punto mientras se sostenga la misma velocidad de filtración. Esta diferencia se debe a la resistencia por fricción al filtrarse el agua a través de la arena y con frecuencia se hace referencia a ello como columna de agua correspondiente a la resistencia del filtro. La diferencia de niveles incluye también una pequeña fracción correspondiente a la velocidad. A medida que se ensucia la arena, disminuirá la velocidad de filtración; a no ser que se intervenga. La velocidad de descarga, puede restaurarse o recuperarse abriendo ligeramente la válvula del efluente, lo cual hará que baje el nivel del agua en el tubo indicador. Al ensuciarse más aun la arena, disminuirá nuevamente la velocidad de filtración, restaurándose ésta y abriéndose más la válvula, hasta que el nivel en el tubo indicador baje hasta C. Finalmente, al ensuciarse todavía más la arena y cuando la válvula del efluente tenga que abrirse más, el nivel en el tubo indicador seguirá bajando hasta llegar al de la superficie de la capa de arena (punto D) que es cuando se debe suspender la operación del filtro y procederse a su limpieza, pues la resistencia que presenta la arena al paso del agua, en el filtro, ha llegado a ser igual a la columna de agua o presión disponible. Si se deja que el nivel del agua del tubo indicador llegue por debajo de este nivel, la presión dentro del lecho de arena será menor que la atmosférica y esto puede causar dificultades en la operación o producir un efluente no satisfactorio. Como a menudo sólo transcurren algunas semanas entre cada limpieza y es muy lenta la variación de la velocidad de filtración, la operación manual de la válvula del efluente es razonablemente satisfactoria. Naturalmente que, para una manipulación adecuada, se requieren un medidor de gasto y un indicador del nivel del agua. Hay una serie de dispositivos que se emplean para estos propósitos, pero dado que sus principios operacionales son distintos. (Hilleboe 1974:82)

a) Material filtrante: Es de extrema importancia el que la calidad y el tamaño de las partículas de este material sean adecuados. La arena debe estar libre de arcilla, polvo, raíces y otras impurezas y, para todo propósito práctico, debe ser insoluble en ácido clorhídrico diluido. Para que se pueda garantizar una determinada eficiencia de la filtración y ciertas características hidráulicas, el tamaño de las partículas y la uniformidad de las mismas debe estar dentro de límites determinados. Se define como “tamaño efectivo” al tamaño de la abertura de la malla que deja pasar el 10 %, en peso de los granos de la arena en cuestión. Se llama “coeficiente de uniformidad”, la relación que existe entre los tamaños de mallas que dejan pasar un 60 %, respectivamente. La experiencia ha demostrado que los filtros lentos de arena deben tener una arena cuyo “tamaño efectivo” sea de 0.15 a 0.45 mm y un coeficiente de uniformidad entre 1.5 a 4.0. Actualmente, existe la tendencia a emplear

arenas de mayores tamaños para lograr mejores características hidráulicas, siempre y cuando sea satisfactoria la calidad del agua que se vaya a tratar y permita el uso de arena más gruesa. (Hilleboe 1974:83)

La calidad de la grava debe ser la misma que la de la arena. Se acostumbra disponer la grava en unas cinco capas de cinco a ocho cm de espesor, aproximadamente y de tamaño gradualmente menor. (Hilleboe 1974:82)

La limpieza del filtro se lleva a cabo casi siempre a mano, desprendiendo los dos a tres cm que forman la capa más superficial del lecho de arena, después de vaciado completamente de agua. Esta capa de arena sucia que se quita del lecho, debe lavarse y almacenarse para ser empleada de nuevo después. En operaciones normales, podrán hacerse varias limpiezas antes de reponer cualquier cantidad de arena, pero debe tenerse presente que, por lo general, debe renovarse el lecho de arena cuando su espesor sea de unos 50 cm. (Hilleboe 1974:85)

Entre las ventajas del sistema de filtro lento de arena están:

- No requieren ningún aparato mecánico
- Su operación o manejo es sencillo
- El afluente salido de ellos es de excelente calidad pues aporta una reducción de bacterias del 99 %

La desventaja principalmente es que necesitan una gran extensión de terreno ya que su tasa de filtración es de  $0.1 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$  a  $0.2 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$

5. **Desinfección:** La desinfección final del agua distribuida por tuberías tiene una importancia fundamental y es casi universal ya que constituye la última etapa contra la transmisión de enfermedades bacterianas y víricas por el agua. Aunque los productos que más se utilizan con este fin son el cloro y el hipoclorito también se pueden emplear cloraminas, dióxido de cloro, ozono y radiaciones ultravioletas.

La eficacia del proceso de desinfección depende que se haya conseguido agua con un alto grado de pureza mediante el tratamiento previo. Ya que la presencia de materia orgánica y de compuestos fácilmente oxidables en el agua neutraliza en mayor o menor medida los desinfectantes. Los microorganismos, aglomerados o adsorbidos por partículas están también parcialmente protegidos contra la desinfección y, en muchos casos, no se logra destruir los patógenos y las bacterias fecales cuando la

turbiedad es superior a cuatro unidades nefelométricas (NTU). Es pues, esencial que, antes de la desinfección final, el agua se someta a tratamiento para conseguir que la mediana de la turbiedad no sea superior a un NTU y que no se sobrepasen cinco NTU en ninguna muestra. Con una planta que funcione adecuadamente se obtendrán regularmente valores muy por debajo de estos límites

La cloración en condiciones normales (es decir, cloro residual en estado libre igual a 1.5 ppm, 60 minutos de contacto por lo menos, pH inferior a ocho exactos y turbiedad del agua inferior a un NTU) puede reducir en más del 99 % el número de E. coli y de ciertos virus pero no el de quistes de protozoarios parásitos.

Está ampliamente comprobado que dentro de los filtros de carbón activado que se utilizan en el lugar de consumo se desarrollan bacterias. Algunos fabricantes han intentado evitar este problema utilizando plata en los filtros como agente bacteriostático. No obstante, todos los informes publicados sobre este tema indican en forma concluyente que los efectos de esa práctica son limitados. Se cree que la presencia de plata en esos filtros permite el desarrollo selectivo de las bacterias resistentes a ella. Por esta razón, es imprescindible que esos aparatos sólo se utilicen con agua inocua desde el punto de vista microbiológico y se laven abundantemente por descarga de agua antes de cada utilización. En los buques se utiliza ocasionalmente plata para desinfectar el agua de bebida. Sin embargo, dado que hacen falta tiempos de contacto prolongados o concentraciones elevadas, el empleo de plata para la desinfección en el lugar de consumo no se considera práctico. (OMS 1995:140 )

6. **Ablandamiento:** Es el proceso que se realiza para transformar las aguas duras en aguas blandas o suaves, es decir la eliminación de la dureza permanente. Los propósitos son:

- Conservación del jabón, es decir reducción del consumo
- Reducción del trabajo de lavado
- Preparación del agua para su uso doméstico

Este proceso aumenta la eficiencia de la filtración, ayuda a la remoción de color debido al hierro y magnesio.

El ablandamiento se realiza por el agregado de ciertas sustancias químicas principalmente óxido de calcio y carbonato de sodio por medio de las denominadas zeolitas (Orozco 2002:140)

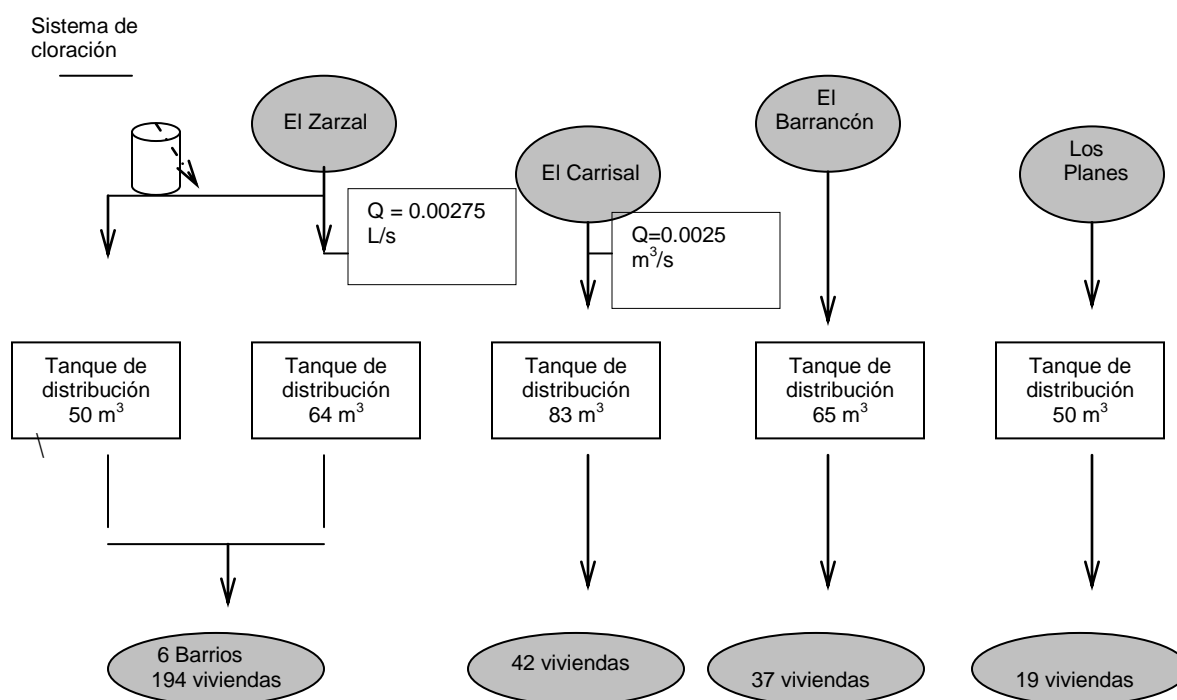
## H. Generalidades hidráulicas del Municipio de San Juan Ermita, Chiquimula

La cabecera municipal de San Juan Ermita municipio de Chiquimula cuenta con 1,470 habitantes, divididos en 300 viviendas; a quienes les es distribuida el agua para consumo procedente de cuatro fuentes de abastecimiento de la siguiente manera

CUADRO 10- Distribución hídrica en la cabecera municipal de San Juan Ermita

Fuente	Número de viviendas que abastece
Los Planes	19
El Barrancón	37
El Carrisal	42
El Zarzal	194

ILUSTRACIÓN 4-Sistema actual de abastecimiento de agua actual



donde  $Q$  = caudal  
 $D$  = Diámetro de las tuberías incluidas  
 $L$  = Largo de total de la tubería

CUADRO 11- Información actual específica del Municipio con base en la documentación interna de la  
Municipalidad

		Unidades
Población actual que se abastece de la fuente EL ZARZAL	194	Viviendas
	970	Habitantes
Tasa de crecimiento actual	2.6	%
Capacidad del sistema hidráulico actual	30	m <sup>3</sup> /d
	2.75	L/s
Tiempo que las viviendas tienen agua	8	horas
Consumo per capita diario actual	31	L/d

CUADRO 12- Proyección de la situación del municipio al 2010

		Unidades
Población a abastecer de la fuente EL ZARZAL en el 2010	1110	Habitantes
Consumo per capita estimado, según el consumo promedio actual	120	L/d
Capacidad del sistema hidráulico en el 2010	250,000	L/d
	3.75	L/s
Tiempo que las personas tendrán agua	18	horas

CUADRO 13- Proyección de la situación del municipio al 2015

		Unidades
Población a abastecer de la fuente EL ZARZAL en el 2010	1265	Habitantes
Consumo per capita estimado, según el consumo promedio actual	150	L/d
Capacidad del sistema hidráulico en el 2010	250,000	L/d
	3.75	L/s
Tiempo que las personas tendrán agua	20	horas

## I. Caracterización del Municipio

1. **Cabecera Municipal:** La cabecera Municipal, es San Juan Ermita, se localiza a 18 km de la cabecera departamental. Cuenta con 307 familias, con un promedio de seis a ocho personas por familia. Existen 1,356 personas habitando en la cabecera municipal, con un total de 273 viviendas

### 2. Aspectos sociales

a. **Agua y saneamiento:** Existen cuatro vertientes que abastecen a todas las viviendas. El Zarzal, El Carrisal, El Barrancón y Los Planes. Se cuenta con un 90 % de viviendas que cuentan con drenajes, el 6 % con letrinas tipo pozo ciego y el 4 % restantes no cuentan con servicio de letrización. La mayor parte de las familias tiran la basura en la quebranta del Carcaj y Quebrada Negra mientras que otros los entierran en su propiedad.

b. **Vivienda:** En cuanto a la propiedad de las viviendas, las 273 existentes son propias. El 75 % de las viviendas están construidas de paredes de block, 18 % de adobe, 5 % de bajareque y el 2 % es cercado de palma. El techo del 73 % de viviendas es de lámina, 17 % de terraza y el 10 % restantes es de palma. Las viviendas cuentan de dos a cuatro espacios habitacionales

c. Población: Del total de la población, hay un 19 % de analfabetismo, constituyente de 86 hombres y 77 mujeres analfabetas. A 252 personas, el agua es abastecida intradomicialmente, cinco personas llenan cántaros para consumo y diez personas no tienen servicios

## J. Medios de comunicación

1. Carretera: La comunidad cuenta con 18 km de carretera asfaltada hacia la cabecera departamental, todo el año.
2. Teléfonos: Existen únicamente cuatro teléfonos privados los cuales son alquilados al público
3. Energía eléctrica: Todas las viviendas cuentan con energía eléctrica y la cabecera municipal cuenta con 36 lámparas de alumbrado público.

## K. Aspectos económicos

1. Cultivos: La tendencia de la tierra del 90 % es propia, el 7 % son arrendadas El resto de familias trabajan la tierra de estos mismos. Los principales cultivos son el maíz, fríjol negro,, fríjol blanco, maicillo, tabaco, tomate, cebolla, chile, repollo, rábanos
2. Sistemas de producción: Cuenta con varios mini riegos tomados de la quebrada Carcarcaj de los cuales riegan la cebolla, chile, el tomate, etc. La mayoría de los productos son utilizados para el consumo familiar El fríjol, maíz y el maicillo lo utilizan también para la venta a través de los mercados en el municipio de Jocotán y la cabecera departamento, el tabaco lo venden en la ciudad capital
3. Ingresos mensuales por familia: Los ingresos por parte de los hombre es de Q 500.00 a Q 3,000.00 y por parte de las mujeres de Q 300.00 a Q 1,800.00. mensuales.

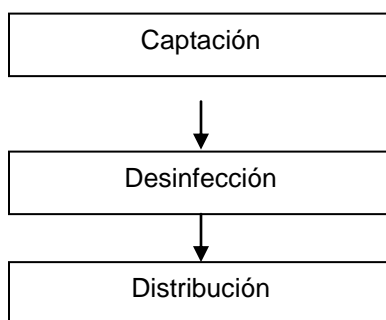
## L. Medio ambiente:

1. Bosques existentes: No existe ningún bosque, pero existe un terreno Ejidal denominado “ El piñalón” sembrar en el Barrio Linda Vista compuesto por varias manzanas donde se podría árboles de pino, cedro, encino y Roble Blanco

## M. Tratamiento actual

El tratamiento actual que recibe el agua, en el proyecto “El Zarzal”, involucra el siguiente tratamiento

Tratamiento actual del agua en el proyecto El Zarzal



Agua a tratar:

1. **Captación:** Actualmente, existe un recipiente rectangular de captación, ubicado en el caserío “El Zarzal”, a 3 km de la cabecera municipal de 4.8 m de largo, 1.7 m de ancho y 1.0 m de alto, (8.16 m<sup>3</sup>) donde se capta el agua que sale del nacimiento llamado con el mismo nombre. El transporte del agua es por gravedad, desde la captación hasta la distribución.

ILUSTRACIÓN 5-Sistema actual de captación de agua , aldea “El Zarzal”



2. **Desinfección:** Actualmente, se aplica solución de hipoclorito de sodio ( $\text{NaHClO}$ ), a los dos tanques de distribución. La desinfección se realiza a una distancia de 1.5 km del lugar de la captación.

ILUSTRACIÓN 6-Aplicación actual del desinfectante



3. **Distribución:** Existen actualmente dos tanques de distribución, con capacidad de  $50 \text{ m}^3$  y  $64 \text{ m}^3$  que es donde procede el agua para consumo para el 60 % de los habitantes de la cabecera Municipal

ILUSTRACIÓN 7-Tanques actuales de distribución



### III. JUSTIFICACIÓN

Los habitantes del municipio de San Juan Ermita, del departamento de Chiquimula pertenecen a un área de pobreza y, pobreza extrema en el país.

La alta incidencia de morbilidad gastrointestinal, característica propia del deficiente saneamiento en el agua de consumo, requiere de la oportuna intervención de las autoridades municipales.

El abastecimiento del agua en la cabecera municipal, está dado por las siguientes cuatro fuentes de suministro:

- El Zarzal, vertiente que abastece el 65 % del total de la población
- El Carrisal, vertiente que abastece el 26 % de la población
- El Barrancón, vertiente que abastece el 12 % de la población
- Los Planes, vertiente que abastece el 6 % de la población

Los cuatro microsistemas tienen su propio tanque de captación y cuentan con su propio sistema independiente de distribución y debido a que todas las fuentes están expuestas a contaminación, por definición están contaminadas y requieren de un tratamiento específico, según lo establecen expertos del Instituto de Fomento Municipal, INFOM.

El Zarzal, es la vertiente que abastece a la mayoría de la población, entonces si se desea mejorar la salud de la población se debe considerar la implementación de una planta de tratamiento de agua potable para asegurarse de mantener siempre una calidad de agua específica y aceptable a dicha fuente de abastecimiento.

Así mismo, al disminuir el riesgo de enfermedades gastrointestinales, causadas por patógenos en el agua de consumo se mejoraría la calidad de vida de los habitantes de la comunidad, fortaleciéndose de esta forma la productividad del municipio.

De manera complementaria, la construcción de la infraestructura de un proyecto de este tipo, ayudaría a utilizar mano de obra local, colaborando a crear nuevas fuentes de trabajo y mejorando la economía del municipio.

## IV. OBJETIVOS

### A. Generales

1. Elaborar el diseño de una planta de tratamiento de agua potable para “EL ZARZAL”, vertiente principal de las cuatro fuentes de abastecimiento de agua, en la cabecera municipal de San Juan Ermita, departamento de Chiquimula.

### B. Específicos

1. Realizar el análisis fisicoquímico y biológico, para conocer la calidad del agua de la fuente de abastecimiento “ El ZARZAL”, del municipio de San Juan Ermita del departamento de Chiquimula
2. Identificar los principales orígenes de contaminación de la fuente de abastecimiento de El Zarzal,
3. Diseñar del proceso más adecuado para la potabilización del agua, de la fuente “EL ZARZAL” de acuerdo con normas nacionales, brindadas por el INFOM
4. Seleccionar el lugar apropiado para la instalación de la planta de tratamiento de agua potable.
5. Dimensionar y seleccionar la maquinaria y equipo necesarios para el proceso de potabilización de la fuente de abastecimiento
6. Realizar la propuesta económica para la implementación de la planta de tratamiento de agua potable ante organismos nacionales como el Fondo de Inversión Social y Cooperación Internacional, junto con una propuesta de autosostenibilidad, en cooperación con la municipalidad local.

## V. PROBLEMA A RESOLVER

El Zarzal, es el nombre de la mayor fuente de suministro de agua para la cabecera municipal de San Juan Ermita, perteneciente al departamento de Chiquimula, ésta abastece 194 viviendas que corresponde al 65 % del total de la población local y es a su vez, la fuente con más riesgo a sufrir contaminación. Como tratamiento actual, únicamente recibe cloración, el cual es un tratamiento insuficiente para proveer a la población local la seguridad de estar consumiendo agua potable y adecuada.

## VI. METODOLOGÍA

1. **Sensibilización ante las condiciones actuales de la comunidad:** Surgió la idea de hacer un estudio que pudiera mejorar la calidad de vida de una comunidad.
2. **Contactar autoridades locales y gubernamentales:** Se conocieron las autoridades municipales locales. Así mismo, se hizo relación con autoridades de organismos gubernamentales como el FIS y cooperación internacional para buscar información general sobre normas y especificaciones nacionales en las que las plantas de tratamiento de agua potable se deban regir y analizar la factibilidad de la implementación del proyecto a un corto plazo.
3. **Caracterizar inicialmente el agua:** Se llevó a cabo la primera visita de campo, con el propósito de identificar los principales orígenes de contaminación de la fuente de abastecimiento y para muestrear el agua, procedente en una casa en particular. Luego, se solicitó en el laboratorio del INFOM, el análisis químico y microbiológico de la muestra de agua.
4. **Determinación de las condiciones de trabajo:** Se estableció la posible ubicación de la planta de tratamiento, tomando en consideración la ubicación de la vertiente de “El Zarsal”, ubicación de la red de distribución hidráulica, capacidad de suministro y la topografía general del lugar.
5. **Determinación del tratamiento más adecuado que necesitará el agua:** De acuerdo a los resultados de los análisis químico y microbiológico, se determinó el tipo de planta a diseñar, es decir qué tratamiento se necesita para brindar la mejor calidad a la población, tomando en consideración, las características del municipio, el lugar de ubicación de la planta y la forma de hacer el proyecto auto sostenible localmente.
6. **Consideración de la capacidad y diseño de la planta:** Con respecto a la capacidad de suministro de la fuente y la demanda de la población que recibe agua de la misma, se seleccionó el proceso de potabilización. Así como también se hizo la distribución más apropiada de los mismos, ilustrándola sobre planos específicos de la planta, realizados a escala.
7. **Realizar la propuesta económica:** Se realizó la cotización de los materiales y equipo así mismo se analizará la sostenibilidad del proyecto, es decir, según los gastos fijos que se involucrarán en el proyecto y de acuerdo a la economía local, determinar qué cantidad podrán aportar los consumidores.

## VI. RESULTADOS

### A. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua

El agua a tratar tiene las siguientes características según análisis fisicoquímico del laboratorio del INFOM.

CUADRO 14-Resultados del análisis fisicoquímico del agua

Parámetros fisicoquímicos	Unidades	Resultado 29/06/2005	Resultado 12/08/2005
Color aparente	Unidades Pt-Co	1	7
Color verdadero	Unidades Pt-Co	< 1	4
Sulfato	mg/L $\text{SO}_4^{-2}$	9	10
Nitrato	mg/L $\text{NO}_3^-$	10	5.7
Nitrito	mg/L $\text{NO}_2^-$	< 0.01	0.01
Hierro total	mg/L Fe	0.06	0.1
Manganeso total	mg/L Mn	< 0.1	
Dureza total	mg/L $\text{CaCO}_3$	235	200
Calcio	mg/L Ca	77	70
Magnesio	mg/L Mg	11	5.8
pH	Unidades pH	6.8	
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	450	
Sólidos disueltos totales	mg/L	225	

Parámetros bacteriológicos	Unidades	Resultado 29/06/2005
Escherichia coli	UFC/ 100 mL	< 2
Coliformes totales	UFC/ 100 mL	< 2
Conteo aeróbico total	UFC/ 100 mL	160

NOTA: La Turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), la Conductividad en unidades de micro Siemens por centímetro ( $\mu\text{S/cm}$ ), el Color se mide en Unidades Hazen o Unidades Platino-Cobalto (HU) y para los parámetros bacteriológicos se utiliza el factor de Unidad de Formación de Colonias (UFC por un volumen dado).

## B. Orígenes de contaminación

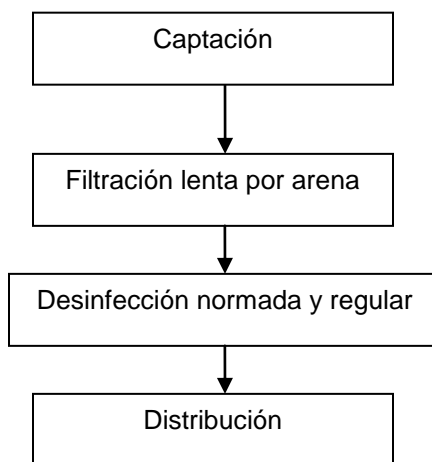
La fuente de abastecimiento de El Zarzal, se encuentra en la aldea llamada El Zarzal, a 3 km de la cabecera municipal, y es también la fuente de abastecimiento de agua para los habitantes de dicha aldea.

Debido a que la fuente se encuentra en una aldea, está sujeta a la contaminación orgánica e inorgánica proveniente de la aldea, sin embargo, por los resultados fisicoquímicos y bacteriológicos expuestos anteriormente se puede observar que el agua cumple actualmente con los requerimientos bacteriológicos establecidos en la norma COGUANOR 29001, entonces se debe enfocar en mantener dicha seguridad para la mayoría de la población, por lo menos hasta para el año 2015.

## C. Diseño para la planta de tratamiento de agua potable

El agua nace y se recolecta en un tanque de captación, por lo que la calidad del agua, según los análisis fisicoquímicos amerita el siguiente tratamiento preventivo.

### Tratamiento propuesto del agua



No obstante, si la contaminación aumentara se debería añadir un proceso de floculación-sedimentación, para disminuir la turbiedad del agua, previo al proceso de filtración lenta por arena.

## D. Identificación del lugar donde se ubicará la planta

La planta se ubicará en un terreno municipal ubicado a 400 m del actual tanque de distribución de agua del Proyecto El Zarzal, a 1.5 km del tanque de captación del mismo proyecto, en un área plana de 500 m<sup>2</sup>. El área cumple con que sea accesible en vías de comunicación, pues está a la par de una carretera. también el agua subterránea es muy profunda, por lo que no interferirá con la construcción del filtro y la topografía del terreno es plana. Cabe agregar que no debido a la selección del área no se requerirá el uso de bombas, factor importante ya que el lugar carece de instalación eléctrica.

## E. Proceso de potabilización del agua

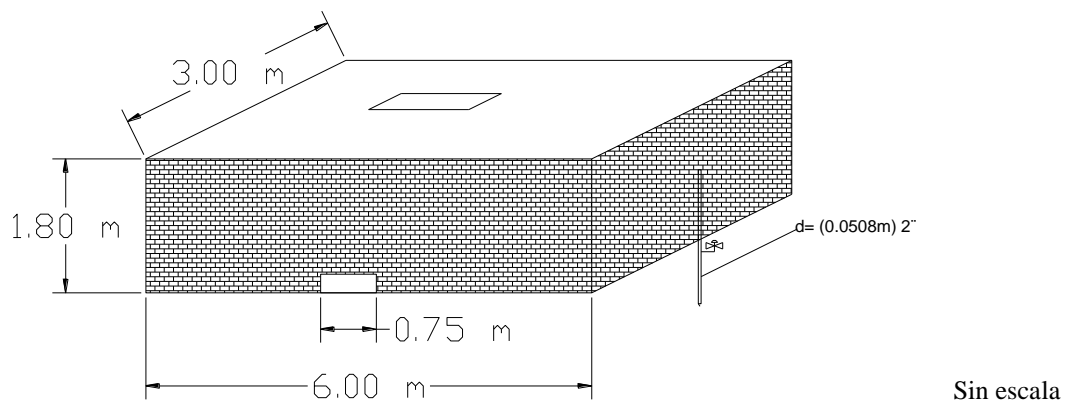
La planta de tratamiento de El Zarzal, básicamente se compone de cuatro elementos bien definidos, los cuales son: captación, filtro lento, desinfección y distribución.

Hay dos tipos generales de plantas de tratamiento que se utilizan para la purificación del agua. Éstas se clasifican según la velocidad de filtración, en filtros de arena de acción lenta y filtros de arena de acción rápida, que a su vez puede clasificarse en filtros de gravedad y filtros de presión.

Debido a que el caudal a satisfacer es de 3.75 L/s, se recomienda la construcción de una planta de tratamiento de agua potable, en base a la filtración lenta de arena. Considerando para ello las siguientes partes:

1. **Captación:** El tanque de captación, se construirá de cemento, con las siguientes medidas: 6.0 m de largo, 3.0 m de ancho y 1.8 m de profanidad (32.4 m<sup>3</sup>), con una capacidad efectiva del 80 %, que equivale a 26 m<sup>3</sup>. Entiéndase capacidad efectiva, el 80 % de la capacidad nominal. Con estas dimensiones se aumentará la capacidad de captación en un 69 %. El tanque está provisto de un rebalse aguas abajo y un drenaje de lodo aguas abajo con una compuerta de 0.75 m de largo y 0.2 m de altura para drenaje de lodos.

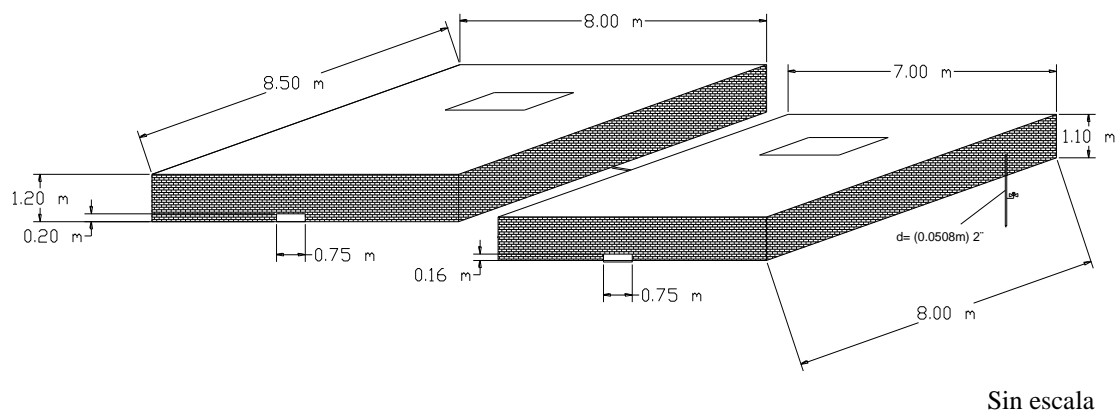
ILUSTRACIÓN 8- Propuesta de aumento de capacidad del tanque de captación



El agua es llevada por gravedad desde el tanque de captación hasta dos tanques recolectores ubicados a 1.5 km del tanque de captación, que son los que actualmente cumplen la función de tanques de distribución. El primer tanque tiene capacidad efectiva de  $50\text{ m}^3$  y el segundo capacidad  $64\text{ m}^3$ .

Entiéndase capacidad efectiva, el 80 % de la capacidad nominal y las dimensiones de los mismos son las siguientes:

ILUSTRACIÓN 9-Tanques recolectores (actuales tanques de distribución)



2. **Filtración:** El filtro de arena de acción lenta se encuentra a 200 m de distancia de los tanques recolectores y a 1.5 Km del tanque de captación y consiste en dos recipientes con drenes en la parte inferior, herméticos que contengan una capa de arena de 0.6 m encima de una capa de grava de 0.3 m de espesor.

Tomando a consideración, que se tiene la filtración lenta como tratamiento único, por lo que la velocidad de filtración es de  $0.2 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ .

Si deben construir dos filtros lentos de arena para asegurar que al limpiar algún filtro, el otro esté funcionando, usando la siguiente ecuación:

$$\text{Área} = \left( \frac{Q}{V \times n} \right).$$

Ecuación 1

Donde Q, es el caudal, que es de 3.75 L/s ( $0.00375 \text{ m}^3/\text{s}$ )

V, es la velocidad de filtración que es  $0.2 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$

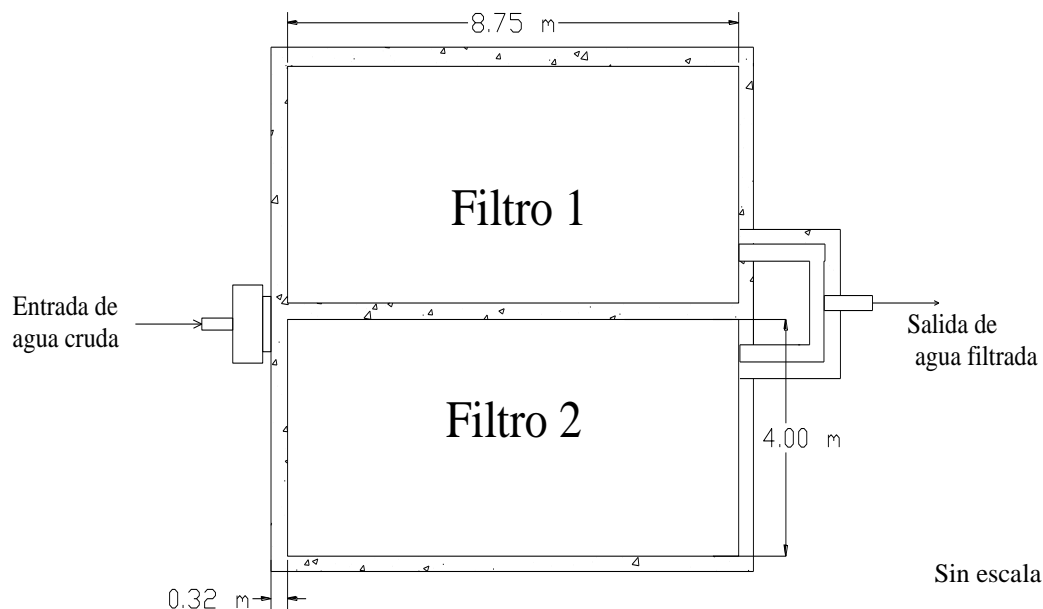
n, es el número de filtros, que en este caso es dos

Sustituyendo estos valores en la ecuación 1 se tiene

$$\text{Área} = \left( \frac{0.00375 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{3,600\text{s}}{1\text{h}}}{0.2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}\cdot\text{m}^2} \times 2} \right) = 33.75\text{m}^2$$

Se tiene que se necesitan dos filtros de  $33.75 \text{ m}^2$  de superficie y por consideración a las normas de UNEPAR, para la construcción de filtros lentos de arena se tiene los tanques de 8.75 m de largo y 4.0 m de ancho

ILUSTRACIÓN 10-Planta filtro lento de arena



Se debe comprobar que el acabado interior de las paredes de la caja sea rugoso en el tramo en el que se encuentra la arena. Si se tiene paredes lisas se producen cortocircuitos en el perímetro del lecho filtrante. También se debe tomar en consideración que no hallan fisuras o grietas en la estructura. Debe existir un elemento de control que indique el momento en el que la unidad agotó la carga hidráulica disponible para operar ya que el filtro puede operar con altura o carga de agua constante. Generalmente se tiene un control de nivel con un flotador, una válvula para regular el caudal a medida que la pérdida de carga incrementa, también se debe disponer de piezómetros para determinar el momento en que ésta llegó al valor máximo permitido por la instalación.

La duración de la carrera de filtración depende directamente de la Carga Hidráulica Disponible, (CHD) que es una condición de diseño de la instalación. Esto es la altura o carga disponible para perder durante la operación del filtro.

En el diseño del filtro lento para el medio rural la CHD vendría a ser la diferencia de niveles entre los vertederos de salida del afluente y de control de nivel máximo. Esta distancia puede variar entre 0.8 m y 2.1 m.

La capa de agua sobrenadante (CAS) es la altura de agua entre la superficie de la arena y el nivel máximo de operación. Esta altura normalmente varía entre 0.8 m y 1.3 m el valor más usual y el aplicado en el desarrollo de esta planta es de 0.8 m.

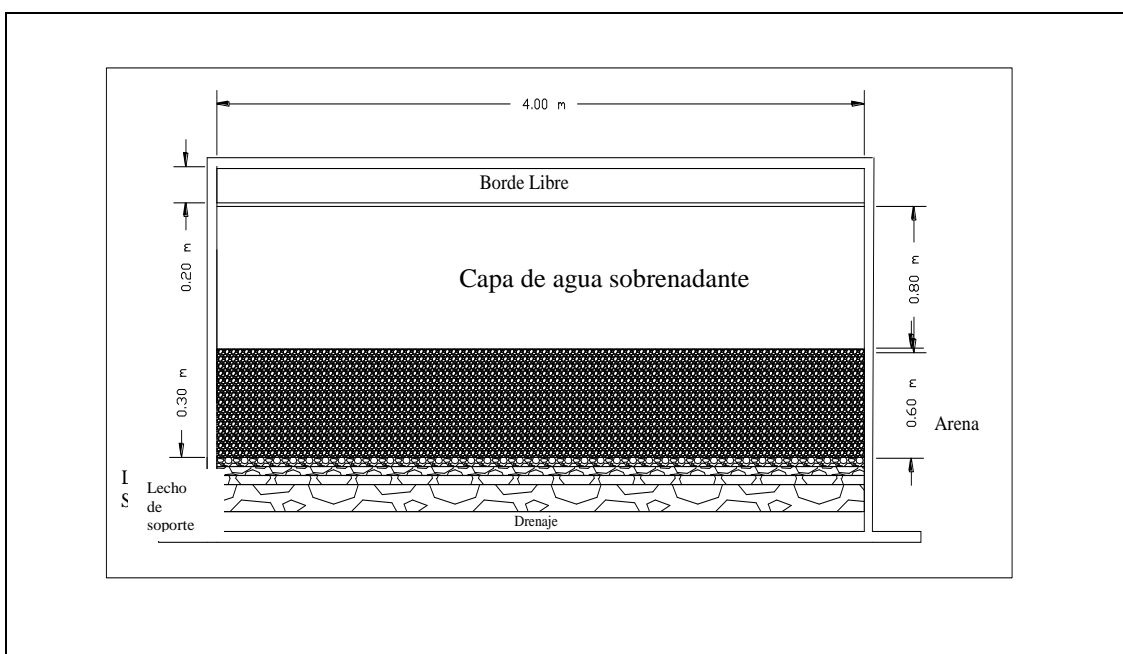
Estos parámetros se pueden determinar midiéndose directamente en la caja del filtro con una cinta métrica.

Entre las partes que componen una planta de tratamiento de filtración lenta están:

a. Capa de agua sobrenadante: Tiene básicamente dos propósitos, fundamentales primero, proporciona una carga de agua suficiente para hacer que el agua cruda pase a través del lecho del medio filtrante; segundo, hace que se origine un tiempo de retención de varias horas de agua cruda a ser tratada, período en el cual las partículas pueden asentarse y/o aglomerarse, o ser sometidas a cualquier otro proceso físico o bioquímico. Sin embargo, de ningún modo el reservorio de agua sobrenadante debe considerarse como un estanque de sedimentación.

La altura adecuada de la capa de agua sobrenadante es de 0.8 m a 1.3 m. Como se indicó anteriormente la altura constante de la capa de agua sobrenadante será de 0.8 m. Las paredes del reservorio de agua sobrenadante deben tener altura suficiente como para dejar un borde libre de 0.2 a 0.3 m sobre el nivel del agua. El esquema del filtro se ilustra a continuación:

IILUSTRACIÓN 11- Vista transversal de un filtro lento de arena



El reservorio de agua sobrenadante puede estar dotado de un dispositivo manual desnatador y un canal de drenaje de nata. El reservorio debe contar así mismo con un vertedero de derrame o rebose que drene el exceso de agua y la retorne a la fuente de agua cruda. Este procedimiento sirve para remoción de la nata.

b. Lecho de arena filtrante: El medio filtrante debe estar compuesto de material granular, inerte y durable. El medio filtrante se caracteriza por su diámetro efectivo (tamaño de un tamiz en milímetros que deja pasar el 10 % por peso de la arena) y su coeficiente de uniformidad.( relación entre el tamaño de un tamiz que deje pasar 60 % de la muestra y el tamaño efectivo.). Normalmente, se elige un tamaño efectivo dentro de una gama de 0.15 a 0.45 mm. Cuando no hay disponible arena natural de estas características, el valor deseado del diámetro puede obtenerse mezclando dos tipos de arenas.

El coeficiente de uniformidad debe ser de 1.5 a 4.0 Para un funcionamiento adecuado del proceso de purificación se debe proveer un lecho filtrante de 0.5 m como mínimo. Un filtro nuevo debe estar previsto con un lecho filtrante de 0.6m de espesor de forma que el lecho no necesite rellenarse más de una vez cada varios años.

c. Dispositivo de regulación y control del filtro: Se mencionan a continuación las operaciones más importantes a ser reguladas y controladas por medio de válvulas, vertederos y otros dispositivos.

- 1) Entrada de agua cruda al reservorio de agua sobrenadante hasta un nivel consistente dentro del tanque del filtro.
- 2) Eliminación del exceso de agua y de la nata por medio de un vertedero de derrame o rebose.
- 3) Drenaje del agua sobrenadante antes de efectuar la limpieza del filtro.
- 4) Drenaje del agua en la capa superior del lecho filtrante.
- 5) Medida del caudal del agua efluente por medio de un dispositivo calibrado de medición de caudal.
- 6) Regulación de la tasa de filtración.
- 7) Ingreso de agua limpia para llenar en forma ascendente el lecho filtrante después de efectuar la limpieza del filtro.
- 8) Dispositivo de prevención de presiones negativas en el lecho filtrante.
- 9) Descarga del agua tratada al tanque de almacenamiento de agua tratada.

De los elementos básicos de un filtro lento de arena, se deduce que, incluida la losa de cimentación (0.30m de espesor), la altura vertical total del filtro debe ser de 2.0 a 2.8 m. Los materiales de construcción comúnmente usados son el hormigón simple o armado, ferrocemento, piedra natural o ladrillo. La caja del

filtro, el canal de efluente y el tanque de almacenamiento de agua filtrada deben ser herméticos por dos razones: para evitar pérdidas de agua y, en caso de tenerse un nivel freático alto, para prevenir el ingreso de agua subterránea que pueda contaminar el agua tratada.

d. Elementos físicos que lo constituyen: Existen filtros con distintos elementos físicos, como forma (filtros rectangulares, filtros con pared divisoria, filtros circulares, cuadrados excavados, taludes protegidos) y para cada uno de ellos existen distintas formas de construcción dependiendo de la capacidad económica de la población pueden ser de hormigón armado, cemento, de mampostería, de talud protegido con piedra etc.

1) Dimensiones: Para áreas de bajos recursos financieros es recomendable utilizar un filtro de cemento, que cumpla con las siguientes dimensiones: 8.75 m de largo, 4 m de ancho, 2.1 m de profundidad y un espesor de paredes de 0.06 m

e. Zona de entrada: Debe contar con una válvula o compuerta para regular el caudal que ingresa, con un medidor de caudal, un sistema de distribución a las unidades mediante canales con vertederos y compuertas para que se puede aislar una unidad durante la operación de limpieza. Las funciones de la zona o estructura pueden ser:

1) Asegurar una distribución pareja del agua cruda sobre el agua del lecho filtrante. Esto generalmente se consigue si la velocidad de ingreso del agua entrante es baja de aproximadamente 0.2 m/s.

2) Reducir la energía del agua entrante con el fin de prevenir turbulencias en la capa de agua sobrenadante y daños a la capa biológica. Esta función también requiere una baja velocidad de ingreso. Además la estructura de entrada puede estar ubicada justo sobre el lecho filtrante, con el fin de prevenir que se viertan chorros de agua sobre el lecho filtrante. También puede prevenirse la ruptura de la capa biológica colocando losas de hormigón o de piedra natural sobre el lecho filtrante en el punto de entrada del agua cruda.

3) Drenar el agua sobrenadante cuando es necesario limpiar el filtro. Ésta puede ser otra razón para situar la estructura de la boca de entrada ligeramente por encima del lecho filtrante. Sin embargo, después de que se ha raspado varias veces el lecho filtrante, su nivel puede bajar hasta 0.5 m. Esto significa que el agua sobrenadante no puede ser totalmente filtrada con alta

eficiencia y se tiene que drenar el agua sobrenadante para poder agregar suficiente medio filtrante. Como la resistencia del filtro será entonces muy alta, puede esperarse que el tiempo de drenaje sea prolongado.

- 4) Proporcionar un medio de graduar la altura del agua sobrenadante. Esto puede efectuarse ya sea por medio de un flotador con válvula de mariposa de una válvula de compuerta operada a mano o mediante un vertedero de rebose.
- 5) Proporcionar un medio de cerrar el flujo de agua cruda. Esto se hace generalmente por medio de una válvula de compuerta accionada a mano.

f. Zona de salida: Las funciones de la zona o estructura de salida pueden ser:

- 1) Asegurar que se elimine la posibilidad de presiones negativas en el lecho filtrante. Para este fin, se emplea usualmente en la línea del afluente un simple vertedero de rebose, cuya cresta queda ligeramente por encima del lecho de arena. Otras posibilidades incluyen un tubo de salida vertical, cuya entrada queda justo por encima del nivel superior del lecho de arena.
- 2) Proporcionar un medio de medir el flujo a través del lecho filtrante. El vertedero antes mencionado también puede usarse para este propósito mediante un flotador calibrado. También se puede ajustar el flujo a través del filtro a un valor predeterminado por medio de vertederos flotantes.
- 3) Proporcionar un medio de fijar la tasa de filtración. La forma más sencilla de hacer esto es graduando a mano la válvula de mariposa. En el caso que se utilice un vertedero flotante, el cual cumple la función prescrita anteriormente, entonces debe adaptarse su nivel mínimo de entrada de acuerdo al nivel superior del lecho de arena. Si se está limpiando uno de los filtros, debe incrementarse la velocidad de filtración y por ende, la capacidad de los vertederos flotantes del otro filtro.
- 4) Proporcionar un medio de cerrar el filtro y drenarlo. Las estructuras que emplean tubos verticales de salida tendrán que estar equipadas, por lo tanto, con tubos de drenaje separado. Para cerrar el filtro se puede usar una válvula de compuerta.

5) Proporcionar un medio de llenar en forma ascendente el filtro con agua limpia a través del sistema de drenaje después que aquel ha sido raspado. Aunque no es absolutamente necesario, es una gran ventaja que el agua filtrada sea aereada por medio de un vertedero de rebose. Con esta finalidad la estructura de salida debe estar bien ventilada. Es deseable contar con un registro de inspección para facilitar el control de los vertederos y las válvulas.

El lecho filtrante es el componente más importante de la instalación ya que en él propiamente se realiza el proceso en forma efectiva y de sus características depende mucho la eficiencia que se obtenga. Por lo tanto es importante evaluar lo siguiente:

g. **Granulometría del lecho filtrante:** Una forma de definir la granulometría apropiada es a través del tamaño efectivo ( $d_{10}$ ), el cual es el tamaño de grano en mm por debajo del cual sólo debe estar el 10 % en peso de la muestra de arena, y el coeficiente de uniformidad, que es la relación entre el tamaño en mm por debajo del cual está el 60 % en peso de la muestra de arena ( $d_{60}$ ) y el tamaño efectivo ( $d_{10}$ ).

El tamaño efectivo del lecho filtrante debe ser de 0.15 mm a 0.45 mm y el coeficiente de uniformidad de 1.5 a 4.0.

El propósito es determinar el tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad del lecho filtrante y correlacionar con la eficiencia obtenida. Para ello se utiliza una serie de tamices tipo Tyler o estadounidenses; y el procedimiento consiste en lo siguiente:

- 1) Tomar una muestra de arena del lecho filtrante, secarla y pesarla.
- 2) Colocar la muestra en el tamiz superior y vibrar el conjunto de tamices.
- 3) Determinar el peso de material retenido en cada tamiz.
- 4) Determinar el porcentaje de peso acumulado que atraviesa cada tamiz.
- 5) Graficar los porcentajes obtenidos contra abertura de los tamices.
- 6) Determinar en el gráfico el tamaño efectivo, es decir, el tamaño de grano correspondiente al 10 % de peso acumulado de arena ( $d_{10}$ ).
- 7) Determinar en el gráfico el tamaño de grano correspondiente al 60 % de peso acumulado de arena ( $d_{60}$ ).
- 8) Calcular el coeficiente de uniformidad de la muestra.

h. **Espesor del medio filtrante:** Normalmente el espesor inicial del medio filtrante puede variar entre 0.5 m y 0.8 m. Cuando más espeso sea éste, la frecuencia de colocar arena de la unidad será menor, pero por motivos económicos no se recomienda espesores mayores de un metro. El espesor mínimo de arena con el cual puede operar el filtro es de 0.2 m a 0.3 m, con espesores menores la eficiencia se reduce considerablemente. Se propone un espesor del lecho filtrante de 0.6, como se ha expuesto en el desarrollo del presente estudio.

i. **Grado de saturación superficial de la arena:** En la superficie del lecho filtrante se desarrolla la capa biológica. En esta capa van quedando retenidas la mayoría de las partículas que ingresan en el afluente, colmatándolo gradualmente hasta consumir la cara hidráulica disponible.

j. **El grado y profundidad de avance** Se puede evaluar el avance del grado de saturación determinando el contenido de sedimento capa por capa. Se considera que la capa está colmatada cuando el contenido de sedimento es igual o mayor al 5 % y la profundidad de la capa se determina en el momento en que se encuentra un contenido de sedimento menor al 5 %. El propósito es determinar el grado de colmatación del medio filtrante y para ello se utiliza una probeta de 500 mL y el procedimiento consiste en lo siguiente:

- 1) Excavar en la superficie del lecho e ir extrayendo muestras a profundidades de dos, cinco, ocho y tres cm.
- 2) Colocar la primera muestra en una probeta graduada y agregarle agua limpia.
- 3) Tapar el extremo de la probeta con la mano y agitar durante un minuto.
- 4) Dejar sedimentar durante cinco minutos al cabo de los cuales se puede apreciar una capa de arena en el fondo y otra de sedimento encima.
- 5) Medir la altura de ambas capas.
- 6) Determinar el porcentaje de sedimentación en esa capa de la siguiente manera.

$$\% \text{ de sedimentación} = \left( \frac{\text{Altura de sedimento}}{\text{Altura de arena}} \right) \times 100$$

7) Si el porcentaje de sedimento encontrado es menor o igual a 5 % la evaluación concluye aquí y se indicará que el lecho no está todavía saturado o bien si es igual a 5 % que está en el momento de efectuar la limpieza.

8) Si el porcentaje de sedimento es mayor de 5 % se debe repetir la prueba con las siguientes muestras hasta encontrar una capa en la cual el contenido de sedimento sea igual o menor al 5 % y la posición de esta capa indicará la profundidad del lecho que se encuentra saturado y que deberá retirarse durante el proceso de limpieza.

k. **Capa soporte de grava y drenaje:** Sirve para dos propósitos fundamentales : permite un paso libre para la recolección de agua tratada y da soporte al lecho del medio filtrante de modo que se asegure una velocidad de filtración uniforme sobre toda el área del filtro.

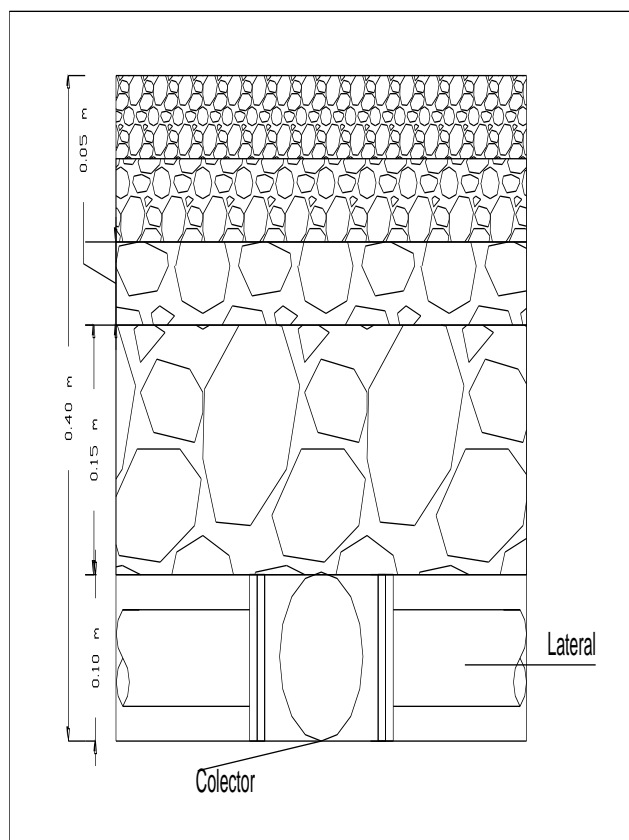
El sistema de drenaje puede tener diversas configuraciones, en la actual se tiene un dren principal, cuatro drenes laterales para cada filtro, los cuales tienen perforaciones distanciadas cada 10 cm. Este sistema de drenes está cubierto por capas de grava.

La grava se tiende en capas, comenzando con los granos mayores en el fondo y reduciendo progresivamente el diámetro hacia arriba. La grava impide que el material granular del lecho del filtro sea acarreado hacia el sistema de drenaje.

CUADRO 15- Características del lecho de soporte

		Diámetro de partícula medio (mm)	Diámetro de partícula medio (in)	Espesor de la capa (mm)
Capa superior	arena gruesa	2 a 5	3/16 - 3/32	50
segunda	gravilla fina	5 a 10	3/8 - 3/16	50
tercera	gravilla	10 a 20	3/4 - 3/8	50
capa inferior	grava	20 a 50	2 - 3/4	150

## ILUSTRACIÓN 12- Caracterización de la arena

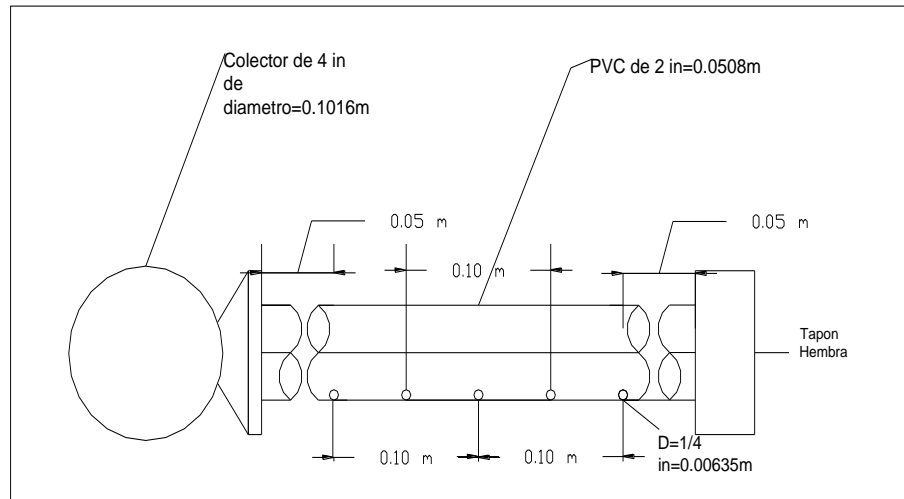


Sin escala

Incluyendo los drenes, la capa de grava tendrá una profundidad de 40 cm.

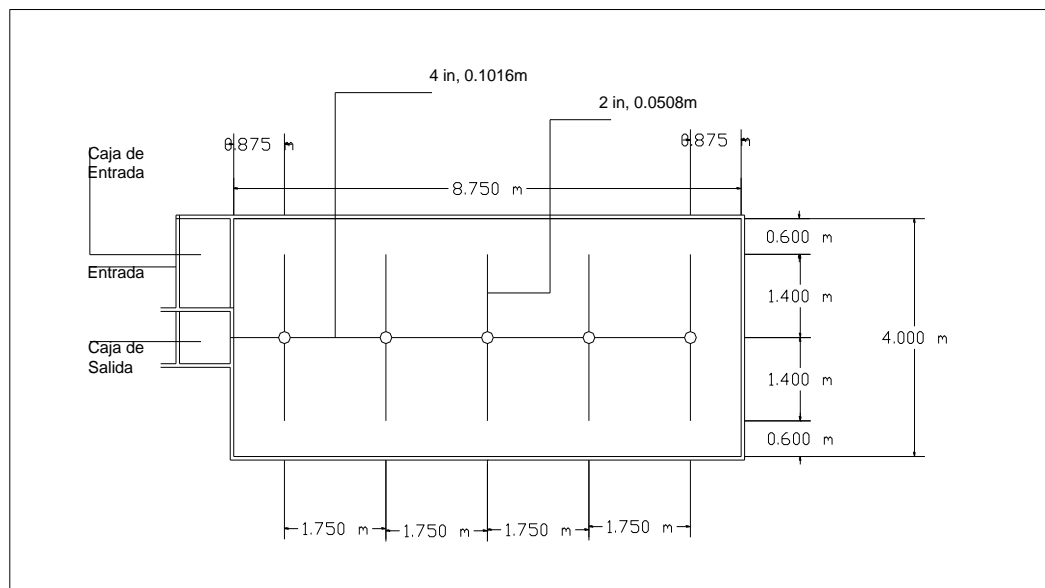
El drenaje puede estar conformado por tubos de PVC. Los tubos de drenaje están compuestos de un dren principal y ramificaciones o drenes laterales. Los drenes laterales se unirán al principal mediante tees o cruces y podrán ser de concreto, de cerámica o de PVC. En este caso, los drenajes principales y colectores serán de cuatro pulgadas de diámetro (10.16 cm), los diámetros de las tuberías laterales serán de dos pulgadas de diámetro (5.08 cm). La separación entre los orificios será de 10 cm. siguiendo el formato a continuación:

ILUSTRACIÓN 13- Caracterización de los tubos de drenaje



Sin escala

ILUSTRACIÓN 14- Caracterización del sistema de drenaje



Sin escala

Para evaluar las características de la grava y del drenaje necesariamente hay que retirar el lecho filtrante para poder examinarlos, lo cual sólo se justifica cuando el filtro está trabajando mal. El espesor de la grava y del drenaje es lo único que se puede evaluar sin vaciar el filtro. Midiendo el espesor de la arena, más la capa de agua sobrenadante y el borde libre y descontando esta dimensión de la altura total del filtro, se encontrará el espesor del drenaje más la capa de soporte.

l. **Elementos adicionales:** Debe considerarse la construcción de una galera techada para guardar la arena en bolsa y la grava, así como las herramientas necesarias. También se considera la construcción de una plataforma de cemento cerca de los filtros para lavar y secar la arena.

m. **Operación y mantenimiento:** El mantenimiento involucra la medición y ajustes del caudal, monitoreo por lo menos cada dos meses de la calidad del agua producida, limpieza de la superficie de la arena cuando lo amerite o por lo menos cada seis meses y un lavado total del filtro cada cinco años

Debe considerarse que al construir el filtro, se debe dejar un período de dos a cuatro semanas para dejar que la capa orgánica “madure” y así asegurarse de la eficiencia del filtro. Durante la operación normal es sumamente importante el estado de la capa biológica y el período frecuente de limpieza.

Cabe agregar que la adecuada operación y el mantenimiento preventivo y correctivo determinan la eficiencia del filtro.

Al limpiar el lecho filtrante, debe considerarse, que esto se debe hacer cuando el nivel del agua en la capa del filtro llega al máximo y el agua empieza a rebosar por el aliviadero, durante esta operación es necesario que se haga en un solo día para evitar la mortalidad de los microorganismos benéficos en la capa de arena que permanecerá en el filtro y acortar el período de maduración.

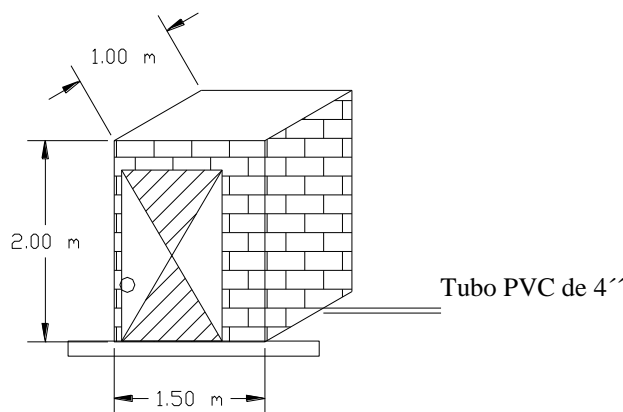
Es importante notar, por lo menos, cada cinco años se debe realizar el lavado completo del filtro, esto se hace retirando completamente la arena y la grava, tomando en cuenta que no se deben mezclar, así mismo se debe lavar también las paredes de cemento.

n. **Material y equipo involucrado:** La construcción de un filtro lento de arena básicamente involucra cemento, grava, acero de refuerzo, arena defiltro, tuberías, válvulas, Tees, tablas, clavos, juntas y codos. También cabe considerar que en la estructura de salida es común usar dos unidades de medidores de nivel así como también un vertedero de control de nivel máximo de operación, una caja de desagüe, dos cámaras de salida cada una con un vertedero de control de nivel mínimo, una válvula para comunicar la cámara de salida con la de desagüe, una válvula para intercomunicar las cámaras de salida, una cámara de reunión del efluente y dos válvulas para eliminar el efluente inicial.

Así mismo debe considerarse como se estableció anteriormente, un medidor del caudal, flotadores y un piezómetro para medir el nivel. Los tipos de válvulas involucradas son de mariposa para fijar la tasa de filtración y compuerta para el paso de los fluidos entre cámaras y a la salida de ellas.

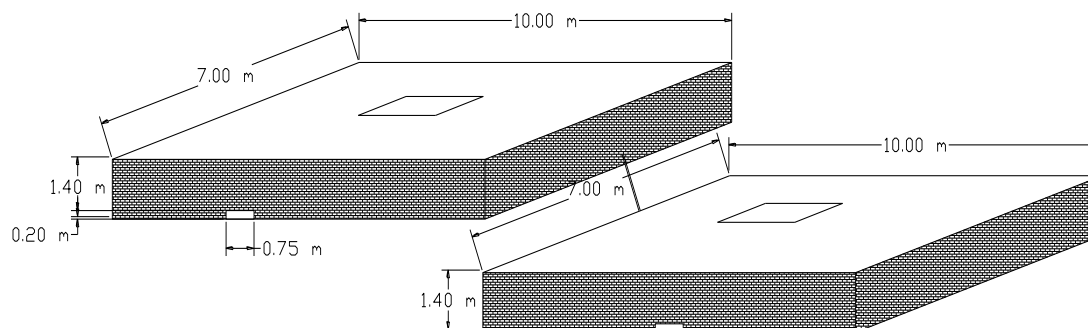
3. **Desinfección normada y regulada en tanques de distribución:** En esta etapa el agua filtrada llega hasta unos tanques de distribución donde se le aplicará una solución de desinfectante de hipoclorito de sodio ( $\text{NaHClO}$  al 10 %). Se construirán dos tanques de distribución de 7.0 m de ancho, 10.0 m de largo y 1.4 m de altura, es decir con capacidad de  $98 \text{ m}^3$  totales, teniendo una capacidad efectiva real de  $78.4 \text{ m}^3$ . Aumentando así la capacidad de los tanques de distribución en un 72 %. Luego de los tanques de distribución, el agua seguirá su trayectoria por medio de la tubería con que cuenta el proyecto, y llegará a la población. El agua tendrá que ser puesta en contacto con el hipoclorito de sodio por 60 minutos previo a su distribución. El cloro será aplicado desde una caseta construida cerca de los tanques, mediante un tubo PCV de 4" y se dosificará en forma constante.

ILUSTRACIÓN 15- Caseta de desinfección



Sin escala

ILUSTRACIÓN 16- Tanques de distribución



Sin escala

El cuadro 16 en la página número 62, se muestra como guía para el operador responsable de la planta de tratamiento, según conformidad con el servicio de salud pública de Estados Unidos, USPHS en 1940.

CUADRO 16-Concentración de cloro libre residual necesario

pH	Concentración mínima recomendada de residual de cloro combinado para un tiempo de contacto mayor de 60 min (mg/L o ppm)
6	1
7	1.5
8	1.8
9	1.8

Según análisis de laboratorio, el pH del agua se mantiene cercano a siete por lo que se recomienda una concentración de 1.5 ppm de cloro libre residual.

Para el cálculo de la cantidad de cloro administrada, se tomará en cuenta la siguiente ecuación

$$\text{Cantidad de CL} = \left( Q \times 1.5 \frac{\text{mg Cl}}{\text{L}} \right) \left( \frac{100 \text{mg HClO}}{10 \text{mg Cl}} \right) \left( \frac{1 \text{g HClO}}{1000 \text{mg HClO}} \right) \left( \frac{1 \text{mL}}{1.22 \text{g HClO}} \right)$$

Ecuación 3

Donde Q es el caudal que en este caso es 3.75 L/s.

Entonces se tiene que

$$\left(3.75 \frac{L}{s} \times 3600 \frac{s}{1H}\right) \left(1.5 \frac{mg_{Cl}}{L}\right) \left(\frac{100mg_{HClO}}{10mg_{Cl}}\right) \left(\frac{1g_{HClO}}{1000mg_{HClO}}\right) \left(\frac{1mL}{1.22g_{HClO}}\right) = 165 \frac{mL}{h}$$

Concluyendo, se tiene que aplicar 165 mL de hipoclorito de sodio y dejar reposar por una hora.

Si el proceso se lleva a cabo de forma continua, trabajando 24 horas diarias, 30 días al mes, se necesita , 118.8 L (30 gal) de hipoclorito de sodio mensuales.

Se propone a su vez, mantener un control en la cantidad de cloro suministrada a través de un equipo portátil para medir cloro. Existen varios en el mercado, pero se propone el equipo marca Analyticon, modelo RC-24P con precio de Q1,534.00.

No se considera la adquisición de un dosificador de cloro, debido a que ya se cuenta con uno y puede utilizarse.

En caso que la turbiedad del agua aumente, se podría implementar el proceso de floculación-sedimentación, previo a la filtración por arena considerando los siguientes aspectos:

El depósito de floculación podría ser del tipo de canalización por flujo horizontal, el cual estará provisto de pantalla de concreto, en los cuales el agua circula a cierta velocidad produciendo turbulencia en cada dirección del flujo, haciendo un giro de 180 grados. Un sedimentador sirve principalmente para reducir la turbiedad y para eliminar las partículas en suspensión. El tiempo de retención debe ser de dos días como máximo. Tiempo en el cual se debe permitir que los sólidos en suspensión se asienten o floten. Un sedimentador puede tener operación intermitente o continua. La configuración más común de un sedimentador es la de una caja rectangular hecha de hormigón o mampostería o de un reservorio excavado con taludes protegidos.

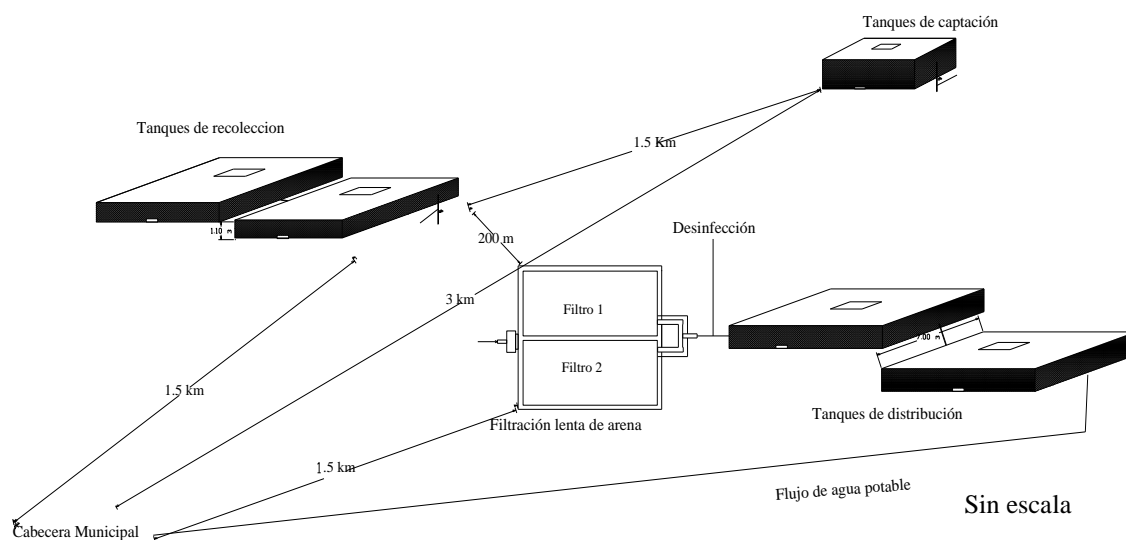
La entrada de agua cruda está ubicada en uno de los lados cortos de la caja y la salida en el otro lado corto. Las estructuras de entrada y salida son fundamentales para el funcionamiento adecuado del sedimentador. En la medida de lo posible el flujo entrante debe distribuirse igualmente a través de todo el ancho del tanque para reducir corriente y cortocircuitos. Las estructuras de salida usualmente consistirán en uno o más vertederos que se extienden a través de todo el ancho del tanque.

Si hay una alta concentración de algas en la superficie del agua, la salida puede estar ubicada a cierta distancia por debajo de la superficie.

La remoción de lodos puede llevarse a cabo mediante operación mecánica continua o por medio de operación intermitente. Si la operación ha de efectuarse por medio manual, método muy adecuado para pequeños abastecimientos de agua, el tanque debe estar dotado de drenes en el fondo para evacuar el agua sobrenadante.

4. Seguridad en el proceso: Primeramente, cabe agregar que la planta tendrá que estar cercada, para evitar el ingreso de niños y animales, también debe Considerarse cercar los tanques recolectores y de captación, para disminuir el riesgo de posible contaminación externa. También para verificar la dosificador de cloro, puede ser pertinente usar mascarilla y guantes.

IILUSTRACIÓN 17- Distribución General del Proceso de Potabilización de la Fuente El Zarzal



## F. Propuesta económica

CUADRO 17-Propuesta económica

Total inversión inicial (Q)	568,943.00
Costos anuales de mantenimiento (Q)	1,300.00
Costos anuales de operación (Q)	40,005.00
Costos totales anuales (Q)	41,305.00
Tasa de inflación anual	7%
Proyección mínima de vida útil (años)	10
Costos totales involucrados anualmente (incluyendo inversión inicial) (Q)	122,317.00
Cantidad de m <sup>3</sup> filtrados por año (Q)	122,640.00
relación costo volumen (Q/m <sup>3</sup> )	1.00

CUADRO 18- Descripción de ingresos del proyecto

Viviendas	194
Pago proyectado mensual por vivienda (Q)	5.00
Ingresos mensuales por parte de los habitantes (Q)	970.00
Ingresos anuales por parte de los habitantes (Q)	11,640.00
Ingresos anuales por parte de la municipal (Q)	29,665.00
Total de ingresos (Q)	41,305.00

## VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la actualidad es de interés general preocuparnos en mantener el agua que consumimos y utilizamos en nuestro que hacer diario, de buena calidad. Es debido a ello, que este estudio comprende el procedimiento propuesto para que los habitantes del municipio de San Juan Ermita, Chiquimula cuyos hogares sean abastecidos por la fuente “El Zarzal”, tengan la confianza que están consumiendo y utilizando agua de una buena calidad.

En el cuadro 14 (página número 43), se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos, tomados en dos ocasiones diferentes en una casa particular abastecida por la misma fuente, como se puede observar, los resultados varían considerablemente. Ambos resultados, presentan una muy buena calidad del agua, que entra en los parámetros aceptados por las normas COGUANOR, sin embargo, no muestran una congruencia aceptable, para que se pueda catalogar la fuente como no susceptible a sufrir contaminación. Es más, cabe agregar que los tanques de captación del proyecto, se encuentran en la aldea llamada con el mismo nombre y la población de la aldea lava su ropa y trastos de comida en los tanques de captación, eso muestra que la fuente está sujeta a sufrir contaminación, por lo que con la construcción de la planta de tratamiento para agua potable, la población se aseguraría que está recibiendo un agua de buena calidad en todas las épocas del año, independientemente de la contaminación previa que pudo haber sufrido.

Actualmente el proyecto de distribución de agua de la fuente El Zarzal cuenta con un tanque de captación, ubicado a 3 km de la cabecera municipal, luego el agua descendiendo por gravedad hasta los tanques de distribución que se encuentran ubicados a 1.5 km del tanque de captación, en donde se les aplica cloro, pero en una forma esporádica; luego el agua es distribuida a la población. Cabe agregar que los habitantes del municipio que son abastecidos por el proyecto de distribución de la fuente El Zarzal, tienen agua de ocho a diez horas diarias.

Analizando los valores de los parámetros fisicoquímicos establecidos en la norma COGUANOR NGO 29001, con los obtenidos de las muestras de agua, se pudo establecer que la planta de tratamiento de agua potable debe de tener lo siguiente:

Primero, se debe ampliar la capacidad del tanque de captación, debido a que la fuente tiene la capacidad de abastecer más cantidad de agua, pero el tanque actual no es capaz de soportarla, así mismo se desperdicia mucha agua en forma de riachuelo que se dirige a tierras cercanas. Así mismo al ampliar la capacidad de la fuente los habitantes podrán tener acceso al agua por más tiempo y al pasar los años que la demanda del agua se incremente, la fuente podrá ser capaz de satisfacer las necesidades de la población.

Segundo, debido a que lamentablemente donde actualmente se encuentran los dos tanques de distribución no existe ni la topografía ni el tamaño adecuado para la construcción de los tanques de filtración lenta, se consideró como lugar apropiado para la construcción de la planta, un terreno ubicado a 200 m de los actuales tanques de distribución, que está cercano a la carretera, es plano y tiene un área de 500 m<sup>2</sup>.

Cabe agregar, que la infraestructura de los actuales tanques de distribución, se utilizará como tanques de recolección desde la fuente de captación hasta la planta de filtro lento de arena.

La planta de filtración lenta de arena, se instalará como dispositivo de prevención contra posible contaminación que puede llegar a presentar la fuente con el transcurso de los años así mismo, con la construcción de la misma se asegura la permanencia de la buena calidad del agua y concluido su tratamiento, no sólo la hace potable sino apta para el consumo humano.

Se pretende construir dos filtros lentos de arena, debido a que el mantenimiento de los filtros que involucra el lavado de la arena, es periódico (cada seis meses) y mientras se le está haciendo mantenimiento a uno, el otro filtro puede seguir funcionando y evitar que se pare el proceso.

El área adecuada de los filtros se estableció en base a la ecuación 1 (página número 47), considerando una velocidad de experimental de 0.2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h, proporcionada por la Unidad Ejecutora de Acueductos Rurales (UNEPAR), así mismo cabe mencionar que las dimensiones apropiadas que se establecieron en los diseños, consideraron el caudal a satisfacer, proyectado (3.75 L/s) y fueron en base a diseños utilizados por la misma institución.

Se escogió utilizar la filtración lenta con arena debido a que el caudal a satisfacer es relativamente lento, la población es pequeña, es un área rural, y debido a que la filtración lenta con arena es un proceso limpio, que no necesita que exista energía eléctrica disponible, que sólo necesita una persona permanente para revisar el buen funcionamiento y que su mantenimiento involucra normalmente solo el lavado y secado de la arena cada seis meses y cada cinco años el lavado total de la planta.

También se debe considerar que para poder implementar la planta, se deben comunicar los dos tanques de recolección con el filtro de arena, utilizando preferiblemente tubería PVC con los materiales específicos propuestos en el presente estudio, especificados en la parte del apéndice.

Cabe agregar que los cálculos de materiales, fueron hechos tomando un factor de corrección del 10 -15 % para desperdicios y que los precios en Guatemala, especialmente en la construcción, están fluctuando, debido a condiciones externas del país.

En el cálculo del proceso de desinfección, no se toma en cuenta los costos del clorinador, debido a que existe uno actualmente que está en buen estado y puede reutilizarse y así obviarse los costos de comprar uno nuevo.

La construcción de los tanques de distribución propuestos proporciona un aumento considerable respecto a la capacidad de los actuales tanques de distribución. Esto se hizo tomando en cuenta el caudal a satisfacer, el índice de crecimiento poblacional, el aumento de la demanda de agua con el transcurso del tiempo y considerando que la población tenga acceso a agua por más tiempo.

El costo total para la implementación de la planta, es de Q 568,943.00 adicionalmente, se debe de considerar el costo anual de mantenimiento, que involucra la remoción de monte circundante a la plata y al tanque de captación y el lavado completo de la planta cada cinco años, cuyo valor asciende a Q 1,300.00 anuales, también deben de considerarse los costos de operación, que involucran contratar un encargado permanente del proyecto y la compra de hipoclorito de sodio, dichos costos ascienden a Q 40,005.00 anuales.

El beneficio para la población, no se puede evaluar ya que la implementación de dicha propuesta, favorecería a la mejora de la salud de la población, ayudaría al desarrollo integral del municipio y les haría sentir a la población, que no están olvidados, es debido a ello, que las actuales autoridades locales, manifiestan su interés por su implementación y así colaborar con el bienestar general de la población.

La inversión inicial estará financiada ya sea por donación con fondos nacionales o internacionales, sin embargo, los costos fijos del proyecto deberán ser financiados por la municipalidad y por la población local, actualmente cada vivienda paga Q 3.00 mensuales por el servicio de agua, sin embargo, éste estudio proyecta un pago de Q 5.00 según cuadro 18 (pág 67), lo que provocaría un ingreso anual de Q 11,640.00 que constituye satisfacer el 28. % de los costos fijos totales anuales que ascienden a Q 41,305.00. el 72 % restante, de los costos lo debe de asumir la municipalidad local, para poder hacer el proyecto autosostenible. Como se puede observar en el cuadro 17 (pág 67), considerando la velocidad de filtración y tomando en cuenta que la planta tiene una vida útil no menor de diez años, se tiene un costo de Q 1.00/m<sup>3</sup>. Este resultado justifica sobremanera la implementación de la planta, ya que por un costo sumamente bajo, la población se estaría asegurando de consumir agua de alta calidad.

## VIII. CONCLUSIONES

1. Los análisis fisicoquímicos y biológicos, de las muestras de agua de la fuente “El Zarzal”, realizadas el 29 de junio y 12 de agosto del 2005, muestran que la calidad del agua es aceptable por las NORMAS COGUANOR NGO 29001.
2. Los análisis fisicoquímicos y biológicos realizados no muestran resultados repetitivos, por lo que no certifican que la población esté consumiendo la misma calidad del agua en todas las épocas del año, principalmente el aporte biológico que ocurre por aireación normal del agua, por lo que este parámetro altera la salud de la población.
3. La dureza del agua, en ambos puntos del muestreo fue de 235 mg/L CaCO<sub>3</sub> y se encuentra entre los límites permisibles que estipulan hasta 500 mg/L CaCO<sub>3</sub>, por lo que no se requiere ningún tratamiento adicional.
4. Los principales orígenes de contaminación a los que se expone la fuente de abastecimiento de “El Zarzal” son los contaminantes que proceden de la aldea llamada con el mismo nombre.
5. El proceso más adecuado para asegurar la potabilización del agua procedente de la Fuente de El Zarzal, durante todas las épocas del año, involucra el aumento de la capacidad de captación, un proceso de filtración lenta con arena, proceso de desinfección y distribución.
6. La planta de filtro lento de arena y los tanques de distribución se construirán en un terreno de 500 m<sup>2</sup>, plano, a una distancia de 200 m de del tanque de recolección, que está colindante a carretera.
7. La capacidad del tanque de captación se aumentará en un 69 %, considerando la demanda que se tendrá del agua en 5 y 10 años, respecto al índice de crecimiento anual en el área rural de Guatemala.
8. Considerando las bases de Diseño del Departamento de preinversión de COGUANOR, se establece que para el flujo proyectado de 3.75 L/s, se requiere un filtro de 35 m<sup>2</sup> distribuidos en 8.75 m de largo y 4.0 m de ancho y que tenga una velocidad de filtración de 0.2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h.

tubería que conectará los tanques de recolección con el filtro de arena, construcción del mismo, construcción de una caseta para la fabricación de cloro, y construcción de dos tanques de distribución, asciende a una cantidad de Q 568,943.00.

9. Al considerar el costo anual que incluye mantenimiento de la planta y operación, que es de Q 41, 305.00 anuales y el costo inicial de su implementación, así como el volumen de agua filtrada y tratada que es de 122,640 m<sup>3</sup> por año, tomando en cuenta que la planta tiene una vida útil no menor a 10 años de vida y considerando una tasa de inflación del 7 % anual se tiene un costo de Q 1.00 el m<sup>3</sup> de agua.

## IX. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere a la municipalidad dar seguimiento a la presente propuesta ya que si se implementa la misma, se puede hacer extensivo la idea de implementar proyectos similares hacia otros municipios circundantes, mejorando la calidad de vida de la región Chortí.
2. Se recomienda a la municipalidad construir el sistema de distribución de agua potable a las personas que habitan la aldea del Zarzal, para evitar que utilicen el tanque de captación para lavar su ropa y utensilios de cocina, ya que la fuente está expuesta a sufrir dicho tipo de contaminación.
3. Como medida correctiva se puede cercar el lugar donde se encuentra el tanque de captación para evitar que entren animales y que contaminen la fuente.
4. Realizar todos los trabajos de mejoras y mantenimiento sugeridos en este estudio para que la población se asegure que está consumiendo agua de calidad todo el tiempo.
5. Si se puede implementar la planta propuesta, se sugiere tomar en consideración el procedimiento descrito en este estudio para verificar que la arena está actuando correctamente.
6. Se sugiere para asegurarse un buen proceso de desinfección implementar un monitoreo diario de cloro a través de un equipo de medición portátil para poder conocer la cantidad de cloro residual presente en las muestras.
7. Comprar el equipo portátil para determinar la cantidad de cloro residual presente en las muestras que se tomen todos los días para poder aplicar al agua tratada la dosis correcta.
8. Se recomienda dar asistencia técnica a la persona que laborará en el mantenimiento de la planta para que pueda controlar todos los parámetros que se necesitan considerar para el buen funcionamiento de la planta.
9. Implementar un monitoreo constante, a través de toma de muestras para que sean analizadas en laboratorio y así garantizar la calidad del agua.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- *Asociación Reed Dos Mil*. 2004. Guía económica productiva. Guatemala. 37 págs.
- Cánepa de Vargas, L; Pérez Carrión, J. 1992. *Manual II Teoría, Evaluación, Diseño, Operación, Mantenimiento y Control*. Lima, OPS/CEPIS. 458 págs.
- Conil, P. 2002. *La gestión municipal del agua potable*. Guatemala, PrintStudio. 108 págs.
- Díaz, Carlos. 2001. *Red de potabilización y depuración del agua*. 2 de julio del 2005, <http://tierra.rediris.es/hidrored/potabilizacion/>.
- Fair, Geyer *et al* 1984. *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. Traducción por Ing Salvador Ayanegui. México. Editorial Linusa. 378 págs.
- Gordon, Maskev. 1974. *Ingeniería sanitaria de aguas residuales*. 1ª ed. México, Limusa. 603 páginas.
- Gutiérrez, Miguel A. 2002. *Distribución y Desarrollo*. 1 de julio del 2005, <http://www.mgar.net/mar/agua.htm>.
- Hilleboe, H. 1974. *Manual de tratamiento de aguas*. México, D.F., Editorial Limusa. 203 págs.
- *Ingeniería ambiental y medio ambiente*. 2000. *Agua*. 4 de julio del 2005. <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/agua.html>.
- Matuk, Javier. 2004. *Tapices un cambio de fondo*. 2 de julio del 2005, [http://www.matuk.com/tapices/body\\_tapices.html](http://www.matuk.com/tapices/body_tapices.html)

- *Norma Coguanor* No. 29001. 1993. Especificaciones para el agua potable. Guatemala.
- *Organización Mundial de la Salud*. 1995. Guías para la calidad del agua potable. España. 152 págs.
- *Organización Mundial de la Salud* . 2000. *Normas internacionales sobre agua, saneamiento e higiene*. 2 de julio del 2005. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/norms](http://www.who.int/water_sanitation_health/norms).
- *Organización Panamericana de la Salud*. 1993. Diseño de plantas de tratamiento de agua potable. Guatemala. 62 páginas.
- Perry, R. ; Green, D. 2001. Manual del ingeniero químico. 7ª ed. México, D.F, Editorial McGraw Hill.
- Rojas, R.; Guevara, S. 2000. *Construcción, operación y mantenimiento del filtro de arena*. Lima, OPS/CEPIS, UNATSABAR. 395 págs.
- Ryan W. 1937. *Water treatment and purification*. New York, Editorial Mc Graw-Hill. 231 págs.

## XI. APÉNDICE

### A. Puesta en marcha de la planta de filtro lento

Luego de concluida la construcción del filtro, es necesario un período de preparación antes que se pueda iniciar la producción de agua potable.

El operador deberá haber recibido con anterioridad un período de adiestramiento en el buen funcionamiento de la planta.

Como se indicó anteriormente el lecho de arena primero debe ser saturado con agua, esto se consigue llenándolo lentamente y en forma ascendente para desplazar el aire contenido en los poros de la arena.

La tarea de llenado debe ser de alrededor de 20 cm por hora y debe continuarse hasta que el nivel del agua sobre la arena esté a 0.8 cm de acuerdo a su diseño de acuerdo al procedimiento siguiente:

- Se hace ingresar el agua a una unidad del filtro lento, hasta que se alcance la altura adecuada.
- Se vacía el tanque uno y con el agua, se procede a llenar el segundo tanque.
- Se llena nuevamente el primer tanque hasta la altura deseada.
- Se debe esperar de dos a cuatro semanas para esperar la maduración de la planta, es decir hasta que se forme la capa orgánica responsable del buen funcionamiento de la misma.

### B. Proceso de lavado de la arena

El encargado de lavar la arena tendrá que introducir la arena en un lavador de arena, el cual consistirá en un recipiente con una abertura para que entre agua limpia y con una salida de agua sucia. Se lavará costal por costal de arena, colocándolo en el interior del lavador, moviéndola con un palo constantemente dejando que el agua cruda de la fuente de abastecimiento continúe filtrándose en el otro filtro. El proceso de lavado de arena se detendrá hasta que el agua que salga del recipiente no presente mayor suciedad. Luego de esto la arena se secará en el patio y se guardará.

## C. Descripción del presupuesto

CUADRO 19- Presupuesto de ampliación de tanque de captación

No	Área	Material	Cantidad	Unidades	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
1	Aumento de capacidad de tanque de captación. (6.0 m de largo x 3.0 m de ancho x 1.8 m de alto)	Cemento	155	sacos	40.00	6,200.00
2		Arena	5	m <sup>3</sup>	80.00	400.00
3		Piedrín de 1/2"	10	m <sup>3</sup>	175.00	1,750.00
4		Hierro de 1/2" para columnas	3	qq	265.00	795.00
5		Hierro de 3/8" para vigas	5	qq	247.00	1,235.00
6		Hierro de 1/4" para eslabones	2	qq	220.00	440.00
7		Alambre de amarre	50	lb	2.30	113.00
8		Madera	1718	pie tablar	3.00	5,154.00
9		Madera para parales parales de 3" x 4" x 6ft	111	unidades	16.80	1865.00
10		Clavo 3"	50	lb	5.00	250.00
11		Compuerta de 0.75 m x 0.2 m para salida de lodos	1	unidad	88.00	88.00
<b>SUBTOTAL MATERIALES PARA AUMENTO DE CAPACIDAD DE TANQUE DE CAPTACIÓN (Q)</b>						<b>18,290.00</b>
	Mano de Obra para aumentar la capacidad de tanques de captación	Mano de obra global				14,000.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA (Q)</b>						<b>14,000.00</b>
Costo de supervisión (Q)						2,000.00
10 % de Imprevistos (Q)						1,830.00
<b>TOTAL AUMENTO DE CAPACIDAD EN TANQUE DE CAPTACIÓN (Q)</b>						<b>36,120.00</b>

CUADRO 20-Presupuesto de construcción de filtros lentos de arena

No	Área	Material	Cantidad	Unidades	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
1	Materiales para la construcción de filtro lento de arena (4.0 m ancho x 8.75 m largo x 2.0 m alto)	Cemento	600	sacos	40.00	24,000.00
2		Arena de río	90	m <sup>3</sup>	60.00	5,400.00
3		Piedrín de 3/4"	80	m <sup>3</sup>	120.00	9,600.00
4		Arena blanca	11	m <sup>3</sup>	150.00	1,650.00
5		Cal hidratada	10	sacos	18.00	180.00
6		Hierro de 1/2"	34	qq	285.00	9,690.00
7		Hierro de 3/8"	18	qq	285.00	5,130.00
8		Hierro de 1/4"	1	qq	285.00	285.00
9		Alambre de amarre	175	lb	3.00	525.00
10		Clavo de 3"	20	lb	4.00	80.00
11		Tablas de 3/4" x q"x10"	122	unidades	36.00	4,392.00
12		Arena de Grava	6	m <sup>3</sup>	70.00	420.00
13		Tubos PVC de 6"	8	unidades	120.00	960.00
14		Tapones hembra de PVC de 6"	18	unidades	80.00	1,440.00
15		Cruces PVC de 6"	8	unidades	150.00	1,200.00
16		Válvulas de cobre PVC de 2"	4	unidades	200.00	800.00
17		Llaves de compuerta PVC de 2"	4	unidades	150.00	600.00
18		Codos PVC de 2"	4	unidades	75.00	300.00
19		Tubos PVC de 2"	6	unidades	50.00	300.00
29		Cemento de contacto para PVC	1	bote	250.00	250.00
21		Lija	1	unidad	5.00	5.00
22		Reductores	4	unidades	126.00	504.00
SUBTOTAL MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN (Q)						67,711.00

## Continuación CUADRO 20- Presupuesto de construcción de filtros lentos de arena

No	Área	Material	Cantidad	Unidades	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
23	Arena y lecho de soporte	Arena	28	m <sup>3</sup>	863.00	24,164.00
24		Arena gruesa	2	m <sup>3</sup>	435.00	870.00
25		Gravilla fina	2	m <sup>3</sup>	416.00	832.00
26		Gravilla	2	m <sup>3</sup>	416.00	832.00
27		Grava	6	m <sup>3</sup>	455.00	2,730.00
28	Equipo de control y mantenimiento	Flotador de 1''	1	unidad	125.00	125.00
29		Medidor de caudal	1	unidades	700.00	700.00
30		Piezómetro	1	unidades	875.00	875.00
31		Válvulas de compuerta de cobre PVC de 2''	4	unidades	120.00	480.00
32		Válvula de mariposa de 4'' de acero fundido	2	unidades	685.00	1,370.00
33		Desnatador	1	unidad	287.00	287.00
SUBTOTAL ARENA Y LECHO DE SOPORTE (Q)						33,265.00
34	Mano de obra para la construcción del filtro de arena	Limpieza	40	m <sup>2</sup>	10.00	400.00
35		Nivelación	40	m <sup>2</sup>	10.00	400.00
36		Construcción provisional	40	m <sup>2</sup>	15.00	600.00
37		Trazo y estaqueado	40	m <sup>2</sup>	15.00	600.00
38		Excavación	80	m	250.00	20,000.00
39		Armadura formateado y fundición	150	m <sup>2</sup>	150.00	22,500.00
40		Alizado (blanqueado de pared)	300	m <sup>2</sup>	28.00	8,400.00
41		Colocación de tubos				2,000.00
42		Colocación de cajas y tubería				500.00
43		Colocación de las instalaciones de llaves y agua				2,000.00
SUBTOTAL MANO DE OBRA (Q)						57,400.00

Continuación CUADRO 20- Presupuesto de construcción de filtros lentos de arena

SUB TOTAL PRECIO DE CONSTRUCCIÓN DE UN FILTRO DE ARENA (Q)	158,376.00
Costo de supervisión (Q)	10,000.00
10 % de Imprevistos totales (Q)	31,676.00
<b>TOTAL PRECIO PLANTA DE DOS FILTROS LENTOS DE ARENA (Q)</b>	<b>368,428.00</b>

CUADRO 21 –Presupuesto para la construcción de los tanques de distribución

No	Área	Material	Cantidad	Unidades	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
1	Materiales para construcción de tanques de distribución	Cemento	235	sacos	40.00	9,400.00
2		Arena	10	m <sup>3</sup>	80.00	800.00
3		Piedrín de 1/2"	14	m <sup>3</sup>	175.00	2,450.00
4		Hierro de 1/2" para columnas	4	qq	265.00	1,060.00
5		Hierro de 3/8" para vigas	14	qq	247.00	3,458.00
6		Hierro de 1/4" para eslabones	1.5	qq	220.00	330.00
7		Alambre de amarre	75	lb	2.30	169.00
8		Madera	1487	pie tablar	3.00	4,461.00
9		Madera para parales parales de 3" x 4" x 6ft	150	unidades	16.80	2,520.00
10		Clavo 3"	50	lb	5	250.00
11		Compuerta de 0.75 m x 0.2 m para salida de lodos	1	unidad	88.00	88.00
<b>SUBTOTAL MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE (Q)</b>						<b>24,986.00</b>

Continuación CUADRO 21 –Presupuesto para la construcción de los tanques de distribución

	Mano de obra para la construcción de tanques de distribución	Mano de obra global				22,000.00
SUBTOTAL MANO DE OBRA DE UN TANQUE (Q)						22,000.00
SUB TOTAL PRECIO DE CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE (Q)						46,986.00
costo de supervisión (Q)						1,000.00
10 % de Imprevistos (Q)						9,398.00
TOTAL PRECIO PLANTA DE DOS TANQUES DE DISTRIBUCIÓN (Q)						104,370.00

CUADRO 22–Presupuesto para la construcción de la tubería para conectar los tanques de recolección con la planta de filtración lenta

No	Área	Material	Cantidad	Unidades	Costo Unitario (Q)	Costo Total (Q)
1	Material para la construcción de la comunicación entre los tanques de recolección con la planta de filtro lento	Cemento de contacto	0.5	bote	260.00	130.00
2		Tubos de pvc de 2"	34	unidades	18.00	612.00
3		Codos 90	2	unidades	10.00	20.00
4		Reductores de 3" a 2"	2	unidades	5.00	10.00
5		Unión hembra	1	unidad	2.00	2.00
6		Lija	1	unidad	5.00	5.00
SUBTOTAL MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN						779.00
	Mano de obra	Sangeado	200	m	10	2,000.00
		Puesta de los tubos				2,500.00
SUBTOTAL MANO DE OBRA (Q)						4,500.00
Costo de supervisión (Q)						200.00
10 % de imprevistos (Q)						78.00
TOTAL PROYECTO DE COMUNICACIÓN (Q)						5,557.00

CUADRO 23 –Presupuesto para el proceso de desinfección

No	Área	Material	Cantidad	Unidades	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
1	Material para construcción de proyecto de desinfección	Equipo portátil para medir cloro libre residual	1	unidad	1,534.00	1,534.00
2		Hipoclorito de sodio(10 %)	1	galon	44.00	44.00
3		Tubo PVC de 2"	1	unidad	18.00	18.00
4		Block	100	unidad	2.80	280.00
5		Cemento	30	saco	40.00	1,200.00
6		Hierro 3/8"	1	qq	247.00	247.00
7		Hierro 1/4"	0.5	qq	220.00	110.00
8		Arena	0.5	m <sup>3</sup>	80.00	40.00
9		Piedrín de 1/2"	0.5	m <sup>3</sup>	176.00	88.00
10		Puerta de metal	1	unidad	500.00	500.00
<b>SUBTOTAL MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN (Q)</b>						<b>4,061.00</b>
	Mano de obra global para construcción de caseta de desinfección (Q)					500.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA (Q)</b>						<b>500.00</b>
Costo de supervisión (Q)						200.00
10 % de Imprevistos (Q)						407.00
<b>TOTAL PROYECTO DE DESINFECCIÓN (Q)</b>						<b>5,168.00</b>

CUADRO 24- Inversión Inicial

No	Área	Observaciones	Costo (Q)
1	Costos totales	Adquisición del terreno	35,000.00
3		Cercado de la planta	5,250.00
4		Aumento de la capacidad de los tanques de captación	36,120.00
5		Construcción de planta de filtro lento de arena	368,428.00
6		Construcción de los tanques de distribución	104,370.00
7		Construcción de la galera para guardar la arena y las herramientas	6,500.00
8		Construcción de la plataforma para lavado y secado de la arena	2,550.00
9		Construcción de caseta de desinfección	5,168.00
10		Construcción de la tubería para comunicación de tanque de recolección con la planta de filtro de arena	5,557.00
TOTAL PRECIO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTOD E AGUA POTABLE PARA LA FUENTE EL ZARZAL			568,943.00

CUADRO 25 –Costos de operación para el hipoclorito de sodio utilizado

Área	Material	Cantidad	Unidades	Costo unitario (Q)	Costo total mensual (Q)	Costo total anual (Q)	Costo total proyectado a 10 años (Q)
Desinfección	Hipoclorito de sodio	30	galones	44.00	1,320.00	15,840.00	218,750.40

CUADRO 26- Costos de operación laborales

Puesto	Sueldo base (Q)	IGSS (Q)	Agui-naldos (Q)	Bono 14 (Q)	Indemni-zación (Q)	Total prestaciones (Q)	Bonifica-ción (Q)	Total mensual (Q)
1 Encargado	1300.00	138.71	108.33	108.33	108.33	463.71	250.00	2,013.71

Puesto	Costo anual (Q)	Costo total proyectado a 10 años (Q)
1 Fontanero	24,164.52	333,712.02

CUADRO 27- Costos de operación

	Anual	Proyección a 10 años
Costo fontanero	24,164.52	333,712.02
Costo hipoclorito de sodio	15,840.00	218,750.40
<b>TOTAL</b>	<b>40,004.52</b>	<b>552,462.42</b>

CUADRO 28- Costos de limpieza del lugar de la planta y del tanque de recolección

No	Actividad	Sueldo diario (Q)	Días trabajados por Período	Total por período (Q)	Períodos anuales	Total anual (Q)	Total proyectado a 10 años (Q)
1	1 Chapiador	50.00	2	100.00	6	200.00	2,762.00
1	1 Chapiador	50.00	2	100.00	6	200.00	2,762.00
1	1 Chapiador	50.00	2	100.00	6	200.00	2,762.00
TOTAL		150.00	2	300.00	6	600.00	8,286.00

CUADRO 29- Costos de mantenimiento

	Anual (Q)	Proyección a 10 años	Observaciones
Chapeo	600.00	8,286.00	Se estima un chapeo cada 6 meses
Limpieza total de la planta	700.00	9,667.00	Se debe de limpiar totalmente la planta incluyendo los filtros de arena cada 5 años con un costo de Q 3,500.00 en cada ocasión
TOTAL	1,300.00	17,953.00	

CUADRO 30- Costos totales

	Anual	Proyección a 10 años
Costos de mantenimiento (Q)	1,300.00	17,953.00
Costos de operación (Q)	40,004.52	552,462.42
TOTAL (Q)	41,304.52	570,415.42

#### D. Actividades del personal

CUADRO 31- Descripción de actividades del personal

Descripción de actividades	Descripción	Ejecución de las Actividades
Vigilar la cantidad de cloro	El encargado deberá vigilar que el aplicador de cloro esté funcionando adecuadamente, así como también asegurarse que el agua cumpla con el 1.5 ppm de cloro libre residual.	Todas las revisiones se realizarán diariamente
Lavado de arena	La arena se tendrá que lavar, sacandola del filtro e introduciendola en el lavador de arena, un filtro será lavado mientras que el otro continua funcionando.	El lavado del arena se realizara cada dos meses preventivamente, pero si la arena no esta haciendo su trabajo adecuado, se realizará conforme a la calidad del agua que se éste analizando
Supervisión	El encargado de la planta deberá supervisar que todo el proyecto se ejecute de la mejor manera, para asegurarse que la calidad del agua se aceptada en todo momento.	Diariamente.

E. Planos de construcción de la planta de filtro lento de arena

F. Formularios para buscar financiamiento para la implementación del proyecto

## G. Glosario

1. **AEROBIO:** Dícese de los organismos que no pueden vivir sin absorber el oxígeno del aire.
2. **AFORAR:** Calcular la capacidad de un recipiente o depósito. Medir el caudal de una corriente de agua o la cantidad de líquido que pasa por una tubería.
3. **AFLUENTE:** Agua u otro líquido que ingrese a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento
4. **ANAEROBIO:** Dícese de los seres microscópicos que no necesitan del oxígeno del aire para poder vivir.
5. **BACILO:** Microbio del grupo de las bacterias, en forma de bastoncillo, que mide no más de diez micrones.
6. **BACTERIA:** Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos y carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento.
7. **BY-PASS:** Conjunto de tuberías canales, válvulas y compuertas que permiten el paso de un líquido alrededor de un proceso o planta de tratamiento. Conducto usado para desviar el agua de un proceso, en condiciones de emergencia o de tratamiento correctivo.
8. **CAUDAL:** Flujo volumétrico, líquido o gaseoso suministrada durante la unidad de tiempo. Cantidad de agua que mana de una fuente o que se lleva un canal o un río.
9. **COLERA:** Enfermedad epidémica, caracterizada por vómitos, deyecciones frecuentes y violentos dolores intestinales.
10. **COLIFORMES:** Bacteria gram negativa de forma alargada capaz de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 °C.
11. **CONDUCTIVIDAD:** Es el inverso de la resistividad y se expresa en ohm o siemens por centímetro de cuerpo conductor. Su símbolo es  $\gamma$  (letra griega gamma)
12. **COMPUERTA:** Puerta movable que se coloca en las esclusas de los canales y en los portillos de las presas de los ríos para detener o dejar pasar las aguas.

13. CUENCA: Todo el territorio cuyas aguas fluyen a un mismo río.
14. DESALINIZACIÓN: Proceso PARA Quitar la sal que llevan las aguas salinas.
15. DISIPADOR: Hacer desaparecer, evaporar.
16. DISPOSITIVO: Que dispone o arregla una cosa.
17. FANGO: Lodo espeso, barro o cieno.
18. FERMENTACIÓN Transformación que sufren gran número de sustancias orgánicas en determinadas circunstancias y que se traduce por una oxigenación o una hidratación.
19. FILTRO: Proceso a través del cual se hace pasar un fluido para eliminar las partículas sólidas en suspensión. Dispositivo para eliminar parásitos.
20. GRAVA: Piedrecillas redondeadas. Piedra machacada utilizada en pavimentación.
21. GRUPO COLIFOTME TOTAL: Comprende todas las bacterias en forma de bacilos, aerobios y anaerobios facultativos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a 35 °C en menos de 48 horas, características cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación.
22. GRUPO COLIFORME FECAL: Se define como los bacilos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 44 °C en menos de 24 horas, características cuando se investiga por el método de los tubos múltiples de fermentación.
23. INERTE: Que carece de actividad y movimiento propio.
24. LATITUD: Ancho de una cosa. Extensión . Distancia de un lugar al Ecuador de la Tierra.
25. LÍMITE MÁXIMO ACEPTABLE: Valor de concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

26. ÓSMOSIS: Fenómeno que, cuando están separados dos líquidos por un tabique poroso, hace pasar ciertos cuerpos de una disolución a otra. Penetración, influencia recíproca.
27. PATÓGENO: Dícese de lo que provoca las enfermedades.
28. SANEAMIENTO: Dotación de condiciones de salubridad a los terrenos o edificios desprovistos de ellas.
29. TALUD: Declive del parámetro de un muro o del suelo.
30. TURBIEDAD: Calidad de turbio, falta de claridad.
31. VERTEDERO: Sitio por donde se vierte un líquido.